

Projet éolien Champ des Vignes

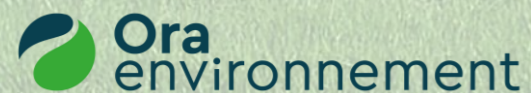
Commune de Fontenay (36)

Etude de dangers

Rédaction de l'étude :

Ora environnement

76 avenue des Vosges
67000 STRASBOURG



Version complétée

Octobre 2020

Maître d'ouvrage :

S.E.P.E. du Champ des Vignes

330 rue du Port Salut
F-60126 LONGEUIL SAINTE MARIE



SOMMAIRE

1	Préambule	5		
1.1	Objectifs de l'étude de dangers	5		
1.2	Contexte législatif et réglementaire	5		
1.3	Nomenclature des installations classées	5		
2	Informations générales concernant l'installation	6		
2.1	Renseignements administratifs	6		
2.2	Le projet Champ des Vignes	6		
2.3	Définition de l'aire d'étude	7		
3	Description de l'environnement de l'installation	8		
3.1	Environnement humain	8		
3.1.1	Zones urbanisées	8		
3.1.2	Etablissements recevant du public (ERP)	8		
3.1.3	Installations classées pour la protection de l'environnement et installations nucléaires	8		
3.1.4	Autres activités	8		
3.2	Environnement naturel	9		
3.2.1	Contexte climatique	9		
3.2.2	Risques naturels	10		
3.3	Environnement matériel	14		
3.3.1	Voies de communication	14		
3.3.2	Réseaux publics et privés	14		
3.3.3	Autres ouvrages publics	14		
3.4	Cartographie de synthèse	14		
4	Description de l'installation	16		
4.1	Caractéristiques de l'installation	16		
4.1.1	Caractéristiques générales d'un parc éolien	16		
4.1.2	Activité de l'installation	18		
4.1.3	Composition de l'installation	18		
4.2	Fonctionnement de l'installation	19		
4.2.1	Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur	19		
4.2.2	Sécurité de l'installation	19		
4.2.3	Protection incendie	19		
4.2.4	Opérations de maintenance de l'installation	24		
4.2.5	Stockage et flux de produits dangereux	25		
4.3	Fonctionnement des réseaux de l'installation	26		
4.3.1	Raccordement électrique	26		
4.3.2	Autres réseaux	26		
5	Identification des potentiels de dangers de l'installation	27		
5.1	Potentiels de dangers liés aux produits et déchets	27		
5.1.1	Produits nécessaires au bon fonctionnement des installations	27		
5.1.2	Produits de nettoyage et d'entretien	28		
5.2	Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation	28		
5.3	Réduction des potentiels de dangers à la source	29		
5.3.1	Réduction des dangers liés aux produits	29		
5.3.2	Utilisation des meilleures techniques disponibles	29		
6	Analyse des retours d'expérience	30		
6.1	Inventaire des accidents et incidents en France	30		
6.2	Inventaire des accidents et incidents à l'international	31		
6.3	Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience	31		
6.3.1	Analyse de l'évolution des accidents en France	31		
6.3.2	Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents	32		
6.4	Limites d'utilisation de l'accidentologie	32		
7	Analyse préliminaire des risques	33		
7.1	Objectif de l'analyse préliminaire des risques	33		
7.2	Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques	33		
7.3	Recensement des agressions externes potentielles	33		
7.3.1	Agression externes liées aux activités humaines	33		
7.3.2	Agressions externes liées aux phénomènes naturels	33		
7.4	Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques	34		
7.5	Effets dominos	36		
7.6	Mise en place des mesures de sécurité	36		
7.7	Conclusion de l'analyse préliminaire des risques	41		
8	Etude détaillée des risques	42		
8.1	Rappel des définitions	42		
8.1.1	Cinétique	42		

8.1.2	Intensité	42
8.1.3	Gravité	44
8.1.4	Probabilité	44
8.2	Caractérisation des scénarios retenus	45
8.2.1	Effondrement de l'éolienne.....	45
8.2.2	Chute de glace	47
8.2.3	Chute d'éléments de l'éolienne.....	48
8.2.4	Projection de pales ou de fragments de pales	49
8.2.5	Projection de glace.....	51
8.3	Synthèse de l'étude détaillée des risques.....	52
8.3.1	Tableaux de synthèse des scénarios étudiés.....	52
8.3.2	Synthèse de l'acceptabilité des risques	52
8.3.3	Cartographie des risques.....	53
9	Moyens de secours et d'intervention	57
9.1	Moyens internes	57
9.2	Moyens externes.....	57
9.3	Traitement de l'alerte.....	57
9.4	Implantation des bases de maintenance	58
10	Conclusion	58
11	Annexes	59
11.1	Annexe 1 – Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne.....	59
11.1.1	Terrains non bâtis	59
11.1.2	Voies de circulation	59
11.1.3	Logements.....	59
11.1.4	Etablissements recevant du public (ERP).....	59
11.1.5	Zones d'activité	59
11.2	Annexe 2 – Tableau de l'accidentologie française.....	60
11.3	Annexe 3 – Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques	64
11.3.1	Scénarios relatifs aux risques liés à la glace (G01 et G02).....	64
11.3.2	Scénarios relatifs aux risques d'incendie (I01 à I07).....	64
11.3.3	Scénarios relatifs aux risques de fuites (F01 à F02)	65
11.3.4	Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments (C01 à C03).....	66
11.3.5	Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales (P01 à P06)	66
11.3.6	Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E01 à E10)	66

11.4	Annexe 4 – Probabilité d'atteinte et Risque individuel	67
11.5	Annexe 5 –Glossaire	67
11.6	Annexe 6 – Bibliographie et références utilisées	69
11.7	Annexes constructeur	69
	Annexe 7.1 – Mode tempête	69
	Annexe 7.2 – Protection incendies	69
	Annexe 7.3 – Système d'extinction automatique.....	69
	Annexe 7.4 – Protection contre la foudre.....	69
	Annexe 7.5 – Système de surveillance	69
	Annexe 7.6 – SCADA Enercon	69
	Annexe 7.7 – Détection de glace	69

1 PREAMBULE

1.1 OBJECTIFS DE L'ETUDE DE DANGERS

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par la S.E.P.E. du Champ des Vignes pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du parc éolien Champ des Vignes, autant que technologiquement réalisable et économiquement acceptable, que leurs causes soient intrinsèques aux substances ou matières utilisées, liées aux procédés mis en œuvre ou dues à la proximité d'autres risques d'origine interne ou externe à l'installation. Cette étude est proportionnée aux risques présentés par les éoliennes du parc Champ des Vignes. Le choix de la méthode d'analyse utilisée et la justification des mesures de prévention, de protection et d'intervention sont adaptés à la nature et la complexité des installations et de leurs risques. Elle précise l'ensemble des mesures de maîtrise des risques mises en œuvre sur le parc éolien Champ des Vignes, qui réduisent le risque à l'intérieur et à l'extérieur des éoliennes à un niveau jugé acceptable par l'exploitant. Ainsi, cette étude permet une approche rationnelle et objective des risques encourus par les personnes ou l'environnement, en satisfaisant les principaux objectifs suivants :

- Améliorer la réflexion sur la sécurité à l'intérieur de l'entreprise afin de réduire les risques et optimiser la politique de prévention ;
- Favoriser le dialogue technique avec les autorités d'inspection pour la prise en compte des parades techniques et organisationnelles dans l'arrêté d'autorisation ;
- Informer le public dans la meilleure transparence possible en lui fournissant des éléments d'appréciation clairs sur les risques.

1.2 CONTEXTE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE

Les objectifs et le contenu de l'étude de dangers sont définis dans la partie du Code de l'environnement relative aux installations classées. Selon l'article L. 181-25 du code de l'environnement, l'étude de dangers expose les risques que peut présenter l'installation pour les intérêts visés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation.

L'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation fournit un cadre méthodologique pour les évaluations des scénarios d'accident majeurs. Il impose une évaluation des accidents majeurs sur les personnes uniquement et non sur la totalité des enjeux identifiés dans l'article L. 511-1. En cohérence avec cette réglementation et dans le but d'adopter une démarche proportionnée, l'évaluation des accidents majeurs dans l'étude de dangers d'un parc d'aérogénérateurs s'intéressera prioritairement aux dommages sur les personnes. Pour les parcs éoliens, les atteintes à l'environnement, l'impact sur le fonctionnement des radars et les problématiques liées à la circulation aérienne feront l'objet d'une évaluation détaillée au sein de l'étude d'impact.

Ainsi, l'étude de dangers a pour objectif de démontrer la maîtrise du risque par l'exploitant. Elle comporte une analyse des risques qui présente les différents scénarios d'accidents majeurs susceptibles d'intervenir. Ces scénarios sont caractérisés en fonction de leur probabilité d'occurrence, de leur cinétique, de leur intensité et de la gravité des accidents potentiels. Elle justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.

Selon le principe de proportionnalité, le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte tenu de son environnement et de sa vulnérabilité. Ce contenu est défini, en des termes laconiques, par l'article L. 181-25 du Code de l'environnement :

- Risques auxquels l'installation peut exposer, directement ou indirectement, les intérêts mentionnés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation ;
- Une analyse de risques qui prend en compte la probabilité d'occurrence, la cinétique et la gravité des accidents potentiels selon une méthodologie qu'elle explicite ;
- Les mesures propres à réduire la probabilité et les effets de ces accidents.

Il convient de préciser que l'article R. 512-9 du code de l'environnement qui définissait exhaustivement le contenu de l'étude de dangers et exigeait la fourniture d'un résumé non technique de l'étude de dangers a été abrogé par le Décret n°2017-81 en date du 26 janvier 2017 relatif à l'autorisation environnementale. Aucun article réglementaire du code de l'environnement n'a depuis repris cette exigence de production d'un résumé non technique de l'étude de dangers.

Par ailleurs, 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 précise la méthodologie attendue pour la réalisation de l'étude de dangers.

1.3 NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSEES

Conformément à l'article R. 511-9 du Code de l'environnement, modifié par le décret n°2011-984 du 23 août 2011, les parcs éoliens sont soumis à la rubrique 2980 de la nomenclature des installations classées :

A. – Nomenclature des installations classées			
N°	DÉSIGNATION DE LA RUBRIQUE	A, E, D, S, C (1)	RAYON (2)
2980	Installation terrestre de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs :		
	1. Comprenant au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m.....	A	6
	2. Comprenant uniquement des aérogénérateurs dont le mât a une hauteur inférieure à 50 m et au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur maximale supérieure ou égale à 12 m et pour une puissance totale installée :		
	a) Supérieure ou égale à 20 MW.....	A	6
	b) Inférieure à 20 MW.....	D	

(1) A : autorisation, E : enregistrement, D : déclaration, S : servitude d'utilité publique, C : soumis au contrôle périodique prévu par l'article L. 512-11 du code de l'environnement.
(2) Rayon d'affichage en kilomètres.

Le parc éolien Champ des Vignes comprend au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m : cette installation est donc soumise à autorisation (A) au titre des installations classées pour la protection de l'environnement et doit présenter une étude de dangers au sein de sa demande d'autorisation d'exploiter.

2 INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

2.1 RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

L'exploitant du parc éolien Champ des Vignes est la société S.E.P.E. du Champ des Vignes, immatriculée sous le numéro 877 803 775 au RCS de Compiègne et domiciliée au 330 rue du Port Salut 60126 Longueil-Sainte-Marie.

Le rédacteur de la présente étude est Sylvain Monperrus, Responsable d'études au sein du bureau d'études Ora environnement, S.A.R.L. immatriculée sous le numéro 820 828 333 au R.C.S. de Strasbourg et domiciliée au 76 avenue des Vosges, 67000 STRASBOURG.

2.2 LE PROJET CHAMP DES VIGNES

Le projet éolien Champ des Vignes est composé de trois éoliennes et d'un poste de livraison, localisés sur la commune de Fontenay (36). Les éoliennes retenues dans le cadre de ce projet ont un gabarit d'une hauteur totale maximale de 200 m, et une puissance unitaire comprise entre 3 MW et 4,2 MW.

Les coordonnées du centre des éoliennes et du poste de livraison du projet Champ des Vignes sont rappelées dans le tableau suivant. Ces éléments sont localisés sur la carte ci-contre.

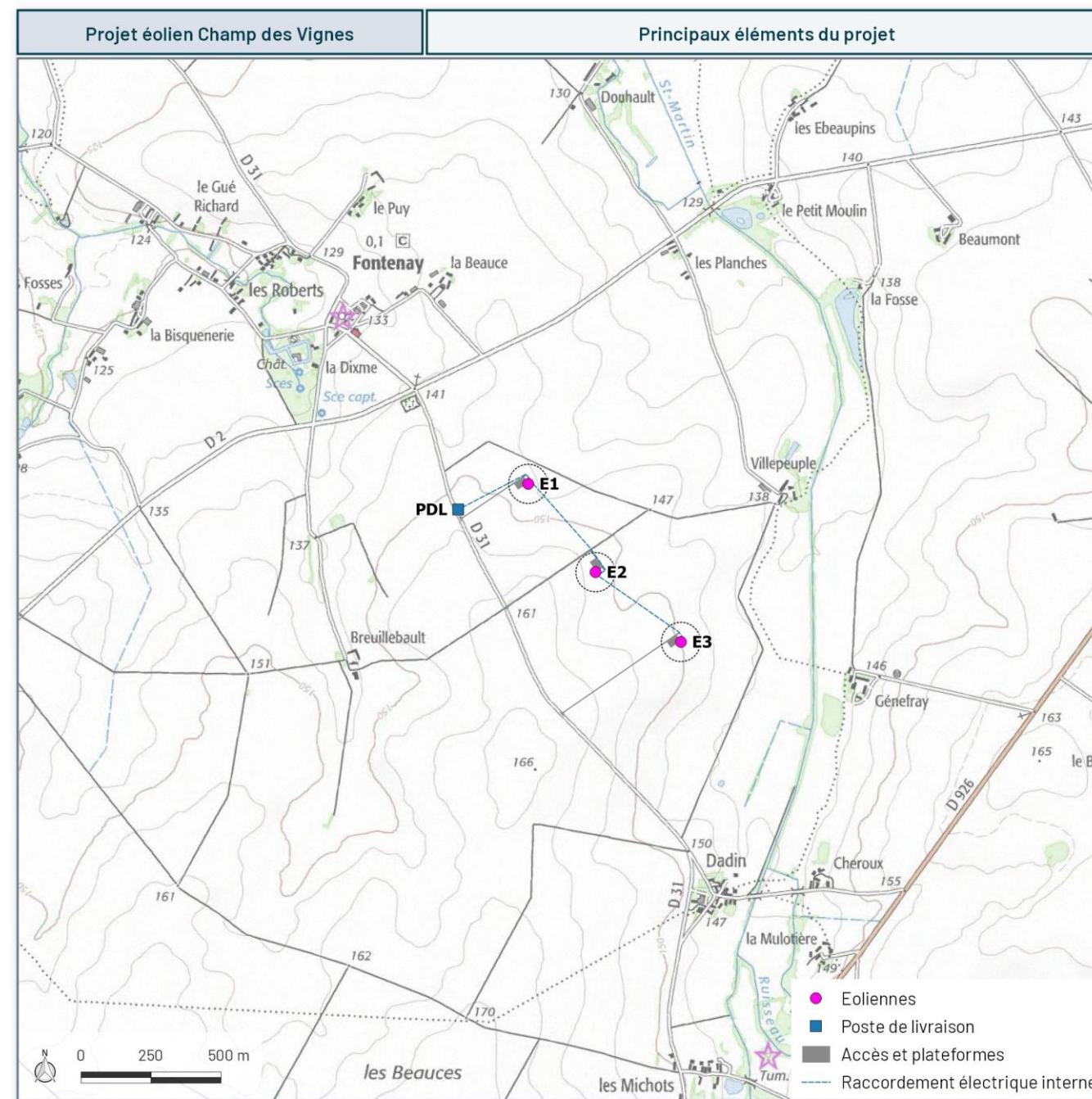
Eolienne ou PDL	Modèle d'éolienne	Coordonnées Lambert-93		Coordonnées WGS 84 (DMS)	
		X	Y	Latitude	Longitude
E1	E-126/135m ou E-138/130m	605400	6662362	N47°03'17,22"	E001°45'13,42"
E2	E-126/135m ou E-138/130m	605641	6662047	N47°03'07,13"	E001°45'25,06"
E3	E-126/135m ou E-138/130m	605946	6661798	N47°02'59,21"	E001°45'39,71"
PDL 1	-	605150	6662271	N47°03'14,12"	E001°45'01,63"

Tableau 1 : Coordonnées géographiques des éléments du projet

Deux modèles d'éoliennes sont envisagés dans le cadre du projet éolien : Enercon E-126 et Enercon E-138. Leurs caractéristiques sont rappelées dans le tableau ci-dessous. Le gabarit final des éoliennes du projet n'ayant pas été défini à ce stade de l'étude, le gabarit présentant l'impact le plus fort sera celui retenu pour l'étude de dangers. De par ses dimensions, le modèle E-138 est retenu dans le cadre de cette étude (cas maximisant).

Caractéristiques	Enercon E-126	Enercon-E138
Hauteur totale	197 m	200 m
Diamètre du rotor	126 m	138 m
Hauteur du mât	135 m	130 m
Puissance unitaire de l'éolienne	3,0 MW	4,2 MW

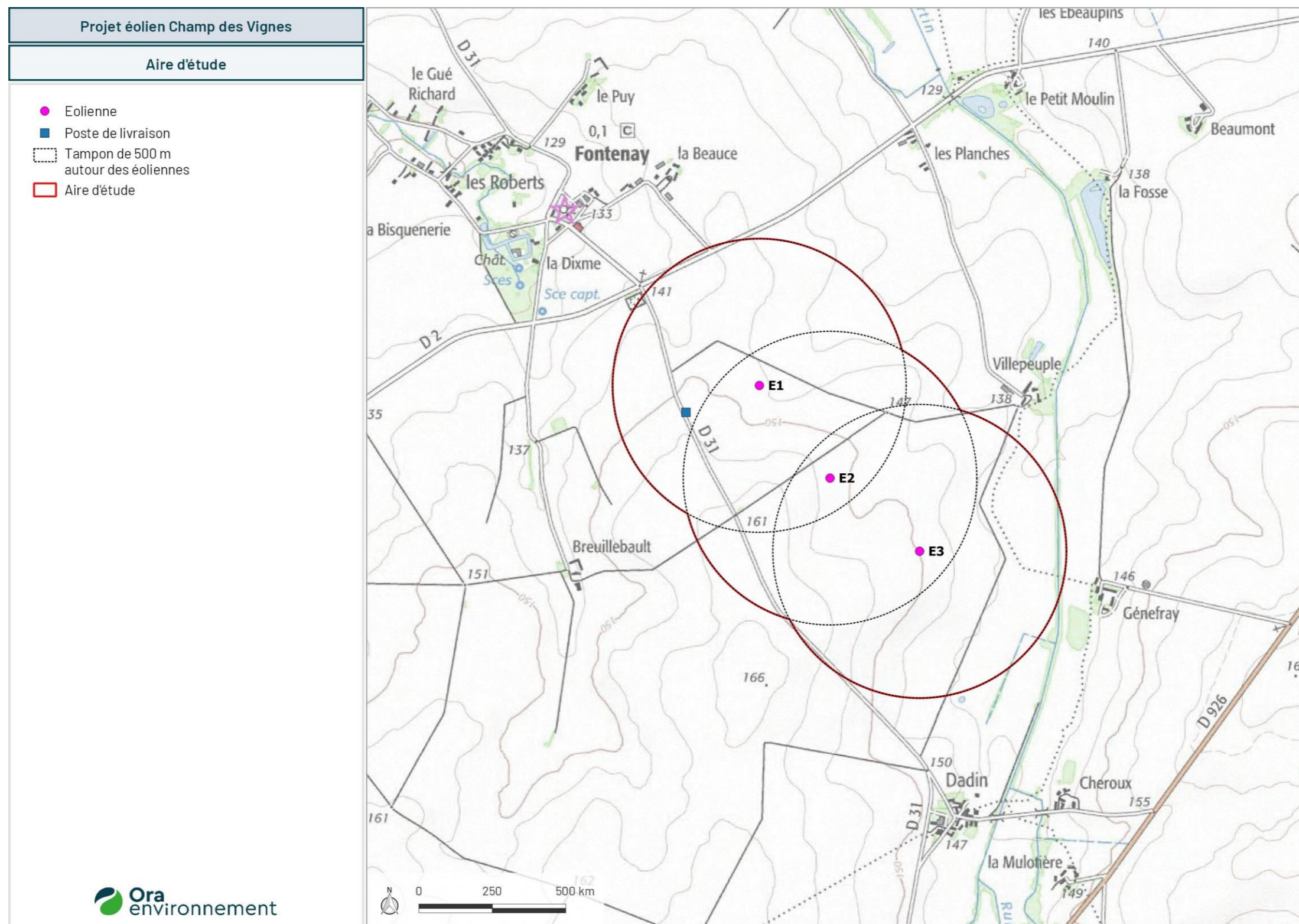
Tableau 2 : Caractéristiques des éoliennes



Carte 1 : Localisation des principaux éléments du projet

2.3 DEFINITION DE L'AIRE D'ETUDE

Compte tenu des spécificités de l'organisation spatiale d'un parc éolien, composé de plusieurs éléments disjoints, la zone sur laquelle porte l'étude de dangers est constituée d'une aire d'étude par éolienne. Chaque aire d'étude correspond à l'ensemble des points situés à une distance inférieure ou égale à 500 m à partir de l'emprise du mât de l'aérogénérateur. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection, telle que définie au paragraphe VIII.2.4. La zone d'étude n'intègre pas de tampon de 500 m autour du poste de livraison, qui seront néanmoins représentés sur la carte. Les expertises réalisées dans le cadre de la présente étude ont en effet montré l'absence d'effet à l'extérieur du poste de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter.



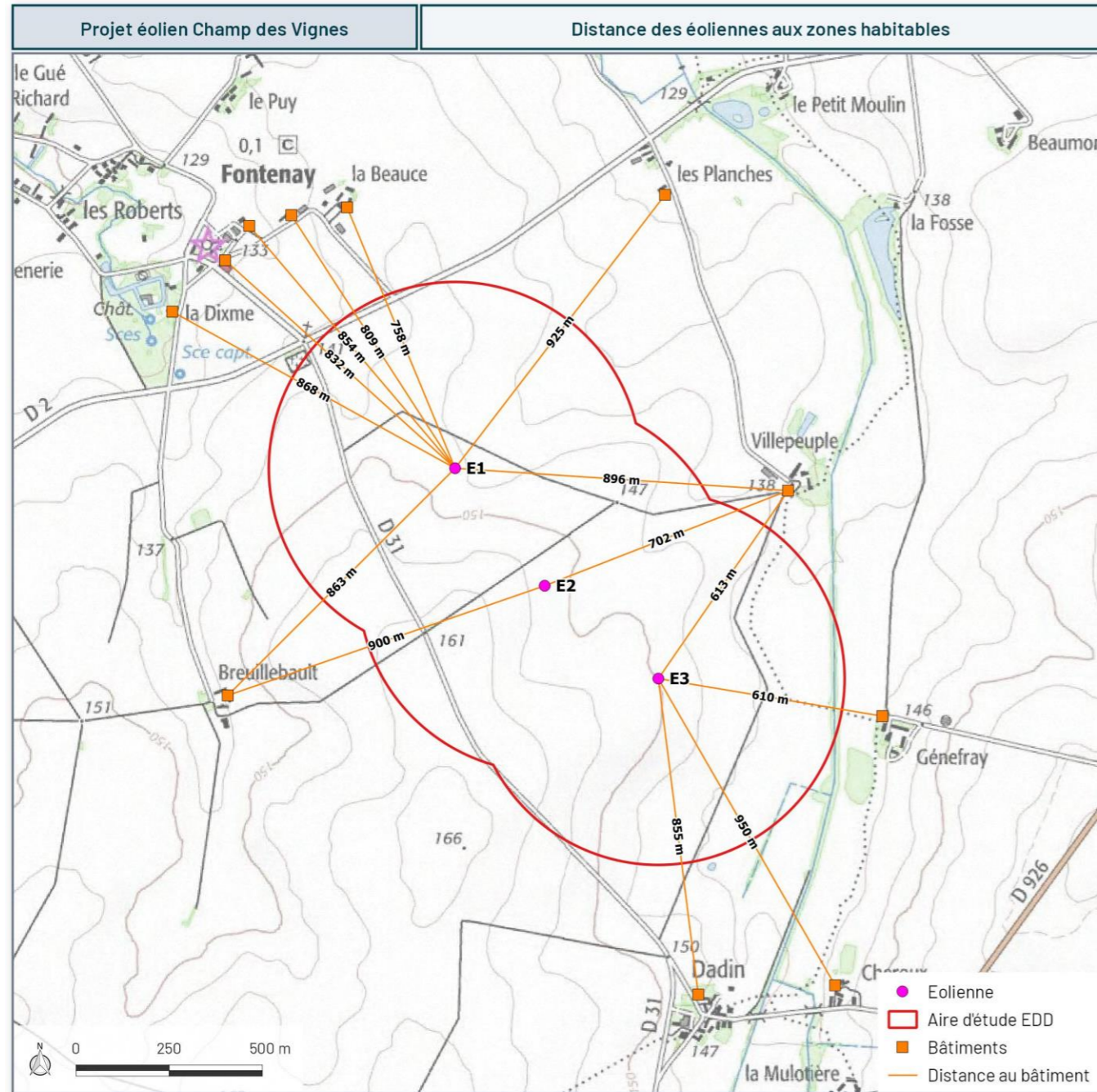
3 DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

Ce chapitre a pour objectif de décrire l'environnement dans la zone d'étude, afin d'identifier les principaux intérêts à protéger (enjeux) et les facteurs de risque que peut représenter l'environnement vis-à-vis de l'installation (agresseurs potentiels).

3.1 ENVIRONNEMENT HUMAIN

3.1.1 Zones urbanisées

Les habitations les plus proches sont à plus de 600 m des éoliennes du projet.



Carte 3 : Distances aux habitations

Lieu-dit	Commune	Nombre d'habitants	Eolienne la plus proche	Distance
Bourg de Fontenay	Fontenay	89 habitants	E1	758 m
Les Planches	Fontenay	89 habitants	E1	925 m
Villepeuple	Fontenay	89 habitants	E3	613 m
Généfray	La Champelle-Saint-Laurian	147 habitants	E3	610 m
Cheroux	La Champelle-Saint-Laurian	147 habitants	E3	950 m
Dadin	Fontenay	89 habitants	E3	855 m
Breuillebault	Fontenay	89 habitants	E1	863 m

Tableau 3 : Distance aux zones habitables les plus proches

3.1.2 Etablissements recevant du public (ERP)

Aucun ERP n'est concerné par le périmètre d'étude. Les ERP les plus proches se situent au sein des hameaux alentours, à plus de 500 m des éoliennes.

3.1.3 Installations classées pour la protection de l'environnement et installations nucléaires

Aucune installation classée pour la protection de l'environnement n'est présente dans l'aire d'étude. Les plus proches concernent les éoliennes des parcs voisins (à plus de 3 km). Hors éolien, l'ICPE la plus proche est la SARL Lemaire (activité liée à la culture et production animale, chasse et services annexes) située sur la commune de Guilly à environ 3 km au nord de la ZIP.

Aucun établissement nucléaire n'est recensé dans le département de l'Indre. Deux établissements sont présents dans le département du Cher : C.N.P.E. (Centre Nucléaire de Production d'Electricité) de BELLEVILLE-SUR-LOIRE et d'installations militaires de Défense (Base Aérienne 702 d'AVORD), tous deux situés à plus de 30 km du parc éolien.

3.1.4 Autres activités

Les parcelles voisines aux éoliennes sont destinées principalement à la culture, l'élevage et la sylviculture.

3.2 ENVIRONNEMENT NATUREL

3.2.1 Contexte climatique

3.2.1.1 Normales climatiques

Le climat de l'Indre se caractérise par un climat tempéré océanique dégradé, influencé par l'éloignement de l'océan et la proximité des reliefs. L'influence continentale est assez peu marquée. Les données présentées ici sont celles de la station de Châteauroux (25 km au sud), issues des normales climatiques sur la période 1971-2000.

Les températures moyennes sont plutôt marquées en fonction des saisons, avec des températures minimales de 3,8°C en janvier, et des températures maximales de 19,6°C en juillet/août. La station de mesure montre une température moyenne annuelle de 11,4°C.

Température moyenne (°C)												
Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
3.8	5.0	7.6	9.7	13.8	16.9	19.6	19.6	16.3	12.1	7.1	4.9	11.4

Tableau 4 : Températures moyennes (Source : Météo France)

La formation de gel peut potentiellement intervenir **52,4 jours/an en moyenne**, sur une période s'étendant d'octobre à mai lorsque les températures sont inférieures à 0°C.

Nombre de jours avec des températures inférieures ou égales à 0°C												
Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
12.3	11.5	7.4	2.4	0.1	0	0	0	0	0.7	6.9	11.0	52.4

Tableau 5 : Nombre de jours potentiels de gel (Source : Météo France)

Les précipitations annuelles moyennes sont d'environ 737,7 mm et sont bien réparties sur l'année.

Hauteur moyenne des précipitations (en mm)												
Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
57.3	58.1	54.7	59.8	77.2	55.1	54.7	49.6	68.1	70.1	65.2	67.8	737.7

Tableau 6 : Hauteurs moyennes des précipitations (Source : Météo France)

Les données à la station de Châteauroux étant incomplètes, ce sont les données de la station météorologique de Bourges qui ont été retenue ci-dessous, étant relativement proche du site (45 km à l'est) et un climat sensiblement identique. La visibilité est réduite en moyenne **39,8 jours/an** lors de la présence de brouillard. Enfin, on dénombre en moyenne **22,2 jours d'orage** par an.

Nombre de jours de brouillard et d'orage													
	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Brouillard	5.8	4.7	2.5	1.8	1.5	1.3	1.0	1.4	2.5	5.2	6.5	5.6	39.8
Orage	0.1	0.1	0.3	1.5	4.4	3.8	4.4	4.3	2.4	0.7	0.1	0.1	22.2

Tableau 7 : Nombre de jours de brouillard et d'orage (Source : Météo France)

La rose des vents ci-contre montre une prédominance des vents de sud-ouest.

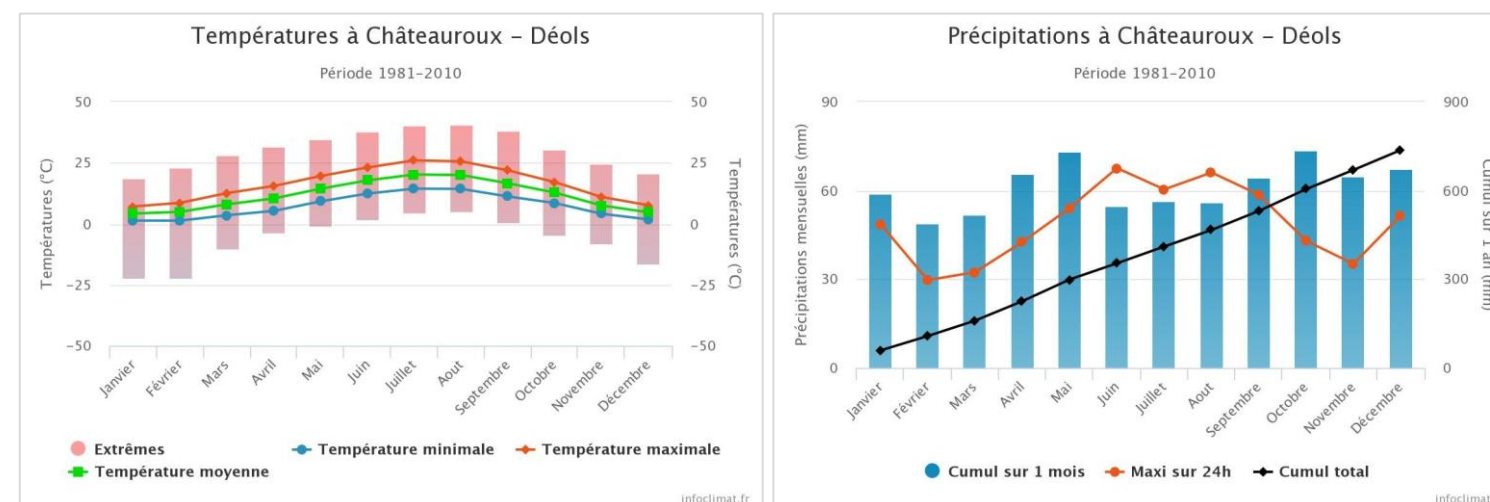


Figure 1 : Températures et précipitations moyennes à Châteauroux (Source : InfoClimat)

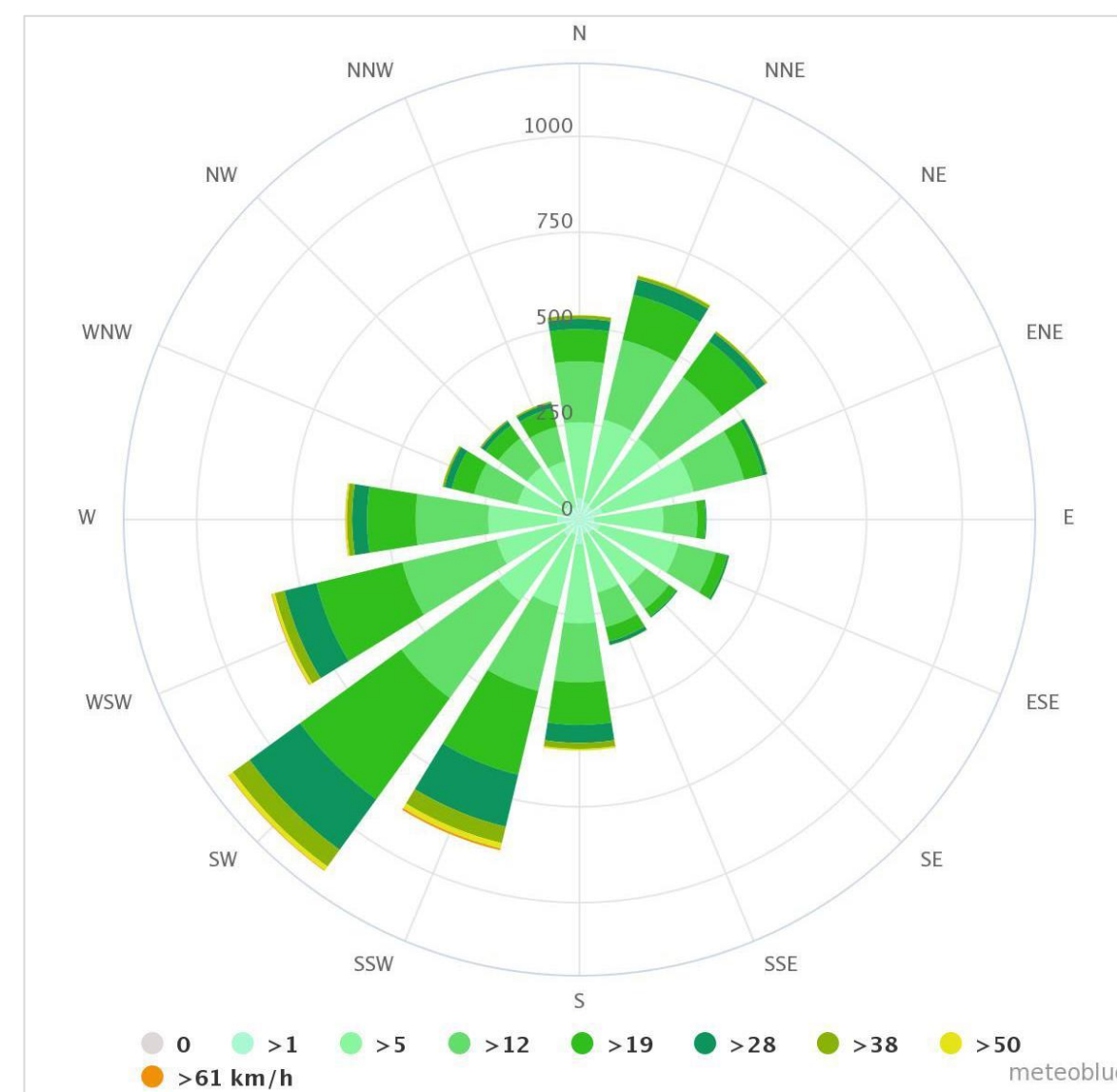


Figure 2 : Rose des vents (Source : Meteoblue)

3.2.2 Risques naturels

3.2.2.1 Dossier départemental des risques majeurs

L'objectif du dossier départemental des risques majeurs (DDRM) est d'informer et de sensibiliser les élus locaux et les citoyens sur les risques potentiels auxquels ils sont exposés, afin de développer une véritable culture des risques et l'appropriation des mesures pertinentes pour les prévenir et s'en protéger. Le DDRM liste les risques potentiels sur le territoire. Il a ainsi été consulté afin de recenser les risques au droit du projet (Fontenay) et sur les communes voisines. Les risques potentiels concernent le risque sismique et de tempête.

Commune	Inondation	Feu de forêt	Mouvement de terrain	Séisme	Tempête
Fontenay	-	-	-	Zone 2	Oui
Liniez	-	-	-	Zone 2	Oui
La Chapelle-Saint-Laurian	-	-	-	Zone 2	Oui

Tableau 8 : Liste des risques identifiés par commune (Source : DDRM 36)

3.2.2.2 Arrêtés de catastrophes naturelles

Le tableau suivant recense les arrêtés de catastrophe naturelle au droit du projet (Fontenay) et sur les communes voisines.

Commune	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	Inondations et coulées de boue	Tempête
Fontenay	1	1	1
Liniez	1	1	1
La Chapelle-Saint-Laurian	1	1	1

Tableau 9 : Liste des arrêtés portant reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle (Données : <http://www.georisques.gouv.fr/>)

3.2.2.3 Inondations

D'après le site Géorisques, ce risque est directement lié aux précipitations et conditions météo-marines :

- Orages d'été qui provoquent des pluies violentes et localisées ;
- Perturbations orageuses d'automne, notamment sur la façade méditerranéenne, mais dont les effets peuvent se faire ressentir dans toute la moitié sud du pays ;
- Pluies océaniques qui occasionnent des crues en hiver et au printemps, surtout dans le nord et l'ouest de la France ;
- Fonte brutale des neiges au rôle parfois amplificateur, en particulier si des pluies prolongées et intenses interviennent alors ;
- Pluviométrie importante durant plusieurs mois voire plusieurs années successives
- Basses pressions atmosphériques et fort vent d'afflux.

Les bassins versants et cellules hydrosédimentaires, selon leur taille, peuvent y répondre par des crues, des ruissellements, des remontées de nappe ou des submersions de divers types en fonction de l'intensité, de la durée et de la répartition de ces précipitations. Le risque peut être amplifié selon la pente du bassin versant et sa couverture végétale qui accélèrent ou ralentissent les écoulements, selon les capacités d'absorption et d'infiltration des sols (ce qui par ailleurs alimente les nappes souterraines) et surtout selon l'action de l'homme qui modifie les conditions d'écoulement en s'installant sur des zones particulièrement vulnérables. Des phénomènes particuliers, souvent difficilement prévisibles, peuvent aussi aggraver très fortement localement le niveau de risque, qu'ils soient naturels (débâcle glaciaire par exemple) ou anthropiques (rupture de digues, etc).

Inondation de plaine

La rivière sort de son lit lentement et occupe son lit moyen et éventuellement son lit majeur. La plaine peut être inondée pendant une période relativement longue car la faible pente ralentit l'évacuation de l'eau.

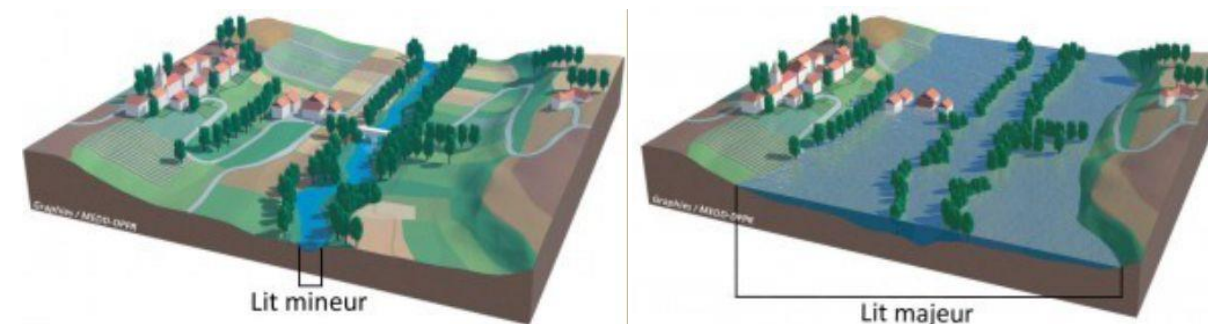


Figure 3 : Risque inondation de plaine (Source : Géorisques)

La sécurité des riverains est souvent compromise, en grande partie pour le non-respect des consignes ou par méconnaissance du risque. En parallèle, les conséquences économiques des zones inondées sont hautement significatives, puisque la durée des inondations peut dépasser les semaines, ce qui entraîne des dégâts matériels considérables pour les personnes, ainsi que des désordres sanitaires et publics coûteux pour la ville.

Les communes étudiées ne sont pas concernées par un Atlas de Zones Inondable (AZI). Le cours d'eau le plus proche concerné par un AZI est la rivière de la Théols, située à 20 km à l'est de la ZIP.

Inondation par remontée de nappes

Les nappes phréatiques sont dites « libres » lorsqu'aucune couche imperméable ne les sépare du sol. Elles sont alimentées par la pluie, dont une partie s'infiltré dans le sol et rejoint la nappe.

Lorsque l'eau de pluie atteint le sol, une partie est évaporée. Une seconde partie s'infiltré et est reprise plus ou moins vite par l'évaporation et par les plantes, une troisième s'infiltré plus profondément dans la nappe. Après avoir traversé les terrains contenant à la fois de l'eau et de l'air, qui constituent la zone non saturée (ZNS), elle atteint la nappe où les vides de roche ne contiennent plus que de l'eau, et qui constitue la zone saturée. On dit que la pluie recharge la nappe.

C'est durant la période hivernale que la recharge survient car : les précipitations sont les plus importantes, la température et l'évaporation sont faibles et la végétation est peu active et ne prélève pratiquement pas d'eau dans le sol.

A l'inverse durant l'été la recharge est faible ou nulle. Ainsi on observe que le niveau des nappes s'élève rapidement en automne et en hiver, jusqu'au milieu du printemps. Il décroît ensuite en été pour atteindre son minimum au début de l'automne. On appelle « battement de la nappe » la variation de son niveau au cours de l'année.

Si des éléments pluvieux exceptionnels surviennent et engendrent une recharge exceptionnelle, le niveau de la nappe peut atteindre la surface du sol. La zone non saturée est alors totalement envahie par l'eau lors de la montée du niveau de la nappe : c'est l'inondation par remontée de nappe.

On conçoit que plus la zone non saturée est mince, plus l'apparition d'un tel phénomène est probable.

On appelle zone « sensible aux remontées de nappes » un secteur dont les caractéristiques d'épaisseur de la Zone Non Saturée, et de l'amplitude du battement de la nappe superficielle, sont telles qu'elles peuvent déterminer une émergence de la nappe au niveau du sol, ou une inondation des sous-sols à quelques mètres sous la surface du sol.

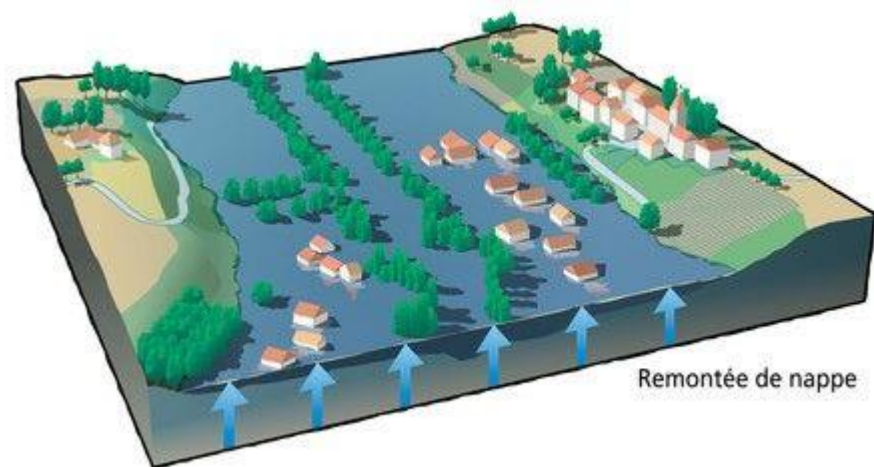
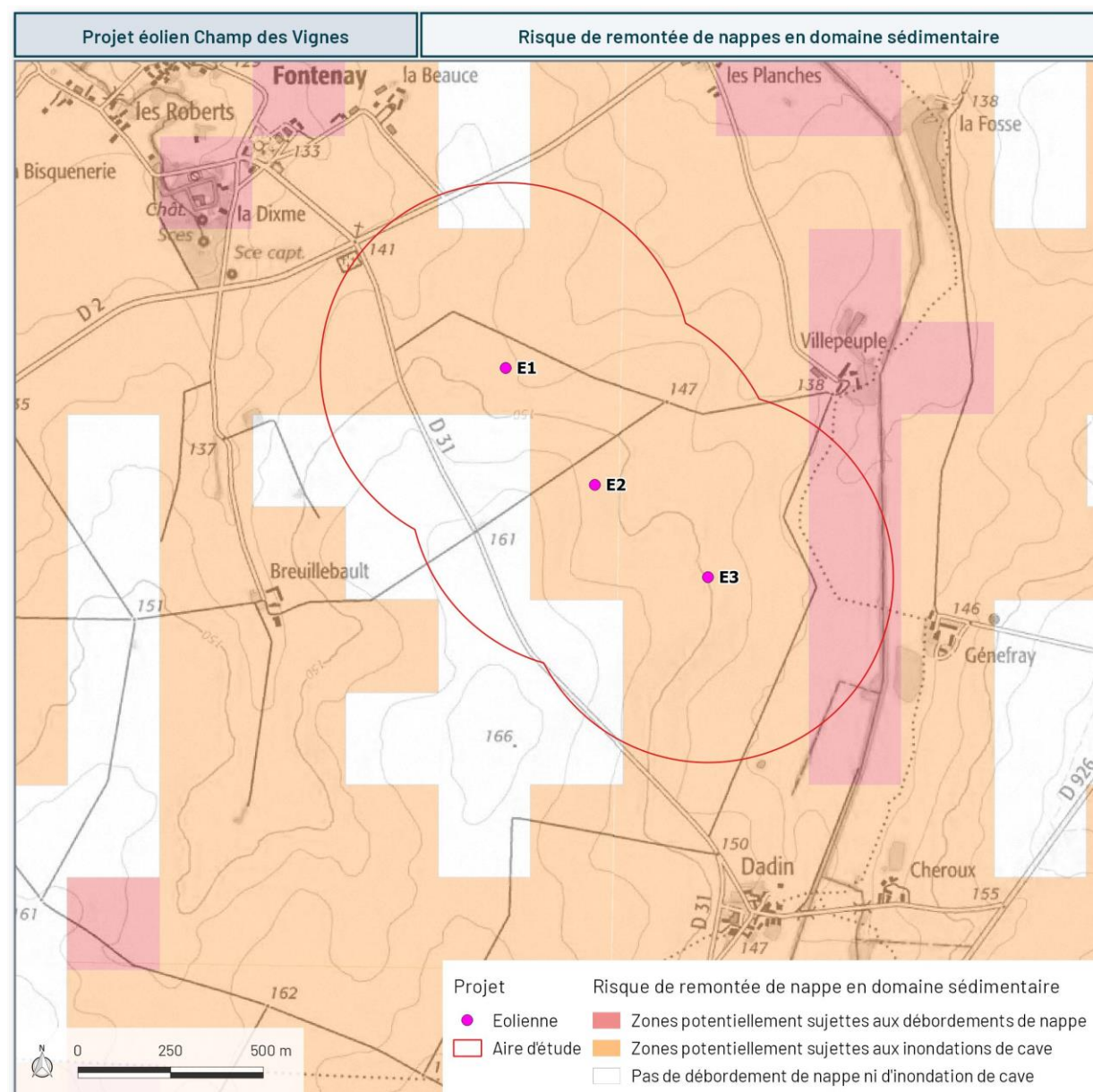


Figure 4 : Risque de remontée de nappe (Source : Géorisques)

Le projet est situé sur des zones potentiellement sujettes au risque d'inondation par remontée des nappes.

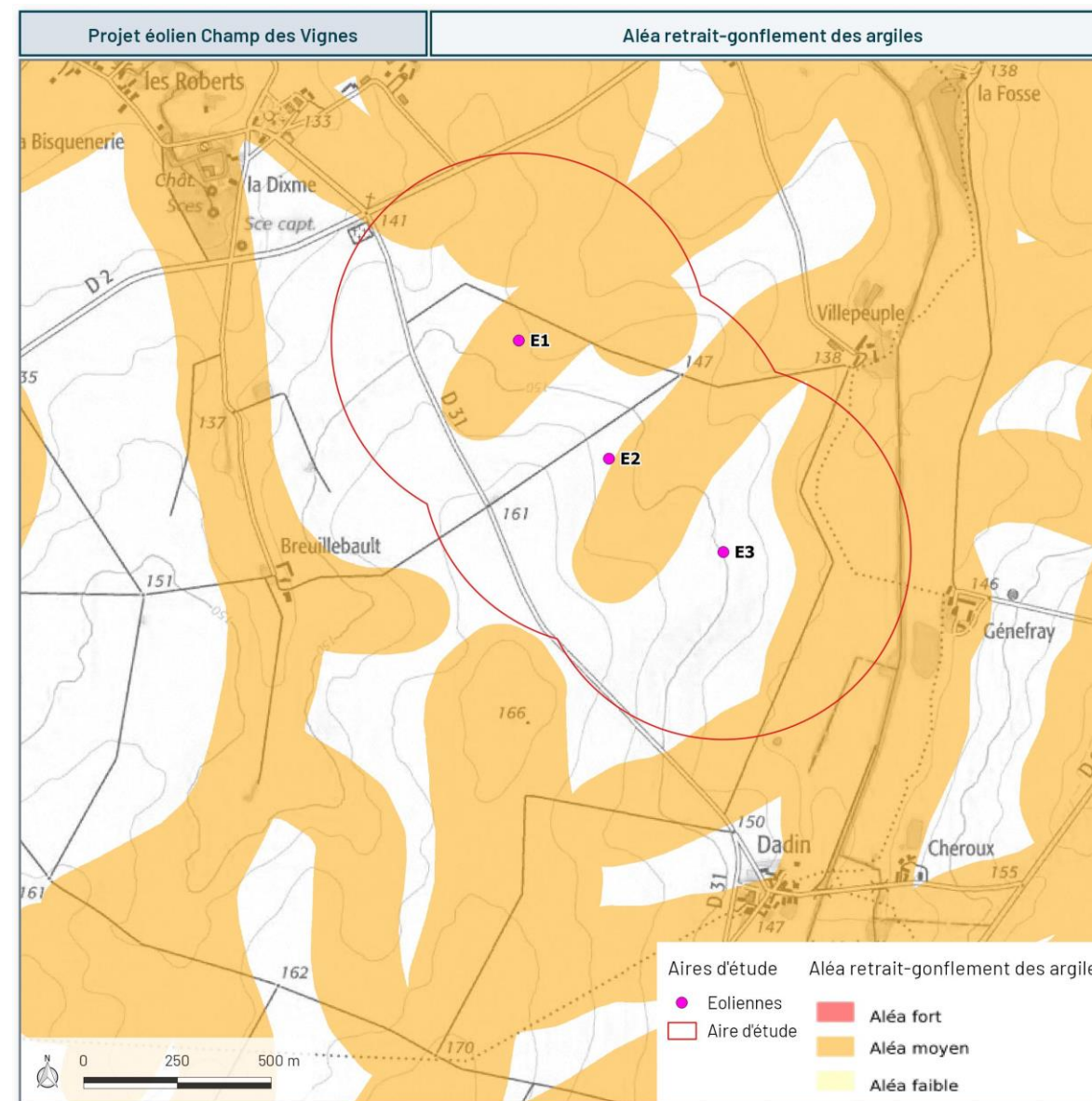


Carte 4 : Carte de remontée des nappes (Données : BRGM)

3.2.2.4 Mouvements de terrain

Un mouvement de terrain est un phénomène qui se caractérise par un déplacement, plus ou moins brutal, du sol ou du sous-sol sous l'effet d'influences naturelles (agent d'érosion, pesanteur...) ou anthropiques (exploitation de matériaux, déboisement, terrassement...). Il se manifeste de diverses manières, lentes ou rapides, en fonction des mécanismes initiateurs, des matériaux considérés et de leur structure. Les mouvements lents et continus concernent les tassements et les affaissements de sols, le retrait-gonflement des argiles et les glissements de terrain le long d'une pente. Les mouvements rapides et discontinus concernent quant à eux les effondrements de cavités souterraines naturelles ou artificielles (carrières et ouvrages souterrains), écroulements et les chutes de blocs, coulées boueuses et torrentielles, ainsi que l'érosion de berges.

L'aléa retrait-gonflement des argiles sur la zone est considéré comme moyen à nul au droit de la zone d'implantation.



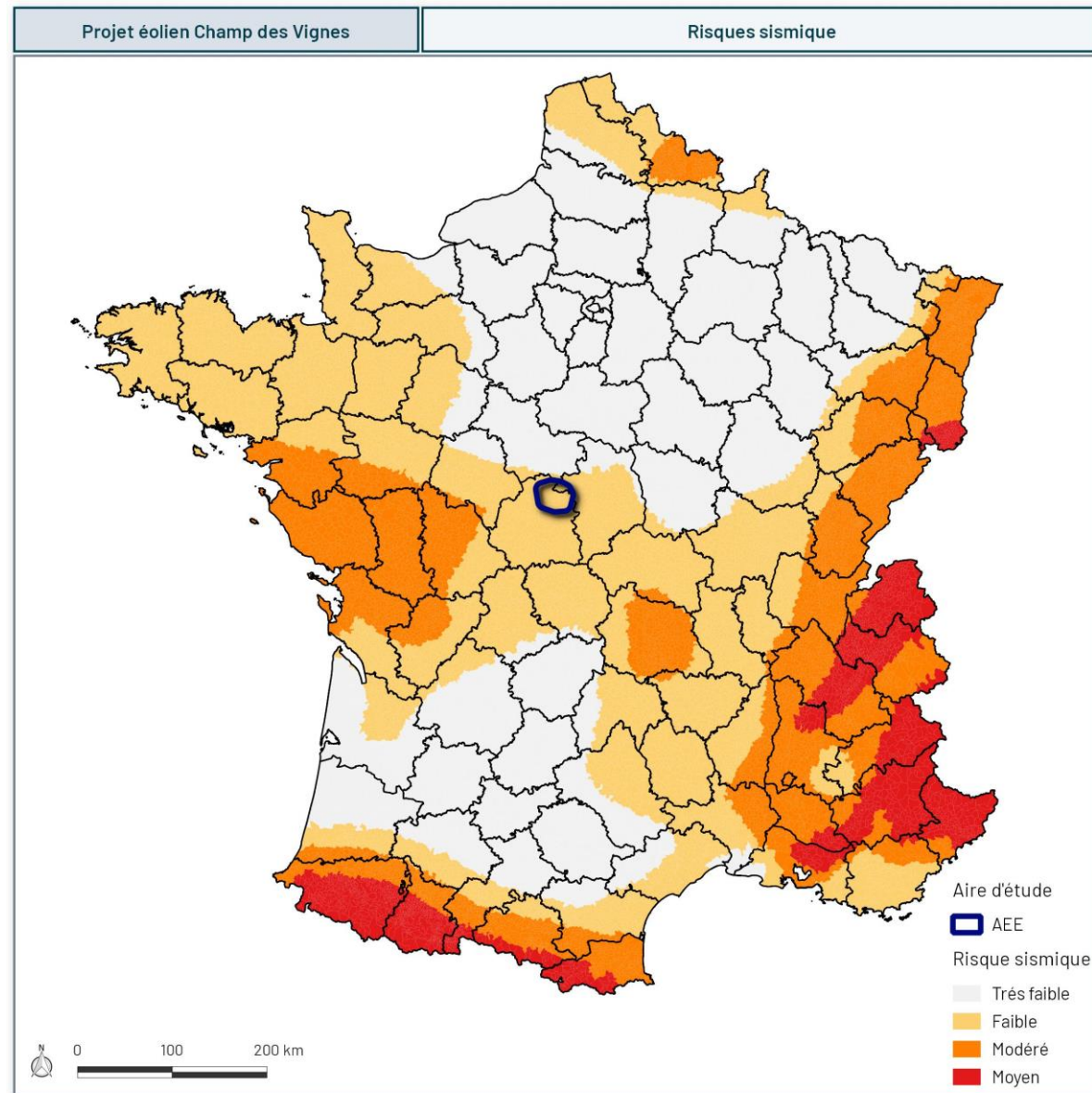
Carte 5 : Carte du risque de retrait-gonflement des argiles (Données : BRGM)

Au sein de l'aire d'étude et à proximité, les communes étudiées n'ont pas fait l'objet d'éboulement ou affaissement de terrain d'après le DDRM. Aucun Plan de Prévention des Risques Mouvement de Terrain n'est adopté sur ces communes. La consultation de la base de données des cavités souterraines du BRGM n'a en outre pas permis de mettre en évidence la présence de cavité dans l'aire d'étude.

3.2.2.5 Sismicité

Un séisme ou tremblement de terre correspond à une fracturation des roches en profondeur, le long d'une faille généralement préexistante. Cette rupture s'accompagne d'une libération soudaine d'une grande quantité d'énergie. Différents types d'ondes sismiques rayonnent à partir du foyer, point où débute la fracturation. Elles se traduisent en surface par des vibrations du sol. L'intensité, observée en surface, dépendra étroitement de ces deux paramètres (profondeur et magnitude) et de la distance à l'épicentre. La France dispose d'un zonage sismique divisant le territoire national en cinq zones de sismicité croissante :

- Une zone de sismicité 1 (très faible) où il n'y a pas de prescription parasismique particulière pour les ouvrages « à risque normal » ;
- Quatre zones de sismicité 2 à 5, où les règles de construction parasismique sont applicables aux bâtiments.



Carte 6 : Zonage sismique de la France

Toutes les communes étudiées sont en zone de sismicité 2 où l'aléa sismique est qualifié de faible.

3.2.2.6 Feu de forêt et de culture

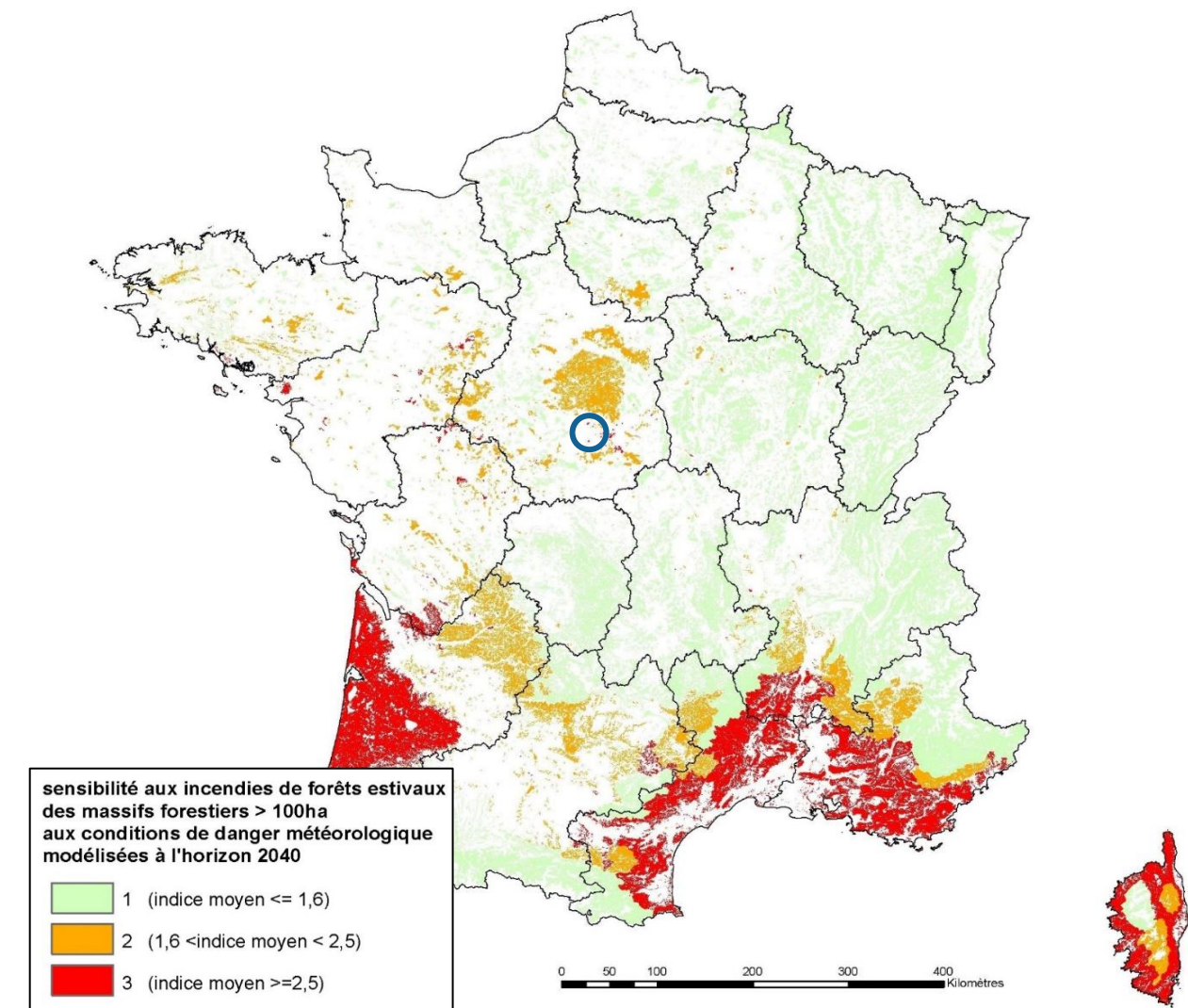
Définition

On définit le feu de forêt comme un incendie qui a atteint une formation forestière ou sub-forestière (friches - landes) dont la surface, d'un seul tenant, est supérieure à 1 hectare. Le DDRM ne liste pas les communes comme étant à risque. On note qu'aucun boisement n'est présent dans l'AEI ou au sein de la ZIP. Les conditions climatiques rencontrées dans l'Indre font que le risque apparaît faible au droit de l'aire d'étude.

Un incendie de culture est un incendie qui peut se déclencher dans les parcelles agricoles plantées de cultures facilement inflammables telles que les céréales à paille (blé, orge, ...). Ces feux de champs se déclenchent en été. Ils peuvent se produire lorsque que :

- la culture est sur pieds,
- la culture a été moissonnée et qu'elle est en attente de pressage,
- la paille est pressée ou que la culture est à l'état de chaume.

Les communes ne sont pas répertoriées dans les zones à risque feu de culture dans le DDRM. Le risque n'est pas nul puisque la zone est composée de cultures. Cependant du fait des températures peu extrêmes, le risque n'est pas considéré comme majeur. On note également que les mâts d'éoliennes sont composés de matériaux inertes (acier ou béton) peu sensibles aux incendies.



source des données : Inventaire Forestier National, Institut Géographique National, Agence Européenne de l'Environnement, Météo-France

Carte 7 : Carte de sensibilité aux incendies de forêt estivaux (Source : Météo France & ONF)

Eoliennes Enercon

Les éoliennes installées sont de type Enercon. Elles présentent un système de sécurité avancé et sont parmi les plus fiables du marché. Elles comportent notamment un système de surveillance à l'aide de capteurs installés sur l'éolienne, un système parafoudre et un système « tempête ». Il est également prévu que la maintenance du parc sera assurée par des techniciens de la société Enercon. L'exploitation et la maintenance des éoliennes sont assurées par du personnel qualifié et formé régulièrement suivant les consignes préalablement définies dans les manuels rédigés par le constructeur lui-même.

Au titre de la solidité intrinsèque de la machine et de son adéquation aux conditions du site du projet, le référentiel de conception adopté est celui défini par les normes IEC 61400-1 et IEC 61400-24. De même, les installations électriques situées à l'intérieur de la machine, dans le réseau de câbles souterrains et au niveau du poste de livraison sont conformes aux normes en vigueur et, en particulier aux normes NFC 15-100 (réseau basse tension), NFC 13-100 (poste de livraison) et NFC 13-200 (réseau moyenne tension ou HTA). L'ensemble des certifications fournies par le constructeur garantit que tous les composants de l'éolienne sont conçus de manière à résister à des conditions bien plus extrêmes que celles qui sont observées sur le site d'implantation du projet.

Par conséquent, les risques du projet Champ des Vignes sur la santé et la sécurité sont maîtrisés.

3.2.2.7 Aléas climatiques

Foudre

Afin de mesurer l'impact de la foudre, l'indice utilisé au niveau français est celui de la densité de foudroiement (Ng). Ce chiffre présente un nombre de coups de foudre par kilomètre carré et par an. Le département de l'Indre a une densité de foudroiement Ng 1,7 (1,7 impacts/km²/an), inférieure à la moyenne nationale (2 Ng).

Le niveau kéraunique (Nk), nombre de jours d'orages où le tonnerre est entendu dans une zone donnée, est également utilisé. Dans l'Indre, on dénombre moins de 25 jours d'orage chaque année, le département est donc dans une zone faiblement orageuse de France.

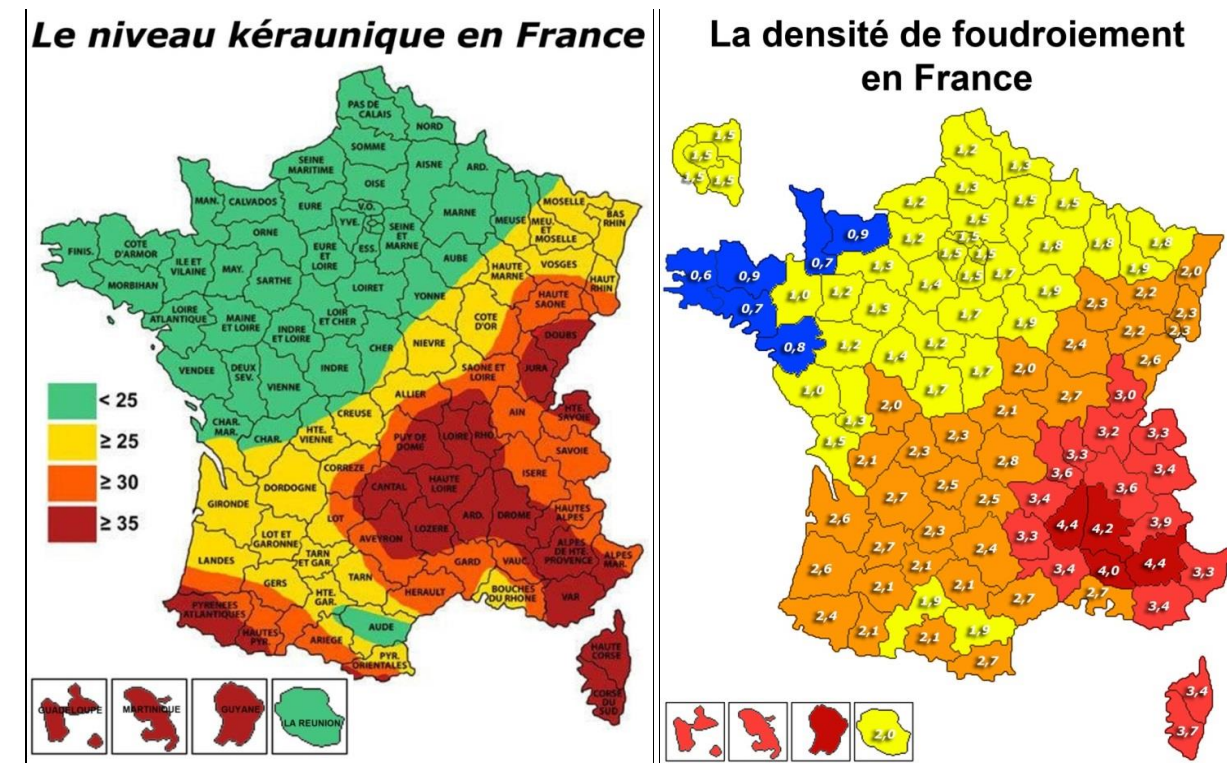


Figure 5 : Carte du niveau kéraunique et de la densité de foudroiement en France (Source : paratonnerres.fr)

Tempêtes et vents violents

Une tempête correspond à l'évolution d'une perturbation atmosphérique, ou dépression, le long de laquelle s'affrontent deux masses d'air aux caractéristiques distinctes (température, teneur en eau). De cette confrontation naissent notamment des vents pouvant être très violents. On parle de tempête lorsque les vents dépassent 89 km/h (soit 48 nœuds, degré 10 de l'échelle de Beaufort). Les tornades sont considérées comme un type particulier de manifestation des tempêtes, singularisé notamment par une durée de vie limitée et par une aire géographique touchée minime par rapport aux tempêtes classiques. Ces phénomènes localisés peuvent toutefois avoir des effets dévastateurs, compte tenu en particulier de la force des vents induits (vitesse maximale de l'ordre de 450 km/h).

Les communes étudiées sont exposées au risque tempête d'après les DDRM. D'après les relevés météorologiques effectués à la station de Bourges, la rafale maximale a été enregistrée à plus de 122 km/h en décembre 1999. **Les aérogénérateurs devront donc tenir compte des conditions de vent connues sur le site et être adaptés à ces dernières.**

3.3 ENVIRONNEMENT MATERIEL

3.3.1 Voies de communication

L'étude de dangers identifie l'ensemble des réseaux de communication présents dans les limites de la zone d'étude :

- Transport routier (routes, autoroutes, ouvrages d'art, etc.)
- Transport ferroviaire (voies de chemin de fer, gares, passages à niveau, etc.)
- Transport fluvial (cours d'eau navigables, canaux, écluses, etc.)
- Transport aérien (aéroports ou aérodromes, servitudes aéronautiques civiles et militaires, etc.)

Pour chacune des voies de communication identifiée dans la zone d'étude, il est précisé la distance minimale par rapport à chaque éolienne, ainsi que sa caractérisation et le trafic journalier. Une distinction sera faite entre les routes structurantes (trafic supérieur à 2000 véhicules par jour) et les routes non structurantes.

Type de transport	Voie	Distance minimale à l'installation	Caractérisation	Traffic journalier
Routier	RD31	271 m	Voie goudronnée	Route non structurante (comptages routiers inférieurs à 150 véhicules/jour)
	RD2	475 m	Voie goudronnée	Route non structurante (comptages routiers inférieurs à 250 véhicules/jour)
	Voie communale n°5 (VC5)	491 m	Voie goudronnée	Route non structurante (aucun comptage)

Tableau 10: Distances minimales des éoliennes aux voies de communication

A l'exception de routes et de chemins non goudronnés, aucune infrastructure de communication n'est recensée.

3.3.2 Réseaux publics et privés

L'étude de dangers recense les principales installations publiques **non enterrées** présentes dans les limites de la zone d'étude :

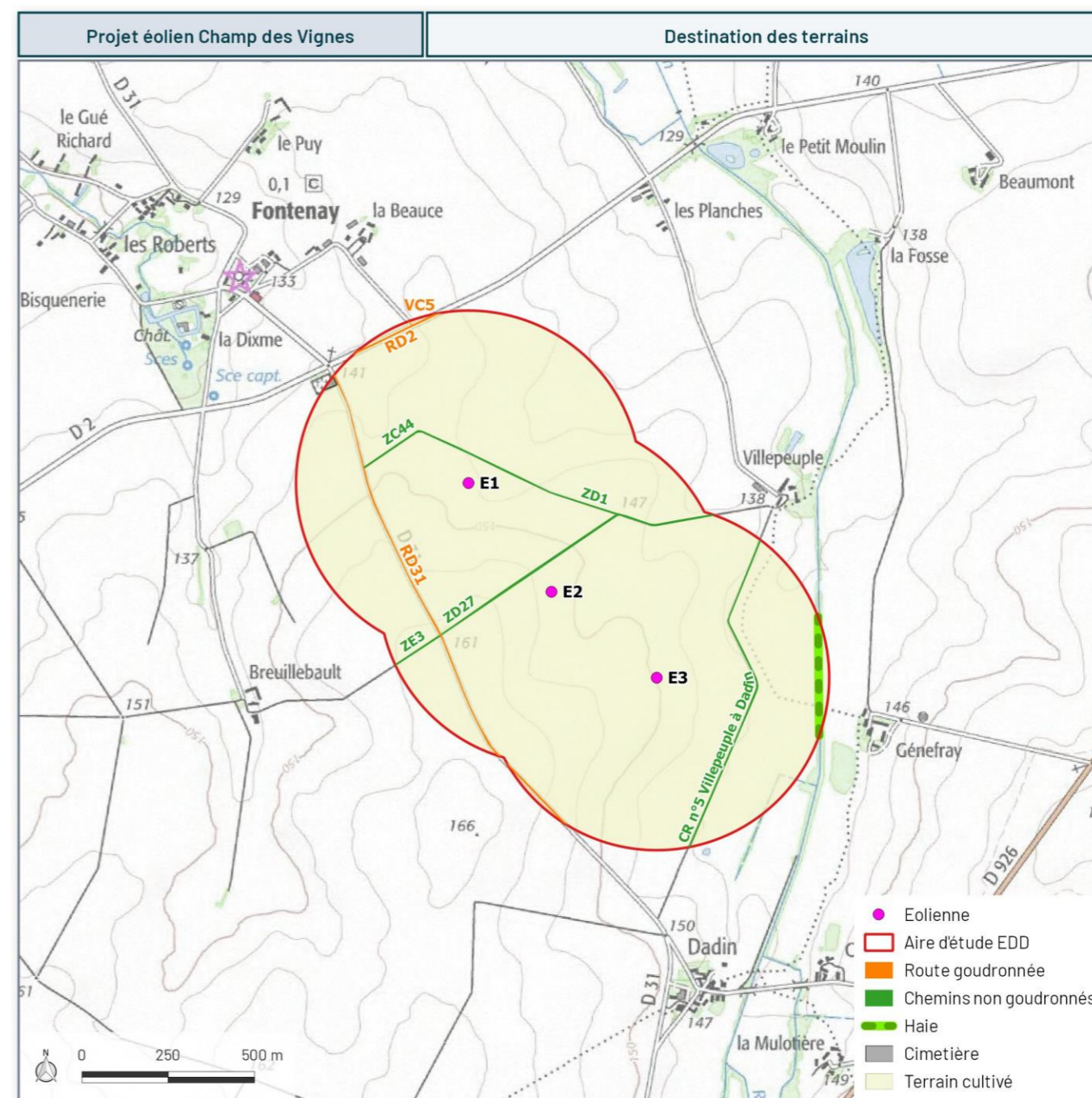
- Transport d'électricité (lignes électriques haute et très haute tension, postes électriques)
- Canalisations de transport (gaz combustibles, hydrocarbures liquides ou liquéfiés et produits chimiques)
- Réseaux d'assainissement (stations d'épuration)
- Réseaux d'alimentation en eau potable (captages AEP, zones de protection des captages)

Aucun réseau non enterré n'est présent dans l'aire d'étude.

3.3.3 Autres ouvrages publics

Aucun ouvrage public n'a été répertorié au sein de l'aire d'étude.

3.4 CARTOGRAPHIE DE SYNTHÈSE

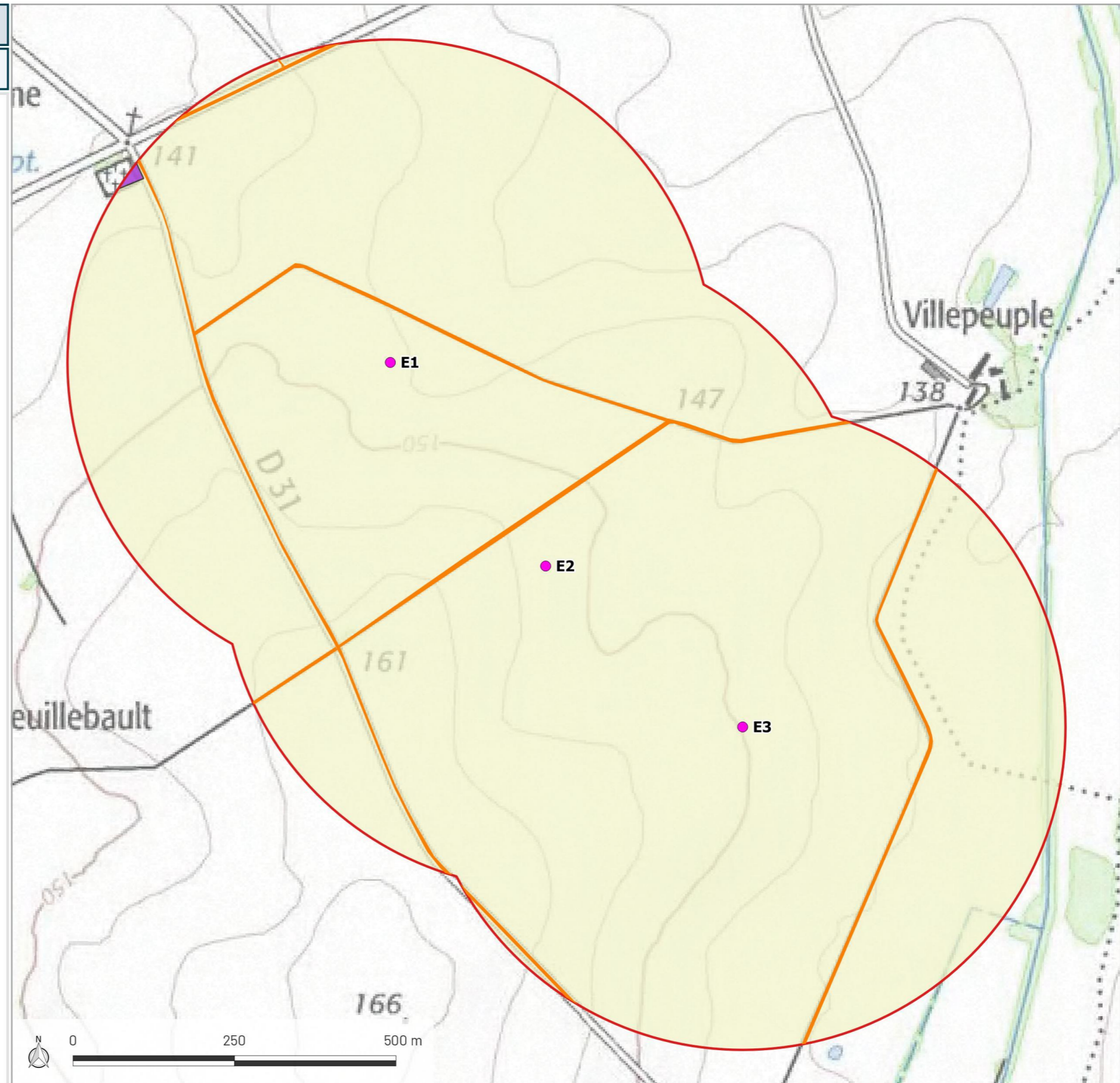


Carte 8: Cartographie de synthèse

Projet éolien Champ des Vignes

Classification des terrains dans l'aire d'étude

- Eolienne
- Aire d'étude
- Terrain non aménagé (1 pers./100 ha)
- Terrain aménagé peu fréquenté (1 pers./10 ha)
- Terrains aménagés et potentiellement fréquentés (10 pers. / ha)



Carte 9 : Classification des terrains dans l'aire d'étude

4 DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

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

4.1 CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION

4.1.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien

Un parc éolien est une centrale de production d'électricité à partir de l'énergie du vent. Il est composé de plusieurs aérogénérateurs et de leurs annexes (cf. schéma du raccordement électrique au paragraphe 4.3.1) :

- Plusieurs éoliennes fixées sur une fondation adaptée, accompagnée d'une aire stabilisée appelée « plateforme » ou « aire de grutage »
- Un réseau de câbles électriques enterrés permettant d'évacuer l'électricité produite par chaque éolienne vers le poste de livraison électrique (appelé « réseau inter-éolien »)
- Un poste de livraison électrique, concentrant l'électricité des éoliennes 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)
- Un réseau de câbles enterrés permettant d'évacuer l'électricité regroupée au(x) poste(s) de livraison vers le poste source (appelé « réseau externe ») et appartenant le plus souvent au gestionnaire du réseau de distribution d'électricité)
- Un réseau de chemins d'accès
- Éventuellement des éléments annexes type mât de mesure de vent, aire d'accueil du public, aire de stationnement, etc.

4.1.1.1 Eléments constitutifs d'un aérogénérateur

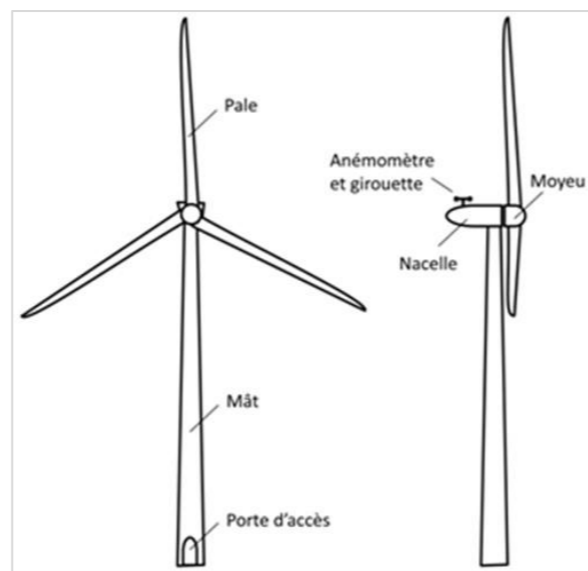
Au sens de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 22 juin 2020 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement, les aérogénérateurs (ou éoliennes) sont définis comme un dispositif mécanique destiné à convertir l'énergie du vent en électricité, composé des principaux éléments suivants : un mât, une nacelle, le rotor auquel sont fixées les pales, ainsi que, le cas échéant, un transformateur.

Le mat

Le mât est composé de plusieurs tronçons en acier et en béton (mât hybride) ou tout acier selon le modèle. Dans la plupart des éoliennes, il abrite le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique.

Le rotor

Le rotor de l'éolienne est équipé de trois pales en matière composite (résine époxy) renforcée de fibres de verre. La forme des pales est déterminante pour le rendement de l'éolienne et son comportement sonore.



À l'extérieur, les pales du rotor sont protégées des intempéries par un revêtement de surface (« Gel Coat »). Ce revêtement à base de polyuréthane est robuste, très résistant à l'abrasion, aux facteurs chimiques et aux rayons du soleil.

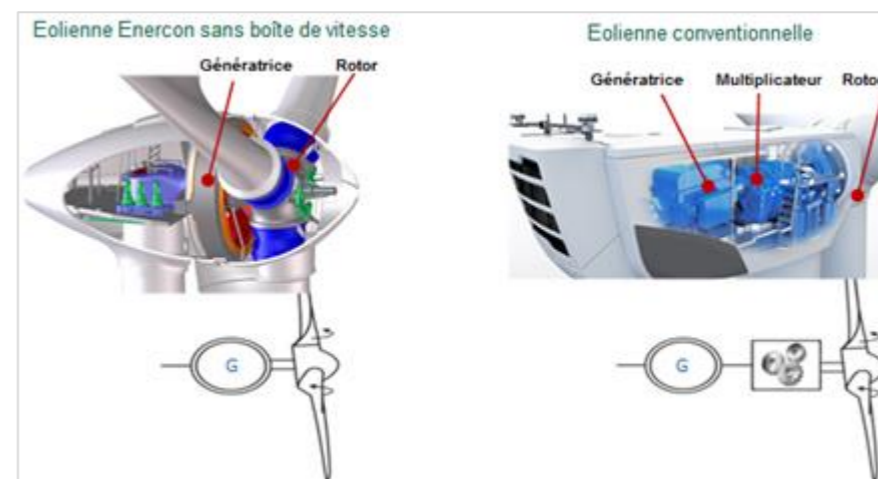
Les pales de l'éolienne sont conçues pour fonctionner à angle et à vitesse variables. Le réglage d'angle individuel de chaque pale du rotor est assuré par trois systèmes indépendants et commandés par microprocesseurs. L'angle de chaque pale est surveillé en continu par une mesure d'angle des pales, et les trois angles sont synchronisés entre eux. Ce principe permet d'ajuster rapidement et avec précision l'angle des pales aux conditions du vent (ce qui limite la vitesse du rotor et la force engendrée par le vent). La puissance fournie par l'éolienne est ainsi limitée exactement à la puissance nominale, même pour des courtes durées.

L'inclinaison des pales du rotor en position dite de drapeau stoppe le rotor de manière aérodynamique, sans que l'arbre d'entraînement ne subisse les fortes contraintes occasionnées par l'action d'un frein mécanique.

La nacelle

Elle abrite plusieurs éléments fonctionnels :

- le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique. La partie rotative du générateur annulaire ENERCON et le rotor forment une unité. Ces pièces sont fixées directement sur le moyeu, de sorte qu'elles tournent à la même vitesse de rotation (vitesse lente). Grâce à l'absence de boîte de vitesse et d'autres pièces à grande vitesse de rotation, les pertes d'énergie entre le rotor et le générateur, les bruits émis, la consommation d'huile à engrenages et l'usure mécanique se trouvent considérablement réduits. En raison de la faible vitesse de rotation et de la grande section transversale du générateur, le niveau de température reste relativement bas en service et ne subit que de faibles variations. De faibles fluctuations de température pendant le fonctionnement et des variations de charges relativement rares réduisent les tensions mécaniques et le vieillissement des matériaux.



- le système de freinage mécanique ;
- le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent pour une production optimale d'énergie
- les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette),
- le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique.

4.1.1.2 Unité d'alimentation au réseau

Les éoliennes ENERCON disposent d'une technologie d'intégration intelligente au réseau. Elles répondent de manière exemplaire aux critères internationaux relatifs au raccordement en garantissant une injection fiable de la puissance produite, y compris dans des situations de fortes fluctuations de tension ou de fréquence.

Le générateur annulaire est connecté au système d'injection dans le réseau, qui se compose de redresseurs, d'une liaison en courant continu (DC link) et d'onduleurs. Pour garantir la compatibilité au réseau, la tension, l'intensité et la fréquence sont enregistrées en permanence au point de référence et transmises au système de contrôle de l'éolienne. Le point de référence se trouve côté basse tension en amont du transformateur de puissance.

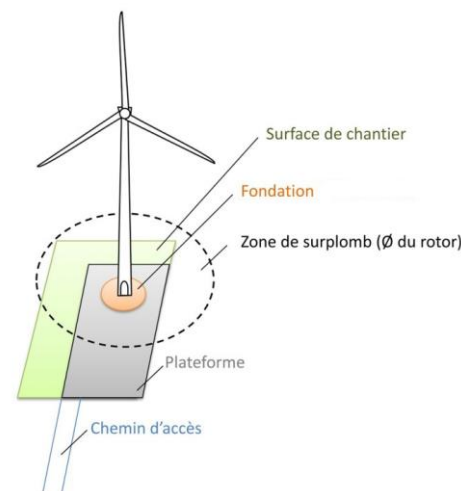
Cette connexion au réseau au travers de l'électronique de puissance permet d'injecter de façon optimale l'énergie produite sur le réseau. En effet, ce design permet de minimiser les interactions réciproques néfastes que peut avoir la production issue de la génératrice vers le réseau et celle du réseau vers la génératrice. D'un côté l'effet indésirable des rafales de vent sur le réseau est atténué par une injection contrôlée et propre (sans flickers ni harmoniques); de l'autre, les défauts ou court-circuit réseau ne créent que très peu de stress mécanique sur les parties tournantes de la machine.

L'énergie produite par les éoliennes est redirigée vers un poste de livraison qui est le nœud de raccordement de toutes les éoliennes avant que l'électricité ne soit injectée dans le réseau public. Le câblage des éoliennes jusqu'au poste de livraison correspond au réseau électrique interne. Il se fera en souterrain. Les tranchées nécessaires seront de 0,8 m de profondeur. En parallèle avec la pose des câbles il sera mis en place un réseau de fibre optique afin de permettre la surveillance et le contrôle du parc éolien.

4.1.1.3 Emprise 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**, dont les dimensions exactes sont calculées en fonction des aérogénérateurs et des propriétés du sol.
- **La zone de surplomb ou de survol** correspond à la surface au sol au-dessus de laquelle les pales sont situées, en considérant une rotation à 360° du rotor par rapport à l'axe du mât.
- **La plateforme** correspond à une surface permettant le positionnement de la grue destinée au montage et aux opérations de maintenance liées aux éoliennes. Sa taille varie en fonction des éoliennes choisies et de la configuration du site d'implantation.



4.1.1.4 Chemins d'accès

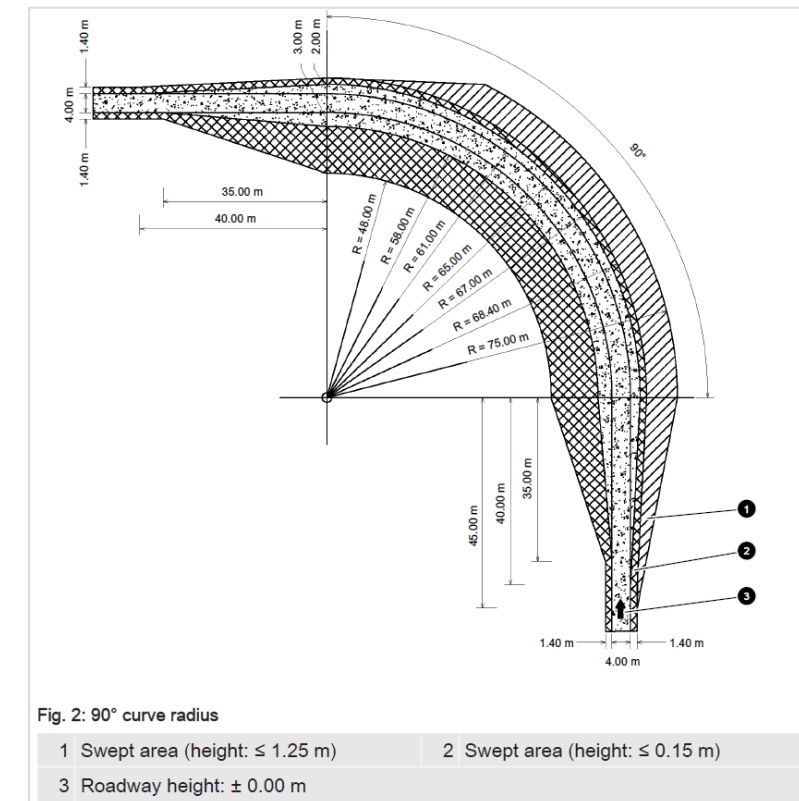
Pour accéder à chaque aérogénérateur, des pistes d'accès sont aménagées pour permettre aux véhicules d'accéder aux éoliennes aussi bien pour les opérations de constructions du parc éolien que pour les opérations de maintenance liées à l'exploitation du parc éolien :

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

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

4.1.1.5 Croisement et virage

En cas de croisements ou virage, il convient d'aménager la route en respectant des rayons de courbure et surface de survol en fonction de la taille des éoliennes. Dans l'exemple ci-dessous, les zones rayées doivent être exemptes d'obstacles, car elles seront franchies par les composants transportés (les pales des rotors, par exemple, dépassent de l'arrière du véhicule lors de leur transport).



4.1.1.6 Aires de grutage

L'aire de grutage garantit l'effectivité du déroulement de la phase de construction, conformément aux prescriptions de sécurité.

De ce fait, l'aire de grutage doit également être construite de manière durable et insensible au gel.

La construction de l'aire de grutage est réalisée en concertation avec un expert géotechnique afin de prouver sa capacité portante (ex. par sondages sous pression) et la documenter en conséquence.

Une surface parfaitement plane est établie, avec un revêtement de mélange de minéraux.

Le niveau altimétrique de l'aire de grutage doit être supérieur à celui du sol afin de garantir l'évacuation des eaux superficielles. Le niveau de l'aire de grutage peut être inférieur au niveau des fondations jusqu'à 200 mm maximum.

Pour évacuer les précipitations, de l'aire de grutage dispose d'un système de drainage

4.1.2 Activité de l'installation

L'activité principale du parc éolien Champ des Vignes est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur (mât + nacelle) supérieure à 50 m ; soit entre 130 et 135 m selon les modèles dans le cas présent. Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

4.1.3 Composition de l'installation

Le parc éolien Champ des Vignes est composé de trois aérogénérateurs et d'un poste de livraison. Deux modèles d'éoliennes sont envisagés dans le cadre du projet éolien : Enercon E-126 et Enercon E-138. Leurs caractéristiques sont rappelées dans le tableau ci-dessous :

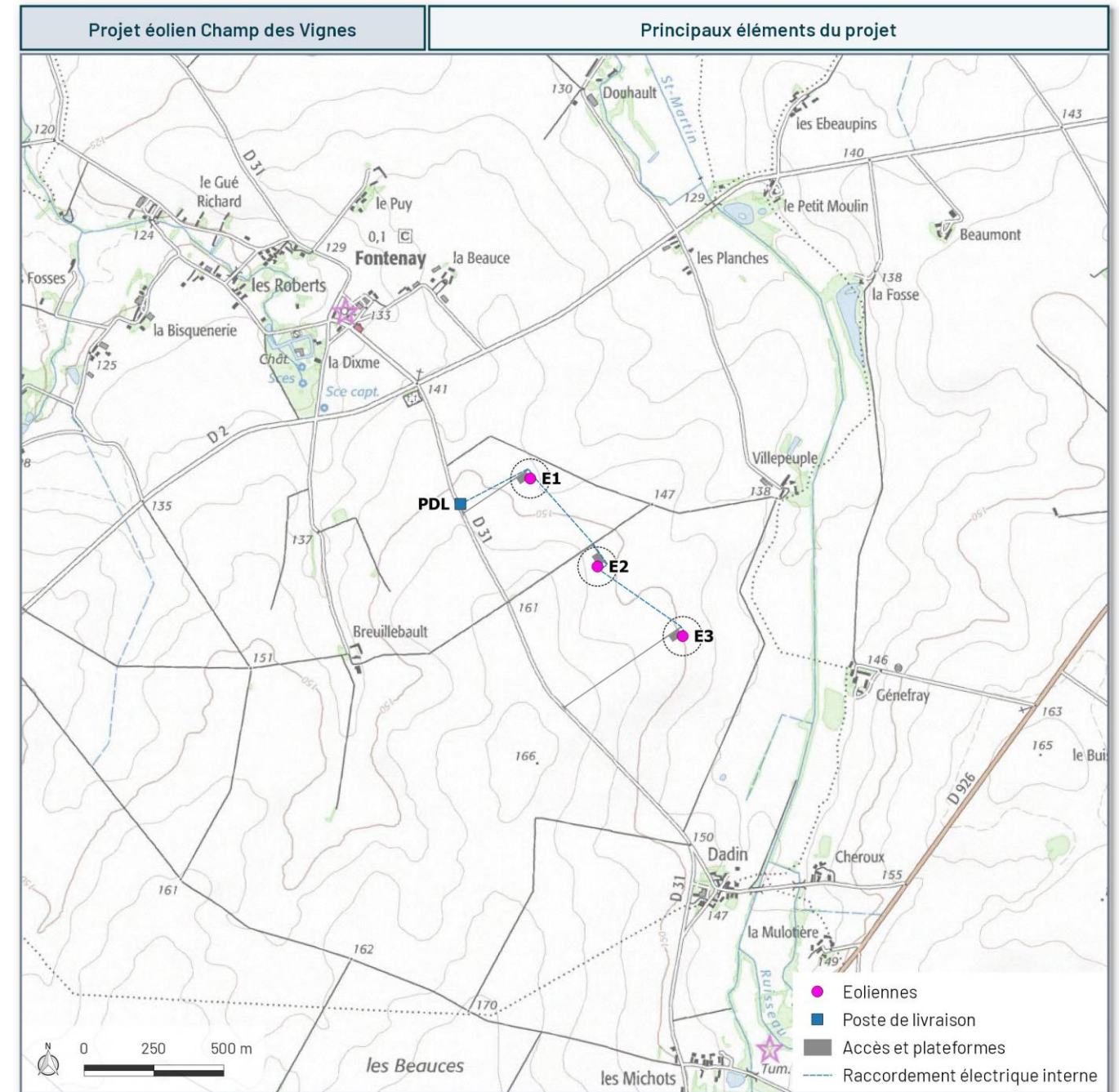
Caractéristiques	Enercon E-126	Enercon E-138
Hauteur totale	197 m	200 m
Diamètre du rotor	126 m	138 m
Hauteur du mât	135 m	130 m
Puissance unitaire de l'éolienne	3,0 MW	4,2 MW

Tableau 11 : Caractéristiques des modèles d'éoliennes étudiés (Source : Enercon)

Les coordonnées du centre de chacune des machines sont données dans les tableaux suivants.

Numéro de l'éolienne ou des postes de livraison	Cordonnées Lambert 93		Cordonnées WGS 84 (DMS)	
	X	Y	N	E
E1	605400	6662362	N47°03'17,22"	E001°45'13,42"
E2	605641	6662047	N47°03'07,13"	E001°45'25,06"
E3	605946	6661798	N47°02'59,21"	E001°45'39,71"
PdL 1	605150	6662271	N47°03'14,12"	E001°45'01,63"

Tableau 12 : Coordonnées géographiques des éoliennes et postes de livraison (Source : Enercon)



Carte 10 : Principaux éléments du projet éolien

4.2 FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

4.2.1 Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur

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

Les pales se mettent en mouvement lorsque **l'anémomètre** (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 7,2 km/h et que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique.

Les éoliennes ENERCON sont dépourvues de multiplicateur. La génératrice est entraînée directement par l'arbre « lent » lié au rotor et transforme alors l'énergie mécanique captée par les pales en énergie électrique.

La puissance électrique produite varie en fonction de la vitesse de rotation du rotor, l'éolienne fournit sa puissance maximale quand une certaine vitesse de vent est atteinte. Cette puissance est dite « nominale ».

Les éoliennes ENERCON disposent d'un système de contrôle spécial « Mode tempête » (Cf. Annexe 7.1 : Mode Tempête) leur permettant de fonctionner par vents violents. Sans ce mode tempête, les éoliennes s'arrêteraient quand la vitesse de vent atteint environ 22 m/s. Avec l'activation de ce mode, elles peuvent continuer à produire en mode bridé jusqu'à environ 32 m/s (en moyenne sur 12 s) selon le type de machine. Cela signifie que le système contrôle de l'éolienne va réduire la puissance de l'éolienne progressivement jusqu'à atteindre une puissance nulle lorsque la vitesse de rotation à vide est atteinte. Les éoliennes s'arrêtent également lorsque la vitesse de vent moyennées sur 10 min atteint 28 m/s. Ce système offre deux avantages : un gain de productible et une influence positive sur la stabilité du réseau électrique du fait que la puissance injectée est réduite graduellement évitant les passages brusques de pleine puissance à puissance nulle.

4.2.2 Sécurité de l'installation

4.2.2.1 Système de fermeture de la porte

Conformément à l'article 13 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 22 juin 2020, l'accès à l'intérieur de l'éolienne ne peut se faire que par la porte de service située au pied du mât. Cette porte est dotée d'un verrou à clé. Un dispositif manuel permet d'ouvrir et de fermer le verrou de la porte depuis l'intérieur, même si la clé se trouve à l'extérieur de la porte.

Des procédures claires de fermeture des portes ont été rédigées et communiquées à l'ensemble des intervenants sur le parc et des vérifications sont régulièrement menées. Ces portes sont toujours verrouillées en cas d'absence de personnel dans la machine ou le poste. Le personnel verrouille également la porte dès qu'il effectue des opérations qui font sortir cette dernière de son champ de vision (montée dans l'éolienne, travail dans le poste uniquement ...).

L'ouverture de la porte de l'éolienne enclenche l'allumage automatique des éclairages de l'éolienne.

4.2.3 Protection incendie

Tous les composants mécaniques et électriques de l'éolienne dans lesquels un incendie pourrait potentiellement se déclencher en raison d'une éventuelle surchauffe ou de court-circuit, sont continuellement surveillés par des capteurs lors du fonctionnement, et cela en premier lieu afin de s'assurer de leur bon fonctionnement. Si le système de commande détecte un état non autorisé, l'éolienne est stoppée ou continue de fonctionner mais avec une puissance réduite.

Le choix des matériaux est également un aspect clé de la protection incendie, par la conception en matériaux ignifuges, difficilement, ou non inflammables pour certains composants. En outre, la technologie Enercon sans boîte de vitesse permet également de réduire le risque d'incendie provoqué par frottement mécanique.

Toutes les éoliennes Enercon sont équipées de système de détection incendie et d'extincteurs. On dénombre notamment 1 capteur optique de fumée dans le mât et 2 capteurs optiques de fumée dans la nacelle. Les extincteurs sont positionnés de façon bien visible et facilement accessible. Les agents d'extinction sont appropriés aux risques à combattre. Ils font l'objet d'un contrôle régulier par un organisme agréé. Enfin de nombreux capteurs de températures sont présents à proximité de tous les composants critiques.

Par ailleurs, lors des interventions, les techniciens emmènent également un extincteur dans leur véhicule de service.

Lorsqu'un capteur de sécurité signale un défaut ou qu'un interrupteur correspondant se déclenche, l'éolienne est arrêtée automatiquement. Les détecteurs de fumée et/ou les capteurs de température émettent des signaux qui sont immédiatement transmis au Service ENERCON par le système de surveillance à distance SCADA qui alerte alors immédiatement l'exploitant, par un message SMS et/ou email, qui prévient alors les pompiers.

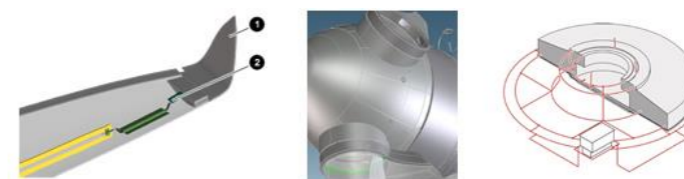
L'exploitant est en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant la détection de l'incendie. Il sera capable également de mettre en œuvre les procédures d'urgence dans un délai de 60 minutes.

Un plan d'évacuation permet au personnel d'évacuer l'éolienne en cas d'incendie. Le personnel dispose également d'une procédure d'urgence pour donner l'alerte vers les services de secours en cas d'incendie et est formé pour le faire.

4.2.3.1 Protection foudre (Cf Annexe 7.4 : Système de protection contre la foudre)

Les éoliennes ENERCON sont équipées d'un système parafoudre qui conduit le courant émanant de l'impact de foudre aux points de mise à la terre sans dommages ou sans perturbations des systèmes.

Le système de protection externe est conçu pour gérer un coup de foudre direct sur l'éolienne. La pointe de la pale est en aluminium moulé, le bord d'attaque et le bord de fuite de la pale du rotor sont équipés de profilés aluminium, reliés par un anneau en aluminium à la base de la pale. Un coup de foudre est absorbé en toute sécurité par ces profilés et le courant de foudre est dévié vers la terre entourant la base de l'éolienne.



La protection interne est conçue pour minimiser les dégâts et les interférences sur les équipements électriques et les composants électroniques à l'intérieur de l'éolienne grâce à une ligne équipotentielle, à une protection contre les surtensions et les perturbations électromagnétiques. Ainsi, les composants principaux tels que l'armoire de contrôle et la génératrice sont protégés par des parasurtenseurs. Toutes les autres platines possédant leur propre alimentation sont équipées de filtres à haute absorption. La partie télécom est protégée par des parasurtenseurs de lignes et une protection galvanique. Enfin, une liaison de communication télécom en fibre optique entre les machines permet une insensibilité à ces surtensions atmosphériques ou du réseau. De même, l'anémomètre est protégé et entouré d'un arceau.

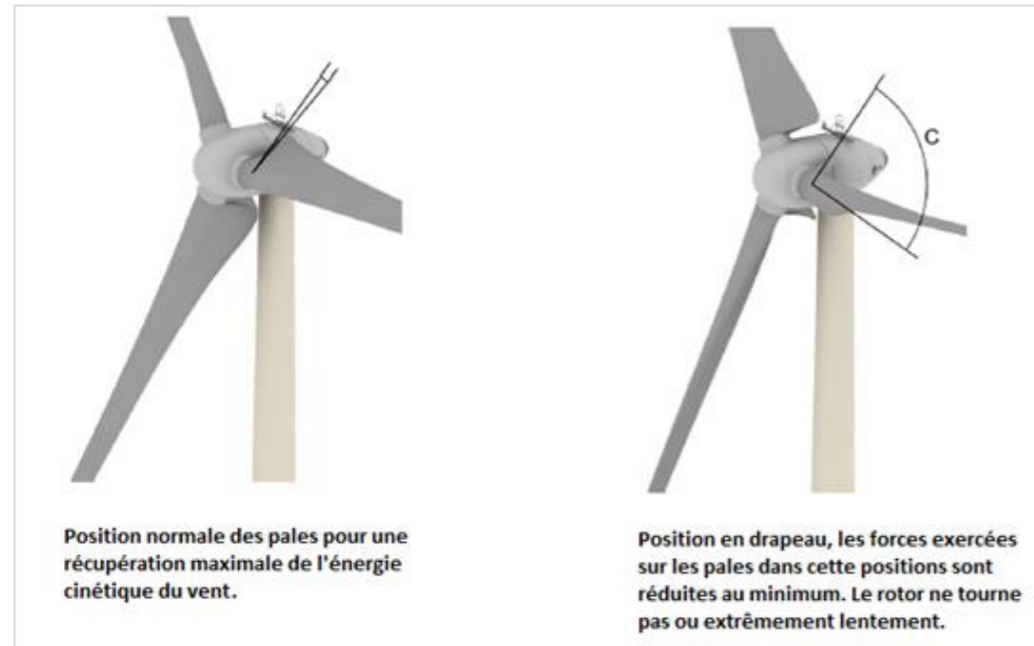
Le système de protection contre la foudre a été conçu pour atteindre un niveau de protection I selon la norme CEI 61400-24.

4.2.3.2 Système de freinage

Il existe plusieurs types de freinage :

Arrêt automatique

Les éoliennes sont freinées de façon aérodynamique grâce aux dispositifs d'inclinaison des pales (pitch) qui mettent les pales « en drapeau », c'est-à-dire dans la position offrant la moindre résistance au vent possible. Ce système de freinage permet à l'éolienne de passer de sa puissance nominale à une puissance nulle en 10 à 15 secondes sans que l'arbre d'entraînement ne subisse les fortes contraintes occasionnées par l'action d'un frein mécanique. Chaque pale dispose d'un pitch indépendant les uns des autres. La mise en drapeau d'une seule pale suffit à arrêter l'éolienne, ainsi même si l'un d'eux est défaillant, il est tout à fait possible d'arrêter l'éolienne.



L'éolienne s'arrête automatiquement en cas de défaut. Lorsque l'éolienne est à l'arrêt, le rotor n'est pas bloqué, cela permet de limiter les charges qui s'exercent sur le rotor.

Arrêt manuel

En cas d'arrêt manuel, via les boutons d'arrêt d'urgence, en plus du frein aérodynamique, le frein électro mécanique s'enclenche, ralentissant au maximum les mouvements résiduels du rotor. Il est alors possible de verrouiller le rotor grâce au verrouillage du rotor.

Le verrouillage du rotor est notamment actionné en cas de maintenance pour assurer la sécurité des techniciens.

4.2.3.3 Surveillance des principaux paramètres

Les éoliennes E126 et E138 sont dotée d'un grand nombre de capteurs (vitesse du rotor, températures, charges, vibrations, etc.). En cas d'anomalie, les alertes relatives au fonctionnement de la machine sont remontées automatiquement par le système SCADA des éoliennes à la coordination technique. Lorsque nécessaires, une intervention sur site du personnel ENERCON habilité est programmée.

Si l'exploitant en fait la demande, un SMS ou un courrier électronique lui est envoyé à chaque alerte générée par l'éolienne.

Il est précisé ici que l'ensemble des systèmes de surveillances et dispositifs de sécurité sont communs aux éoliennes Enercon et notamment aux éoliennes E126 et E138.

Survitesse

La machine possède 3 capteurs placés dans le support du rotor de la génératrice. Ce capteur est une masselotte montée sur ressort. Lorsque la force centrifuge du rotor est trop importante (cas de la survitesse), le déplacement de cette masselotte atteint un capteur situé en bout de course.

La détection de survitesse est alors enclenchée et les pales reviennent en position drapeau.

Le redémarrage de l'éolienne suite à un arrêt par action du système de détection de survitesse nécessite un réenclenchement manuel dans la nacelle, après identification des causes.

Les éoliennes ENERCON possèdent 2 fonctions redondantes pour gérer les régimes dits de survitesse.

- Une première fonction en opération normale de la machine : l'éolienne est équipée au niveau de son moyeu d'un codeur angulaire, qui permet de surveiller en permanence la vitesse de rotation du rotor par un capteur inductif. Le fonctionnement de l'éolienne est conçu de telle façon, qu'à partir d'une certaine vitesse de vent dite « vitesse de vent nominale », le rotor atteint sa vitesse de rotation nominale; l'éolienne produit alors à pleine puissance. Si la vitesse du rotor augmente brusquement - vitesse de rotation 15% au-dessus de la vitesse nominale -, s'enclenche alors un arrêt d'urgence du rotor pour éviter son emballement. Il s'agit d'un arrêt aérodynamique, qui consiste en la mise en drapeau des trois pâles via un retour sur batterie. L'arrêt aérodynamique correspond au mode d'arrêt le plus rapide possible sur la machine, et le retour sur batterie permet de s'affranchir de toute coupure potentielle du réseau. A l'issue de cet arrêt d'urgence du rotor qui donne lieu à un message d'erreur sur le dispositif de surveillance de la machine, l'éolienne redémarre automatiquement.
- Si la vitesse de rotation de la machine excède de 30% la vitesse de rotation nominale, c'est alors une fonction de sécurité qui prend le relais. Les pâles de l'éolienne sont chacune équipées d'un capteur mécanique à fonctionnement centrifuge - masselotte placée sur ressort. Sous l'action de la force centrifuge liée à un cas de survitesse, les ressorts des masselottes vont se comprimer et les masselottes vont alors venir appuyer sur un interrupteur situé en fin de course. Cette action enclenche l'arrêt d'urgence de la machine pour éviter l'emballement du rotor, sur le même principe que celui décrit plus haut - mise en drapeau des trois pâles via un retour sur batterie. Seule une intervention en machine peut permettre la remise en route de cette dernière, après ré-enclenchement manuel du capteur mécanique concerné dans le rotor, par un technicien.

Calibrage, contrôle et maintenance des systèmes de protection contre la survitesse

Lors de la fabrication, les capteurs mécaniques sont contrôlés et calibrés sur banc de test.

A la mise en service de l'éolienne :

- On effectue tout d'abord une vérification documentaire et visuelle de la conformité du pré-calibrage des capteurs mécaniques : on s'assure de la concordance entre vitesse de rotation de déclenchement réglée sur le capteur, et valeur cible pour le type d'éolienne considéré.
- Rotor à l'arrêt, le système complet de détection de survitesse et d'arrêt d'urgence est également contrôlé : le rotor est bloqué, le technicien rentre dans le rotor et appuie sur l'interrupteur de fin de course du capteur mécanique pour vérifier que la chaîne de sécurité fonctionne bien : retour sur batterie des moteurs d'entraînement des pâles et mise en drapeau des pâles. On s'assure notamment que la batterie débite suffisamment de courant pour permettre la mise en drapeau des pâles.

Tous les ans, dans le cadre de la maintenance « Vent », une vérification via un régime de survitesse réel est réalisée:

- Pour ce faire, la génératrice est coupée et n'a donc plus de couple résistant – le rotor peut alors s'emballer à partir d'une vitesse de vent suffisante (maintenance planifiée en fonction). Dans cette procédure, on désactive également le codeur angulaire pour éviter les arrêts dus à la fonction de survitesse en opération normale décrite plus haut.
- On vérifie alors que les capteurs centrifuges fonctionnent bien et déclenchent l'arrêt d'urgence du rotor à la vitesse prévue. Un recalibrage et un nouveau test sont effectués si ce n'est pas le cas. On s'assurera de tester un capteur différent lors de la maintenance suivante, en désactivant le capteur déjà testé.
- On s'assure également comme dans l'autre mode opératoire du bon fonctionnement de la chaîne de sécurité : retour sur batterie des moteurs d'entraînement des pâles et mise en drapeau des pâles. On vérifie notamment que la batterie débite suffisamment de courant pour permettre la mise en drapeau des pâles.

A noter qu'en plus des tests réalisés lors de la maintenance vent qui permettent de s'assurer du bon fonctionnement des batteries, une surveillance du niveau de tension des batteries est effectuée en continu par l'éolienne. Une alerte est donnée lorsque les tensions dépassent une valeur seuil, il est alors nécessaire de les changer.

Températures

La technologie Enercon sans boîte de vitesse permet de réduire le risque d'échauffement provoqué par frottement mécanique. En effet la génératrice ENERCON tourne environ à 20 tours par minute, alors que les génératrices entraînées par une boîte de vitesse tournent à environ 1500 tours par minute. De nombreux capteurs de températures sont présents à proximité de tous les composants critiques :

- Nacelle
- Génératrice
- Palier du moyeu
- Mât
- Extérieur de la machine
- Armoires électriques
- Transformateurs
- Ventilateurs et éléments chauffants

Des seuils d'acceptabilité de niveau de températures sont prédéfinis dans le système de contrôle de l'éolienne pour chacun des capteurs. En cas de dépassement de seuils, des codes d'état associés à des alarmes sont activés et peuvent, le cas échéant, entraîner un ralentissement de la machine (bridage préventif) voire un arrêt de la machine. Tout

phénomène anormal est ainsi répertorié, tracé via le système SCADA du parc, et donne lieu à des analyses et si nécessaire interventions de maintenance sur site afin de corriger les problèmes constatés.

Gestion à distance du fonctionnement des éoliennes (SCADA)

L'exploitation des éoliennes ne fait pas l'objet d'une présence permanente sur site. Des interventions sur site sont programmées pour les opérations de maintenance. Le fonctionnement du parc éolien Champ des Vignes est entièrement automatisé et contrôlé à distance depuis le centre de maintenance qui s'occupera du parc.

L'exploitation des éoliennes s'effectue grâce à un Automate Programmable Industriel (API) qui analyse en permanence les données en provenance des différents capteurs de l'installation et de l'environnement et qui contrôle les commandes en fonction des paramètres.

Sur un moniteur de contrôle placé au niveau du poste électrique de livraison, toutes les données d'exploitation peuvent être affichées et contrôlées, et des fonctions telles que le démarrage, l'arrêt peuvent être commandées.

De plus, les éoliennes sont équipées d'un système de contrôle et acquisition de données à distance des données, appelé système SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). La supervision peut s'effectuer à distance depuis un PC équipé d'un navigateur Internet et d'une connexion ADSL ou RNIS. Le SCADA constitue un terminal de dialogue entre l'automate et son système d'entrée/sortie, connecté en réseau au niveau des armoires de contrôle placées dans la nacelle et dans le pied de l'éolienne.

Chaque éolienne dispose de son propre SCADA relié lui-même à un SCADA central qui a pour objectif principal :

- De regrouper les informations des SCADAS des éoliennes ;
- De transmettre à toutes les éoliennes une information identique, en même temps, plutôt que de passer par chaque éolienne à chaque fois.

Ainsi en cas de dysfonctionnement (survitesse, échauffement) ou d'incident (incendie), l'exploitant est immédiatement informé et peut réagir.

Dans le cas d'un dysfonctionnement du système de SCADA central, le contrôle de commande des éoliennes à distance est maintenu puisque ces machines disposent d'un SCADA qui leur est propre. Le seul inconvénient est qu'il faut donner l'information à chacune des éoliennes du parc.

Dans le cas d'un dysfonctionnement du système SCADA propre à une éolienne, ce dernier entraîne l'arrêt immédiat de la machine.

Ainsi, en cas de défaillance éventuelle du système SCADA de commande à distance, le parc éolien est maintenu sous contrôle soit via le système SCADA propre à la machine, soit par l'arrêt automatique de la machine.

Les détails complémentaires du système SCADA sont donnés en Annexe 7.6 : SCADA Enercon

4.2.3.4 Système de détection du givre/glace

Dans certaines conditions météorologiques, les pales peuvent se recouvrir de glace, de givre ou d'une couche de neige. Ceci arrive lorsque l'air est très humide, en cas de pluie ou de neige et à des températures proches de 0°C.

Le système de contrôle commande de l'éolienne mesure, à l'aide de deux sondes de température indépendantes, la température de l'air sur la nacelle et en pied du mât, afin de détecter si les conditions sont propices à la formation de givre.

Les caractéristiques aérodynamiques des pales de rotor sont très sensibles aux modifications des contours et de la rugosité des profils de pale causées par le givre ou la glace. Le système de détection de givre/glace utilise la modification importante des caractéristiques de fonctionnement de l'éolienne (rapport vent/vitesse de rotation/puissance/angle de pale) en cas de formation de givre ou de glace sur les pales du rotor.

Lorsque la température dépasse +2 °C sur la nacelle, les rapports de fonctionnement spécifiques à l'éolienne (vent/puissance/angle des pales) sont identifiés comme étant des valeurs moyennes à long terme. Pour des températures inférieures à +2 °C (conditions de givre), les données de fonctionnement mesurées sont comparées aux valeurs moyennes à long terme.

Pour cela, une plage de tolérance, déterminée de manière empirique, est définie autour de la courbe de puissance de l'éolienne et de la courbe d'angle de pale. Celle-ci se base sur des simulations, des essais et plusieurs années d'expérience sur un grand nombre d'éoliennes de types variés. Si les données de fonctionnement concernant la puissance ou l'angle de pale sont hors de la plage de tolérance, l'éolienne est stoppée.

En cas de détection d'écarts de comportement de la machine, un compteur est incrémenté pour chaque mesure hors tolérance, à raison de 1 mesure par minute. Lorsque 30 mesures sont en dehors des tolérances, la machine s'arrête automatiquement pour détection de glace et envoi une alerte via le SCADA.

Les paramètres analysés par le système de sécurité sont :

- La vitesse de vent pour une puissance donnée. La détection, l'alerte et l'arrêt se font dès la sortie de la machine de ces tolérances ;
- La puissance produite, lorsque la machine fonctionne à sa puissance nominale.

Grâce à l'étroitesse de la plage de tolérance, la coupure a lieu généralement en moins d'une heure, avant que l'épaisseur de la couche de glace ne constitue un danger pour l'environnement de l'éolienne.

La documentation relative à ce système est fournie en ANNEXE 7.7.

4.2.3.5 Protection contre le risque électrique

Les installations électriques à l'intérieur de l'éolienne respectent les dispositions de la directive du 17 mai 2006. Les installations électriques extérieures à l'éolienne sont conformes aux normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NFC 13-100 (version de 2001) et NFC 13-200 (version de 2009). Ces installations sont entretenues et maintenues en bon état et sont contrôlées avant la mise en service industrielle puis à une fréquence annuelle, après leur installation ou leur modification par une personne compétente. La périodicité, l'objet et l'étendue des vérifications des installations électriques ainsi que le contenu des rapports relatifs auxdites vérifications sont fixés par l'arrêté du 10 octobre 2000

4.2.3.6 Protection contre le risque de fuite de liquide dans la nacelle

L'absence de multiplicateur réduit la quantité de liquide dans la nacelle (cf. Tableau des produits utilisés dans une éolienne) pour le détail des produits présents dans l'éolienne). Des rétentions sont prévues aux endroits les plus critiques, par exemple au niveau des moteurs de yaw à la limite entre la tour et la nacelle ou au niveau du transformateur situé en pied de tour.

4.2.3.7 Conception des éoliennes

Les éoliennes ENERCON sont conçues, fabriquées, installées et certifiées selon les exigences des normes IEC 61400-1 et IEC 61400-24, tel que requis par les articles 8 et 9 de l'arrêté du 26 Août 2011 modifié par arrêté du 22 juin 2020.

La société ENERCON tient à disposition de l'Inspection des Installations Classées les rapports des organismes compétents attestant de la conformité des aérogénérateurs aux normes précitées.

Les machines Enercon sont dites à « attaque directe » : c'est-à-dire que le moyeu du rotor et le générateur annulaire forment une unité solidaire. Ils sont accouplés l'un à l'autre directement sans boîte de vitesse intercalée (multiplicateur). Cette technologie permet de limiter l'usure mécanique et restreint les quantités d'huile présente dans la nacelle ; un multiplicateur contenant environ 5 000 L.

La génératrice utilisée est annulaire et à électro-éléments. Ainsi, aucune terre-rare n'est utilisée.

4.2.4 Opérations de maintenance de l'installation

Au moment de la mise en service des tests et inspection spécifiques sont réalisées :

- Tests de mise en service : essai de survitesse et tests électriques.
- Maintenance des 300 heures : La première maintenance après la mise en service a lieu après 300 heures. Au cours de cette opération, l'intégralité des opérations de maintenance précédemment mentionnées est effectuée.

Puis, les équipes de techniciens Enercon interviennent au moins une fois tous les 6 mois sur les éoliennes en maintenance préventive :

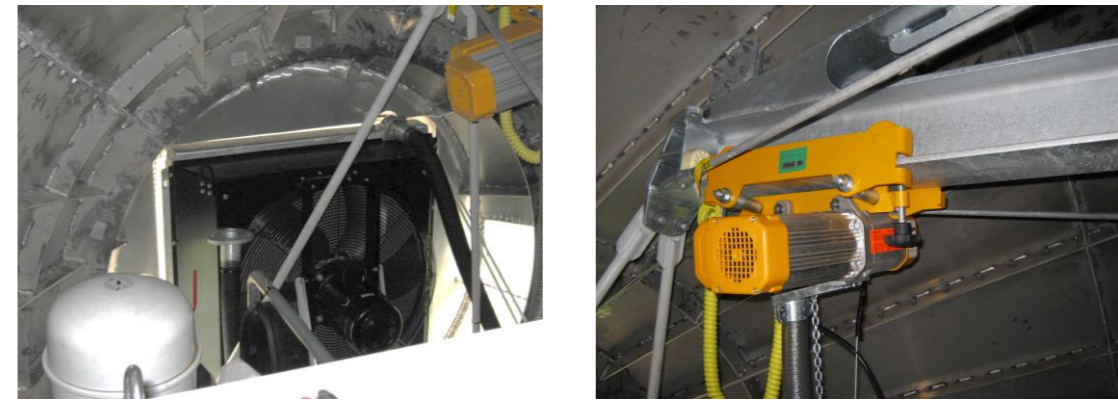
- 6 mois : graissage d'entretien
- 12 mois : maintenance principale (électrique et mécanique)
- 18 mois : graissage d'entretien
- 24 mois : maintenance principale (électrique et mécanique)
- Etc.
- 48 mois : maintenance quadriennale (électrique, mécanique et contrôles requis conformément à la DGUV V3)
- Etc.

Chaque éolienne dispose d'un carnet de maintenance dans lequel sont consignées les différentes opérations réalisées. De plus, une inspection visuelle de l'état général de l'éolienne est effectuée lors de chaque opération de maintenance.

Ces opérations de maintenance garantissent le suivi et la durabilité des éoliennes dans le temps, comme le montrent les photos ci-dessous.

Les photographies suivantes illustrent différentes autres parties de ces mêmes nacelles, neuve et ayant 15 ans de service.

Nacelle d'éolienne ENERCON neuve



Nacelle d'éolienne ENERCON en service depuis 15 ans



Nacelle d'éolienne ENERCON neuve

Nacelle d'éolienne ENERCON en service depuis 15 ans



4.2.4.1 Graissage d'entretien

Les opérations de graissage visent à s'assurer du bon état des pièces mobiles et d'assurer un appoint ou de vidanger les huiles et lubrifiants.

L'ensemble des points à vérifier est précisé dans le Plan de Maintenance relatif au graissage défini pour chaque modèle.

4.2.4.2 Maintenance principale

Lors de leurs interventions en machine, la vigilance des techniciens est axée sur les aspects suivants :

- Corrosion
- Dommages mécaniques (par ex. fissures, déformation, écaillage, câbles usés)
- Fuites (huile, eau)
- Unités incomplètes
- Encrassements / corps étrangers

Les opérations de maintenance électrique visent à s'assurer du bon fonctionnement de tous les équipements électriques actifs (transformateurs, éclairage, mises à jour logicielles, ...) et passifs (mises à la terre, ...). Les opérations de maintenance mécanique concernent les points suivants :

- Panneaux d'avertissement
- Pied du mât / local des armoires électriques
- Fondations
- Mât : Echelle de secours, ascenseurs de service, Plateformes et accessoires, Chemin et fixation de câbles, Assemblages à vis
- Nacelle : treuil à chaîne, extincteurs et trousse de secours, système de ventilation, câbles, trappes, support principal, arbre de moyeu, Transmissions d'orientation, Contrôle d'orientation (« yaw »), Couronne d'orientation, Entrefer du générateur, Groupe hydraulique, Frein électromécanique, Dispositif de blocage du rotor, Assemblages à vis, ...
- Tête du rotor : Rotor, Câbles et lignes, Générateur, moyeu du rotor et adaptateur de pale, engrenage de réglage des pales (« pitch »), Système de graissage centralisé, vis des pales du rotor, pales de rotor, ...
- Système parafoudre
- Anémomètre

Ces opérations d'inspections sont faites au moins une fois par an. L'ensemble des points à vérifier est précisé dans le Maintenance Principale défini pour chaque modèle.

4.2.4.3 Personnel qualifié et formation continue

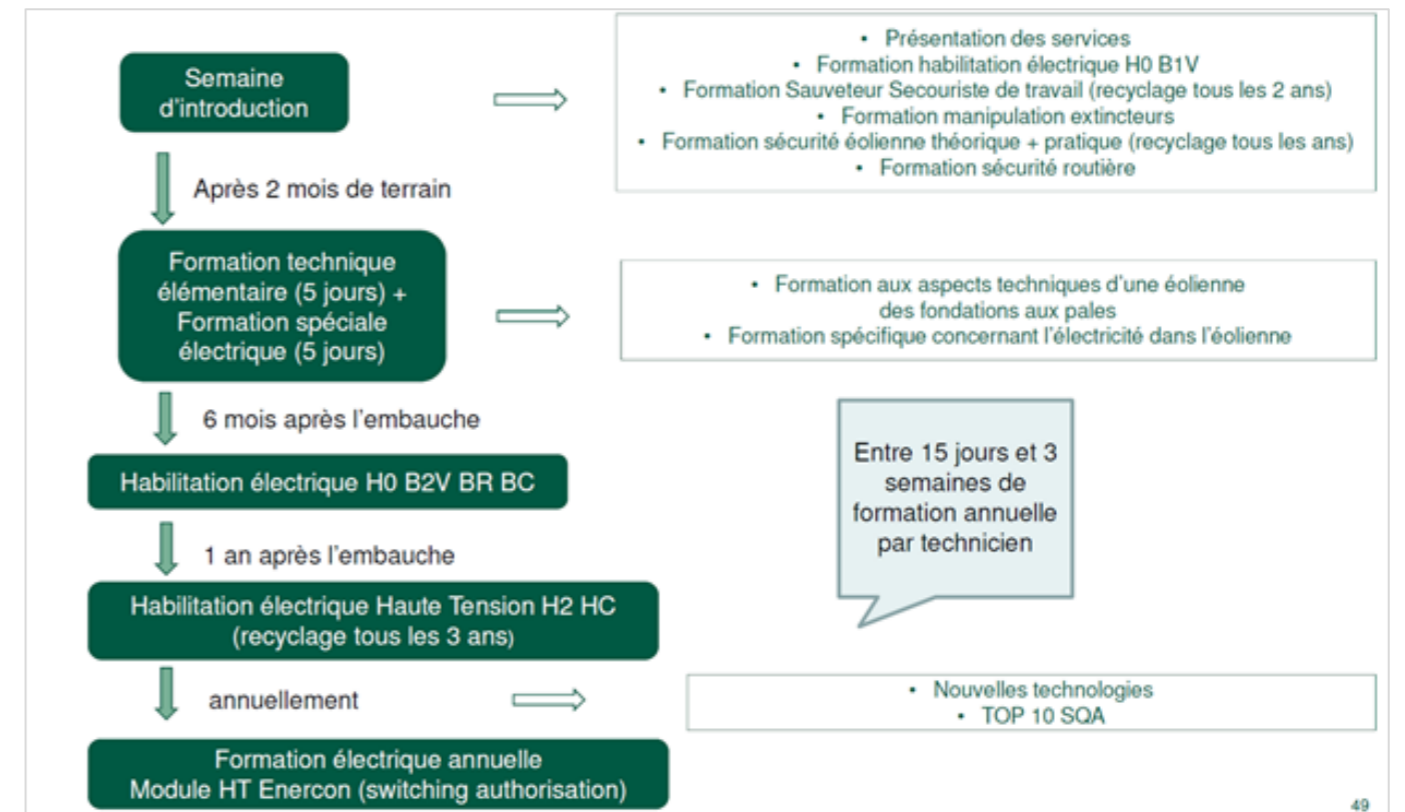
Tout personnel amené à intervenir dans les éoliennes est formé et habilité :

- Electriquement, selon son niveau de connaissance ;
- Aux travaux en hauteur, port des EPI, évacuation et sauvetage ;
- SST (Sauveteur Secouriste du Travail)

Ces habilitations sont recyclées périodiquement suivant la réglementation ou les recommandations en vigueur.

Des contrôles de connaissance sont réalisés afin de vérifier la validité de ces habilitations.

Des points mensuels concernant la sécurité et les procédures sont effectués avec l'ensemble du personnel de maintenance. Une présentation du fonctionnement de la sécurité est réalisée auprès des nouveaux embauchés.



Programme de formation chez Enercon

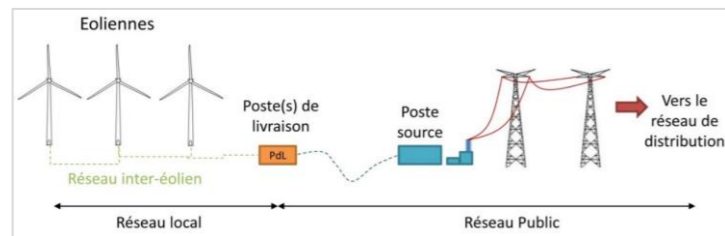
4.2.5 Stockage et flux de produits dangereux

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 22 juin 2020, aucun matériel inflammable ou combustible ne sera stocké dans les éoliennes du parc Champ des Vignes.

Durant leur formation, les techniciens reçoivent la consigne de maintenir propres les aérogénérateurs et de ne pas y entreposer de matériaux, combustibles et inflammable ou non. Leur support de formation basique électrique/mécanique le stipule explicitement. Des rappels réguliers sont effectués lors des rappels de sécurité qu'ils suivent tous les 6 mois.

4.3 FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE L'INSTALLATION

4.3.1 Raccordement électrique



4.3.1.1 Réseau inter-éolien électrique haute-tension

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

4.3.1.2 Réseau inter-éolien de communication

Un réseau de communication est créé dans la même tranchée pour relier les machines entre elles au poste de supervision. Ce réseau de communication en fibre optique est insensible aux perturbations électromagnétiques qui pourraient être induites par la proximité immédiate des câbles de puissance.

4.3.1.3 Poste de livraison

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

La localisation du poste de livraison est fonction de la proximité du réseau inter-éolien et de la localisation du poste source vers lequel l'électricité est ensuite acheminée.

Dans le cas où le poste de livraison est fourni par ENERCON, des signaux utiles à l'exploitation sont intégrés au système de supervision SCADA, et des services d'opérations et de maintenance assurés par des équipes ENERCON habilitées à ces travaux électriques HTA. Ces prestations seront proposées sur les mêmes durées que le contrat de maintenance des éoliennes.

4.3.1.4 Réseau électrique externe

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

4.3.2 Autres réseaux

Le parc éolien Champ des Vignes 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 fonctionnement, 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 ET DECHETS

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 d'émission atmosphérique, ni d'effluent potentiellement dangereux pour l'environnement.

Les produits identifiés dans le cadre du parc éolien Champ des Vignes utilisés pour le bon fonctionnement des éoliennes, leur maintenance et leur entretien, sont listés ci-après.

5.1.1 Produits nécessaires au bon fonctionnement des installations

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. Le tableau ci-dessous récapitule les produits dangereux utilisés dans les éoliennes.

Substances liquides présentes dans l'éolienne E-138 EP3							Signification des pictogrammes	
Nom	Classification CLP	Etiquetage	Pictogramme	Code déchets européen	Utilisation dans l'éolienne	E-138 EP3	SGH07	SGH08
RENOLIN UNISYN CLP 220	Non dangereux	EUH208, EUH 210	Non	13 02 06*	Transmission d'orientation	136,8		
					Arbre de renvoi (pitch gear)	42,0		
					TOTAL	178,8		
MOBIL SHC GREASE 460 WT	Non dangereux	Pas d'étiquetage spécifique	Non	12 01 12*	Système de graissage centralisé complet	20,0	<ul style="list-style-type: none"> ● Toxicité aiguë, catégorie 4 ● Corrosion/irritation cutanée, catégorie 2 ● Lésions oculaires graves/irritation oculaire, catégorie 2 ● Sensibilisation cutanée, catégories 1, 1A et 1B ● Toxicité spécifique pour certains organes cibles – exposition unique, catégorie 3 ● Dangereux pour la couche d'ozone, catégorie 1 	<ul style="list-style-type: none"> ● Sensibilisation respiratoire, catégories 1, 1A, 1B ● Mutagénicité sur les cellules germinales, catégories 1A, 1B, 2 ● Cancérogénicité, catégories 1A, 1B, 2 ● Toxicité pour la reproduction, catégories 1A, 1B, 2 ● Toxicité spécifique pour certains organes cibles – exposition unique, catégories 1, 2 ● Toxicité spécifique pour certains organes cibles – exposition répétée, catégories 1, 2 ● Danger par aspiration, catégorie 1
					Palier avant du moyeu	129,0		
					Palier arrière du moyeu	111,3		
					Palier d'orientation	14,0		
TOTAL	274,3							
Klüberplex BEM 41-141	Non dangereux	Pas d'étiquetage spécifique	Non	Non spécifié	Palier de bride de pale	47,7		
					TOTAL	47,7		
Klüberplex AG 11-461	Non dangereux	EUH210	Non	Non spécifié	Couronne d'orientation	1,0		
					Palier de bride de pale	3,0		
					TOTAL	4,0		
RENOLIN PG 46	Non dangereux	EUH210	Non	13 02 06*	Frein hydraulique du rotor	19,5		
Glykosol N 45%	H302, H373	H302, H373, P260, P270, P301, P312, P330, P314, P501	 	15 01 02, 16 05 08*	Système de refroidissement E-module	700,0		
TECTROL CLP 220	H412	H412, P102, P273, EUH208	Non	13 02 05*, 15 01 02	Treuil à câble LIFTKET (alternative)	0,4		
Goracon GTO 68	Non dangereux	EUH210	Non	13 02 06*	Treuil de l'ascenseur de service G-trac (alternative)	0,6		
TOTAL SANS OPTION						1225,3		

5.1.2 Produits de nettoyage et d'entretien

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 arrêté 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.

La technologie ENERCON, grâce notamment à l'absence de boîte de vitesse, permet de générer une faible quantité de déchets.

Type de déchets	Quantités
Absorbants, matériaux filtrants (filtres à huile), chiffons d'essuyage et vêtements de protection contaminés par des substances dangereuses	2 kg
Papiers et cartons	2 kg
Emballages en mélange	2 kg
Déchets résiduels	3 kg
TOTAL	9 kg

Tableau 13: Liste des substances liquides dans l'éolienne

5.2 POTENTIELS DE DANGERS LIES AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien Champ des Vignes sont de cinq types :

- Chute d'éléments de l'aérogénérateur (boulons, morceaux d'équipements, etc.)
- Projection d'éléments (morceaux 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
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
Nacelle	Protection des équipements destinés à la production électrique	Chute de nacelle	Energie cinétique de chute

5.3 REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS A LA SOURCE

Cette partie explique les choix qui ont été effectués par le porteur de projet au cours de la conception du projet pour réduire les potentiels de danger identifiés et garantir une sécurité optimale de l'installation.

5.3.1 Réduction des dangers liés aux produits

Les produits dangereux présents dans l'éolienne ne peuvent pas être supprimés car ils sont nécessaires au bon fonctionnement du procédé (lubrification). Cependant, les éoliennes ENERCON sont conçues sans multiplicateur ce qui permet une réduction significative des quantités de substances dangereuses pour l'environnement par rapport à des éoliennes traditionnelles.

- **Engrenage** : L'éolienne ne possède pas de système d'engrenage principal : le rotor est directement couplé à un générateur annulaire. La vitesse de rotation n'a pas besoin d'être échelonnée. Par conséquent, la quantité d'huile d'engrenage habituellement disponible sur les éoliennes classiques (> 200 litres) n'est pas nécessaire.
- **Transmissions d'orientation** : L'éolienne possède entre 4 et 12 transmissions d'orientation (pour contrôler l'orientation de la nacelle). Chacune de ces transmissions sont remplies d'environ de 7 à 20 litres d'huiles selon la taille de l'éolienne. Les moteurs électriques reposent directement sur les transmissions. Les transmissions se trouvent dans le support principal qui peut recueillir toute la quantité d'huile, par ailleurs les réservoirs d'huile sont montés sous les entraînements d'orientation.
- **Système de réglage des pales** : 3 arbres de renvoi (pitch gear) permettent de régler les pales des éoliennes avec chacune un moteur pitch. Les arbres de renvoi (pitch gear) ne sont remplis que de quelques litres d'huile d'engrenage (de 2 à 8 litres selon la taille de l'éolienne). La totalité de la nacelle et la tête de rotor sont placées dans un carénage de sorte que des éventuelles pertes d'huile par défaut d'étanchéité soient recueillies par celui-ci.
- **Graissage du palier à roulement** : Les profils de dents et le palier de l'éolienne sont lubrifiés à l'aide graisses spéciales (de 2 à 23 L selon la taille de l'éolienne). L'excédent de graisse ou les fuites éventuelles sont contenus dans les équipements.
- **Alimentation en lubrifiant des paliers** : Les paliers à roulement et à pivotement de l'éolienne sont alimentés en permanence en graisse au moyen d'unités de graissage permanent. Il s'agit de cartouches fermées de 125 ml chacune. Leur contenu est remplacé tous les ans.
- **Frein hydraulique du rotor** : Jusqu'à 8L d'huiles utilisés.
- Système de refroidissement à eau : utilisé uniquement pour les éoliennes de plus de 3MW, entre 400 et 900L de fluide caloporteur.
- **Huile du transformateur** : Le transformateur est situé selon la version au pied du mât ou dans un poste situé à l'extérieur du mât. Le puisard dans le sol en béton du poste est verrouillé et perméable à l'huile et peut recueillir l'ensemble de l'huile de transformation (de 600 à 1700 litres selon la taille de l'éolienne). Si le transformateur est installé dans le mât, une goulotte en acier assure la collecte de toute l'huile du transformateur. Les bacs de rétention d'huile dans les postes et les sous-sols de mâts sont étanches à l'huile.

5.3.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles

La directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles, appelée directive IED, a pour objectif de parvenir à un niveau élevé de protection de l'environnement grâce à une prévention et à une réduction intégrées de la pollution provenant d'un large éventail d'activités industrielles et agricoles.

Les installations éoliennes, ne consommant pas de matières premières et ne rejetant aucune émission dans l'atmosphère, ne sont pas soumises à cette directive.

6 ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE

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'accidentologie à jour est présentée en totalité en annexe2 page 60.

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 VIII. 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 Champ des Vignes. 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 presse locale ou de bases 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
- 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.

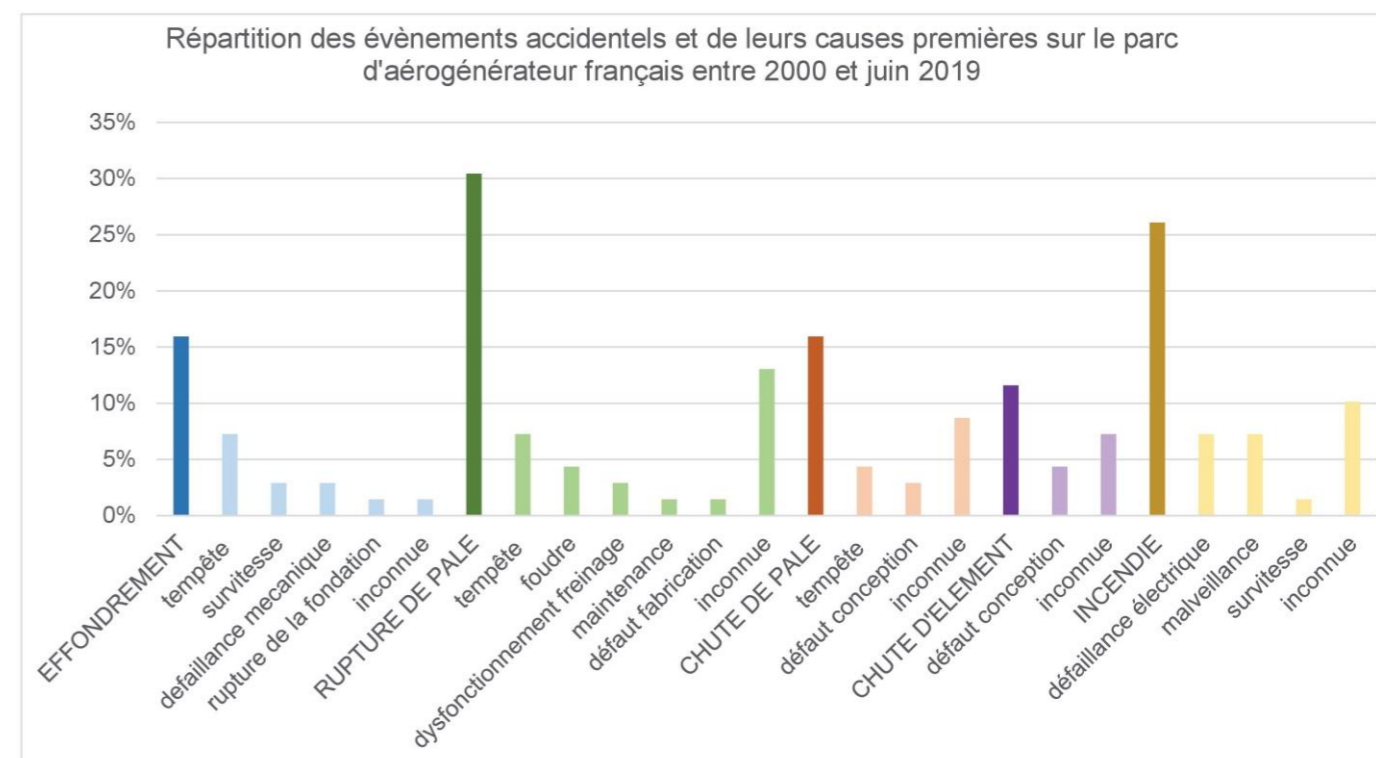
Dans l'état actuel, la base de données élaborée par le groupe de travail de SER/FEE ayant élaboré le guide technique d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis l'année 2000. L'ensemble de ces sources permet d'arriver à un inventaire aussi complet que possible des incidents survenus en France. Un total de 37 incidents a pu être recensé entre 2000 et début 2012 (voir tableau détaillé en annexe). Ce tableau de travail a été validé par les membres du groupe de travail précédemment mentionné.

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'aérogénérateur français entre 2000 et 2019. Cette synthèse exclut les accidents du travail (maintenance, chantier de construction, etc.) et les événements qui n'ont pas conduit à des effets sur les zones autour des aérogénérateurs.

Dans ce graphique sont présentés :

- 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.



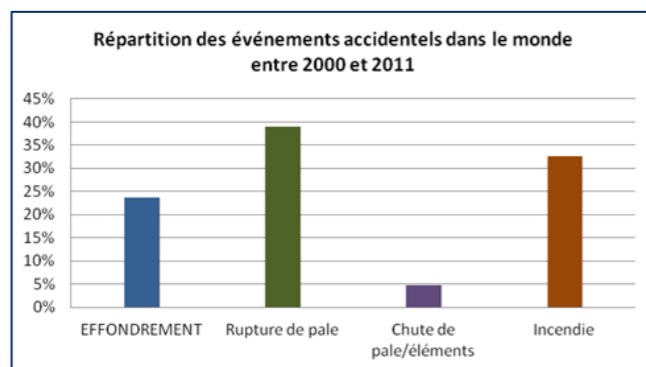
Par ordre d'importance, les accidents les plus recensés sont les ruptures de pale, les incendies, les effondrements, les chutes de pale et les chutes des autres éléments de l'éolienne. La principale cause de ces accidents est les tempêtes.

6.2 INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS A L'INTERNATIONAL

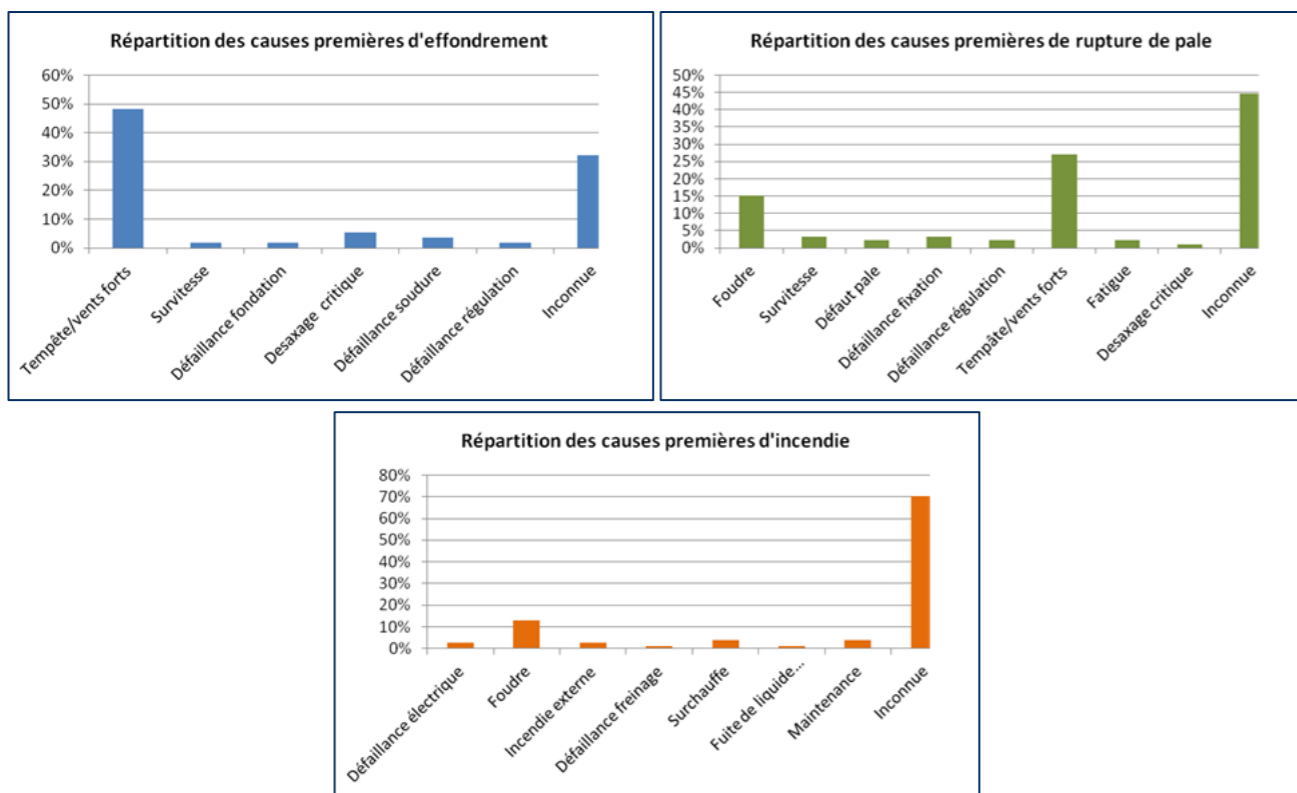
Un inventaire des incidents et accidents à l'international a également été réalisé. Il se base lui aussi sur le retour d'expérience de la filière éolienne fin 2010.

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 précédemment mentionné, 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.



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).



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.

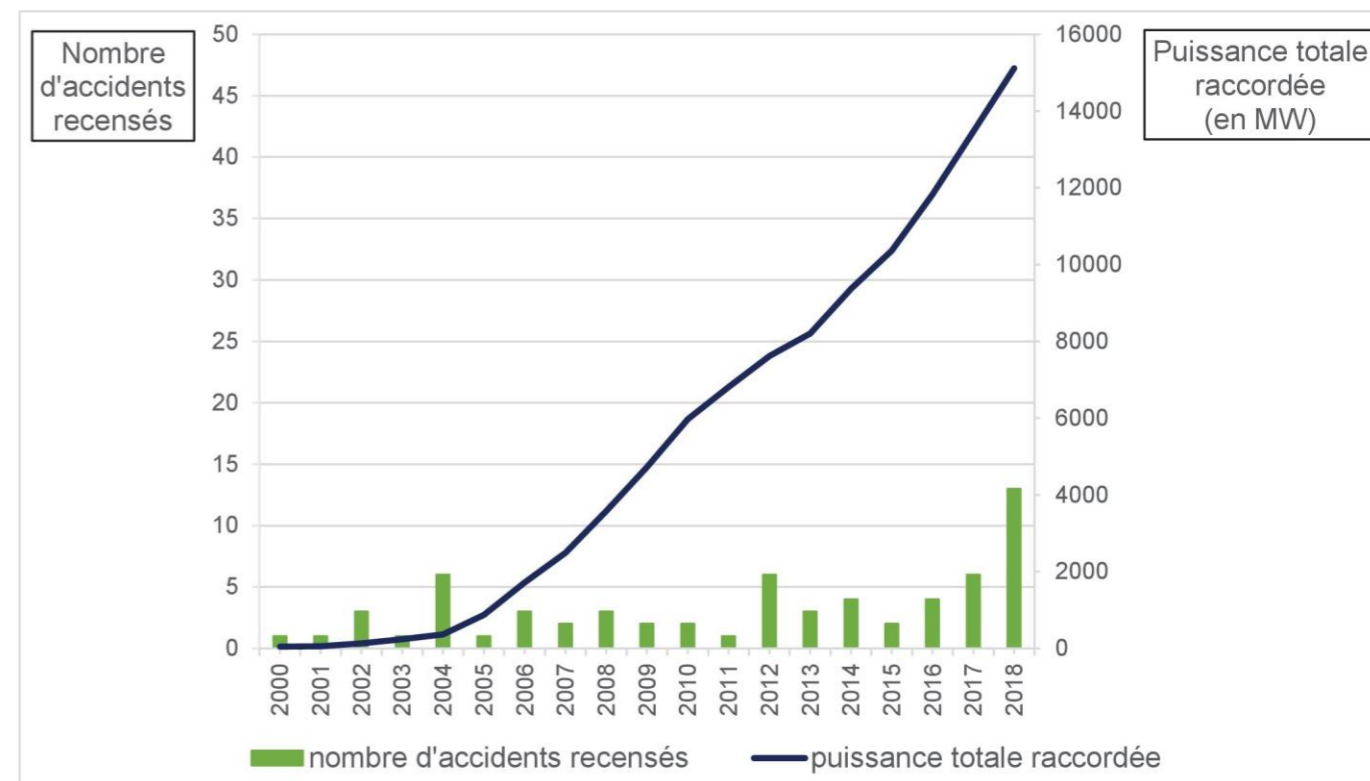
6.3 SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTÉS ISSUS DU RETOUR D'EXPERIENCE

6.3.1 Analyse de l'évolution des accidents en France

A partir de l'ensemble des phénomènes dangereux qui ont été recensés, il est possible d'étudier leur évolution en fonction de la puissance raccordée.

La figure ci-dessous montre cette évolution et il apparaît clairement que le nombre d'incidents n'augmente pas proportionnellement à la puissance installée. 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.



On note bien l'essor de la filière française à partir de 2005, alors que le nombre d'accident reste relativement constant.

6.3.2 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

6.4 LIMITES D'UTILISATION DE L'ACCIDENTOLOGIE

Ces retours d'expérience 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 PRELIMINAIRE DES RISQUES

7.1 OBJECTIF DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

L'analyse des risques a pour objectif principal d'identifier les scénarios d'accident 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'accident potentiels pour une installation (ainsi que des mesures de sécurité) basée 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'accident qui présentent des conséquences limitées et les scénarios d'accident 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 entraîner 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.

Les tableaux suivants constituent une synthèse des agressions externes identifiées par le groupe de travail à l'origine du présent guide. Les porteurs de projet sont invités à indiquer si leurs aérogénérateurs sont soumis à ces agressions potentielles en complétant les tableaux ci-dessous.

7.3.1 Agression externes liées aux activités humaines

Sont synthétisées ici 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) seront 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 mètres.

Aucune infrastructure n'est présente à moins de 200 m.

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
Vents et tempête	Au niveau de la station météorologique de Bourges, le nombre de jours moyen avec des rafales de plus de 56 km/h est de 43,5 jours/an. Les vents avec des rafales de plus de 100 km/h surviennent en moyenne 0,8 jours par an. D'après les relevés météorologiques effectués à la station de Bourges, la rafale maximale a été enregistrée à plus de 122,4 km/h 1999. L'emplacement de la zone d'étude n'est pas compris dans une zone affectée par des cyclones tropicaux.
Foudre	Les éoliennes Enercon sont équipées de système de protection contre la foudre respectant la norme IEC 61 400-24 (juin 2010) ou EN 62 305 - 3 (décembre 2006)
Risque de remontée des nappes	Un risque de remontée de nappes en domaine sédimentaire est noté au droit des éoliennes. Une étude géotechnique en amont de la construction permettra le bon dimensionnement des fondations.

Tableau 14: Agressions externes liées aux phénomènes naturels

Comme il a été précisé précédemment, les agressions externes liées à des inondations, à des incendies de forêt ou de cultures ou à des séismes ne sont pas considérées dans ce tableau dans le sens où les dangers qu'elles pourraient entraîner sont largement inférieurs aux dommages causés par le phénomène naturel lui-même.

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.

Aucun risque inondation de plaine n'est connu au niveau du projet. Un risque très faible de montée de nappes en domaine sédimentaire est relevé pour les éoliennes. Afin de tenir compte de ce risque une étude géotechnique sera réalisée en amont des travaux de construction du parc éolien afin de connaître la nature du sol et dimensionner correctement les fondations des éoliennes.

7.4 SCENARIOS ETUDIES DANS L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

Le tableau suivant présente une proposition d'analyse générique des risques. Il 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 préliminaire de la zone d'effets attendue 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 dans le tableau générique de l'APR sont regroupés et numérotés par thématique, en fonction des typologies d'événement redoutés centraux identifiés grâce au retour d'expérience groupe de travail précédemment cité (« 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

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
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
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
P03	Serrage inapproprié	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage	Impact sur cible	2

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
	Erreur maintenance - desserrage			(construction - exploitation)(N°9)		
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)	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
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

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.

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 ».

Les effets dominos susceptibles d'impacter les éoliennes sont décrits dans le tableau d'analyse des risques générique présenté ci-dessus.

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 ».

C'est la raison pour laquelle, il est proposé de négliger les conséquences des effets dominos dans le cadre de la présente étude.

Dans le cadre des études de dangers éoliennes, il est proposé de limiter l'évaluation de la probabilité d'impact d'un élément de l'aérogénérateur sur une autre installation ICPE que lorsque celle-ci se situe dans un rayon de 100 mètres. Les effets dominos ne seront donc pas étudiés dans le cadre de cette étude.

7.6 MISE EN PLACE DES MESURES DE SECURITE

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les fonctions de sécurité identifiées et mise en œuvre sur les éoliennes du parc Champ des Vignes. 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 de « 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** : ce numéro 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 systèmes instrumentés de sécurité, tous les éléments de la chaîne de sécurité sont présentés (détection + traitement de l'information + action).
- **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 »).
- **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. Il s'agit ici de vérifier que la mesure de maîtrise des risques agira « à temps » pour prévenir ou pour limiter les accidents majeurs. Dans le cadre d'une étude de dangers éolienne, l'estimation de ce temps de réponse peut être simplifiée 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.
- **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 détection de glace ou givre sur les pales de l'aérogénérateur par déduction (analyse des paramètres de puissance). Temps de redémarrage automatique échelonné en fonction de la température extérieure.		
Description	Deux sondes mesurent la température de l'air en nacelle et en pied du mât, afin de détecter si les conditions sont propices à la formation de givre. La présence de glace ou de givre modifie les caractéristiques aérodynamiques de la pale entraînant une dégradation de la courbe de puissance. Lorsque la température est inférieure à 2°C la courbe de puissance à l'instant t est comparée à la courbe de puissance de l'éolienne en condition normale. Une plage de tolérance est définie et les points en dehors de la plage de tolérance sont comptabilisés. A partir d'un certain nombre (donnée paramétrable) de points enregistrés hors de la plage de tolérance, l'éolienne s'arrête automatiquement.		
Indépendance	Non		
Temps de réponse	10 à 30 minutes, conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 22 juin 2020		
Efficacité	100 %		
Tests	Le système de détection de glace par courbe de puissance a été certifié par le bureau par le TÜV Nord (rapport n°8104206760).		
Maintenance	S'agissant d'un système purement logiciel, il n'y a pas de maintenance spécifique.		

Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité	2
Mesures de sécurité	Panneautage en pied de machine ainsi que sur les voies d'accès au parc. Eloignement des zones habitées et fréquentées		
Description	Mise en place de panneaux informant de la possible formation de glace en pied de machines (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté 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.		

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
Mesures de sécurité	Capteurs de température des pièces mécaniques Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement		
Description	En cas de température anormalement haute, une alarme est émise par le système SCADA au centre de contrôle ENERCON. Si la température dépasse un seuil haut, l'éolienne est mise à l'arrêt et ne peut être relancée qu'après intervention d'un technicien en nacelle, qui procédera à une identification des causes et à des opérations techniques le cas échéant.		
Indépendance	Oui.		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	Pas de test.		
Maintenance	Contrôle automatique permanent grâce à des redondances pour les capteurs des principaux composants (génératrices, transformateur). Lors de la maintenance annuelle, vérification de la vraisemblance des informations données par les capteurs par lecture sur le moniteur. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage.		
Description	<p>Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande.</p> <p>Le système coupe l'alimentation électrique des pitch. Les condensateurs électriques du système de sécurité des pitchs se déchargent alors, activant la mise en drapeau des pales. L'éolienne s'arrête en 10 à 15 secondes.</p> <p>Les éoliennes ENERCON possèdent 2 fonctions redondantes pour gérer les régimes dits de survitesse.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une première fonction en opération normale de la machine : l'éolienne est équipée au niveau de son moyeu d'un codeur angulaire, qui permet de surveiller en permanence la vitesse de rotation du rotor par un capteur inductif. Le fonctionnement de l'éolienne est conçu de telle façon, qu'à partir d'une certaine vitesse de vent dite « vitesse de vent nominale », le rotor atteint sa vitesse de rotation nominale; l'éolienne produit alors à pleine puissance. Si la vitesse du rotor augmente brusquement - vitesse de rotation 15% au-dessus de la vitesse nominale -, s'enclenche alors un arrêt d'urgence du rotor pour éviter son emballement. Il s'agit d'un arrêt aérodynamique, qui consiste en la mise en drapeau des trois pâles via un retour sur batterie. L'arrêt aérodynamique correspond au mode d'arrêt le plus rapide possible sur la machine, et le retour sur batterie permet de s'affranchir de toute coupure potentielle du réseau. A l'issue de cet arrêt d'urgence du rotor qui donne lieu à un message d'erreur sur le dispositif de surveillance de la machine, l'éolienne redémarre automatiquement. • Si la vitesse de rotation de la machine excède de 30% la vitesse de rotation nominale, c'est alors une fonction de sécurité qui prend le relais. Les pâles de l'éolienne sont chacune équipées d'un capteur mécanique à fonctionnement centrifuge - masselotte placée sur ressort. Sous l'action de la force centrifuge liée à un cas de survitesse, les ressorts des masselottes vont se comprimer et les masselottes vont alors venir appuyer sur un interrupteur situé en fin de course. Cette action enclenche l'arrêt d'urgence de la machine pour éviter l'emballement du rotor, sur le même principe que celui décrit plus haut - mise en drapeau des trois pâles via un retour sur batterie. Seule une intervention en machine peut permettre la remise en route de cette dernière, après ré-enclenchement manuel du capteur mécanique concerné dans le rotor, par un technicien. <p>Le calibrage, contrôle et maintenance des systèmes de protection contre la survitesse sont décrit au paragraphe 4.2.3.3 page 20</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection < 1 minute 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 arrêté 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 17 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 22 juin 2020. Un test de survitesse est également effectué lors de la mise en service de l'installation. Enfin un test de survitesse est effectué une fois par an tout au long de la durée d'exploitation du parc		
Maintenance	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 modifié par arrêté du 22 juin 2020 (notamment de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence.) Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir les courts-circuits	N° de la fonction de sécurité	5
Mesures de sécurité	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.		
Description	<p>Les organes et armoires électriques de l'éolienne sont équipés d'organes de coupures et de protection adéquats et correctement dimensionnés. Tout fonctionnement anormal des composants électriques est suivi d'une coupure de la transmission électrique et à la transmission d'un signal d'alerte vers l'exploitant qui prend alors les mesures appropriées.</p> <p>Les systèmes électriques sont équipés de disjoncteurs à tous les niveaux.</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	De l'ordre de la seconde		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	La vérification des organes de coupure est comprise dans la maintenance électrique annuelle. Les installations électriques sont contrôlées avant la mise en service du parc puis à une fréquence annuelle, conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 22 juin 2020.		

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur.		
Description	<p>Système de protection foudre de l'éolienne dimensionné pour prévenir toute dégradation des pâles de l'éolienne conformément à la norme IEC 61400-24.</p> <p>Pour la protection parafoudre extérieure, la pointe de la pale est en aluminium moulé, et un profilé conducteur est relié par un anneau en aluminium à la base de la pale. Un coup de foudre est absorbé en toute sécurité par ces profilés et le courant de foudre est dévié vers la terre entourant la base de l'éolienne.</p> <p>Pour la protection interne de la machine, les composants principaux tels l'armoire de contrôle et la génératrice sont protégés par des parasurtenseurs. Toutes les autres platines possédant leur propre alimentation sont équipées de filtres à hautes absorptions. Aussi, la partie télécommunication est protégée par des parasurtenseurs de ligne et une protection galvanique. Enfin, une liaison en fibre optique entre les machines permet une insensibilité à ces surtensions atmosphériques ou du réseau. De même, l'anémomètre est protégé et entouré d'un arceau.</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Contrôle visuel des pâles 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 arrêté du 22 juin 2020.		

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	<p>Capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne pouvant permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de la machine</p> <p>Système de détection fumée relié au système SCADA qui émet une alarme au centre de contrôle ENERCON et prévient l'exploitant par SMS.</p> <p>Intervention des services de secours</p>		
Description	<p>La technologie Enercon sans boîte de vitesse permet de réduire le risque d'échauffement provoqué par frottement mécanique. En effet la génératrice ENERCON tourne environ à 20 tours par minute, alors que les génératrices entraînées par une boîte de vitesse tournent à environ 1500 tours par minute.</p> <p>De nombreux capteurs de températures sont présents à proximité de tous les composants critiques :</p> <p>Nacelle Génératrice Palier du moyeu Mât Armoires électriques Transformateurs Ventilateurs et éléments chauffants Extérieur de la machine</p> <p>Des seuils d'acceptabilité de niveau de températures sont prédéfinis dans le système de contrôle de l'éolienne pour chacun des capteurs.</p> <p>Des capteurs optiques de fumée sont placés en pied de mât et dans la nacelle. Leur déclenchement conduit à la mise en arrêt de la machine et au découplage du réseau électrique. De manière concomitante, un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance ENERCON ainsi qu'à la société d'exploitation par SMS, qui se charge de contacter les services d'urgence compétents.</p> <p>L'éolienne est également équipée d'extincteurs qui peuvent être utilisés par les personnels d'intervention (cas d'un incendie se produisant en période de maintenance)</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	<p>< 1 minute pour les détecteurs et l'enclenchement de l'alarme</p> <p>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. Le temps d'intervention des services de secours est quant à lui dépendant de la zone géographique. La caserne de pompiers la plus proche du projet éolien Champ des Vignes est celle de Mennetou-sur-Cher à 6 km du projet.</p>		
Efficacité	100 %		
Tests	Les capteurs optiques de fumée sont testés annuellement (détection volontaire).		
Maintenance	<p>Contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 22 juin 2020.</p> <p>Le matériel incendie (type extincteurs) est contrôlé périodiquement par le fabricant du matériel ou un organisme extérieur.</p> <p>Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.</p>		

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	<p>Utilisation d'une très faible quantité d'huile (absence de boîte de vitesses)</p> <p>Présence de rétention pour les composants critiques</p> <p>Détecteurs de niveau d'huiles</p> <p>Il n'y a pas de kit anti-pollution à demeure dans les éoliennes. Pour la maintenance, les techniciens d'ENERCON ont des petits kits dans leur camion. Sinon, il y a des kits anti-pollution dans les bases de maintenance.</p>		
Description	<p>Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence.</p> <p>Les opérations de remplacement des bacs de graisse vides font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée et encadrée par les procédures de maintenance.</p> <p>La propreté des rétentions est vérifiée lors de chaque inspection de la nacelle.</p> <p>Les éoliennes ENERCON contiennent d'une façon générale très peu de produits liquides, ce qui limite le risque de fuite : les quantités d'huile utilisées en machine sont très restreintes ; ce sont principalement des graisses (qui elles ne coulent pas) qui sont utilisées.</p> <p>Les quelques fluides utilisés se situent principalement en tête de machine, avec très peu de risque de descendre jusqu'au sol. En effet, s'il existe une fuite d'une huile en nacelle, l'huile est maintenue dans le moyeu pour les moteurs d'orientation des pâles, ou dans la nacelle pour les moteurs d'orientation de la nacelle. Il est très rare que les fluides s'écoulent jusqu'au carénage de la nacelle, et le cas échéant, le nervurage du carénage est conçu de manière à retenir l'huile naturellement. Pour le nettoyage de ces potentielles fuites localisées en nacelle, les équipes de maintenance disposent de lingettes en location, récupérées ensuite par une société externe pour traitement/revalorisation.</p> <p>Le risque de fuite dans le cadre de la maintenance est également très limité, car aucune vidange n'est effectuée ; seules des remises à niveau sont faites, avec de petites quantités d'huile pour les moteurs d'entraînement pâles et nacelle. Lors des opérations de filtration des huiles, celles-ci sont réalisées avec un système de filtration en boucle fermée.</p> <p>En pied de machine, un fluide est utilisé, l'huile du transformateur, pour lequel on retrouve un bac de rétention au niveau du transformateur.</p> <p>Enfin, en cas de fuite de contenants dans les véhicules de maintenance, 1 kit anti-pollution est à disposition dans chaque véhicule pour éviter tout déversement. Il n'existe pas de procédure d'urgence à proprement parler car les volumes de produits transportés sont très faibles.</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Instantané		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Inspection des niveaux d'huile plusieurs fois par an et de l'état des rétentions plusieurs fois par an.		

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 différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.) Procédures qualités Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)		
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. Ainsi la nacelle, le moyeu, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23. 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	Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du pitch system, couronne du Yaw Gear (moteurs d'orientation de la nacelle), boulons de fixation de la nacelle...) sont vérifiés au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 22 juin 2020.		

Fonction de sécurité	Prévenir les erreurs de maintenance	N° de la fonction de sécurité	10
Mesures de sécurité	Procédure maintenance		
Description	Préconisations du manuel de maintenance Formation du personnel		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	Il existe des manuels de maintenance spécifiques à chaque modèle d'éolienne. Tout personnel amené à intervenir dans les éoliennes est formé et habilité : <ul style="list-style-type: none"> • Electriciquement, selon son niveau de connaissance ; • Aux travaux en hauteur, port des EPI, évacuation et sauvetage ; • Sauveteur Secouriste du Travail. Ces habilitations sont recyclées périodiquement suivant la réglementation ou les recommandations en vigueur. Des contrôles des connaissances sont réalisés afin de vérifier la validité de ces habilitations. Des points mensuels concernant la sécurité et les procédures sont effectués avec l'ensemble du personnel de maintenance. Une présentation du fonctionnement de la sécurité est réalisée auprès des nouveaux embauchés.		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents*. Détection et prévention des vents forts et tempêtes Déclenchement du mode tempête = diminution de la prise au vent progressive des pales et arrêt automatique au-delà d'une certaine vitesse de vent.		
Description	Procédure « site vérification » : une étude de vent est menée sur un an afin de vérifier l'adéquation effective des machines. En cas de doute sur l'adéquation des aérogénérateurs, le site est modélisé et une étude de charge est effectuée. Le mode tempête s'enclenche au-delà d'une certaine vitesse de vent, permettant à l'éolienne de continuer à produire mais à puissance réduite. L'éolienne s'arrête complètement au-delà d'un autre seuil de vitesse de vent (Cf chapitre 4.2.1).		
Indépendance	Oui : Ces systèmes s'appuient sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. Ces données sont cependant analysées par l'automate de sécurité embarqué sur chaque éolienne, dont le rôle est dédié à la sécurité de l'installation.		
Temps de réponse	< 1 min		
Efficacité	100 % - NB : En fonction de l'intensité attendue des vents, d'autres dispositifs de diminution de la prise au vent de l'éolienne peuvent être envisagés. Si le site est trop turbulent ou les machines trop rapprochées entre elles, il est possible de mettre en place des arrêts sectoriels pour limiter l'impact de la turbulence sur les machines.		
Tests	Procédure de « Site Verification » (contrôle de l'adéquation par rapport à des mesures de fonctionnement)		
Maintenance	Les paramètres d'entrée en cas d'arrêt sectoriel sont régulièrement mis à jour et contrôlés lors des modifications d'hardware ou de software. L'usure de l'éolienne est contrôlée à chaque maintenance.		

* La classe de vent d'une éolienne définit sa résistance structurelle, la capacité de ses composants à résister aux charges induites par le régime du vent concerné. L'éolienne E138 EP3 E2 4,2MW 130 m est une éolienne de classe de vent IIIA, conçue pour résister à des vents moyens de 7.5 m/s à hauteur de moyeu. Pour le modèle déposé sur ce projet de 130m de hauteur de moyeu, la vitesse de vent moyenne à hauteur de moyeu sur site est de 6 m/s environ, soit en dessous de la vitesse pour laquelle l'éolienne a été conçue. On vérifie ainsi la bonne adéquation entre le modèle d'éolienne envisagée et le site d'implantation.

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne par la surveillance de paramètres clés	N° de la fonction de sécurité	12
Mesures de sécurité	Capteurs de vibrations entraînant un arrêt de l'éolienne Capteurs de bruit Contrôle de l'entrefer		
Description	Deux capteurs sont placés dans la nacelle pour détecter les accélérations longitudinales et transversales. Au-delà d'une certaine limite (spécifique à chaque modèle d'éolienne) l'éolienne s'arrête puis redémarre automatiquement après un court délai. Si plusieurs niveaux d'oscillation au-delà du seuil d'acceptabilité sont enregistrés au cours d'une période de 24h, le redémarrage automatique est suspendu. L'espace entre le rotor et le stator appelé entrefer ne doit pas être réduit en deçà d'une largeur minimum. Des capteurs mesurent cette largeur et si un certain seuil est atteint, l'éolienne s'arrête puis redémarre automatiquement après un court délai. Si la faute se répète plus d'une fois en 24h, le redémarrage automatique est suspendu. Un capteur de bruit est positionné dans la tête du rotor. En cas de bruits correspondant à des chocs importants (détachement ou rupture d'une pièce) et que la cause ne peut être discernée, p. ex. la grêle pendant un orage, l'éolienne s'arrête.		
Indépendance	Oui. Les signaux des capteurs sont traités par l'automate de sécurité embarqué sur chaque éolienne, dont le rôle est dédié à la sécurité de l'installation.		
Temps de réponse	Quelques secondes (< 2 min)		
Efficacité	100 %		
Tests	Les protocoles de maintenance annuelle prévoient la vérification de chacun de ces capteurs.		
Maintenance	NA		

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

Notamment, 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 est réalisée tous les ans (cf. §4.5 : Opérations de maintenance de l'éolienne).

7.7 CONCLUSION DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

A l'issue de l'analyse préliminaire des risques, l'étude de dangers doit préciser quels scénarios sont retenus en vue de l'analyse détaillée des risques. Ne sont retenus 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 génériques des parcs éoliens, quatre catégories de scénarios sont a priori exclues de l'étude détaillée, en raison de leur faible intensité :

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	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/m ² 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 arrêté 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 ou du transformateur	En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 22 juin 2020 [9] et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200) Tout comme les éoliennes, les postes de livraison disposent tous d'un système de sécurité permettant la détection d'un incendie et la transmission continue de données à l'exploitant. En cas de détection d'un incendie dans un poste de livraison, le système d'alarme informe automatiquement l'exploitant du problème, et l'ensemble des éoliennes du parc éolien sont automatiquement mises à l'arrêt tel que décrit dans la fonction de sécurité n°12 « Empêcher la perte de contrôle de l'éolienne en cas de défaillance réseau ».
Infiltration d'huile dans le sol	En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs. Ce scénario peut ne pas être détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques sauf en cas d'implantation dans un périmètre de protection rapprochée d'une nappe phréatique.

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 DETAILLEE 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.

Deux modèles d'éoliennes sont envisagés dans le cadre du projet éolien : Enercon E-126 et Enercon E-138. Le gabarit final des éoliennes du projet n'ayant pas été défini à ce stade de l'étude, le gabarit présentant la plus grande envergure (et donc le plus grand risque) sera utilisé pour les calculs de l'étude de dangers. L'ensemble des calculs présentés ci-après sont donc basés sur des éoliennes de type Enercon E-138 d'une hauteur totale de 200 m.

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 toxique.

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 nationale 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.

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 chute d'éléments (glace ou toute ou partie de pale) ou d'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 les 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 ».

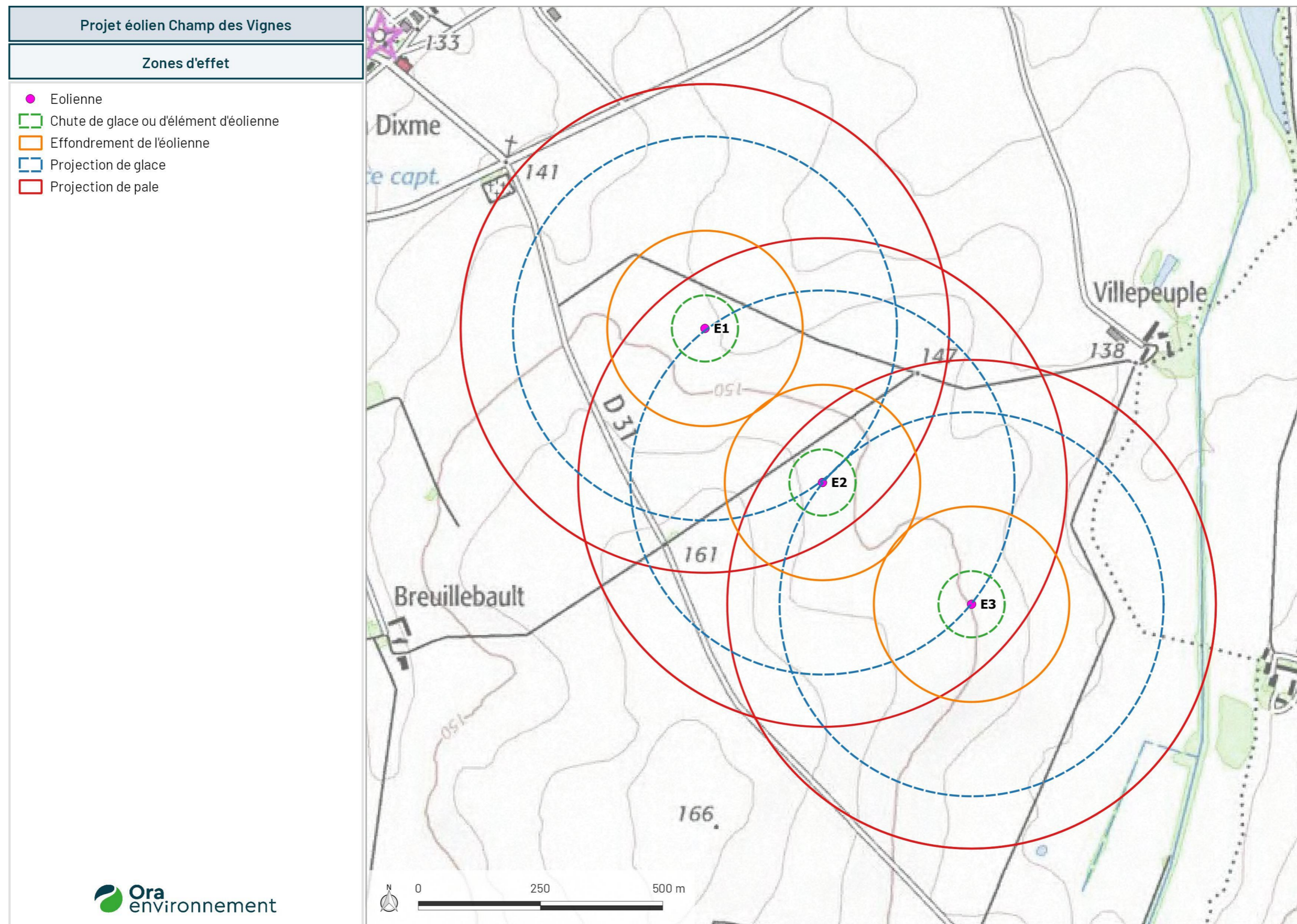
C'est pourquoi, pour chacun des événements accidentels retenus (chute d'éléments, chute de glace, effondrement et projection), deux valeurs de référence ont été retenues :

- 5% d'exposition : seuils d'exposition très forte
- 1% d'exposition : seuil d'exposition forte

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 %

Les zones d'effets sont définies pour chaque événement accidentel comme la surface exposée à cet événement. La carte suivante illustre les différentes zones d'effet retenues.



Carte 11: : Zones d'effet

8.1.3 Gravité

Par analogie aux niveaux de gravité retenus dans l'annexe III de l'arrêté du 29 septembre 2005, les seuils de gravité sont déterminés en fonction du nombre équivalent de personnes permanentes dans chacune des zones d'effet définies

Intensité Gravité	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 »

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'accident majeur :

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 Événement 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.	$\leq 10^{-5}$

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 scénario 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 :

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

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

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

P_{rotation} = probabilité que l'éolienne soit en rotation au moment où l'événement redouté 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)

$P_{\text{présence}}$ = probabilité de présence d'un enjeu donné 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

8.2.1.1 Zone d'effet

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à la hauteur du mât plus la longueur d'une pale, 200 m pour l'éolienne E-138 – 130 m. 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.

8.2.1.2 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 de l'éolienne dans le cas du parc éolien Champ des Vignes. R est la longueur de pale, H la hauteur du mât, L la largeur du mât et LB la largeur de la base de la pale.

Modèle d'éolienne	E-138 - 130 m
Longueur d'une pale R	69 m
Hauteur du mât H	130,4 m
Largeur à la base du mât L	4,93 m
Largeur maximale à la base de pale LB	3,93 m

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)				
Modèle d'éolienne	Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$ZI = (H) \times L + 3 \times R \times LB / 2$	$ZE = \pi \times (H+R)^2$	$ZI / ZE \times 100$	
E-138-130m	1049,63	124910,85	0,84%	Exposition modérée

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

8.2.1.3 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 »
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré »

Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène d'effondrement et la gravité associée :

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)				
Eolienne	Superficie concernée par la zone d'effet		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
	Terrains non aménagés en ha (1 pers./100ha)	Terrains aménagés peu fréquentés en ha (1 pers./10ha)		
E1	12,28	0,2075	0,144	Modérée
E2	12,22	0,2746	0,150	Modérée
E3	12,49	0	0,125	Modérée

Pour chacune des éoliennes, le nombre de personnes exposées sera donc inférieur à 1. La gravité sera donc considérée comme « modérée ».

8.2.1.4 Probabilité

Pour l'effondrement d'une éolienne, les valeurs retenues dans la littérature sont détaillées dans le tableau suivant :

Source	Fréquence	Justification
Guide for risk based zoning of wind turbines [5]	$4,5 \times 10^{-4}$	Retour d'expérience
Specification of minimum distances [6]	$1,8 \times 10^{-4}$ (effondrement de la nacelle et de la tour)	Retour d'expérience

Ces valeurs correspondent à une classe de probabilité « C » selon l'arrêté du 29 septembre 2005.

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C ». En effet, il a été recensé seulement 7 événements pour 15 667 années d'expérience¹, soit une probabilité de $4,47 \times 10^{-4}$ par éolienne et par an.

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 septembre 2005 d'une probabilité « C », à savoir : « *Événement 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* ».

Une probabilité de classe « C » est donc retenue par défaut pour ce type d'événement.

Néanmoins, les dispositions constructives des éoliennes ayant fortement évolué, le niveau de fiabilité est aujourd'hui bien meilleur. Des mesures de maîtrise des risques supplémentaires ont été mises en place sur les machines récentes et permettent de réduire significativement la probabilité d'effondrement. Ces mesures de sécurité sont notamment :

- respect intégral des dispositions de la norme IEC 61 400-1
- contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages
- système de détection des survitesses et un système redondant de freinage
- système de détection des vents forts et un système redondant de freinage et de mise en sécurité des installations, un système adapté est installé en cas de risque cyclonique

On note d'ailleurs, dans le retour d'expérience français, qu'aucun effondrement n'a eu lieu sur les éoliennes mises en service après 2005.

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 22 juin 2020 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation permet de s'assurer que les éoliennes font l'objet de mesures réduisant significativement la probabilité d'effondrement.

Il est considéré que la classe de probabilité de l'accident est « D », à savoir : « *S'est produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité* ».

¹ Une année d'expérience correspond à une éolienne observée pendant une année. Ainsi, si on a observé une éolienne pendant 5 ans et une autre pendant 7 ans, on aura au total 12 années d'expérience.

8.2.1.5 Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc Champ des Vignes, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modérée	Acceptable
E2	Modérée	Acceptable
E3	Modérée	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien Champ des Vignes, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un niveau de risque acceptable pour les personnes.

8.2.2 Chute de glace

8.2.2.1 Considérations générales

Les périodes de gel et l'humidité de l'air peuvent entraîner, dans des conditions de température et d'humidité de l'air bien particulières, une formation de givre ou de glace sur l'éolienne, ce qui induit des risques potentiels de chute de glace.

Selon l'étude WECO [15], une grande partie du territoire français (hors zones de montagne) est concerné par moins d'un jour de formation de glace par an. Certains secteurs du territoire comme les zones côtières affichent des moyennes variant entre 2 et 7 jours de formation de glace par an.

Lors des périodes de dégel qui suivent les périodes de grand froid, des chutes de glace peuvent se produire depuis la structure de l'éolienne (nacelle, pales). Normalement, le givre qui se forme en fine pellicule sur les pales de l'éolienne fond avec le soleil. En cas de vents forts, des morceaux de glace peuvent se détacher. Ils se désagrègent généralement avant d'arriver au sol. Ce type de chute de glace est similaire à ce qu'on observe sur d'autres bâtiments et infrastructures.

8.2.2.2 Zone d'effet

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales. Pour le parc éolien Champ des Vignes, la zone d'effet a donc un rayon compris de 69 mètres. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

8.2.2.3 Intensité

Pour le phénomène de chute de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace et la superficie de la zone d'effet du phénomène (zone de survol). Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace dans le cas du parc éolien Champ des Vignes. Z_I est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, R est la longueur de pale, SG est la surface du morceau de glace majorant ($SG = 1 \text{ m}^2$).

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal au survol des pales)			
Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = SG$	$Z_E = \pi \times R^2$	$Z_I / Z_E \times 100$	Exposition modérée
1,00	14957,12	0,01%	

L'intensité est nulle hors de la zone de survol.

8.2.2.4 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 de chute de glace, dans la zone de survol 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 »
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré »

Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de chute de glace et la gravité associée :

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal au survol des pales)				
Eolienne	Superficie concernée par la zone d'effet		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
	Terrains non aménagés en ha (1 pers./100ha)	Terrains aménagés peu fréquentés en ha (1 pers./10ha)		
E1	1,50	0	0,015	Modérée
E2	1,50	0	0,015	Modérée
E3	1,50	0	0,015	Modérée

8.2.2.5 Probabilité

De façon conservatrice, il est considéré que la probabilité est de classe « A », c'est-à-dire supérieure à 10^{-2} .

8.2.2.6 Acceptabilité

Avec une classe de probabilité de A, le risque de chute de glace pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'une gravité « Modérée » qui correspond pour cet événement à un nombre de personnes permanentes (ou équivalent) inférieur à 1.

Dans le cas contraire, l'exploitant devra démontrer que des mesures de sécurité supplémentaires sont mises en place afin d'améliorer l'acceptabilité de ce risque.

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc Champ des Vignes, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal au survol des pales)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modérée	Acceptable
E2	Modérée	Acceptable
E3	Modérée	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien Champ des Vignes, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un niveau de risque acceptable pour les personnes.

Il convient également de rappeler que, conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 22 juin 2020 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, un panneau informant le public des risques (et notamment des risques de chute de glace) sera installé sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, c'est-à-dire en amont de la zone d'effet de ce phénomène. Cette mesure permettra de réduire les risques pour les personnes potentiellement présentes sur le site lors des épisodes de grand froid.

8.2.3 Chute d'éléments de l'éolienne

8.2.3.1 Zone d'effet

La chute d'éléments comprend la chute de tous les équipements situés en hauteur : trappes, boulons, morceaux de pales ou pales entières. Le cas majorant est ici le cas de la chute de pale. Il est retenu dans l'étude détaillée des risques pour représenter toutes les chutes d'éléments. Le risque de chute d'élément est cantonné à la zone de survol des pales, soit un rayon de 69 m autour de l'éolienne.

8.2.3.2 Intensité

Pour le phénomène de chute d'éléments, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un élément (cas majorant d'une pale entière se détachant de l'éolienne) et la superficie de la zone d'effet du phénomène (zone de survol).

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien Champ des Vignes. d est le degré d'exposition, Z_i la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R la longueur de pale et LB la largeur de la base de la pale.

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal au survol des pales)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_i = R \cdot LB / 2$	$Z_E = \pi \cdot R^2$	$Z_i / Z_E \times 100$	Exposition modérée
136,48	14957,12	0,91%	

L'intensité en dehors de la zone de survol est nulle.

8.2.3.3 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 de chute d'élément de l'éolienne, dans la zone de survol 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 »
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré »

Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de chute de glace et la gravité associée :

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal au survol des pales)				
Eolienne	Superficie concernée par la zone d'effet		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
	Terrains non aménagés en ha (1 pers./100ha)	Terrains aménagés peu fréquentés en ha (1 pers./10ha)		
E1	1,50	0	0,015	Modérée
E2	1,50	0	0,015	Modérée
E3	1,50	0	0,015	Modérée

8.2.3.4 Probabilité

Peu d'éléments sont disponibles dans la littérature pour évaluer la fréquence des événements de chute de pales ou d'éléments d'éoliennes.

Le retour d'expérience connu en France montre que ces événements ont une classe de probabilité « C » (2 chutes et 5 incendies pour 15 667 années d'expérience, soit 4.47×10^{-4} événement par éolienne et par an). Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 Septembre 2005 d'une probabilité « C » : « Événement 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 ».

Une probabilité de classe « C » est donc retenue par défaut pour ce type d'événement.

8.2.3.5 Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc Champ des Vignes, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal au survol des pales)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modérée	Acceptable
E2	Modérée	Acceptable
E3	Modérée	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien Champ des Vignes, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un niveau de risque acceptable pour les personnes.

8.2.4 Projection de pales ou de fragments de pales

8.2.4.1 Zone d'effet

Dans l'accidentologie française rappelée en annexe, la distance maximale relevée et vérifiée par le groupe de travail précédemment mentionné pour une projection de fragment de pale est de 380 mètres par rapport au mât de l'éolienne. On constate que les autres données disponibles dans cette accidentologie montrent des distances d'effet inférieures. L'accidentologie éolienne mondiale manque de fiabilité car la source la plus importante (en termes statistiques) est une base de données tenue par une association écossaise majoritairement opposée à l'énergie éolienne [3]. L'analyse de ce recueil d'accidents indique une distance maximale de projection de l'ordre de 500 mètres à deux exceptions près :

- 1300 m rapporté pour un accident à Hundhammerfjellet en Norvège le 20/01/2006
- 1000 m rapporté pour un accident à Burgos en Espagne le 09/12/2000

Toutefois, pour ces deux accidents, les sources citées ont été vérifiées par le SER-FEE et aucune distance de projection n'y était mentionnée. Les distances ont ensuite été vérifiées auprès des constructeurs concernés et dans les deux cas elles n'excédaient pas 300 m.

Ensuite, pour l'ensemble des accidents pour lesquels une distance supérieure à 400 m était indiquée, les sources mentionnées dans le recueil ont été vérifiées de manière exhaustive (articles de journal par exemple), mais aucune d'elles ne mentionnait ces mêmes distances de projection. Quand une distance était écrite dans la source, il pouvait s'agir par exemple de la distance entre la maison la plus proche et l'éolienne, ou du périmètre de sécurité mis en place par les forces de l'ordre après l'accident, mais en aucun cas de la distance de projection réelle.

Pour autant, des études de risques déjà réalisées dans le monde ont utilisé une distance de 500 mètres, en particulier les études [5] et [6].

Sur la base de ces éléments et de façon conservatrice, une distance d'effet de 500 mètres est considérée comme distance raisonnable pour la prise en compte des projections de pales ou de fragments de pales dans le cadre des études de dangers des parcs éoliens.

8.2.4.2 Intensité

Pour le phénomène de projection de pale ou de fragment de pale, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un élément (cas majorant d'une pale entière) et la superficie de la zone d'effet du phénomène (500 m).

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien Champ des Vignes. d est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R la longueur de pale et LB la largeur de la base de la pale.

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = R \cdot LB / 2$	$Z_E = \pi \times R p^2$	$Z_I / Z_E \times 100$	Exposition modérée
135,585	785 398	0,02%	

8.2.4.3 Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe 8.1.3, il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection, dans la zone de 500 m autour 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 »
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré »

Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de projection et la gravité associée. Quatre bâtiments d'exploitation agricole étant présents dans la zone d'effet, il a été considéré de manière conservatrice que chaque bâtiment était occupé par deux personnes en permanence.

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)					
Eolienne	Superficie concernée par la zone d'effet			Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
	Terrains non aménagés en ha (1 pers./100ha)	Terrains aménagés peu fréquentés en ha (1 pers./10ha)	Terrains aménagés et potentiellement fréquentés en ha (capacité du terrain - A minima 10 pers. / ha)		
E1	77,04	1,4359	0,0591	1,505	Sérieux
E2	77,31	1,2347	0	0,897	Modérée
E3	77,47	1,0744	0	0,882	Modérée

8.2.4.4 Probabilité

Les valeurs retenues dans la littérature pour une rupture de tout ou partie de pale sont détaillées dans le tableau suivant :

Source	Fréquence	Justification
Site specific hazard assessment for a wind farm project [4]	1×10^{-6}	Respect de l'Eurocode EN 1990 – Basis of structural design
Guide for risk based zoning of wind turbines [5]	$1,1 \times 10^{-3}$	Retour d'expérience au Danemark (1984-1992) et en Allemagne (1989-2001)
Specification of minimum distances [6]	$6,1 \times 10^{-4}$	Recherche Internet des accidents entre 1996 et 2003

Ces valeurs correspondent à des classes de probabilité de « B », « C » ou « E ».

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C » (12 événements pour 15 667 années d'expérience, soit $7,66 \times 10^{-4}$ événement par éolienne et par an).

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 Septembre 2005 d'une probabilité « C » : « Événement 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 ».

Une probabilité de classe « C » est donc retenue par défaut pour ce type d'événement.

Néanmoins, les dispositions constructives des éoliennes ayant fortement évolué, le niveau de fiabilité est aujourd'hui bien meilleur.

Des mesures de maîtrise des risques supplémentaires ont été mises en place notamment :

- les dispositions de la norme IEC 61 400-1
- les dispositions des normes IEC 61 400-24 et EN 62 305-3 relatives à la foudre
- système de détection des survitesses et un système redondant de freinage
- système de détection des vents forts et un système redondant de freinage et de mise en sécurité des installations – un système adapté est installé en cas de risque cyclonique
- utilisation de matériaux résistants pour la fabrication des pales (fibre de verre ou de carbone, résines, etc.)

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 22 juin 2020 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation permet de s'assurer que les éoliennes font l'objet de mesures réduisant significativement la probabilité de projection.

Il est considéré que la classe de probabilité de l'accident est « D » : « S'est produit mais a fait l'objet de mesures correctrices réduisant significativement la probabilité ».

8.2.4.5 Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc Champ des Vignes, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Sérieux	Acceptable
E2	Modérée	Acceptable
E3	Modérée	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien Champ des Vignes, le phénomène de projection de tout ou partie de pale des éoliennes constitue un niveau de risque acceptable pour les personnes.

8.2.5 Projection de glace

8.2.5.1 Zone d'effet

L'accidentologie rapporte quelques cas de projection de glace. Ce phénomène est connu et possible, mais reste difficilement observable et n'a jamais occasionné de dommage sur les personnes ou les biens. En ce qui concerne la distance maximale atteinte par ce type de projectiles, il n'existe pas d'information dans l'accidentologie. La référence [15] propose une distance d'effet fonction de la hauteur et du diamètre de l'éolienne, dans les cas où le nombre de jours de glace est important et où l'éolienne n'est pas équipée de système d'arrêt des éoliennes en cas de givre ou de glace : Distance d'effet = $1,5 \times (\text{hauteur de moyeu} + \text{diamètre de rotor})$

Cette distance de projection est jugée conservatrice dans des études postérieures [17]. A défaut de données fiables, il est proposé de considérer cette formule pour le calcul de la distance d'effet pour les projections de glace.

8.2.5.2 Intensité

Pour le phénomène de projection de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace (cas majorant de 1 m^2) et la superficie de la zone d'effet du phénomène. Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du parc éolien Champ des Vignes. d est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, D le diamètre du rotor, H la hauteur au moyeu et SG la surface majorante d'un morceau de glace.

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $RPG = 1,5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)				
Modèle d'éolienne	Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_I = SG$	$Z_E = \pi \times (1,5 \times (H+2R))^2$	$Z_I / Z_E \times 100$	
E-138-130m	1	509210,57	0,0002%	Exposition modérée

8.2.5.3 Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe 8.1.3, il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection de glace, dans la zone d'effet de ce phénomène :

- 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 »
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré »

Il a été observé dans la littérature disponible [17] qu'en cas de projection, les morceaux de glace se cassent en petits fragments dès qu'ils se détachent de la pale. La possibilité de l'impact de glace sur des personnes abritées par un bâtiment ou un véhicule est donc négligeable et ces personnes ne doivent pas être comptabilisées pour le calcul de la gravité.

Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de projection de glace et la gravité associée.

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $RPG = 1,5 \times (H+D)$ autour de l'éolienne)				
Eolienne	Superficie concernée par la zone d'effet		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
	Terrains non aménagés en ha (1 pers./100ha)	Terrains aménagés peu fréquentés en ha (1 pers./10ha)		
E1	49,93	0,9871	0,598	Modérée
E2	50,04	0,8791	0,588	Modérée
E3	50,56	0,3564	0,541	Modérée

8.2.5.4 Probabilité

Au regard de la difficulté d'établir un retour d'expérience sur cet événement et considérant des éléments suivants :

- les mesures de prévention de projection de glace imposées par l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 22 juin 2020 ;
- le recensement d'aucun accident lié à une projection de glace ;

Une probabilité forfaitaire « B – événement probable » est proposé pour cet événement.

8.2.5.5 Acceptabilité

Le risque de projection pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un niveau de gravité « sérieux » ou « modéré ». Cela correspond pour cet événement à un nombre équivalent de personnes permanentes inférieures à 10 dans la zone d'effet. Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc Champ des Vignes, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $RPG = 1,5 \times H+D$ autour de l'éolienne)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modérée	Acceptable
E2	Modérée	Acceptable
E3	Modérée	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien Champ des Vignes, le phénomène de projection de glace constitue un niveau de risque acceptable pour les personnes.

8.3 SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

8.3.1 Tableaux de synthèse des scénarios étudiés

Les tableaux suivants récapitulent, pour chaque événement redouté central retenu, les paramètres de risques : la cinétique, l'intensité, la gravité et la probabilité. Les tableaux regrouperont les éoliennes qui ont le même profil de risque.

Il est important de noter que l'agrégation des éoliennes au sein d'un même profil de risque ne débouche pas sur une agrégation de leur niveau de probabilité ni du nombre de personnes exposées car les zones d'effet sont différentes.

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes) ²	Modérée pour toutes les éoliennes
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol des pales	Rapide	Exposition modérée	C	Modérée pour toutes les éoliennes
Chute de glace	Zone de survol des pales	Rapide	Exposition modérée	A sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Modérée pour toutes les éoliennes
Projection de pales	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes) ³	Sérieuse pour E1 Modérée pour E2 et E3
Projection de glace	Disque dont le rayon est égal à 1,5 x (H + 2R)	Rapide	Exposition modérée	B sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Modérée pour toutes les éoliennes

8.3.2 Synthèse de l'acceptabilité des risques

Enfin, la dernière étape de l'étude détaillée des risques consiste à rappeler l'acceptabilité des accidents potentiels pour chacun des phénomènes dangereux étudiés.

Pour conclure à l'acceptabilité, la matrice de criticité ci-dessous, adaptée de la circulaire du 29 septembre 2005 reprise dans la circulaire du 10 mai 2010 mentionnée ci-dessus sera utilisée.

Récapitulatif					
Gravité (traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		FP1			
Modérée		EE1 EE2 EE3 FP2 FP3	CE1 CE2 CE3	PG1 PG2 PG3	CG1 CG2 CG3

Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible		Acceptable
Risque faible		Acceptable
Risque important		Non acceptable

EE : effondrement de l'éolienne
CE : chute d'élément de l'éolienne
CG : chute de glace
PG : projection de glace
FP : projection de fragment de pale

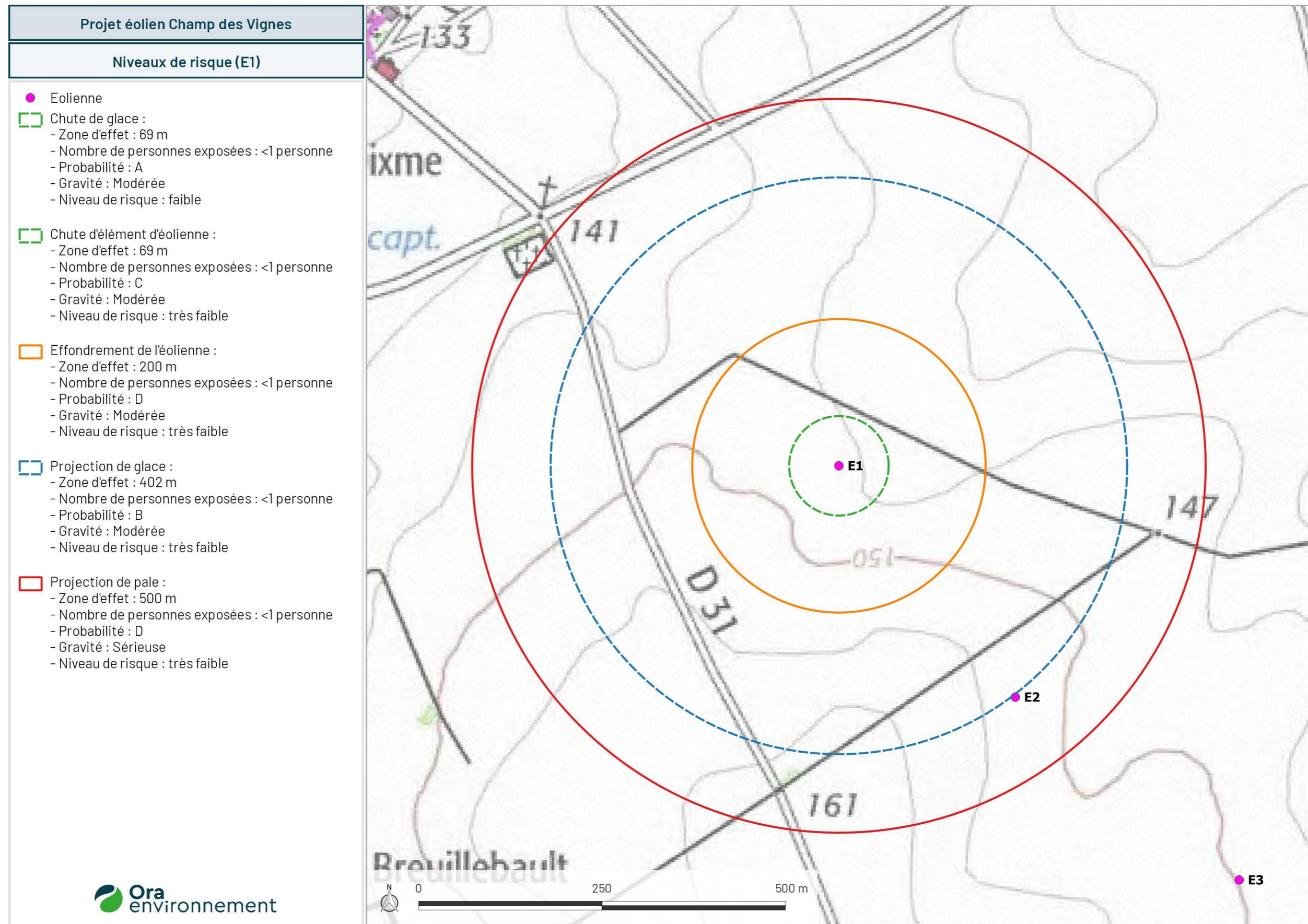
Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- Aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice
- Certains accidents figurent en case jaune. Pour ces accidents, il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie VII.6 sont mises en place.

² Voir paragraphe 8.2.1

³ Voir paragraphe 8.2.4

8.3.3 Cartographie des risques




Carte 12: Niveau de risque pour l'éolienne E1

Projet éolien Champ des Vignes

Niveaux de risque (E2)

- Eolienne
- Chute de glace :
 - Zone d'effet : 69 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 personne
 - Probabilité : A
 - Gravité : Modérée
 - Niveau de risque : faible
- Chute d'élément d'éolienne :
 - Zone d'effet : 69 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 personne
 - Probabilité : C
 - Gravité : Modérée
 - Niveau de risque : très faible
- Effondrement de l'éolienne :
 - Zone d'effet : 200 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 personne
 - Probabilité : D
 - Gravité : Modérée
 - Niveau de risque : très faible
- Projection de glace :
 - Zone d'effet : 402 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 personne
 - Probabilité : B
 - Gravité : Modérée
 - Niveau de risque : très faible
- Projection de pale :
 - Zone d'effet : 500 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 personne
 - Probabilité : D
 - Gravité : Modérée
 - Niveau de risque : très faible






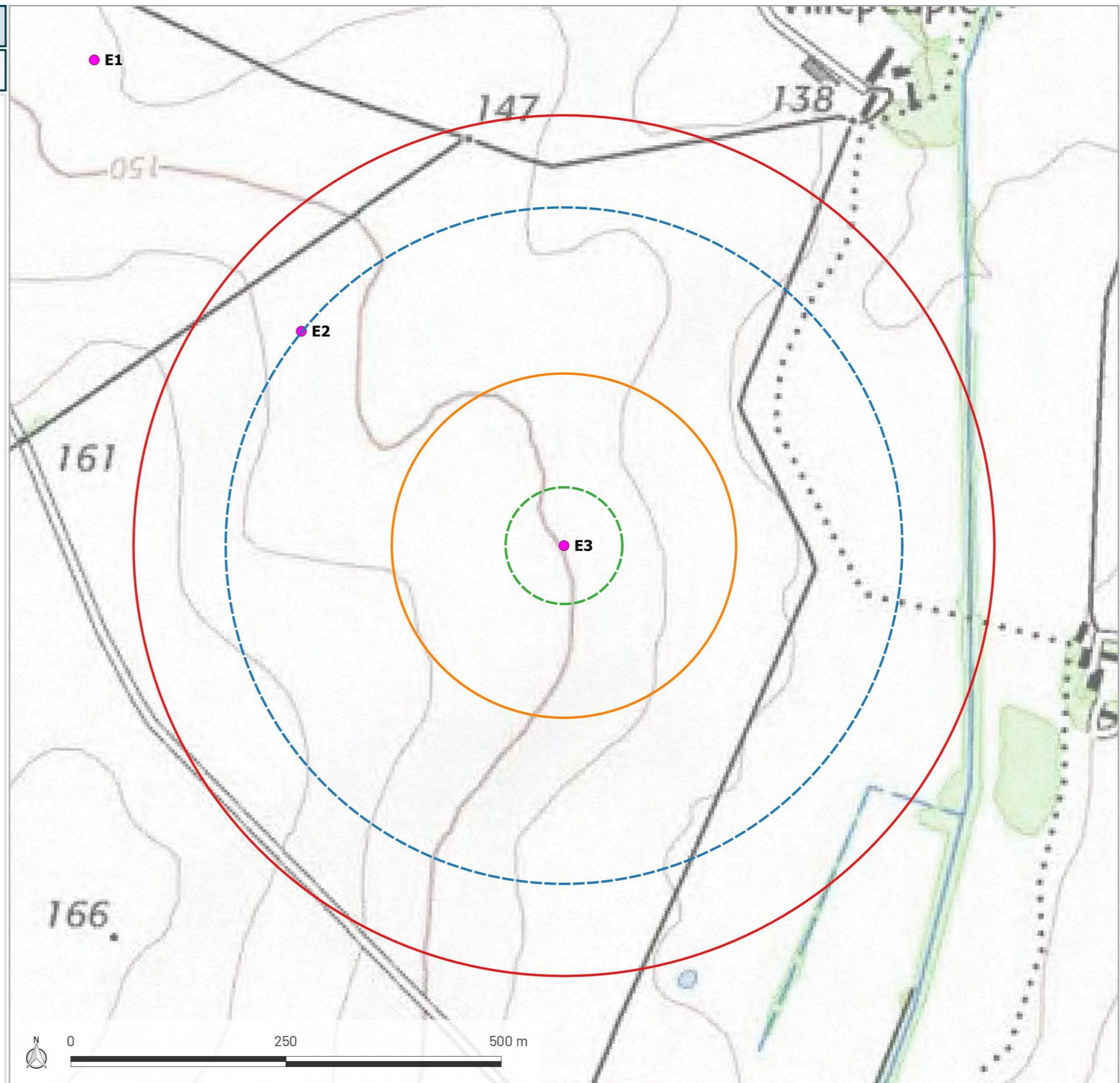
Carte 13: Niveau de risque pour l'éolienne E2

Projet éolien Champ des Vignes

Niveaux de risque (E3)

- Eolienne
- Chute de glace :
 - Zone d'effet : 69 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 personne
 - Probabilité : A
 - Gravité : Modérée
 - Niveau de risque : faible
- Chute d'élément d'éolienne :
 - Zone d'effet : 69 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 personne
 - Probabilité : C
 - Gravité : Modérée
 - Niveau de risque : très faible
- Effondrement de l'éolienne :
 - Zone d'effet : 200 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 personne
 - Probabilité : D
 - Gravité : Modérée
 - Niveau de risque : très faible
- Projection de glace :
 - Zone d'effet : 402 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 personne
 - Probabilité : B
 - Gravité : Modérée
 - Niveau de risque : très faible
- Projection de pale :
 - Zone d'effet : 500 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 personne
 - Probabilité : D
 - Gravité : Modérée
 - Niveau de risque : très faible





Carte 14: Niveau de risque pour l'éolienne E3

Projet

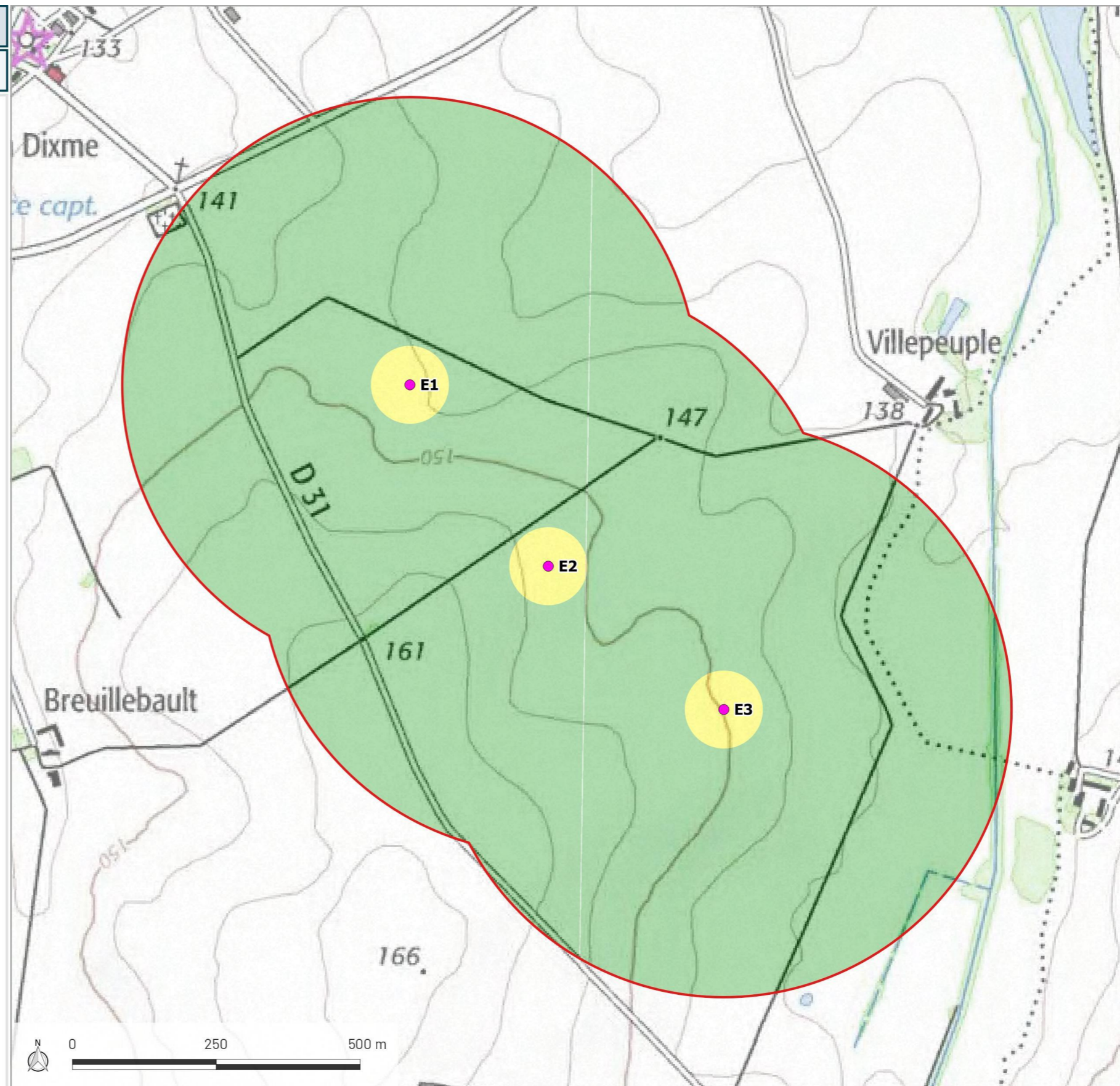
● Eolienne

□ Aire d'étude

Niveau de risque

■ Risque très faible

■ Risque faible



Carte 15: Synthèse des risques

9 MOYENS DE SECOURS ET D'INTERVENTION

9.1 MOYENS INTERNES

Des panneaux de signalisation rappelant les consignes de sécurité ainsi que les coordonnées des secours sont placés sur les voies d'accès au site ainsi qu'à l'entrée des différents équipements (mats des éoliennes et poste de livraison). Un kit de premiers secours est disposé dans chacune des nacelles, ainsi qu'un extincteur. Un extincteur est également placé en pied de mât de chaque éolienne ainsi qu'au poste de livraison. Le personnel est formé à l'utilisation des extincteurs.

9.2 MOYENS EXTERNES

La caserne de pompiers la plus proche du projet éolien Champ des Vignes est celle de Vatan à environ 5 km du projet.

Divers moyens peuvent être mis en œuvre pour faciliter le travail des services de secours :

Coupure d'urgence hors périmètre de sécurité

A distance, si le lien SCADA est opérationnel, les éoliennes peuvent être arrêtées par une commande SCADA (frein aérodynamique uniquement). Ainsi, l'éolienne s'arrêtera sous 30 à 60 secondes environ si le système de commande des pâles est opérationnel. Par contre, l'éolienne n'est pas coupée de l'électricité. Les seuls moyens de mettre hors tension une éolienne en-dehors d'un périmètre de sécurité, est d'actionner le disjoncteur dans le poste de livraison (mise hors tension du parc) ou de couper le parc dans le Poste source du gestionnaire de réseau électrique (Enedis, ...). Cette action est possible soit par les équipes Haute Tension des techniciens de maintenance ENERCON (poste de livraison) ou par le gestionnaire de réseau (poste de livraison et poste source).

Système d'entrée dans l'éolienne

Il n'y a à ce jour pas de boîte à clés pour accéder aux éoliennes. Chaque camion des techniciens de maintenance ENERCON, possède des clés pour accéder aux éoliennes. Si aucun technicien n'est présent à l'arrivée des secours, une procédure permet au SDIS concerné d'accéder à l'éolienne à l'aide d'une pince.

Equipements anti-chutes

Dans chaque camion des techniciens de maintenance ENERCON, il y a un dispositif stop-chute « runner » permettant d'utiliser l'échelle par un pompier « classique ». En règle générale, les SDIS ne s'équipent pas de ce type de matériel car les équipements peuvent varier entre les différents fabricants d'éolienne. Les unités spécialisées des pompiers « Grimp » sont en mesure de monter par leurs propres moyens à l'intérieur des éoliennes.

9.3 TRAITEMENT DE L'ALERTE

Les paramètres sont retransmis au centre de surveillance ENERCON en continu via le système SCADA en place sur le parc (cf. description du système SCADA en ANNEXE 7.6).

Les données d'exploitation et les messages d'état (anomalies, alertes...) sont par ailleurs conservés en copie sur le système implanté, sur le parc sur une période de 20 ans. Les systèmes embarqués des éoliennes peuvent quant à eux conserver les 10 derniers messages d'état horodatés.

0	Turbine in operation	61	Mains breakdown	302	Data bus error blade
1	Turbine stopped	62	Feeding fault	303	Data bus error blade control (CAN3)
2	Lack of wind	64	Overcurrent inverter	304	Data bus error (Timeout)
3	Storm	65	Overcurrent inverter	305	No data from I/O-Board control cabinet
4	Shadow shutdown	66	Fault rectifier	306	No data from
5	Blade defroster	67	Overtemperature	307	Timeout angle encoder
7	Unauthorized access	69	Acoustic sensor	310	Unknown node-ID
8	Maintenance	70	Generator overtemperature	315	Invalid index
9	Generator heating	72	Air gap monitoring	318	Error CAN1-Interrupt
10	EMERGENCY STOP actuated	73	Torque monitoring	319	Error CAN2-Interrupt
11	Rotor brake activated manual	76	Bearing temperature	320	Malfunction IIC-bus
12	Rotor lock	80	Excitation error	402	Error +12V processor
14	Formation of ice	90	Protective circuit breaker tripped	403	Error -12V processor
15	Turbine moist	91	Semiconductor fuse blown	404	Error +15V processor
16	Overspeed switch test	95	Error temperature measurement	405	Error -15V processor
17	Test safety system	96	Error temperature measurement inverter	411	Error +4V ref. processor
20	Wind measurement fault	112	Smoke detector	412	Error +5V ref. processor
21	Cable twisted	122	Fault transformer	413	Error -5V ref. processor
22	Yaw control fault	150	Initialize EEPROMII	414	Error +10V ref. processor
25	Faulty yaw inverter	152	Program incompatibleII	415	Error -10V ref. processor
29	Anemometer interface	153	No turbine ID	421	Error +5V sensoric
30	Vibration sensor	155	Wrong bootblock address	422	Error +12V sensoric
31	Tower oscillation	158	Serial number	423	Error -12V sensoric
40	Rotor overspeed	202	Inverter bus error	424	Error +15V sensoric
41	Rotor overspeed switch	204	Inverter bus error all inverters	425	Error -15V sensoric
42	Pitch control error	206	No data from power control	426	Error +20V sensoric
43	Main security circuit fault	207	Fault inverter control	427	Error -20V sensoric
44	Fault emergency stop capacitor	220	Processor reset	428	Error +12V relay
45	Capacitor charging error	221	Watchdog reset	429	Error supply hardware
46	Fault capacitor test	222	Turbine reset	432	Error +5V sensoric
47	Fault security system	223	Software Update	433	Error -5V sensoric
48	Speed sensor error	228	Time out warn message	434	Error +10V sensoric
49	Fault blade load control	229	Too many warnings	435	Error -10V sensoric
55	Blade heating faulty	240	Remote control PC	438	Error supply IGBT-driver
60	Mains failure	300	Turbine control bus error (Bus-Off)	441	Error pos. supply current measure

Liste des messages d'état principal ENERCON

Les messages d'état sont construits sous la forme de codes « état principal : sous état »

Par exemple, le message d'état « 20 :52 » signifie « défaut de mesure du vent : pas de signal de l'anémomètre ».

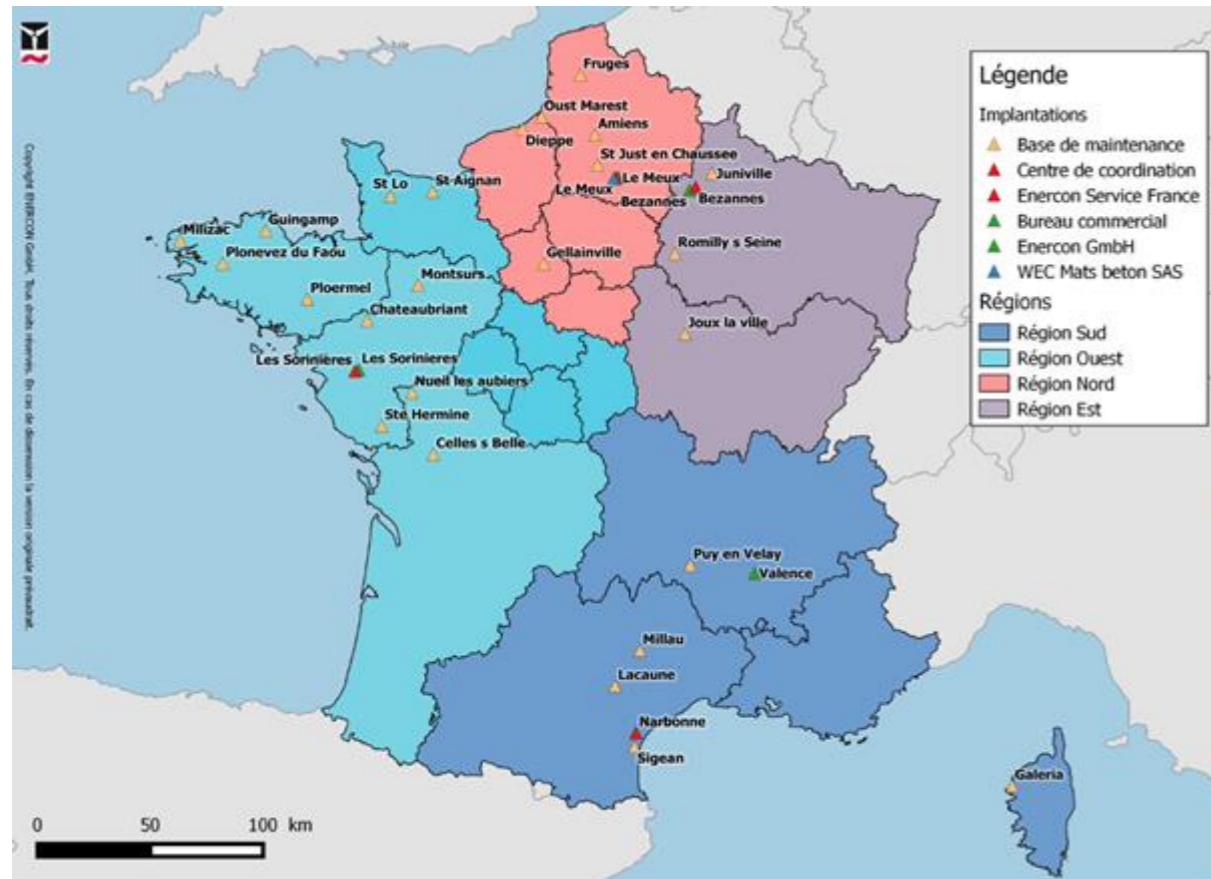
Une alerte est envoyée en moins d'une minute au centre de contrôle, qui est à même de contacter les services compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'installation.

9.4 IMPLANTATION DES BASES DE MAINTENANCE

Afin de garantir une rapidité d'intervention et une qualité des services de maintenance, Enercon Service France a adopté une stratégie de proximité de ses bases de maintenance par rapport à ses parcs installés

La base de maintenance la plus proche du projet éolien Champ des Vignes se trouve à Gellainville située à près de 180 km d'intervention du site d'implantation, soit à environ 1h50.

La carte ci-dessous représente les bases de maintenance et sièges sociaux ENERCON installés en France.



10 CONCLUSION

Les mesures de maîtrise des risques mises en place par le constructeur Enercon et par l'exploitant du parc éolien permettent de prévenir et de limiter les risques pour la sécurité des personnes et des biens sur la zone d'implantation du projet éolien Champ des Vignes. De plus, le caractère très peu aménagé et peu fréquenté du site, ainsi que la distance par rapport aux premiers enjeux humains permettent de limiter la probabilité et la gravité des accidents majeurs, qui sont tous acceptables pour l'ensemble du parc éolien.

Seul un événement présente un risque faible d'atteindre une personne non abritée située sous une éolienne : la chute de glace. Ce cas concerne une personne non abritée située sous une éolienne, soit un rayon de 69 m autour du mât. Ce risque correspond à un degré d'exposition « modérée » (petits fragments de glace) et donc à une gravité « modérée », avec une probabilité d'occurrence de l'évènement supérieure à 10^{-2} par éolienne et par an. Il faut noter que ces zones de survol des pales sont très peu fréquentées (au plus 0,015 personne équivalente). De plus, conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 22 juin 2020, un panneautage préventif informant des risques de chute de glace au pied des éoliennes sera mis en place afin de limiter les risques pour le public.

L'ensemble des autres événements présentent des niveaux de risque très faible.

Les accidents majeurs susceptibles de se produire sur le parc éolien Champ des Vignes présentent tous des niveaux de risque acceptables au vu de l'analyse menée dans la présente étude de dangers.

11 ANNEXES

11.1 ANNEXE 1 – METHODE DE COMPTAGE DES PERSONNES POUR LA DETERMINATION DE LA GRAVITE POTENTIELLE D'UN ACCIDENT A PROXIMITE D'UNE EOLIENNE

La détermination du nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) présentes dans chacune des zones d'effet se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers. Cette fiche permet de compter aussi simplement que possible, selon des règles forfaitaires, le nombre de personnes exposées dans chacune des zones d'effet des phénomènes dangereux identifiés.

Dans le cadre de l'étude de dangers des parcs éoliens, cette méthode permet tout d'abord, au stade de la description de l'environnement de l'installation (partie III.4), de comptabiliser les enjeux humains présents dans les ensembles homogènes (terrains non bâtis, voies de circulation, zones habitées, ERP, zones industrielles, commerces...) situés dans l'aire d'étude de l'éolienne considérée.

D'autre part, cette méthode permet ensuite de déterminer la gravité associée à chaque phénomène dangereux retenu dans l'étude détaillée des risques (partie VIII).

11.1.1 Terrains non bâtis

Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts, friches, marais...): compter 1 personne par tranche de 100 ha.

Terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de circulation non structurantes, chemins agricoles, plateformes de stockage, vignes, jardins et zones horticoles, gares de triage...): compter 1 personne par tranche de 10 hectares.

Terrains aménagés et potentiellement fréquentés ou très fréquentés (parkings, parcs et jardins publics, zones de baignades surveillées, terrains de sport (sans gradin néanmoins...): compter la capacité du terrain et a minima 10 personnes à l'hectare.

11.1.2 Voies de circulation

Les voies de circulation n'ont à être prises en considération que si elles sont empruntées par un nombre significatif de personnes. En effet, les voies de circulation non structurantes (< 2000 véhicule/jour) sont déjà comptées dans la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés.

11.1.2.1 Voies de circulation automobiles

Dans le cas général, on comptera 0,4 personne permanente par kilomètre exposé par tranche de 100 véhicules/jour. Exemple : 20 000 véhicules/jour sur une zone de 500 m = $0,4 \times 0,5 \times 20\ 000/100 = 40$ personnes.

Trafic (en véhicules/jour)	Linéaire de route compris dans la zone d'effet (en m)									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
2 000	0,8	1,6	2,4	3,2	4	4,8	5,6	6,4	7,2	8
3 000	1,2	2,4	3,6	4,8	6	7,2	8,4	9,6	10,8	12
4 000	1,6	3,2	4,8	6,4	8	9,6	11,2	12,8	14,4	16
5 000	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
7 500	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
10 000	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40
20 000	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80
30 000	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120
40 000	16	32	48	64	80	96	112	128	144	160
50 000	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200
60 000	24	48	72	96	120	144	168	192	216	240
70 000	28	56	84	112	140	168	196	224	252	280
80 000	32	64	96	128	160	192	224	256	288	320
90 000	36	72	108	144	180	216	252	288	324	360
100 000	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400

11.1.2.2 Voies ferroviaires

Train de voyageurs : compter 1 train équivalent à 100 véhicules (soit 0,4 personne exposée en permanence par kilomètre et par train), en comptant le nombre réel de trains circulant quotidiennement sur la voie.

11.1.2.3 Voies navigables

Compter 0,1 personne permanente par kilomètre exposé et par péniche/jour.

11.1.2.4 Chemins et voies piétonnes

Les chemins et voies piétonnes ne sont pas à prendre en compte, sauf pour les chemins de randonnée, car les personnes les fréquentant sont généralement déjà comptées comme habitants ou salariés exposés.

Pour les chemins de promenade, de randonnée : compter 2 personnes pour 1 km par tranche de 100 promeneurs/jour en moyenne.

11.1.3 Logements

Pour les logements : compter la moyenne INSEE par logement (par défaut : 2,5 personnes), sauf si les données locales indiquent un autre chiffre.

11.1.4 Etablissements recevant du public (ERP)

Compter les ERP (bâtiments d'enseignement, de service public, de soins, de loisir, religieux, grands centres commerciaux etc.) en fonction de leur capacité d'accueil (au sens des catégories du code de la construction et de l'habitation), le cas échéant sans compter leurs routes d'accès (cf. paragraphe sur les voies de circulation automobile).

Les commerces et ERP de catégorie 5 dont la capacité n'est pas définie peuvent être traités de la façon suivante :

- Compter 10 personnes par magasin de détail de proximité (boulangerie et autre alimentation, presse et coiffeur);
- Compter 15 personnes pour les tabacs, cafés, restaurants, supérettes et bureaux de poste.

Les chiffres précédents peuvent être remplacés par des chiffres issus du retour d'expérience local pour peu qu'ils restent représentatifs du maximum de personnes présentes et que la source du chiffre soit soigneusement justifiée.

Une distance d'éloignement de 500 m aux habitations est imposée par la loi. La présence d'habitations ou d'ERP ne se rencontreront peu en pratique.

11.1.5 Zones d'activité

Zones d'activités (industries et autres activités ne recevant pas habituellement de public) : prendre le nombre de salariés (ou le nombre maximal de personnes présentes simultanément dans le cas de travail en équipes), le cas échéant sans compter leurs routes d'accès.

11.2 ANNEXE 2 – TABLEAU DE L'ACCIDENTOLOGIE FRANÇAISE

Le tableau ci-dessous a été établi par le groupe de travail constitué pour la réalisation du présent guide. Il recense l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne entre 2000 et juin 2019. L'analyse de ces données est présentée dans la partie VI. de la trame type de l'étude de dangers.

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Effondrement	Novembre 2000	Port la Nouvelle	Aude	0,5	1993	Non	Le mât d'une éolienne s'est plié lors d'une tempête suite à la perte d'une pale (coupure courant prolongée pendant 4 jours suite à la tempête)	-
Rupture de pale	2001	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts)	Information peu précise
Effondrement	01/02/2002	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris d'hélice et mât plié	-
Maintenance	01/07/2002	Port la Nouvelle - Sigean	Aude	0,66	2000	Oui	Grave électrisation avec brûlures d'un technicien	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	28/12/2002	Névian - Grande Garrigue	Aude	0,85	2002	Oui	Effondrement d'une éolienne suite au dysfonctionnement du système de freinage	-
Rupture de pale	25/02/2002	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pale en bois (avec inserts) sur une éolienne bipale	Information peu précise
Rupture de pale	05/11/2003	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts) sur trois éoliennes. Morceaux de pales disséminés sur 100 m.	-
Effondrement	01/01/2004	Le Portel - Boulogne sur Mer	Pas de Calais	0,75	2002	Non	Cassure d'une pale, chute du mât et destruction totale. Une pale tombe sur la plage et les deux autres dérivent sur 8 km.	-
Effondrement	20/03/2004	Loon Plage - Port de Dunkerque	Nord	0,3	996	Non	Couchage du mât d'une des 9 éoliennes suite à l'arrachement de la fondation	-
Rupture de pale	22/06/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50 m, mât intact	-
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50 m, mât intact	Incident identique à celui s'étant produit 15 jours auparavant
Rupture de pale	2004	Escales - Conilhac	Aude	0,75	2003	Non	Bris de trois pales	Information peu précise
Rupture de pale + incendie	22/12/2004	Montjoyer - Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne (survitesse de plus de 60 tr/min)	-
Rupture de pale	2005	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris de pale	Information peu précise
Rupture de pale	08/10/2006	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2004	Non	Chute d'une pale de 20 m pesant 3 tonnes	-
Incendie	18/11/2006	Roquetaillade	Aude	0,66	2001	Oui	Acte de malveillance : explosion de bonbonne de gaz au pied de 2 éoliennes. L'une d'entre elles a mis le feu en pieds de mat qui s'est propagé jusqu'à la nacelle.	-
Effondrement	03/12/2006	Bondues	Nord	0,08	1993	Non	Sectionnement du mât puis effondrement d'une éolienne dans une zone industrielle	-
Rupture de pale	31/12/2006	Ally	Haute-Loire	1,5	2005	Oui	Chute de pale lors d'un chantier de maintenance visant à remplacer les rotors	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident pendant la phase chantier)
Rupture de pale	03/2007	Clitourps	Manche	0,66	2005	Oui	Rupture d'un morceau de pale de 4 m et éjection à environ 80 m de distance dans un champ	-
Chute d'élément	11/10/2007	Plouvien	Finistère	1,3	2007	Non	Chute d'un élément de la nacelle (trappe de visite de 50 cm de diamètre)	-
Emballlement	03/2008	Dinéault	Finistère	0,3	2002	Non	Emballlement de l'éolienne mais pas de bris de pale	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (événement unique et sans répercussion potentielle sur les personnes)
Collision avion	04/2008	Plouguin	Finistère	2	2004	Non	Léger choc entre l'aile d'un bimoteur Beechcraftch (liaison Ouessant-Brest) et une pale d'éolienne à l'arrêt. Perte d'une pièce de protection au bout d'aile. Mise à l'arrêt de la machine pour inspection.	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident aéronautique)
Rupture de pale	19/07/2008	Erize-la-Brûlée - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale et projection de morceaux de pale suite à un coup de foudre	-
Incendie	28/08/2008	Vauvillers	Somme	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	26/12/2008	Raival - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale	-
Maintenance	26/01/2009	Clastres	Aisne	2,75	2004	Oui	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Rupture de pale	08/06/2009	Bollène	Vaucluse	2,3	2009	Oui	Bout de pale d'une éolienne ouvert	Non utilisable dans les chutes ou les projections (la pale est restée accrochée)
Incendie	21/10/2009	Froidfond - Espinassière	Vendée	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	-
Incendie	30/10/2009	Freysenet	Ardèche	2	2005	Oui	Incendie de la nacelle	-
Maintenance	20/04/2010	Toufflers	Nord	0,15	1993	Non	Décès d'un technicien au cours d'une opération de maintenance	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	30/05/2010	Port la Nouvelle	Aude	0,2	1991	Non	Effondrement d'une éolienne	-
Incendie	19/09/2010	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Emballement de deux éoliennes et incendie des nacelles	-
Maintenance	15/12/2010	Pouillé-les-Côteaux	Loire Atlantique	2,3	2010	Oui	Chute de 3 m d'un technicien de maintenance à l'intérieur de l'éolienne. L'homme de 22 ans a été secouru par le GRIMP de Nantes. Aucune fracture ni blessure grave.	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Transport	31/05/2011	Mesvres	Saône-et-Loire	-	-	-	Collision entre un train régional et un convoi exceptionnel transportant une pale d'éolienne, au niveau d'un passage à niveau. Aucun blessé	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident de transport hors site éolien)
Rupture de pale	14/12/2011	Non communiqué	Non communiqué	2,5	2003	-	Pale endommagée par la foudre. Fragments retrouvés par l'exploitant agricole à une distance n'excédant pas 300 m.	Information peu précise sur la distance d'effet
Incendie	03/01/2012	Non communiqué	Non communiqué	2,3	2006	-	Départ de feu en pied de tour. Acte de vandalisme : la porte de l'éolienne a été découpée pour y introduire des pneus et de l'huile que l'on a essayé d'incendier. Le feu ne s'est pas propagé, dégâts très limités et restreints au pied de la tour.	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'incendie)
Rupture de pale	05/01/2012	Widehem	Pas-de-Calais	0,75	2000	-	Bris de pales, dont des fragments ont été projetés jusqu'à 380 m. Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne).	-
Maintenance	06/02/2012	Lehaucourt	Aisne	-	-	-	Opération de maintenance dans la nacelle - un arc électrique (690V) blesse deux sous-traitants (brûlures au visage et aux mains)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Rupture de pale	11/04/2012	Sigean	Aude	-	-	-	Projection à 20 m d'un débris de pale long de 15 m due à l'impact de foudre sur l'éolienne	-
Chute de pale	18/05/2012	Fresnay l'Evêque	Eure-et-Loir	-	-	-	Chute d'une pale au pied d'une éolienne et rupture du roulement qui raccordait la pale au moyeu	-
Effondrement	30/05/2012	Port-la-Nouvelle	Aude	-	-	Non	Chute d'une éolienne liée à des rafales de vent de 130 km/h - Éolienne de 1991, mât treillis, 200 kW	-
Rupture de pale	01/11/2012	Vieillespesse	Cantal	-	-	-	Projection d'un élément de la pale à 70 m du mât pour une éolienne de 2.5 MW	-
Incendie + Chute de pale	05/11/2012	Sigean	Aude	-	-	-	Feu sur une éolienne de 660 kW entraînant une chute de pale et enflammant 80 m ² de garrigue environnante	-
Chute de pale	06/03/2013	Conihac-de-la-Montagne	Aude	-	-	-	Chute d'une pale liée à un problème de fixation entraînant un arrêt automatique de l'éolienne (détection d'échauffement + vitesse de rotation excessive)	-
Incendie + Chute de pale	17/03/2013	Euvy	Marne	-	-	-	Incendie dans une nacelle conduisant à la chute d'une pale et une fuite de 450 L d'huile en provenance du multiplicateur. L'origine du feu est liée à une défaillance électrique. Le feu a été maîtrisé en 1 heure.	-
Maintenance	01/07/2013	Cambon-et-Salvergues	Hérault	-	-	-	Un opérateur remplissant un réservoir d'azote sous pression dans une éolienne est blessé par la projection d'un équipement. Sesvoies respiratoires ont également été atteintes lors de l'accident.	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Perte d'huile	03/08/2013	Moreac	Morbihan	-	-	-	Perte de 270 L d'huile hydraulique d'une nacelle élévatrice intervenant sur une éolienne - pollution du sol sur 80 m ²	-
Incendie	09/01/2014	Anthény	Ardennes	-	-	-	Feu dans une nacelle au niveau de la partie génératrice	-
Chute de pale	20/01/2014	Sigean	Aude	-	-	-	Chute d'une pale au pied de l'éolienne suite à un défaut de vibration	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute de pale	14/11/2014	Saint-Cirgues-en-Montagne	Ardèche	-	-	-	Chute d'une pale d'éolienne	-
Chute de pale	05/12/2014	Fitou	Aude	-	-	-	Chute d'une pale d'éolienne	-
Incendie	29/01/2015	Remigny	Aisne	-	-	-	Feu d'éolienne et intervention des pompiers au premier étage de l'éolienne	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'incendie)
Incendie	06/02/2015	Lusseray	Deux-Sèvres	-	-	-	Incendie accidentel dans une armoire électrique en cours de maintenance par deux techniciens. Ces derniers éteignent le feu avec deux extincteurs.	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'incendie)
Incendie	24/08/2015	Santilly	Eure-et-Loir	2,3	2007	-	Incendie au niveau du moteur de l'éolienne situé à 90 m de hauteur. La nacelle étant trop haute pour la grande échelle des pompiers, ces derniers décident de laisser brûler le foyer sous surveillance. Les chemins menant à l'éolienne sont interdits à la circulation.	-
Chute d'élément	10/11/2015	Mesnil-la-Horgne	Meuse	-	-	-	Chute du rotor	-
Chute d'élément de l'éolienne	07/02/2016	Conilhac-Corbières	Aude	-	-	-	Chute de l'aérovein d'une pale	-
Chute de pale	08/02/2016	Dinéault	Finistère	-	-	-	Chute d'une pale et déchirement d'une autre lors d'une tempête	-
Chute de pale	07/03/2016	Calanhel	Côtes-d'Armor	-	-	-	Chute d'une pale	-
Fuite d'huile	28/05/2016	Janville	Eure-et-Loir	-	-	-	Défaillance d'un raccord sur le circuit de refroidissement de l'huile de la boîte de vitesse de l'éolienne entraînant une fuite d'huile. Les agents de maintenance mettent en place des absorbants et l'écoulement est récupéré avant d'avoir atteint le sol.	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'huile)
Incendie	18/08/2016	Dargies	Oise	-	-	-	Défaillance électrique à l'origine de l'incendie au niveau de l'armoire électrique ou du pupitre de commande (point de départ)	-
Rupture de pale	27/02/2017	Nélausa-Lavallée	Meuse	2	2011	Oui	Lors d'un orage, la pointe d'une pale d'éolienne se rompt. L'extrémité, de 7 à 10 m, est retrouvée au sol, en 3 morceaux, à 200 m de l'éolienne	Une rafale de vent extrême ayant été mesurée dans les secondes précédant la rupture, cette origine est privilégiée pour expliquer la casse de la pale.
Rupture de pale	27/02/2017	Trayes	Deux-Sèvres	-	-	-	Plusieurs fragments des 7 derniers mètres d'une pale projetés jusqu'à 150 m du mât dus à un défaut de fabrication	-
Incendie	06/06/2017	Allonnes	Eure-et-Loir	-	-	-	Combustion de la nacelle, du rotor, d'une partie des pales et du haut du mât avec chute d'éléments au sol ainsi que coulure d'hydrocarbures sur le mât	-
Chute de pale	24/06/2017	Conchy-sur-Canche	Pas-de-Calais	-	-	-	Chute d'une pale à la verticale au pied du mât et débris projetés dans un rayon de 20m	-
Chute d'élément de l'éolienne	17/07/2017	Fécamp	Seine Maritime	-	-	-	Chute de l'aérovein d'une éolienne au pied du mât due au desserrage d'une vis anti-rotation (vibrations ou problème de montage à l'origine)	-
Chute d'élément de l'éolienne	08/11/2017	Roman	Eure	-	-	-	Chute du carénage de la pointe de la nacelle d'une éolienne tombe au sol due à un défaut d'assemblage de ses boulonnages	-
Effondrement	01/01/2018	Bouin	Vendée	-	-	-	Défaillances multiples des systèmes de pitchs de plusieurs pales ainsi que du frein rotor entraînant une survitesse et la chute de l'éolienne lors d'une tempête.	-
Rupture de pale	04/01/2018	Nixéville-Blercourt	Meuse	2	-	-	Rupture et chute au sol d'un morceau de 20 m de l'extrémité d'une pale. Débris retrouvés jusqu'à 200 m.	-
Chute d'élément de l'éolienne	06/02/2018	Conilhac-Corbières	Aude	-	-	-	Chute de l'aérovein d'une pale d'éolienne	-
Chute de pale	10/04/2018	Dio-et-Valquières	Hérault	1	2006	-	Chute d'une pale d'éolienne suite à un orage et des vents violents (enregistrés entre 120 et 150 km/h)	-
Incendie	01/06/2018	Marsanne	Drôme	-	-	-	Acte de malveillance : incendie criminelle au pied de deux éoliennes. L'incendie d'une des éoliennes se propage jusqu'à la nacelle ainsi que la base des pales. Le second feu est confiné à la base de l'éolienne.	-
Incendie	05/06/2018	Aumelas	Hérault	2	2014	Oui	Incendie de la nacelle et au niveau du convertisseur	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute d'élément de l'éolienne	04/07/2018	Port-la-Nouvelle	Aude	-	-	-	Extrémités de deux pales disloquées avec projection d'éléments à 150 m du mât	-
Incendie	03/08/2018	Izenave	Ain	-	-	-	Acte de malveillance probable : feu au niveau de la nacelle et chute de deux pales	-
Incendie	28/09/2018	Sauveterre	Tarn	-	-	-	Acte de malveillance : déclaration d'un feu au niveau de la nacelle avec chute d'éléments au sol et propagation du feu sur 2,5 ha de la végétation voisine	-
Perte d'huile	17/10/2018	Flers-sur-Noye	Somme	-	-	-	Fuite d'huile hydraulique (environ 50 L) depuis la nacelle. Impact d'une zone de 2 000 m ²	-
Effondrement	06/11/2018	Guigneville	Loiret	-	-	-	Chute d'une éolienne de 140 m en bout de pale due à la panne du système de freinage	-
Chute d'élément de l'éolienne	18/11/2018	Conilhac-Corbières	Aude	-	-	-	Chute de 3 aéofreins en extrémité des pales d'une éolienne avec projection de débris dans un rayon de 150 m	-
Rupture de pale	19/11/2018	Ollezy	Aisne	-	-	-	Rupture d'une pale d'éolienne	-
Incendie	02/01/2019	La Limouzinière	Loire-Atlantique	-	-	-	Incendie au niveau du moteur d'une éolienne sans déformation de la structure mais quelques débris de plastiques au sol	-
Rupture de pale	17/01/2019	Bambiderstroff	Moselle	-	-	-	Chute de deux morceaux d'une pale d'éolienne dont l'un de 5 m et l'autre de 28 m qui est projeté à 100 m de l'éolienne.	-
Incendie	20/01/2019	Roussas	Drôme	-	-	-	Incendie criminel sur deux éoliennes d'un parc éolien	-
Effondrement	23/01/2019	Boutavent	Oise	-	-	-	Le mât de 66 m se plie en deux en son milieu. Des débris sont projetés dans un rayon de 300 m.	-
Chute de pale	30/01/2019	Roquetaillade	Aude	-	-	-	Chute d'une pale d'éolienne	-
Chute de pale	02/04/2019	Equancourt	Somme	-	-	-	Chute d'une pale suite à un impact de foudre	-
Incendie + Chute d'élément	25/06/2019	Ambon	Morbihan	-	-	-	Incendie accidentel de la nacelle d'une éolienne provoquant la chute de celle-ci en partie	-

11.3 ANNEXE 3 – SCENARIOS GENERIQUES ISSUS DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

Cette partie apporte un certain nombre de précisions par rapport à chacun des scénarios étudiés par le groupe de travail technique dans le cadre de l'analyse préliminaire des risques.

Le tableau générique issu de l'analyse préliminaire des risques est présenté dans la partie VII.4. de la trame type de l'étude de dangers. Il peut être considéré comme représentatif des scénarios d'accident pouvant potentiellement se produire sur les éoliennes et pourra par conséquent être repris à l'identique dans les études de dangers.

La numérotation des scénarios ci-dessous reprend celle utilisée dans le tableau de l'analyse préliminaire des risques, avec un regroupement des scénarios par thématique, en fonction des typologies d'événement redoutés centraux identifiés grâce au retour d'expérience par le groupe de travail précédemment cité (« 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).

11.3.1 Scénarios relatifs aux risques liés à la glace (G01 et G02)

11.3.1.1 Scénario G01

En cas de formation de glace, les systèmes de préventions intégrés stopperont le rotor. La chute de ces éléments interviendra donc dans l'aire surplombée par le rotor, le déport induit par le vent étant négligeable.

Plusieurs procédures/systèmes permettront de détecter la formation de glace :

- Système de détection de glace
- Arrêt préventif en cas de déséquilibre du rotor
- Arrêt préventif en cas de givrage de l'anémomètre.

11.3.1.2 Scénario G02

La projection de glace depuis une éolienne en mouvement interviendra lors d'éventuels redémarrage de la machine encore « glacée », ou en cas de formation de glace sur le rotor en mouvement simultanément à une défaillance des systèmes de détection de givre et de balourd. Aux faibles vitesses de vents (vitesse de démarrage ou « cut in »), les projections resteront limitées au surplomb de l'éolienne. A vitesse de rotation nominale, les éventuelles projections seront susceptibles d'atteindre des distances supérieures au surplomb de la machine.

11.3.2 Scénarios relatifs aux risques d'incendie (I01 à I07)

Les éventuels incendies interviendront dans le cas ou plusieurs conditions seraient réunies (Ex : Foudre + défaillance du système parafoudre = Incendie).

Le moyen de prévention des incendies consiste en un contrôle périodique des installations.

Dans l'analyse préliminaire des risques seulement quelques exemples vous sont fournis. La méthodologie suivante pourra aider à déterminer l'ensemble des scénarios devant être regardé :

- Découper l'installation en plusieurs parties : rotor, nacelle, mât, fondation et poste de livraison ;
- Déterminer à l'aide de mot clé les différentes causes (cause 1, cause 2) d'incendie possibles.

L'incendie peut aussi être provoqué par l'échauffement des pièces mécaniques en cas d'emballlement du rotor (survitesse). Plusieurs moyens sont mis en place en matière de prévention :

- Concernant le défaut de conception et fabrication : Contrôle qualité
- Concernant le non-respect des instructions de montage et/ou de maintenance : Formation du personnel intervenant, Contrôle qualité (inspections)
- Concernant les causes externes dues à l'environnement : Mise en place de solutions techniques visant à réduire l'impact. Suivant les constructeurs, certains dispositifs sont de série ou en option. Le choix des options est effectué par l'exploitant en fonction des caractéristiques du site.

L'emballlement peut notamment intervenir lors de pertes d'utilités. Ces pertes d'utilités peuvent être la conséquence de deux phénomènes :

- Perte de réseau électrique : l'alimentation électrique de l'installation est nécessaire pour assurer le fonctionnement des éoliennes (orientation, appareils de mesures et de contrôle, balisage, ...);
- Perte de communication : le système de communication entre le parc éolien et le superviseur à distance du parc peut être interrompu pendant une certaine durée.

Concernant la perte du réseau électrique, celle-ci peut être la conséquence d'un défaut sur le réseau d'alimentation du parc éolien au niveau du poste source. En fonction de leurs caractéristiques techniques, le comportement des éoliennes face à une perte d'utilité peut être différent (fonction du constructeur). Cependant, deux systèmes sont couramment rencontrés :

- Déclenchement au niveau du rotor du code de freinage d'urgence, entraînant l'arrêt des éoliennes ;
- Basculement automatique de l'alimentation principale sur l'alimentation de secours (batteries) pour arrêter les aérogénérateurs et assurer la communication vers le superviseur.

Concernant la perte de communication entre le parc éolien et le superviseur à distance, celle-ci n'entraîne pas d'action particulière en cas de perte de la communication pendant une courte durée.

En revanche, en cas de perte de communication pendant une longue durée, le superviseur du parc éolien concerné dispose de plusieurs alternatives dont deux principales :

- Mise en place d'un réseau de communication alternatif temporaire (faisceau hertzien, agent technique local...);
- Mise en place d'un système autonome d'arrêt à distance du parc par le superviseur.

Les solutions aux pertes d'utilités étant diverses, les porteurs de projets pourront apporter dans leur étude de danger une description des protocoles qui seront mis en place en cas de pertes d'utilités.

11.3.3 Scénarios relatifs aux risques de fuites (F01 à F02)

Les fuites éventuelles interviendront en cas d'erreur humaine ou de défaillance matérielle.

Une attention particulière est à porter aux mesures préventives des parcs présents dans des zones protégées au niveau environnemental, notamment en cas de présence de périmètres de protection de captages d'eau potable (identifiés comme enjeux dans le descriptif de l'environnement de l'installation). Dans ce dernier cas, un hydrogéologue agréé devra se prononcer sur les mesures à prendre en compte pour préserver la ressource en eau, tant au niveau de l'étude d'impact que de l'étude de danger. Plusieurs mesures pourront être mises en place (photographie du fond de fouille des fondations pour montrer que la nappe phréatique n'a pas été atteinte, comblement des failles karstiques par des billes d'argile, utilisation de graisses végétales pour les engins, ...).

11.3.3.1 Scénario F01

En cas de rupture de flexible, perçage d'un contenant ..., il peut y avoir une fuite d'huile ou de graisse ... alors que l'éolienne est en fonctionnement. Les produits peuvent alors s'écouler hors de la nacelle, couler le long du mât et s'infiltrer dans le sol environnant l'éolienne.

Plusieurs procédures/actions permettront d'empêcher l'écoulement de ces produits dangereux :

- Vérification des niveaux d'huile lors des opérations de maintenance
- Détection des fuites potentielles par les opérateurs lors des maintenances
- Procédure de gestion des situations d'urgence

Deux événements peuvent être aggravants :

- Ecoulement de ces produits le long des pales de l'éolienne, surtout si celle-ci est en fonctionnement. Les produits seront alors projetés aux alentours.
- Présence d'une forte pluie qui dispersa rapidement les produits dans le sol.

11.3.3.2 Scénario F02

Lors d'une maintenance, les opérateurs peuvent accidentellement renverser un bidon d'huile, une bouteille de solvant, un sac de graisse ... Ces produits dangereux pour l'environnement peuvent s'échapper de l'éolienne ou être renversés hors de cette dernière et infiltrer les sols environnants.

Plusieurs procédures/actions permettront d'empêcher le renversement et l'écoulement de ces produits :

- Kits anti-pollution associés à une procédure de gestion des situations d'urgence
- Sensibilisation des opérateurs aux bons gestes d'utilisation des produits

Ce scénario est à adapter en fonction des produits utilisés.

Événement aggravant : fortes pluies qui disperseront rapidement les produits dans le sol.

11.3.4 Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments (C01 à C03)

Les scénarii de chutes concernent les éléments d'assemblage des aérogénérateurs : ces chutes sont déclenchées par la dégradation d'éléments (corrosion, fissures, ...) ou des défauts de maintenance (erreur humaine).

Les chutes sont limitées à un périmètre correspondant à l'aire de survol.

11.3.5 Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales (P01 à P06)

Les événements principaux susceptibles de conduire à la rupture totale ou partielle de la pale sont liés à 3 types de facteurs pouvant intervenir indépendamment ou conjointement :

- Défaut de conception et de fabrication
- Non-respect des instructions de montage et/ou de maintenance
- Causes externes dues à l'environnement : glace, tempête, foudre...

Si la rupture totale ou partielle de la pale intervient lorsque l'éolienne est à l'arrêt on considère que la zone d'effet sera limitée au surplomb de l'éolienne

L'emballlement de l'éolienne constitue un facteur aggravant en cas de projection de tout ou partie d'une pale. Cet emballlement peut notamment être provoqué par la perte d'utilité décrite au 2.2 de la présente partie C (scénarios incendies).

11.3.5.1 Scénario P01

En cas de défaillance du système d'arrêt automatique de l'éolienne en cas de survitesse, les contraintes importantes exercées sur la pale (vent trop fort) pourraient engendrer la casse de la pale et sa projection.

11.3.5.2 Scénario P02

Les contraintes exercées sur les pales - contraintes mécaniques (vents violents, variation de la répartition de la masse due à la formation de givre...), conditions climatiques (averses violentes de grêle, foudre...) - peuvent entraîner la dégradation de l'état de surface et à terme l'apparition de fissures sur la pale.

Prévention : Maintenance préventive (inspections régulières des pales, réparations si nécessaire)

Facteur aggravant : Infiltration d'eau et formation de glace dans une fissure, vents violents, emballlement de l'éolienne

11.3.5.3 Scénarios P03

Un mauvais serrage de base ou le desserrage avec le temps des goujons des pales pourrait amener au décrochage total ou partiel de la pale, dans le cas de pale en plusieurs tronçons.

11.3.6 Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E01 à E10)

Les événements pouvant conduire à l'effondrement de l'éolienne sont liés à 3 types de facteurs pouvant intervenir indépendamment ou conjointement :

- Erreur de dimensionnement de la fondation : Contrôle qualité, respect des spécifications techniques du constructeur de l'éolienne, étude de sol, contrôle technique de construction ;
- Non-respect des instructions de montage et/ou de maintenance : Formation du personnel intervenant
- Causes externes dues à l'environnement : séisme, ...

11.4 ANNEXE 4 – PROBABILITE D'ATTEINTE ET RISQUE INDIVIDUEL

Le risque individuel encouru par un nouvel arrivant dans la zone d'effet d'un phénomène de projection ou de chute est appréhendé en utilisant la probabilité de l'atteinte par l'élément chutant ou projeté de la zone fréquentée par le nouvel arrivant. Cette probabilité est appelée probabilité d'accident.

Cette probabilité d'accident est le produit de plusieurs probabilités :

$$\text{P}_{\text{accident}} = \text{PERC} \times \text{P}_{\text{orientation}} \times \text{P}_{\text{rotation}} \times \text{P}_{\text{atteinte}} \times \text{P}_{\text{présence}}$$

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

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

P_{rotation} = probabilité que l'éolienne soit en rotation au moment où l'événement redouté 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)

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

Par souci de simplification, la probabilité d'accident sera calculée en multipliant la borne supérieure de la classe de probabilité de l'événement redouté central par le degré d'exposition. Celui-ci est défini comme le ratio entre la surface de l'objet chutant ou projeté et la zone d'effet du phénomène.

Le tableau ci-dessous récapitule les probabilités d'atteinte en fonction de l'événement redouté central.

Evènement redouté central	Borne supérieure de la classe de probabilité de l'ERC (pour les éoliennes récentes)	Degré d'exposition	Probabilité d'atteinte
Effondrement	10^{-4}	10^{-2}	10^{-6} (E)
Chute de glace	1	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$ (A)
Chute d'éléments	10^{-3}	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$ (D)
Projection de tout ou partie de pale	10^{-4}	10^{-2}	10^{-6} (E)
Projection de morceaux de glace	10^{-2}	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$ (E)

Les seuls ERC pour lesquels la probabilité d'atteinte n'est pas de classe E sont ceux qui concernent les phénomènes de chutes de glace ou d'éléments dont la zone d'effet est limitée à la zone de survol des pales et où des panneaux sont mis en place pour alerter le public de ces risques.

De plus, les zones de survol sont comprises dans l'emprise des baux signés par l'exploitant avec le propriétaire du terrain ou à défaut dans l'emprise des autorisations de survol si la zone de survol s'étend sur plusieurs parcelles. La zone de survol ne peut donc pas faire l'objet de constructions nouvelles pendant l'exploitation de l'éolienne.

11.5 ANNEXE 5 – GLOSSAIRE

Les définitions ci-dessous sont reprises de la circulaire du 10 mai 2010. Ces définitions sont couramment utilisées dans le domaine de l'évaluation des risques en France.

Accident : Evènement non désiré, tel qu'une émission de substance toxique, un incendie ou une explosion résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation d'un établissement qui entraîne des conséquences/ dommages vis à vis des personnes, des biens ou de l'environnement et de l'entreprise en général. C'est la réalisation d'un phénomène dangereux, combinée à la présence d'enjeux vulnérables exposés aux effets de ce phénomène.

Cinétique : Vitesse d'enchaînement des événements constituant une séquence accidentelle, de l'événement initiateur aux conséquences sur les éléments vulnérables (cf. art. 5 à 8 de l'arrêté du 29 septembre 2005). Dans le tableau APR proposé, la cinétique peut être lente ou rapide. Dans le cas d'une cinétique lente, les enjeux ont le temps d'être mis à l'abri. La cinétique est rapide dans le cas contraire.

Danger : Cette notion définit une propriété intrinsèque à une substance (butane, chlore...), à un système technique (mise sous pression d'un gaz...), à une disposition (élévation d'une charge...), à un organisme (microbes), etc., de nature à entraîner un dommage sur un « élément vulnérable » (sont ainsi rattachées à la notion de « danger » les notions d'inflammabilité ou d'explosivité, de toxicité, de caractère infectieux, etc. inhérentes à un produit et celle d'énergie disponible [pneumatique ou potentielle] qui caractérisent le danger).

Efficacité (pour une mesure de maîtrise des risques) ou capacité de réalisation : Capacité à remplir la mission/fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation. En général, cette efficacité s'exprime en pourcentage d'accomplissement de la fonction définie. Ce pourcentage peut varier pendant la durée de sollicitation de la mesure de maîtrise des risques. Cette efficacité est évaluée par rapport aux principes de dimensionnement adapté et de résistance aux contraintes spécifiques.

Evènement initiateur : Evènement, courant ou anormal, interne ou externe au système, situé en amont de l'événement redouté central dans l'enchaînement causal et qui constitue une cause directe dans les cas simples ou une combinaison d'événements à l'origine de cette cause directe.

Evènement redouté central : Evènement conventionnellement défini, dans le cadre d'une analyse de risque, au centre de l'enchaînement accidentel. Généralement, il s'agit d'une perte de confinement pour les fluides et d'une perte d'intégrité physique pour les solides. Les événements situés en amont sont conventionnellement appelés « phase pré-accidentelle » et les événements situés en aval « phase post-accidentelle ».

Fonction de sécurité : Fonction ayant pour but la réduction de la probabilité d'occurrence et/ou des effets et conséquences d'un événement non souhaité dans un système. Les principales actions assurées par les fonctions de sécurité en matière d'accidents majeurs dans les installations classées sont : empêcher, éviter, détecter, contrôler, limiter. Les fonctions de sécurité identifiées peuvent être assurées à partir d'éléments techniques de sécurité, de procédures organisationnelles (activités humaines), ou plus généralement par la combinaison des deux.

Gravité : On distingue l'intensité des effets d'un phénomène dangereux de la gravité des conséquences découlant de l'exposition d'enjeux de vulnérabilités données à ces effets.

La gravité des conséquences potentielles prévisibles sur les personnes, prises parmi les intérêts visés à l'article L. 511-1 du code de l'environnement, résulte de la combinaison en un point de l'espace de l'intensité des effets d'un phénomène dangereux et de la vulnérabilité des enjeux potentiellement exposés.

Indépendance d'une mesure de maîtrise des risques : Faculté d'une mesure, de par sa conception, son exploitation et son environnement, à ne pas dépendre du fonctionnement d'autres éléments et notamment d'une part d'autres mesures de maîtrise des risques, et d'autre part, du système de conduite de l'installation, afin d'éviter les modes communs de défaillance ou de limiter leur fréquence d'occurrence.

Intensité des effets d'un phénomène dangereux : Mesure physique de l'intensité du phénomène (thermique, toxique, surpression, projections). Parfois appelée gravité potentielle du phénomène dangereux (mais cette expression est source d'erreur). Les échelles d'évaluation de l'intensité se réfèrent à des seuils d'effets moyens conventionnels sur des types d'éléments vulnérables [ou enjeux] tels que « homme », « structures ». Elles sont définies, pour les installations classées, dans l'arrêté du 29/09/2005. L'intensité ne tient pas compte de l'existence ou non d'enjeux exposés. Elle est cartographiée sous la forme de zones d'effets pour les différents seuils.

Mesure de maîtrise des risques (ou barrière de sécurité) : Ensemble d'éléments techniques et/ou organisationnels nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité. On distingue parfois :

- les mesures (ou barrières) de prévention : mesures visant à éviter ou limiter la probabilité d'un événement indésirable, en amont du phénomène dangereux
- les mesures (ou barrières) de limitation : mesures visant à limiter l'intensité des effets d'un phénomène dangereux
- les mesures (ou barrières) de protection : mesures visant à limiter les conséquences sur les enjeux potentiels par diminution de la vulnérabilité.

Phénomène dangereux : Libération d'énergie ou de substance produisant des effets, au sens de l'arrêté du 29 septembre 2005, susceptibles d'infliger un dommage à des enjeux (ou éléments vulnérables) vivantes ou matérielles, sans préjuger l'existence de ces dernières. C'est une « Source potentielle de dommages »

Potentiel de danger (ou « source de danger », ou « élément dangereux », ou « élément porteur de danger ») : Système (naturel ou créé par l'homme) ou disposition adoptée et comportant un (ou plusieurs) « danger(s) » ; dans le domaine des risques technologiques, un « potentiel de danger » correspond à un ensemble technique nécessaire au fonctionnement du processus envisagé.

Prévention : Mesures visant à prévenir un risque en réduisant la probabilité d'occurrence d'un phénomène dangereux.

Protection : Mesures visant à limiter l'étendue ou/et la gravité des conséquences d'un accident sur les éléments vulnérables, sans modifier la probabilité d'occurrence du phénomène dangereux correspondant.

Probabilité d'occurrence : Au sens de l'article L. 512-1 du code de l'environnement, la probabilité d'occurrence d'un accident est assimilée à sa fréquence d'occurrence future estimée sur l'installation considérée. Elle est en général différente de la fréquence historique et peut s'écarter, pour une installation donnée, de la probabilité d'occurrence moyenne évaluée sur un ensemble d'installations similaires.

Attention aux confusions possibles :

1. Assimilation entre probabilité d'un accident et celle du phénomène dangereux correspondant, la première intégrant déjà la probabilité conditionnelle d'exposition des enjeux. L'assimilation sous-entend que les enjeux sont effectivement exposés, ce qui n'est pas toujours le cas, notamment si la cinétique permet une mise à l'abri ;
2. Probabilité d'occurrence d'un accident x sur un site donné et probabilité d'occurrence de l'accident x, en moyenne, dans l'une des N installations du même type (approche statistique).

Réduction du risque : Actions entreprises en vue de diminuer la probabilité, les conséquences négatives (ou dommages), associés à un risque, ou les deux. [FD ISO/CEI Guide 73]. Cela peut être fait par le biais de chacune des trois composantes du risque, la probabilité, l'intensité et la vulnérabilité :

- Réduction de la probabilité : par amélioration de la prévention, par exemple par ajout ou fiabilisation des mesures de sécurité
- Réduction de l'intensité :
 - par action sur l'élément porteur de danger (ou potentiel de danger), par exemple substitution par une substance moins dangereuse, réduction des vitesses de rotation, etc.
 - réduction des dangers: la réduction de l'intensité peut également être accomplie par des mesures de limitation
- La réduction de la probabilité et/ou de l'intensité correspond à une réduction du risque « à la source ».
- Réduction de la vulnérabilité : par éloignement ou protection des éléments vulnérables (par exemple par la maîtrise de l'urbanisation, ou par des plans d'urgence).

Risque : « Combinaison de la probabilité d'un événement et de ses conséquences » (ISO/CEI 73), « Combinaison de la probabilité d'un dommage et de sa gravité » (ISO/CEI 51).

Scénario d'accident (majeur) : Enchaînement d'événements conduisant d'un événement initiateur à un accident (majeur), dont la séquence et les liens logiques découlent de l'analyse de risque. En général, plusieurs scénarios peuvent mener à un même phénomène dangereux pouvant conduire à un accident (majeur) : on dénombre autant de scénarios qu'il existe de combinaisons possibles d'événements y aboutissant. Les scénarios d'accident obtenus dépendent du choix des méthodes d'analyse de risque utilisées et des éléments disponibles.

Temps de réponse (pour une mesure de maîtrise des risques) : Intervalle de temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la mission/fonction de sécurité. Ce temps de réponse est inclus dans la cinétique de mise en œuvre d'une fonction de sécurité, cette dernière devant être en adéquation [significativement plus courte] avec la cinétique du phénomène qu'elle doit maîtriser.

Les définitions suivantes sont issues de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 22 juin 2020 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement :

Aérogénérateur : Dispositif mécanique destiné à convertir l'énergie du vent en électricité, composé des principaux éléments suivants : un mât, une nacelle, le rotor auquel sont fixées les pales, ainsi que, le cas échéant, un transformateur

Survitesse : Vitesse de rotation des parties tournantes (rotor constitué du moyeu et des pales ainsi que la ligne d'arbre jusqu'à la génératrice) supérieure à la valeur maximale indiquée par le constructeur.

Enfin, quelques sigles utiles employés dans le présent guide sont listés et explicités ci-dessous :

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

SER : Syndicat des Energies Renouvelables

FEE : France Energie Eolienne (branche éolienne du SER)

INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

EDD : Etude de dangers

APR : Analyse Préliminaire des Risques

ERP : Etablissement Recevant du Public

11.6 ANNEXE 6 – BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES UTILISEES

- [1] L'évaluation des fréquences et des probabilités à partir des données de retour d'expérience (ref DRA-11-117406-04648A), INERIS, 2011
- [2] NF EN 61400-1 Eoliennes – Partie 1 : Exigences de conception, Juin 2006
- [3] Wind Turbine Accident data to 31 March 2011, Caithness Windfarm Information Forum
- [4] Site Specific Hazard Assessment for a wind farm project – Case study – Germanischer Lloyd, Windtest Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH, 2010/08/24
- [5] Guide for Risk-Based Zoning of wind Turbines, Energy research centre of the Netherlands (ECN), H. Braam, G.J. van Mulekom, R.W. Smit, 2005
- [6] Specification of minimum distances, Dr-ing. Veenker ingenieurgesellschaft, 2004
- [7] Permitting setback requirements for wind turbine in California, California Energy Commission – Public Interest Energy Research Program, 2006
- [8] Oméga 10: Evaluation des barrières techniques de sécurité, INERIS, 2005
- [9] Arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 22 juin 2020 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement
- [10] Arrêté du 29 Septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation
- [11] 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
- [12] Bilan des déplacements en Val-de-Marne, édition 2009, Conseil Général du Val-de-Marne
- [13] Arrêté du 29 Septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation
- [14] Alpine test site Güttsch : monitoring of a wind turbine under icing conditions- R. Cattin et al.
- [15] Wind energy production in cold climate (WECO), Final report – Bengt Tammelin et al. – Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 2000
- [16] Rapport sur la sécurité des installations éoliennes, Conseil Général des Mines – Guillet R., Leteutrois J.-P. – juillet 2004
- [17] Risk analysis of ice throw from wind turbines, Seifert H., Westerhellweg A., Kröning J. – DEWI, avril 2003
- [18] Wind energy in the BSR: impacts and causes of icing on wind turbines, Narvik University College, novembre 2005

11.7 ANNEXES CONSTRUCTEUR

Annexe 7.1 – Mode tempête

Annexe 7.2 – Protection incendies

Annexe 7.3 – Système d'extinction automatique

Annexe 7.4 – Protection contre la foudre

Annexe 7.5 – Système de surveillance

Annexe 7.6 – SCADA Enercon

Annexe 7.7 – Détection de glace

Description technique

Éoliennes ENERCON

Mode tempête

Description technique

Mode tempête ENERCON



Editeur ENERCON GmbH • Dreekamp 5 • 26605 Aurich • Allemagne
Téléphone : +49 4941 927-0 • Fax : +49 4941 927-109
E-mail : info@enercon.de • Internet : http://www.enercon.de
Directeur général : Hans-Dieter Kettwig, Simon-Hermann Wobben
Tribunal compétent : Aurich • Numéro d'immatriculation au registre de commerce : HRB 411
N° TVA : DE 181 977 360

Remarque sur les droits de propriété intellectuelle Le contenu de ce document est protégé par le droit d'auteur, par les lois sur la propriété intellectuelle ainsi que par les lois nationales et internationales applicables. Sauf mention explicite à l'effet contraire, les droits sur le contenu de ce document appartiennent à ENERCON GmbH.

ENERCON GmbH accorde à l'utilisateur le droit de dupliquer et de copier ce document uniquement pour usage informatif interne dans la mesure où l'utilisateur consent à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété intellectuelle compris dans le contenu du document et que la source dudit contenu soit citée. Aucun autre droit n'est accordé à l'utilisateur par la mise à disposition de ce document. À moins d'une disposition législative obligatoire à l'effet contraire, toute autre duplication, reproduction, copie, modification, diffusion, publication, transmission, distribution, création de produits dérivés du document, mise à disposition à des tiers et/ou exploitation, totale ou partielle, du contenu de ce document est interdite sans avoir préalablement obtenu le consentement écrit d'ENERCON GmbH.

Les droits d'ENERCON GmbH ne peuvent être utilisés d'aucune façon et à quelque fin sans le consentement préalable écrit exprès d'ENERCON GmbH. L'utilisateur ne peut enregistrer de droits de quelque type que ce soit relativement au contenu du document, incluant sans s'y limiter, au savoir-faire.

Tous les droits sur le contenu apparaissant dans le document sont la propriété de leurs détenteurs respectifs. L'utilisateur s'engage à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété compris dans ledit contenu.

Marques déposées Toutes les marques de commerce et logos désignés dans ce document sont la propriété intellectuelle de l'auteur correspondant. Les droits conférés par le droit des marques de commerce et logos s'appliquent de manière illimitée.

Réserve de modification ENERCON GmbH se réserve le droit, à tout moment et sans préavis de modifier ce document et son contenu dans le but de l'améliorer et de le mettre à jour, sauf accords contractuels ou législation contraires.

Informations sur le document

ID du document	D0191612-9		
Note	Document original. Document source pour cette traduction D0178786-9/2019-02-15		
Date	Langue	DCC	Usine / Département
2019-06-06	fr	DA	WRD Management Support GmbH / Documentation Department



Documents en vigueur

Le titre du document mentionné est le titre du document original, et est complété, le cas échéant, par la traduction entre (). L'ID du document désigne toujours le document original. Si l'ID du document ne contient aucune révision, c'est la dernière révision du document qui s'applique.

ID du document	Titre
-	Fiche technique des modes de fonctionnement

Sommaire

1	Mode tempête ENERCON.....	5
1.1	Comportement de l'éolienne	5
1.2	Augmentation de la production.....	7
2	Indices de vitesse de vent du système de mode tempête	8

1 Mode tempête ENERCON

Les éoliennes ENERCON disposent d'un système de contrôle spécial leur permettant de fonctionner par temps de tempête. Ceci signifie que, par vents très forts, l'éolienne fonctionne de manière régulée, ce qui évite les opérations d'arrêt qui conduiraient à des pertes de production considérables.

En plus, le mode tempête a une influence positive sur la stabilité du réseau électrique vu que les éoliennes ENERCON réduisent graduellement la puissance injectée en évitant de la suspendre brusquement.

1.1 Comportement de l'éolienne

Le système de mode tempête réduit la vitesse de rotation linéairement à partir d'une vitesse de vent définie pour chaque type d'éolienne jusqu'à ce qu'elle ait atteint la vitesse de rotation minimale prescrite en cas de tempête ou jusqu'à ce que la vitesse du vent de coupure (valeur moyenne sur 10 min) ait été atteinte.

Type d'éolienne	Vitesse de rotation minimale par tempête	Vitesse du vent de coupure
E-44, E-48, E-53	5,0 tr/min	34 m/s
E-70 E4, E-82 E2, E-82 E4, E-92, E-103 EP2	3,5 tr/min	
E-101, E-101 E2, E-115, E-115 E2	3,0 tr/min	
E-126, E-126 EP4, E-141 EP4	2,5 tr/min	
E-115 EP3 E3, E-126 EP3, E-138 EP3, E-138 EP3 E2	3,0 tr/min	Voir la « Datenblatt Betriebsmodi » (fiche technique des modes de fonctionnement) spécifique à l'éolienne

Pour les éoliennes équipées d'un anémomètre à coupelles, le système de mode tempête est automatiquement désactivé lorsque la température extérieure est <3 °C.

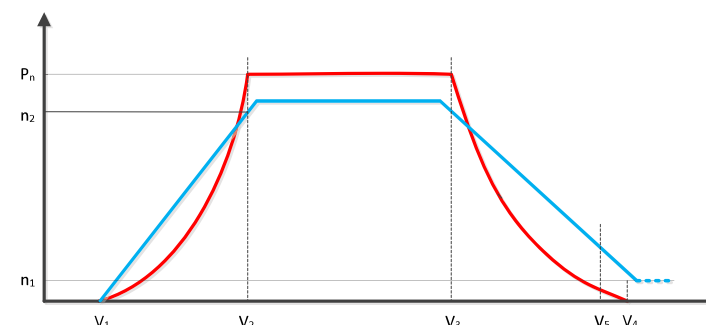


Fig. 1 : Courbe de référence si le système de mode tempête est activé (exemple)

V ₁	Vitesse de démarrage	—	Vitesse de rotation n
V ₂	Vitesse nominale du vent	—	Puissance active P
V ₃	Début de la réduction de puissance	n ₁	Vitesse de rotation minimale par tempête
V ₄	Fin de l'alimentation de puissance active	n ₂	Vitesse de rotation nominale à la puissance nominale
V ₅	Vitesse du vent de coupure	P _n	Puissance nominale

1.2 Augmentation de la production

Le système de mode tempête permet d'augmenter le rendement sur les sites où la vitesse moyenne des vents dépasse 25 m/s plusieurs jours par an et pendant plusieurs heures par jour.

Le rendement supplémentaire réel dépend fortement des conditions du site (intensité de turbulence et distribution de la fréquence du vent par exemple), ainsi que du type d'éolienne et doit être déterminé pour chaque site en tenant compte de ces facteurs. Le département ENERCON Wind Farm Engineering peut effectuer des analyses pour chaque site afin de définir le rendement supplémentaire attendu à l'aide de l'outil Storm Control Yield Gain Estimator (SCYGE).

L'exemple suivant présente une éolienne E-70 E4 érigée sur un site avec une intensité moyenne des turbulences de 10 %

Tab. 1 : Exemple : Rendement supplémentaire possible pour une E-70 E4 (BM 0, 1,225 kg/m³)

Vitesse du vent à hauteur du moyeu (moyenne annuelle)	Rendement supplémentaire possible du rendement annuel en pourcentage (calcul sur la base de la courbe de puissance garantie) pour différentes distributions de vitesses du vent		
	Facteur k 2,5 de Weibull	Facteur k 2,0 de Weibull	Facteur k 1,5 de Weibull
8 m/s	0,0 %	0,1 %	1,5 %
9 m/s	0,0 %	0,3 %	2,7 %
10 m/s	0,1 %	0,9 %	4,1 %
11 m/s	0,3 %	2,0 %	5,6 %

2 Indices de vitesse de vent du système de mode tempête

La limitation de la vitesse de rotation a comme conséquence une réduction de la puissance active à partir d'une vitesse de vent spécifique au type d'éolienne (V_3). L'alimentation de puissance active prend fin à une vitesse de vent spécifique à l'éolienne (V_4).

Le temps de calcul moyen de la vitesse de vent pour la réduction de puissance (V_3) est de 12 s, contre 1 s en cas de rafales (+3 m/s). Les valeurs indiquées doivent être considérées comme valeurs momentanées.

Les indices de vitesse de vent suivants ne sont pas pertinents pour les types d'éoliennes E-115 EP3 E3, E-126 EP3, E-138 EP3, E-138 EP3 E2.

Tab. 2 : Indices de vitesse de vent du système de mode tempête

Type d'éolienne	Vitesse du vent réduction de puissance (V_3)	Vitesse de vent sans alimentation réseau (V_4)
E-44 (200 kW)	28,33 m/s	36,65 m/s
E-44 (250 kW)	28,30 m/s	36,65 m/s
E-44 (500 kW)	28,25 m/s	36,65 m/s
E-44 (900 kW)	28,23 m/s	36,65 m/s
E-48 (500 kW)	28,30 m/s	38,37 m/s
E-48 (800 kW)	28,27 m/s	38,37 m/s
E-53 (500 kW)	28,33 m/s	38,69 m/s
E-53 (800 kW)	28,23 m/s	38,69 m/s
E-70 E4 (1500 kW)	28,29 m/s	40,03 m/s
E-70 E4 (2300 kW)	28,29 m/s	40,03 m/s
E-82 E2 (2000 kW)	28,38 m/s	40,59 m/s
E-82 E2 (2300 kW)	28,38 m/s	40,59 m/s
E-82 E4 (2350 kW)	28,38 m/s	40,59 m/s
E-82 E4 (3000 kW)	28,38 m/s	40,59 m/s
E-92 (2000 kW)	28,42 m/s	40,49 m/s
E-92 (2350 kW)	28,42 m/s	40,49 m/s
E-101 (3050 kW)	28,41 m/s	39,91 m/s
E-101 E2 (3500 kW)	28,41 m/s	39,91 m/s
E-103 EP2 (2350 kW)	28,52 m/s	40,93 m/s
E-115 (3000 kW)	28,52 m/s	40,07 m/s
E-115 E2 (3200 kW)	28,50 m/s	40,13 m/s
E-126 (7580 kW)	27,62 m/s	39,45 m/s
E-126 EP4 (4200 kW)	27,61 m/s	39,82 m/s
E-141 EP4 (4200 kW)	27,70 m/s	39,81 m/s

À cause de l'impact des turbulences et des vitesses de vent fluctuantes, les valeurs moyennes sur 10 minutes peuvent varier en fonction du site et des conditions de vent prédominantes, comme l'indiquent les exemples ci-après :

Pour une vitesse de vent constante de 28 m/s sur 10 minutes, l'éolienne produit une puissance nominale permanente de 100 % sur toute la période. Le rendement qui en résulte pour la valeur moyenne sur 10 minutes est de 100 % de la puissance nominale.

Si par contre une vitesse de vent de 32 m/s persiste pendant 5 minutes, la puissance pour cette période est alors réduite à environ $\frac{1}{4}$ de la puissance nominale. Si pendant 5 minutes supplémentaires, une vitesse de vent de 24 m/s persiste, l'éolienne fournira 100 % de la puissance nominale pendant cette période. Il en résulte ainsi une vitesse de vent moyenne de 28 m/s pour toute la période de mesure de 10 minutes. Le rendement mesuré sur 10 minutes ne s'élève cependant qu'à environ 66 % de la puissance nominale.

Description technique

Protection contre l'incendie

Éoliennes ENERCON EP1, EP2, EP3, EP4

Description technique

Protection contre l'incendie EP1, EP2, EP3, EP4



Éditeur ENERCON GmbH • Dreekamp 5 • 26605 Aurich • Allemagne
Téléphone : +49 4941 927-0 • Fax : +49 4941 927-109
E-mail : info@enercon.de • Internet : http://www.enercon.de
Directeurs généraux: Hans-Dieter Kettwig, Jost Backhaus, Dr. Thomas Cobet,
Momme Janssen, Dr. Martin Prillmann, Jörg Scholle
Tribunal compétent : Aurich • Numéro d'immatriculation au registre de commerce :
HRB 411
N° TVA : DE 181 977 360

Remarque sur les droits de propriété intellectuelle Le contenu de ce document est protégé par le droit d'auteur, par les lois sur la propriété intellectuelle ainsi que par les lois nationales et internationales applicables. Sauf mention explicite à l'effet contraire, les droits sur le contenu de ce document appartiennent à ENERCON GmbH.

ENERCON GmbH accorde à l'utilisateur le droit de dupliquer et de copier ce document uniquement pour usage informatif interne dans la mesure où l'utilisateur consent à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété intellectuelle compris dans le contenu du document et que la source dudit contenu soit citée. Aucun autre droit n'est accordé à l'utilisateur par la mise à disposition de ce document. À moins d'une disposition législative obligatoire à l'effet contraire, toute autre duplication, reproduction, copie, modification, diffusion, publication, transmission, distribution, création de produits dérivés du document, mise à disposition à des tiers et/ou exploitation, totale ou partielle, du contenu de ce document est interdite sans avoir préalablement obtenu le consentement écrit d'ENERCON GmbH.

Les droits d'ENERCON GmbH ne peuvent être utilisés d'aucune façon et à quelque fin sans le consentement préalable écrit exprès d'ENERCON GmbH. L'utilisateur ne peut enregistrer de droits de quelque type que ce soit relativement au contenu du document, incluant sans s'y limiter, au savoir-faire.

Tous les droits sur le contenu apparaissant dans le document sont la propriété de leurs détenteurs respectifs. L'utilisateur s'engage à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété compris dans ledit contenu.

Marques déposées Toutes les marques de commerce et logos désignés dans ce document sont la propriété intellectuelle de l'auteur correspondant. Les droits conférés par le droit des marques de commerce et logos s'appliquent de manière illimitée.

Réserve de modification ENERCON GmbH se réserve le droit, à tout moment et sans préavis de modifier ce document et son contenu dans le but de l'améliorer et de le mettre à jour, sauf accords contractuels ou législation contraires.

Informations sur le document

ID du document	D0274417-3		
Note	Document original. Document source pour cette traduction D0253903-3/2019-07-04		
Date	Langue	DCC	Usine/Département
2020-04-08	fr	DB	WRD Management Support GmbH / Documentation Department



Documents en vigueur

Le titre du document mentionné est le titre du document original, et est complété, le cas échéant, par la traduction entre parenthèses. Les titres des normes et directives supérieures sont indiqués dans la langue d'origine ou dans la version anglaise. L'ID du document désigne toujours le document original. Si l'ID du document ne contient aucune révision, c'est la dernière révision du document qui s'applique. Cette liste peut contenir des documents sur les composants optionnels.

ID du document	Document
DIN EN 60204-1:2007*VDE 0113-1:2007	Sécurité des machines – Équipement électrique des machines – Partie 1 : Exigences générales
DIN EN 60332-1-2:2005*VDE 0482-332-1-2:2005	Essais des câbles électriques et à fibres optiques soumis au feu - Partie 1-2 : essai de propagation verticale de la flamme sur conducteur ou câble isolé — Procédure pour flamme à prémélange de 1 kW
DIN EN 61100:1994	Classification des isolants liquides selon le point de feu et le pouvoir calorifique inférieur
DIN VDE 0100-430:2010	Installations électriques à basse tension — Partie 4-43 : Protection pour assurer la sécurité - Protection contre les surintensités
DIN VDE 0100-520:2013	Installations électriques à basse tension — Partie 5-52 : Choix et mise en œuvre des matériels électriques - Canalisations
DIN VDE 0298	Application de câbles et de cordons pour installations à courant fort
DIN 4102	Comportement au feu des matériaux et des éléments de construction

Ce document concerne les éoliennes des plateformes EP1 à EP4 (E-44, E-48, E-53, E-70 E4, E-82 E2, E-82 E4, E-92, E-103 EP2, E-101, E-115, E-115 E2, E-115 EP3 E3, E-126 EP3, E-138 EP3, E-138 EP3 E2, E-126 EP4 et E-141 EP4).

Protection contre l'incendie

De nombreuses mesures ont été engagées pour les éoliennes ENERCON afin de réduire au minimum la probabilité de déclenchement d'un incendie, la propagation du feu et de la fumée ainsi que les dommages corporels et matériels.

Mesures techniques de protection contre l'incendie**Prévention des sources d'ignition**

L'éolienne est équipée d'un système de protection parafoudre qui dévie les impacts de foudre, sans que des dommages n'affectent l'éolienne.

Le système d'entraînement de l'éolienne est dépourvu de boîte de vitesse. Ceci permet d'éliminer des risques d'incendie essentiels, générés par des engrenages sujets à l'échauffement et des huiles d'engrenage inflammables.

L'équipement électrique et les dispositifs de protection contre les surintensités sont conformes à la norme DIN EN 60204-1:2007*VDE 0113-1:2007. Les câbles sont sélectionnés et dimensionnés conformément à la norme DIN VDE 0100-430:2010, DIN VDE 0100-520:2013 et DIN VDE 0298. Des examens de thermographie sont effectués par un expert au niveau du générateur, du câblage du mât et du système de dégivrage de pales des prototypes. La construction est adaptée en fonction des résultats.

Prévention de la formation d'incendie

Les matériaux inflammables sont disposés autant que possible de façon à ce que les sources d'ignition (p. ex. énergie thermique, augmentation inhabituelle de la température, de l'énergie électrique, des étincelles et des arcs électriques aléatoires, des pics de courant des transitoires et de l'énergie mécanique) ne puissent pas s'enflammer. Les composants électriques sont encapsulés dans des armoires électriques. Les gaines de ventilation prennent leur départ par rapport aux armoires de puissance à un écart suffisant pour que les gaz de combustion refroidissent et ne puissent pas, normalement, enflammer les gaines de ventilation. Les gaines de ventilation étant composées de matériel réduit et se terminant largement en dessous de la nacelle, elles ne favorisent pas la transmission d'un incendie du pied du mât vers l'intérieur de la nacelle.

Des matériaux difficilement inflammables (classe de matériaux B1 ou au mieux conformes à la norme DIN 4102), ainsi que des matériaux auto-extinguibles/ignifuges ou non inflammables, p. ex. les câbles de puissance ignifuges et auto-extinguibles selon DIN EN 60332-1-2:2005*VDE 0482-332-1-2:2005, sont utilisés dans la mesure du possible. Le liquide utilisé pour le refroidissement et l'isolation du transformateur de puissance dans le pied du mât est de l'ester synthétique, qui est difficilement inflammable, possède un point de combustion > 300 °C (refroidissant K3 selon DIN EN 61100:1994) et présente une valeur calorifique spécifique faible. L'utilisation de matériaux inflammables, p. ex. de matières plastiques expansées comme le polyuréthane ou le polystyrène comme matériau isolant ou de matières plastiques renforcées aux fibres de verre pour les couvercles et les composants spéciaux est évitée autant que possible.

Surveillance par capteurs

Les sources d'ignition possibles dans l'éolienne sont surveillées par des capteurs en permanence.

Des détecteurs de fumée sont utilisés en outre pour la détection des incendies. Les détecteurs de fumée réagissent en cas de fumée, saleté, défaut et température trop élevée. Les détecteurs de fumée sont disposés dans l'éolienne de façon à ce que les incendies soient détectés dans le mât et dans la nacelle. La position exacte et le nombre de détecteurs de fumée dépendent du type d'éolienne.

Quand l'éolienne détecte un défaut potentiellement dangereux pour la sécurité (p. ex. de la fumée), elle se met à l'arrêt (aussi en cas de panne de réseau) et génère un message d'état que le système ENERCON SCADA transmet immédiatement à ENERCON Service.

Issues de secours

La première issue de secours mène de la nacelle vers l'extérieur en passant par le mât. Cette issue de secours est utilisée si la descente dans le mât est possible.

Une seconde issue de secours alternative conduit vers l'extérieur en passant par la trappe du treuil dans la zone arrière de la nacelle. Cette seconde issue de secours permet de quitter la nacelle sans devoir pénétrer dans le mât.

Un éclairage d'issue de secours est installé dans l'éolienne. L'éclairage d'issue de secours est alimenté par batterie et permet d'alimenter les lampes pendant au moins une heure lors d'une panne de réseau.

Mesures organisationnelles de protection contre l'incendie

Mesures de protection en cours de fonctionnement

Pendant le fonctionnement, personne ne se trouve en principe dans les éoliennes. L'éolienne est fermée.

Quand un message d'état reçu signale un incendie, ENERCON Service envoie immédiatement une équipe de Service sur le site de l'éolienne et alerte les pompiers, qui décident des mesures à prendre sur place. ENERCON Service est accessible 24 h/24 et 7 j/7.

Mesures de sécurité en cours de maintenance

Un effectif de 2 à 6 personnes pénètre dans l'éolienne tous les 6 à 12 mois dans le cadre d'une maintenance. Ce personnel est familiarisé avec la technologie des éoliennes et la pratique du sauvetage hors d'une éolienne. L'éolienne est mise hors service la plupart du temps au cours de la maintenance. L'électronique de puissance est désactivée. Seuls quelques composants comme l'éclairage, les prises et le système de commande demeurent actifs. Ceci permet de réduire le risque d'incendie en l'absence de personnes.

Quand de la fumée est détectée, l'éolienne active les unités de signaux optiques et acoustiques dans le pied du mât, dans la salle des machines et dans la tête du rotor. Les unités de signaux déclenchent un signal continu avec des flashes de lumière et une sirène à tonalité variant rapidement. Ceci permet d'avertir les personnes éventuellement présentes. L'unité de signaux au pied du mât est active uniquement quand les boutons de maintenance sont actionnés. Les unités de signaux dans la salle des machines et dans la tête du rotor sont actives uniquement quand l'éclairage de nacelle est allumé. Ceci permet de garantir que les unités de signaux soient actives uniquement en la présence de personnes dans l'éolienne.

Pour lutter contre tout départ de feu, des extincteurs CO₂ sont disponibles dans le pied du mât, en salle des machines et dans le véhicule de service ENERCON. Le bouton de maintenance est actionné, ce qui empêche l'envoi de messages d'état à ENERCON Service. Les travaux de maintenance effectués sur les éléments de détection d'incendie ne déclenchent ainsi pas de fausse alerte auprès d'ENERCON Service.

Toutes les informations éventuellement requises pour l'éolienne en cas d'incendie (coordonnées, plan d'accès, numéros d'appel importants de postes situés à proximité) et concernant le comportement à adopter en cas d'incendie et d'accidents sont consignées dans le plan de déroulement

d'appel d'urgence ainsi que dans le plan de secours et d'évacuation. Les plans sont apposés dans la zone d'entrée du mât et de sortie de la nacelle. Le comportement à adopter en cas d'incendie et en cas d'accidents est également décrit dans le manuel d'opération de l'éolienne.

Protection et lutte contre l'incendie par les pompiers

En raison de l'alarme déclenchée par ENERCON Service, les pompiers peuvent se rendre rapidement sur le lieu d'intervention et éteindre les incendies avant leur propagation éventuelle. L'aire de grutage est disponible comme surface de rangement. Le déroulement de la lutte contre l'incendie par les pompiers est décrit précisément dans le concept de protection de l'éolienne.

Incendie dans le pied du mât

Un incendie dans le pied du mât est circonscrit sur le plan spatial. L'incendie ne peut pas se propager à la nacelle ni à l'environnement de l'éolienne. Une fois l'éolienne mise hors tension, l'incendie peut être éteint dans le pied du mât.

Incendie dans la nacelle

Un incendie dans la nacelle peut conduire à la combustion de la nacelle et se propager aux pales. Les pales sont déjà immobilisées à cet instant. En cas d'exposition prolongée au feu, une pale du rotor en feu se plie au niveau de la base en raison de son poids et tombe sur la surface d'appui.

Les pompiers ne sont pas en mesure de lutter contre un incendie dans la nacelle, mais peuvent sécuriser la zone à risque sur un vaste périmètre autour de l'éolienne, afin de laisser la nacelle et les pièces qui tombent brûler de manière contrôlée.

En fonction du type d'éolienne, des systèmes d'extinction automatiques sont disponibles en option pour les nacelles et les E-modules dans le pied du mât.

Les systèmes d'extinction automatiques servent à protéger l'éolienne et ses environnements. L'utilisation de ces systèmes d'extinction automatiques permet d'éviter la propagation d'incendies en éteignant immédiatement les survenances d'incendies sur les lieux des incendies. Ainsi, les dommages à l'éolienne et à l'environnement seront réduits.

Structure

Les systèmes d'extinction automatiques dans la nacelle et dans l'E-module fonctionnent individuellement et ne sont pas reliés l'un à l'autre. En principe, la structure est identique. Les composants des systèmes d'extinction automatiques sont achetés à un fournisseur certifié et ils sont adaptés individuellement à l'éolienne.

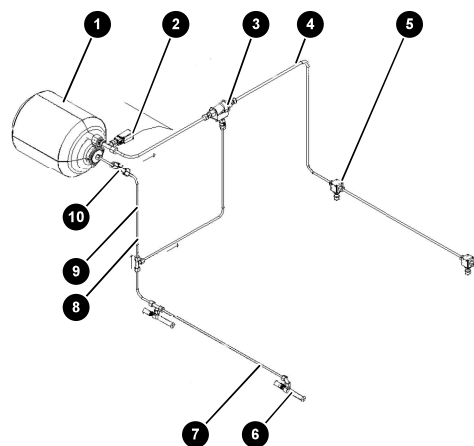


Fig. 1 : Système d'extinction automatique (schéma d'une zone d'extinction)

1 Réservoir de produit d'extinction avec commande intégrée	2 Pressostat
3 Vanne de zone	4 Conduite d'extinction
5 Buse à pulvérisation fine	6 Élément de détection d'incendie
7 Câble de commande	8 Pressostat (non représenté)
9 Vanne d'arrêt (non représenté)	10 Booster avec temps de retard intégré

Principe de fonctionnement

Des éléments de détection d'incendie et des buses à pulvérisation fine sont installés dans les armoires électriques qui représentent un risque d'incendie élevé. Les éléments de détection d'incendie et les buses à pulvérisation fine sont reliés à un réservoir de produit d'extinction via des conduites de commande et d'extinction.

Les éléments de détection d'incendie contiennent des ampoules sensibles à la chaleur qui se déclenchent lorsqu'une température définie (30 Kelvin au-dessus de la température de fonctionnement) est dépassée.

Le déclenchement d'un élément de détection d'incendie provoque une hausse de pression dans le câble de commande. La hausse de pression actionne en même temps le pressostat dans le câble de commande, active le booster et ouvre une vanne de zone.

Les pressostats sont l'interface entre le système d'extinction (mécanique et pneumatique) et la commande (électrique) de l'éolienne. Les pressostats entraînent une déconnexion du conducteur de puissance complet de l'éolienne du réseau et l'arrêt de l'éolienne. L'éolienne envoie un message d'état à ENERCON Service.

Le booster activé augmente au bout de 6 à 10 secondes la pression dans le câble de commande. Une cartouche de gaz propulseur se déclenche à l'intérieur du réservoir de produit d'extinction en raison de la pression augmentée. Le gaz propulseur ainsi libéré comprime l'agent extincteur dans la conduite d'extinction.

La vanne de zone ouverte conduit l'agent extincteur à travers la conduite d'extinction dans les buses à pulvérisation fine, où il se propage sous la forme d'une fine brume sur le foyer d'incendie. D'autres vannes de zone restent fermées, de sorte que l'agent extincteur est uniquement conduit dans l'armoire électrique concernée (ou dans le groupe de l'armoire électrique concerné).

Après la réception d'un message d'état, ENERCON Service vérifie immédiatement la plausibilité d'un incendie à l'aide d'autres capteurs (capteurs de température, détecteurs de fumée) et envoie une équipe de Service sur le site de l'éolienne aux fins d'un premier contrôle. Si un incendie est détecté, ENERCON Service alerte les pompiers, qui décident des mesures à prendre sur place. ENERCON Service est accessible 24 h/24 et 7 j/7.

Les détecteurs de fumée installés dans l'éolienne ne font pas partie des systèmes d'extinction automatiques. Les détecteurs de fumée ne sont pas utilisés comme éléments de déclenchement pour les systèmes d'extinction automatiques parce qu'ils ne peuvent pas détecter le lieu exact d'un incendie et parce que des déclenchements accidentels des détecteurs de fumée ne sont pas inhabituels.

Autres caractéristiques

L'agent extincteur utilisé est approprié à l'extinction des incendies des classes de feu A et B et offre un bon mouillage et une bonne imprégnation de surface des matières solides. Il est biodégradable et correspond à la classe de pollution des eaux 1.

Le bon fonctionnement des systèmes d'extinction automatiques est garanti dans une plage de température de -30 °C à +75 °C.

À l'état d'attente, les systèmes d'extinction sont hors pression et ne nécessitent pas d'énergie externe. Les systèmes d'extinction sont également insensibles aux chocs, aux vibrations, aux secousses, aux salissures et aux effets électromagnétiques.

Les systèmes d'extinction peuvent être montés pendant la production ou ultérieurement. Le temps requis pour le montage dépend de l'étendue des travaux à effectuer. Le montage ultérieur nécessite plus de temps que le montage pendant la production.

Les systèmes d'extinction sont maintenus une fois par an par du personnel formé, pour pouvoir développer subitement l'effet extincteur maximal, même après un état d'attente prolongé.

Il faut désactiver les systèmes d'extinction lors de certaines activités de maintenance dans l'éolienne. Pour cela, une vanne d'arrêt manuelle (bouton de maintenance) est installée devant le booster. Les vannes d'arrêt sont surveillées par le système de contrôle. Si une vanne d'arrêt est fermée en dehors de la maintenance, l'éolienne s'arrête. Cela empêche un fonctionnement automatique de l'éolienne si les systèmes d'extinction sont désactivés.

Description technique

Protection parafoudre

Éoliennes ENERCON EP1, EP2, EP3

Description technique

Protection parafoudre EP1, EP2, EP3



Éditeur ENERCON GmbH • Dreekamp 5 • 26605 Aurich • Allemagne
Téléphone : +49 4941 927-0 • Fax : +49 4941 927-109
E-mail : info@enercon.de • Internet : http://www.enercon.de
Directeurs généraux: Hans-Dieter Kettwig, Jost Backhaus, Dr. Thomas Cobet,
Momme Janssen, Dr. Martin Prillmann, Jörg Scholle
Tribunal compétent : Aurich • Numéro d'immatriculation au registre de commerce :
HRB 411
N° TVA : DE 181 977 360

Remarque sur les droits de propriété intellectuelle Le contenu de ce document est protégé par le droit d'auteur, par les lois sur la propriété intellectuelle ainsi que par les lois nationales et internationales applicables. Sauf mention explicite à l'effet contraire, les droits sur le contenu de ce document appartiennent à ENERCON GmbH.

ENERCON GmbH accorde à l'utilisateur le droit de dupliquer et de copier ce document uniquement pour usage informatif interne dans la mesure où l'utilisateur consent à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété intellectuelle compris dans le contenu du document et que la source dudit contenu soit citée. Aucun autre droit n'est accordé à l'utilisateur par la mise à disposition de ce document. À moins d'une disposition législative obligatoire à l'effet contraire, toute autre duplication, reproduction, copie, modification, diffusion, publication, transmission, distribution, création de produits dérivés du document, mise à disposition à des tiers et/ou exploitation, totale ou partielle, du contenu de ce document est interdite sans avoir préalablement obtenu le consentement écrit d'ENERCON GmbH.

Les droits d'ENERCON GmbH ne peuvent être utilisés d'aucune façon et à quelque fin sans le consentement préalable écrit exprès d'ENERCON GmbH. L'utilisateur ne peut enregistrer de droits de quelque type que ce soit relativement au contenu du document, incluant sans s'y limiter, au savoir-faire.

Tous les droits sur le contenu apparaissant dans le document sont la propriété de leurs détenteurs respectifs. L'utilisateur s'engage à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété compris dans ledit contenu.

Marques déposées Toutes les marques de commerce et logos désignés dans ce document sont la propriété intellectuelle de l'auteur correspondant. Les droits conférés par le droit des marques de commerce et logos s'appliquent de manière illimitée.

Réserve de modification ENERCON GmbH se réserve le droit, à tout moment et sans préavis de modifier ce document et son contenu dans le but de l'améliorer et de le mettre à jour, sauf accords contractuels ou législation contraires.

Informations sur le document

ID du document	D0599790-11		
Note	Document original. Document source pour cette traduction D0260891-11/2019-10-28		
Date	Langue	DCC	Usine/Département
2020-04-02	fr	DA	WRD Management Support GmbH / Documentation Department



Documents en vigueur

Le titre du document mentionné est le titre du document original, et est complété, le cas échéant, par la traduction entre parenthèses. Les titres des normes et directives supérieures sont indiqués dans la langue d'origine ou dans la version anglaise. L'ID du document désigne toujours le document original. Si l'ID du document ne contient aucune révision, c'est la dernière révision du document qui s'applique. Cette liste peut contenir des documents sur les composants optionnels.

ID du document	Document
DIN EN 50308*VDE 0127-100	Éoliennes – Mesures préventives – Règles pour la construction, le fonctionnement et la maintenance ; version allemande EN 50308
DIN EN 50522*VDE 0101-2	Prises de terre des installations électriques en courant alternatif de puissance supérieure à 1 kV ; version allemande EN 50522
DIN EN 61400-24*VDE 0127-24	Éoliennes - Partie 24 : Protection contre la foudre (IEC 61400-24) ; version allemande EN 61400-24
DIN EN 62305-1*VDE 0185-305-1	Protection contre la foudre - Partie 1 : Principes généraux (IEC 62305-1); version allemande EN 62305-1
DIN EN 62305-2*VDE 0185-305-2	Protection contre la foudre - Partie 2 : Gestion des risques (IEC 62305-2) ; version allemande EN 62305-2
DIN EN 62305-3*VDE 0185-305-3	Protection contre la foudre - Partie 3 : Dommages physiques sur les structures et risques humains (IEC 62305-3) ; version allemande EN 62305-3
DIN EN 62305-4*VDE 0185-305-4	Protection contre la foudre - Partie 4 : Systèmes électriques et électroniques dans les infrastructures (IEC 62305-4) ; version allemande EN 62305-4
DIN EN 62561-1*VDE 0185-561-1	Composants des systèmes de protection contre la foudre (CSPF) - Partie 1 : Exigences pour les composants de connexion (IEC 62561-1) ; version allemande EN 62561-1
DIN EN 62561-2*VDE 0185-561-2	Composants des systèmes de protection contre la foudre (CSPF) - Partie 2 : Exigences pour les conducteurs et les électrodes de terre (IEC 62561-2) - Version allemande EN 62561-2
DIN IEC 60364-5-54*VDE 0100-540	Installations électriques à basse tension — Partie -5-54 : Choix et mise en œuvre des matériels électriques - Installations de mise à la terre, conducteurs de protection et conducteurs d'équipotentialité de protection (IEC 64/2370) ; version allemande EN 60364-5-54

Sommaire

1	Généralités	6
2	Protection parafoudre extérieure	8
2.1	Paratonnerres	8
2.1.1	Salle des machines	8
2.1.2	Pale du rotor	8
2.2	Déviations	9
2.2.1	Système de raccord de pale - Rotor	9
2.2.2	Rotor - Support principal	9
2.2.3	Support principal – mât	9
2.2.4	Mât	10
2.2.5	Mât - Fondation	10
2.3	Système de mise à la terre	11
3	Protection parafoudre intérieure	12
4	Vue d'ensemble des composants externes de protection parafoudre dans les éoliennes	14
5	Normes sous-jacentes	15

Index des abréviations

LPL	Lightning protection level (classe de protection parafoudre)
LPZ	Lightning protection zone (zone de protection parafoudre)
PRV	Matière plastique renforcée aux fibres de verre

1 Généralités

Les impacts de foudre peuvent mettre le feu aux bâtiments et les détruire. Les courants de foudre élevés peuvent en outre être transférés directement à l'intérieur des bâtiments via les connexions conductrices ou indirectement par couplage capacitif ou galvanique et y provoquer d'autres dégâts. Étant exposées à la foudre, les éoliennes sont des sites particulièrement sensibles.

Pour éviter d'éventuels dommages causés par la foudre et garantir la sécurité de fonctionnement de l'éolienne, les éoliennes sont équipées d'une protection parafoudre. Un courant généré par la foudre est ainsi dévié de manière contrôlée par les paratonnerres et via les lignes de décharge vers le système de mise à la terre.

Ce document décrit la protection parafoudre dans des éoliennes des plateformes EP1 à EP3 (E-44, E-48, E-53, E-70 E4, E-82 E2, E-82 E4, E-92, E-103 EP2, E-115 E2, E-115 EP3 E3, E-126 EP3, E-138 EP3, E-138 EP3 E2).

Protection parafoudre extérieure

La protection parafoudre extérieure englobe toutes les mesures mises en place pour éviter que la foudre n'endommage les éoliennes. Les paratonnerres sur les pales, les lignes de décharge, le système de mise à la terre et les pièces métalliques spécifiques aux éoliennes font partie de la protection parafoudre extérieure. La protection parafoudre extérieure réduit en outre les champs parasites générés par les courants de foudre à l'intérieur des éoliennes.

Protection parafoudre intérieure

Pour protéger les dispositifs électriques et électroniques, d'autres mesures dites de « protection parafoudre intérieure » sont également prises. Cela comprend un système de liaison équipotentielle ainsi que des parasurtenseurs.

Classe de protection parafoudre – Lightning protection level

Le LPL est classé de IV (bas) à I (élevé). Toutes les éoliennes sont conçues pour répondre aux exigences du LPL 1. Le cas échéant, il peut s'avérer nécessaire de procéder à des ajustements du système de mise à la terre. Cela dépend de la conductivité de la terre sur le site et cela fait partie de l'étude de sol spécifique à chaque projet.

Zones de protection parafoudre

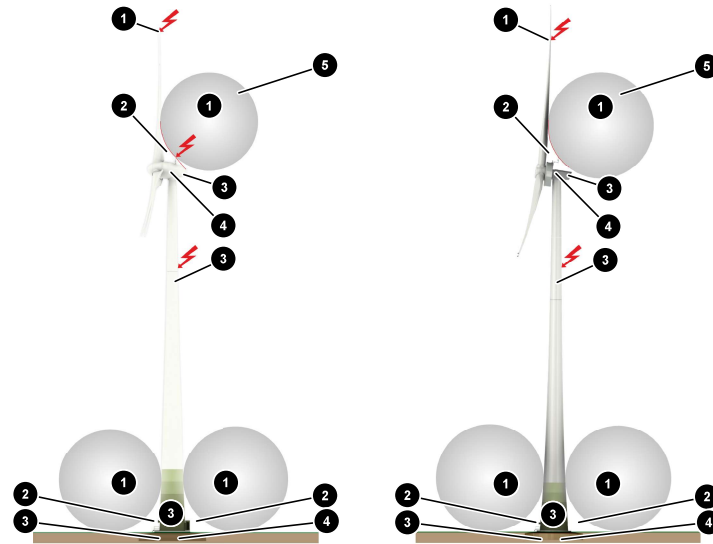


Fig. 1 : Zones de protection parafoudre, nacelle en forme Goutte (à gauche) et nacelle en forme Compacte (à droite)

1 LPZ 0 _A	2 LPZ 0 _B
3 LPZ 1	4 LPZ 2
5 Foudre globulaire (rayon de 20 m)	

2 Protection parafoudre extérieure

2.1 Paratonnerres

2.1.1 Salle des machines

Selon sa taille, la salle des machines comprend plusieurs paratonnerres en barre ronde en acier. Les paratonnerres capturent la foudre. Le positionnement se déroule selon la méthode de la sphère roulante avec application du rayon de la classe de protection parafoudre I. Cela permet de protéger le reste de la structure ainsi que les composants de la zone extérieure (anémomètre p. ex.) de coups de foudre incontrôlés.

2.1.2 Pale du rotor

Une protection parafoudre qui amène le courant de foudre de la zone d'impact au niveau des paratonnerres vers le système de mise à la terre en utilisant le chemin de paratonnerre. La protection parafoudre de la pale se compose des éléments suivants :

- Pointe de pale moulée en aluminium
- Paratonnerres supplémentaires si nécessaire
- Câble de décharge (en cuivre ou en aluminium)
- Anneau de décharge à la base de la pale

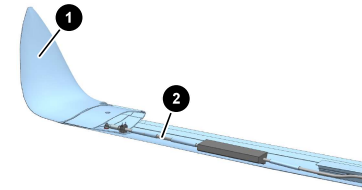


Fig. 2 : Pointe de pale avec paratonnerre

1 Pointe de pale	2 Paratonnerre
------------------	----------------

La pointe de pale moulée en aluminium est conductrice. Elle est reliée par un paratonnerre à l'anneau de protection parafoudre de la base de la pale. L'anneau de protection parafoudre se trouve à une distance suffisante des parties conductrices au niveau du système de raccord de pale pour qu'un flash au collecteur soit évité.

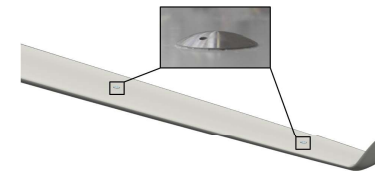


Fig. 3 : Pale avec récepteurs sur le côté refoulement et le côté aspiration

Le cas échéant, des récepteurs supplémentaires peuvent être placés sur les côtés intrados et extrados en fonction de la longueur et de la structure de la pale. Les récepteurs sont raccordés au chemin de paratonnerre.

Les récepteurs sont des zones d'impact définies et sont conçus pour supporter un courant de foudre.

2.2 Déviations

2.2.1 Système de raccord de pale - Rotor

La déviation du courant de foudre du système de raccord de pale vers le rotor est réalisée à l'aide de paratonnerres sur rouleaux ou de frotteurs en charbon. Les paratonnerres sur rouleaux ou les frotteurs en charbon installés dans le rotor sont pressés, au moyen d'un ressort, sur un anneau de décharge se trouvant sur le système de raccord de pale.

Les paratonnerres sur rouleaux sont installés sur les éoliennes dotées d'un carénage de la tête du rotor. Des frotteurs en charbon sont utilisés sur les éoliennes ne comportant pas un tel spinner.

2.2.2 Rotor - Support principal

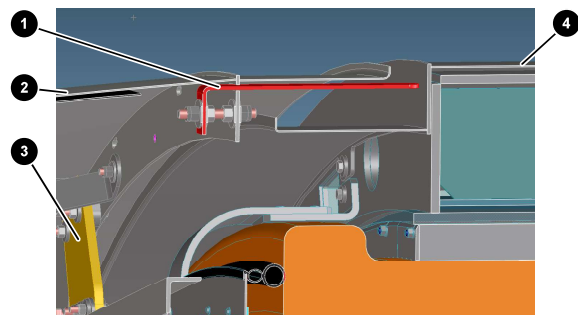


Fig. 4 : Équerre de protection parafoudre à l'instar de l'E-92

1 Équerre de protection parafoudre	2 Spinner
3 Isolation du spinner	4 Habillage de la salle des machines

Sur toutes les éoliennes, trois éclateurs disposés symétriquement dirigent le courant de foudre vers la structure de support indépendamment de l'angle actuel des pales du rotor et de la position de ce dernier.

Pour les habillages de la salle des machines en aluminium, les éclateurs dirigent le courant de foudre depuis le spinner sur l'habillage. De là, le courant de foudre est redirigé vers le support principal.

Pour les habillages en PRV, les éclateurs dirigent le courant de foudre sur le stator, puis jusqu'au support principal.

2.2.3 Support principal – mât

La connexion entre le support principal et le mât est établie par le vaste palier d'orientation. De surcroît, la partie inférieure de la nacelle comprend des éclateurs supplémentaires chargés de garantir la déviation depuis la salle des machines.

2.2.4 Mât

Mât en acier

Le mât en acier est conducteur à tel point qu'il peut dévier un courant de foudre. Deux pattes de fixation soudées au mât servent à raccorder les cosses de la prise de terre de la fondation. Si le segment inférieur se compose de plusieurs parties, celles-ci sont reliées respectivement par un anneau de mise à la terre intérieur supplémentaire auquel sont raccordées les deux cosses de la prise de terre de la fondation.

Mât en béton

Chaque anneau en béton dispose de 4 bandes d'acier disposées à la verticale qui sont reliées au ferrailage intérieur. Les extrémités de la bande d'acier sont dotées de douilles filetées au niveau desquelles les brides de raccordement sont raccordées et comblent l'espace entre les sections. Enfin, 4 douilles filetées, décalées de 90°, servent de points de mise à la terre pour le raccordement de la prise de terre de la fondation.

Mât hybride

Le mât hybride se compose de segments en béton qui sont complétés par des sections en acier dans la zone supérieure du mât. La déviation est réalisée via les brides de raccordement de la fondation jusqu'aux sections du mât en acier. Le passage vers les sections du mât en acier se fait à l'aide de 4 conduites, chacune décalée de 90°, d'une section d'au moins 50 mm².

2.2.5 Mât - Fondation

Le raccordement du mât à la fondation se fait via des pattes de fixation et des cosses. Les pattes de fixation soudées au mât sont reliées aux cosses du système de mise à la terre. Le système de mise à la terre est relié au ferrailage de la fondation. Cela permet d'obtenir une commande de potentiel étendue.

2.3 Système de mise à la terre

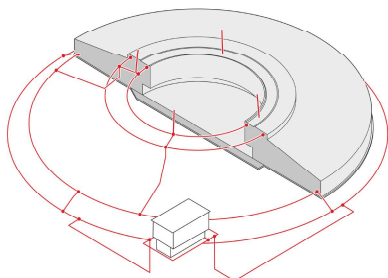


Fig. 5 : Système de mise à la terre, exemple

Les systèmes de mise à la terre protègent ainsi les êtres humains et les biens des dangers pouvant survenir lors d'un court-circuit ou d'un défaut à la masse et de phénomènes transitoires tels que les impacts de foudre et les opérations de manœuvre. Ils assurent une action efficace des disjoncteurs (différentiels) et fournissent un potentiel de référence pour les composants électriques. Lors d'un coup de foudre, il se produit une augmentation du potentiel dans le sol parcouru par le courant en direction de l'éolienne. Le niveau de tension de contact et de pas dépend entre autres de la résistance de terre de la prise de terre de la fondation et du système de mise à la terre extérieur.

Pour répondre à toutes les exigences du LPL I et garantir le respect des tensions de pas et de contact en cas de dysfonctionnement, des mesures d'amélioration de la mise à la terre peuvent s'avérer nécessaires le cas échéant, en fonction de la résistivité spécifique du sol sur le site. La résistivité spécifique du sol doit être déterminée par des mesures dans le cadre de l'étude de sol, conformément aux exigences normatives.

Le système de mise à la terre dans la fondation se compose de plusieurs conducteurs de protection installés radialement. Afin d'obtenir une commande de potentiel ciblée, les conducteurs de protection sont reliés au ferrailage de manière échelonnée. La boucle de mise à la terre située en dehors de la fondation intègre le système de mise à la terre de l'éolienne dans le potentiel environnant.

Après la mise en place du système de mise à la terre, l'on mesure la résistance de terre obtenue que l'on compare aux valeurs limites déterminées. En cas de non-respect de ces valeurs, des mesures d'amélioration de la mise à la terre peuvent s'avérer nécessaires comme l'installation de piquets de terre supplémentaires ou encore des mesures compensatoires telles que l'isolation du site afin de garantir une sécurité maximale aux personnes se trouvant à proximité de l'éolienne.

Selon l'étendue des prestations de livraison convenues, les mesures requises seront effectuées par le client ou par ENERCON. Les règles doivent être fixées contractuellement.

3 Protection parafoudre intérieure

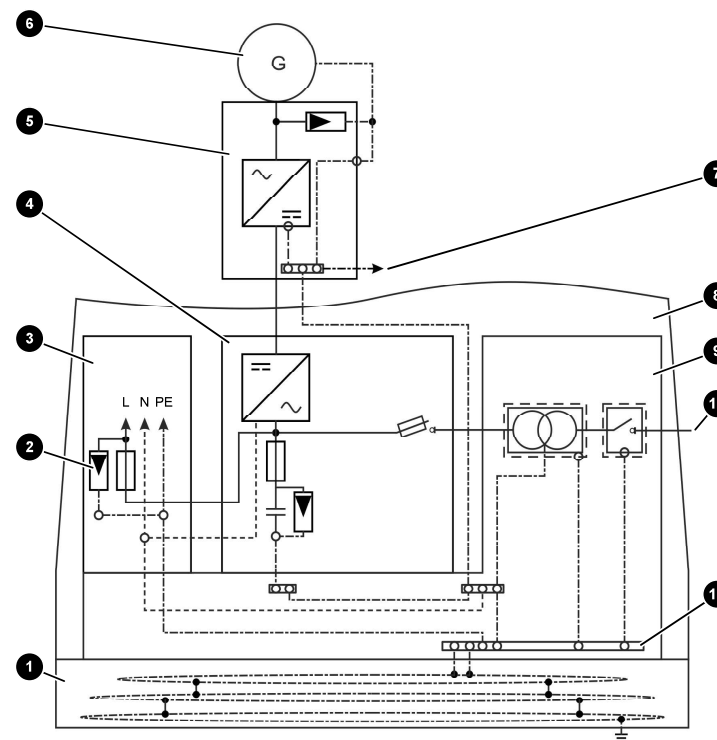


Fig. 6 : Système de liaison équipotentielle et parasurtenseur

1	Système de mise à la terre	2	Parasurtenseur
3	Armoire de commande	4	Armoire de puissance
5	Support principal	6	Générateur
7	Collecteur	8	Mât
9	Transformateur	10	Réseau électrique
11	Barre de liaison équipotentielle		

Système de liaison équipotentielle

Le système de liaison équipotentielle relie tous les composants conducteurs principaux tels que le moyeu, la nacelle, le mât et les armoires électriques à la liaison équipotentielle principale. La fusion de la liaison équipotentielle BT et HT empêche les différences de potentiel.

Parasurtenseurs

Les parasurtenseurs protègent les composants électriques non seulement des impulsions électromagnétiques provoquées par le coup de foudre mais également de toutes autres transitoires résultant d'opérations de manœuvre de charges inductives ou capacitives. Par ailleurs, les parasurtenseurs protègent des conséquences des effets liés aux décharges électrostatiques.

Ainsi, la surveillance, la régulation et la commande de l'éolienne sont possibles à tout instant.

4 Vue d'ensemble des composants externes de protection parafoudre dans les éoliennes

Tab. 1 : Vue d'ensemble des composants externes de protection parafoudre dans les éoliennes

	Paratonnerres sur rouleaux	Frotteurs en charbon	Éclateur - Équerre de protection parafoudre	Éclateur - Paratonnerres
E-44	X	-	x	-
E-48	x	-	x	-
E-53	x	-	x	-
E-70 E4	x	-	x	-
E-82 E2	x	-	x	-
E-82 E4	x	-	x	-
E-92	x	-	x	-
E-103 EP2	x	-	x	-
E-115 E2	x	-	x	-
E-115 EP3 E3	-	x	-	x
E-126 EP3	x	-	-	x
E-138 EP3	x	-	-	x
E-138 EP3 E2	-	x	-	x

5 Normes sous-jacentes

Les normes et standards suivants dans leur version respectivement actualisée ont été observés lors de la construction et de la mise en place de la protection parafoudre pour les éoliennes.

- DIN EN 50308*VDE 0127-100
- DIN EN 50522*VDE 0101-2
- DIN EN 61400-24*VDE 0127-24
- DIN EN 62305-1*VDE 0185-305-1
- DIN EN 62305-2*VDE 0185-305-2
- DIN EN 62305-3*VDE 0185-305-3
- DIN EN 62305-4*VDE 0185-305-4
- DIN EN 62561-1*VDE 0185-561-1
- DIN EN 62561-2*VDE 0185-561-2
- DIN IEC 60364-5-54*VDE 0100-540

Description technique

Condition Monitoring System (CMS)

Éoliennes ENERCON

Éditeur

ENERCON GmbH • Dreekamp 5 • 26605 Aurich • Allemagne
Téléphone : +49 4941 927-0 • Fax : +49 4941 927-109
E-mail : info@enercon.de • Internet : http://www.enercon.de
Directeurs généraux: Hans-Dieter Kettwig, Jost Backhaus, Dr. Thomas Cobet,
Momme Janssen, Dr. Martin Prillmann, Jörg Scholle
Tribunal compétent : Aurich • Numéro d'immatriculation au registre de commerce :
HRB 411
N° TVA : DE 181 977 360

Remarque sur les droits de propriété intellectuelle

Le contenu de ce document est protégé par le droit d'auteur, par les lois sur la propriété intellectuelle ainsi que par les lois nationales et internationales applicables. Sauf mention explicite à l'effet contraire, les droits sur le contenu de ce document appartiennent à ENERCON GmbH.

ENERCON GmbH accorde à l'utilisateur le droit de dupliquer et de copier ce document uniquement pour usage informatif interne dans la mesure où l'utilisateur consent à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété intellectuelle compris dans le contenu du document et que la source dudit contenu soit citée. Aucun autre droit n'est accordé à l'utilisateur par la mise à disposition de ce document. À moins d'une disposition législative obligatoire à l'effet contraire, toute autre duplication, reproduction, copie, modification, diffusion, publication, transmission, distribution, création de produits dérivés du document, mise à disposition à des tiers et/ou exploitation, totale ou partielle, du contenu de ce document est interdite sans avoir préalablement obtenu le consentement écrit d'ENERCON GmbH.

Les droits d'ENERCON GmbH ne peuvent être utilisés d'aucune façon et à quelque fin sans le consentement préalable écrit exprès d'ENERCON GmbH. L'utilisateur ne peut enregistrer de droits de quelque type que ce soit relativement au contenu du document, incluant sans s'y limiter, au savoir-faire.

Tous les droits sur le contenu apparaissant dans le document sont la propriété de leurs détenteurs respectifs. L'utilisateur s'engage à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété compris dans ledit contenu.

Marques déposées

Toutes les marques de commerce et logos désignés dans ce document sont la propriété intellectuelle de l'auteur correspondant. Les droits conférés par le droit des marques de commerce et logos s'appliquent de manière illimitée.

Réserve de modification

ENERCON GmbH se réserve le droit, à tout moment et sans préavis de modifier ce document et son contenu dans le but de l'améliorer et de le mettre à jour, sauf accords contractuels ou législation contraires.

Informations sur le document

ID du document	D0599717-1		
Note	Document original. Document source pour cette traduction D0357843-1/2017-06-27		
Date	Langue	DCC	Usine/Département
2020-04-01	fr	DA	WRD Management Support GmbH / Documentation Department

Sommaire

1	Généralités	4
2	Directives et normes	5
3	Mise en œuvre du CMS dans les éoliennes ENERCON	6
3.1	Capteurs de sécurité des éoliennes ENERCON	6
3.2	Surveillance à distance par le système ENERCON SCADA	8

1 Généralités

Un Condition Monitoring System (CMS) est un système qui surveille les éoliennes pendant leur fonctionnement. Le CMS analyse les données mesurées par les capteurs et les données éventuellement renvoyées par les actionneurs. L'analyse de ces données permet de tirer des conclusions sur l'état de l'éolienne ou de ses composants.

Sur les éoliennes ENERCON, le CMS est directement intégré au système de contrôle de chaque éolienne, ce n'est pas un système indépendant. Le CMS surveille tous les signaux et capteurs importants pendant le fonctionnement de l'éolienne. Si des valeurs limites sont atteintes ou si des défauts sont décelés, le système de contrôle émet des messages d'état, qui sont ensuite analysés. L'éolienne est simultanément commutée dans un état de fonctionnement sûr.

Toutes les éoliennes ENERCON de la gamme actuelle sont équipées de série avec ce type de surveillance CMS. L'intégration du Condition Monitoring System dans le système de contrôle et la longue expérience d'ENERCON dans l'utilisation de cette technologie garantissent la sûreté de fonctionnement.

2 Directives et normes

La norme DIN EN 61400-25-6:2011 « Éoliennes – partie 25-6 : Communications pour la surveillance et la commande des centrales éoliennes – Classes de nœuds logiques et classes de données pour la surveillance d'état » indique quelles sont les données nécessaires à un CMS.

Cette norme a servi de base à la Germanische Lloyd WindEnergie GmbH pour rédiger la « Directive pour la certification des Condition Monitoring Systems pour éoliennes ».

Conformément à cette directive, le CMS a pour but de détecter au plus tôt les changements d'état importants. Il s'agit ici des changements d'état des composants surveillés, qui correspondent à des écarts par rapport aux conditions normales de fonctionnement et peuvent provoquer une panne précoce. Les données ainsi recueillies sont comparées aux valeurs limites fixées pour le composant concerné.

La directive stipule de prendre en compte les paramètres de service suivants :

- Direction du vent
- Température extérieure
- Température de la nacelle
- Température de stockage
- Température des bobinages du générateur
- Température de l'huile¹
- Pression d'huile¹
- Messages concernant les interventions de commande (p. ex. système d'orientation actif)²

La directive stipule de surveiller les composants suivants :

- Paliers du rotor
- Multiplicateur³
- Générateur
- Nacelle avec mât

Le CMS satisfait à ces exigences.

¹La température et la pression d'huile du multiplicateur. Le générateur des éoliennes ENERCON étant entraîné directement, il est inutile d'utiliser de l'huile d'engrenage. Les paramètres Température d'huile et Pression d'huile peuvent par conséquent être ignorés pour les éoliennes ENERCON.

²Il n'est pas nécessaire d'enregistrer ce paramètre, car le système de contrôle décide de lui-même des interventions de commande.

³Toutes les éoliennes ENERCON disposent d'un générateur à entraînement direct et sont donc livrées sans multiplicateur. Il n'y a par conséquent aucune surveillance de la transmission.

3 Mise en œuvre du CMS dans les éoliennes ENERCON

Le CMS des éoliennes ENERCON remplit les exigences de la norme DIN EN 61400-25-6:2011. Les paramètres pertinents définis par la directive de la Germanische Lloyd WindEnergie GmbH sont enregistrés et les composants concernés sont surveillés.

3.1 Capteurs de sécurité des éoliennes ENERCON

Tous les capteurs et systèmes importants sont surveillés par le système de contrôle pendant le fonctionnement de l'éolienne. Lorsque des signaux de capteurs dépassent des valeurs limites ou si d'autres défauts sont décelés, le système de contrôle réagit en envoyant un message d'état associé à une réduction de la puissance et/ou un arrêt.

Pour accroître la sécurité de l'éolienne, celle-ci est équipée de capteurs de sécurité à redondance (parfois à redondance multiple). Les principaux capteurs et fonctions de sécurité du CMS ENERCON sont expliqués ci-après.

Contrôle de la vitesse

Lorsque la vitesse nominale est dépassée de plus de 15 %, le système de contrôle de l'éolienne arrête le rotor au moyen du système de réglage des pales. Au bout de 3 minutes, l'éolienne tente un redémarrage automatique. Si ce défaut se produit plus de 5 fois en 24 heures, le système suspecte un dysfonctionnement et annule alors toute autre tentative de démarrage. L'éolienne est également équipée de capteurs de survitesse électromécaniques. Si le système de contrôle n'arrête pas l'éolienne lorsque la vitesse nominale est dépassée de plus de 15 %, les capteurs de survitesse se déclenchent lorsque le dépassement est supérieur à 25 %. Les capteurs de survitesse doivent être réinitialisés manuellement pour pouvoir redémarrer l'éolienne.

Système de surveillance de l'entrefer

L'entrefer entre le rotor et le stator du générateur doit respecter une largeur minimale. Si cette largeur minimale n'est pas respectée, l'un des microrupteurs répartis tout autour du rotor se déclenche. L'éolienne est mise à l'arrêt. L'éolienne redémarre peu de temps après. Si ce défaut réapparaît dans les 24 heures, l'éolienne n'est pas démarrée, et ce jusqu'à ce que la cause ait été supprimée.

Surveillance des oscillations

La surveillance des oscillations détecte les oscillations ou les déflexions de forte amplitude de la pointe du mât de l'éolienne.

Deux capteurs d'accélération enregistrent les accélérations de la nacelle dans la direction de l'axe du moyeu (oscillations longitudinales) et dans la direction transversale (oscillations transversales). À partir de ces données, le système de contrôle calcule continuellement les oscillations du mât par rapport à sa position de repos. Si les oscillations dépassent la valeur autorisée, l'éolienne s'arrête. Elle redémarre automatiquement après quelques instants.

Les valeurs limites des oscillations maximales autorisées varient en fonction de la hauteur et du type de mât. Si, pendant 24 heures, le mât présente à plusieurs reprises des oscillations dépassant les limites admissibles, l'éolienne ne tentera plus un nouveau démarrage. Le message de défaut *Tower oscillation* (oscillations du mât) avec le sous-état correspondant indiquant la direction (longitudinale ou transversale) clignote sur l'écran du panneau de commande.

En raison de la liaison rigide entre le mât et les fondations, l'oscillation au sommet du mât subit une augmentation due à un déplacement horizontal ou à une torsion (basculement) de la fondation en plus de la pure flexion de la tour. En particulier, la longueur élevée du

mât renforce toute torsion minime de la fondation en une grande oscillation au sommet du mât. Ainsi, tous les mouvements de la fondation qui affectent la stabilité de l'éolienne sont également enregistrés par la surveillance des oscillations quand le mât est intact. Si le mât est défectueux ou défaillant, les valeurs limites autorisées de l'oscillation sont dépassées dans tous les cas, ce qui entraîne une coupure immédiate de l'éolienne.

Surveillance de la sollicitation de la charge du rotor

Les pales du rotor subissent une déformation élastique sous l'effet de la charge du vent, ce qui signifie qu'elles sont courbées du côté exposé au vent. Les pales du rotor peuvent se casser ou plier en cas de charge excessive. Le déséquilibre qui en résulte peut causer d'autres dommages à l'éolienne.

Pour éviter cela, toutes les pales sont équipées, sur les adaptateurs de pale, de 2 jauges de contrainte montées dans le sens opposé. Chaque pale du rotor possède également une armoire de régulation de charge spécifique qui surveille les deux capteurs. Si l'allongement dépasse la valeur limite maximale, un signal correspondant est envoyé aux armoires de réglage des pales (pitch box) et le système de réglage des pales diminue la sollicitation des pales.

L'allongement enregistré par les jauges de contrainte dépend non seulement de la charge due au vent, mais aussi d'autres facteurs. Pour pouvoir neutraliser ces impacts, l'éolienne réalise un calibrage des jauges de contrainte à chaque démarrage. Les jauges de contrainte sont calibrées pour des positions de pale précises. Ce faisant, le rotor tourne lentement comme lors du fonctionnement à vide. Le calibrage peut durer plusieurs minutes. Dans certaines circonstances, le démarrage de l'éolienne peut être reporté pour être repris ultérieurement.

Système de surveillance de la température

Lorsque des composants de l'éolienne doivent être protégés contre les températures excessives, des capteurs de température mesurent la température en continu. Lorsque des températures trop élevées sont mesurées sur le générateur, le système de contrôle réduit la puissance de l'éolienne ou la met à l'arrêt, si nécessaire. Une fois que l'éolienne a refroidi, elle redémarre en général automatiquement dès que la température retombe sous la valeur limite prescrite. Des capteurs de surchauffe sont également installés à plusieurs endroits du générateur. Ces capteurs provoquent aussi l'arrêt de l'éolienne dès qu'une température définie a été dépassée. L'éolienne ne redémarre toutefois pas automatiquement après le refroidissement.

Système de surveillance du bruit

La tête du rotor contient des capteurs qui enregistrent les chocs ou cognements élevés qui peuvent être dus à des composants défectueux ou desserrés. Si l'un des capteurs signale de tels bruits et ne donne aucune indication sur d'autres causes, p. ex. tempête de grêle, l'éolienne est mise à l'arrêt.

Dévrillage des câbles

Le vrillage des câbles est signalé par un système de capteurs qui s'étend de la nacelle jusqu'au mât. En cas de vrillage excessif, le système de contrôle tourne la nacelle dans le sens inverse. Des contacts de fin de course sont également montés pour empêcher toute rotation excessive. Le déclenchement d'un contact de fin de course entraîne l'arrêt de l'éolienne.

Surveillance de la direction du vent

L'éolienne oriente à tout moment la nacelle dans le sens du vent via les entraînements d'orientation. Un anémomètre à ultrasons sert de dispositif de mesure du vent qui mesure constamment la direction du vent et la vitesse du vent. Si l'écart entre la direction du vent

et la direction de l'axe du rotor est supérieur à la valeur maximale autorisée, les entraînements d'orientation sont actionnés. Les entraînements d'orientation orientent la nacelle dans le sens du vent. Le processus d'orientation est surveillé par le système de contrôle de l'éolienne. Si des irrégularités sont constatées, le système de contrôle d'orientation est désactivé et l'éolienne est mise à l'arrêt.

Surveillance de l'électronique de puissance

Chaque armoire de puissance possède un capteur acoustique qui détecte les bruits élevés anormaux et envoie, si nécessaire, un signal correspondant au système de contrôle. Sur certains composants des armoires de puissance, une surcharge peut provoquer un dommage associé à des bruits anormalement élevés. Le capteur envoie alors un signal au système de contrôle. Ce dernier met l'armoire de puissance correspondante à l'arrêt.

Le transformateur dispose également de mesures de sécurité supplémentaires. La température de l'huile est mesurée avec l'aide d'un capteur de température. Une hausse de la température du transformateur entraîne également une hausse de la pression d'huile. Si la pression d'huile est trop élevée, l'interrupteur à pression d'huile se déclenche et la liaison entre le transformateur et le réseau est interrompue. Le capteur de niveau d'huile se déclenche quant à lui lorsque le niveau d'huile est trop bas et coupe également la liaison entre le transformateur et le réseau via la cellule HTA. La surveillance en deux étapes de la température réduit la puissance de sortie de l'éolienne lorsqu'une température définie est atteinte. Si la température continue d'augmenter, l'éolienne est mise à l'arrêt à une température définie.

Si un défaut est apparu dans le redresseur, entraînant des vibrations et des secousses anormalement élevées, celles-ci sont détectées par la surveillance des oscillations.

3.2 Surveillance à distance par le système ENERCON SCADA

Le système ENERCON SCADA assure la surveillance à distance et offre, en plus du programme ENERCON SCADA Remote disponible en option, les interfaces ENERCON SCADA PDI-OPC et ENERCON SCADA PDI-61400, qui permettent de consulter les données des différentes éoliennes, ainsi que leur état.

Description technique

Système ENERCON SCADA

Description technique Système ENERCON SCADA



Editeur ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Allemagne
Téléphone : +49 4941 927-0 ▪ Fax : +49 4941 927-109
E-mail : info@enercon.de ▪ Internet : http://www.enercon.de
Directeur général : Hans-Dieter Kettwig, Nicole Fritsch-Nehring
Tribunal compétent : Aurich ▪ Numéro d'immatriculation au registre de commerce : HRB 411
N° TVA : DE 181 977 360

Remarque sur les droits de propriété intellectuelle Le contenu de ce document est protégé par le droit d'auteur, par les lois sur la propriété intellectuelle ainsi que par les lois nationales et internationales applicables. Sauf mention explicite à l'effet contraire, les droits sur le contenu de ce document appartiennent à ENERCON GmbH.
ENERCON GmbH accorde à l'utilisateur le droit de dupliquer et de copier ce document uniquement pour usage informatif interne dans la mesure où l'utilisateur consent à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété intellectuelle compris dans le contenu du document et que la source dudit contenu soit citée. Aucun autre droit n'est accordé à l'utilisateur par la mise à disposition de ce document. À moins d'une disposition législative obligatoire à l'effet contraire, toute autre duplication, reproduction, copie, modification, diffusion, publication, transmission, distribution, création de produits dérivés du document, mise à disposition à des tiers et/ou exploitation, totale ou partielle, du contenu de ce document est interdite sans avoir préalablement obtenu le consentement écrit d'ENERCON GmbH.
Les droits d'ENERCON GmbH ne peuvent être utilisés d'aucune façon et à quelque fin sans le consentement préalable écrit exprès d'ENERCON GmbH. L'utilisateur ne peut enregistrer de droits de quelque type que ce soit relativement au contenu du document, incluant sans s'y limiter, au savoir-faire.
Tous les droits sur le contenu apparaissant dans le document sont la propriété de leurs détenteurs respectifs. L'utilisateur s'engage à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété compris dans ledit contenu.

Marques déposées Toutes les marques de commerce et logos désignés dans ce document sont la propriété intellectuelle de l'auteur correspondant. Les droits conférés par le droit des marques de commerce et logos s'appliquent de manière illimitée.

Réserve de modification ENERCON GmbH se réserve le droit, à tout moment et sans préavis de modifier ce document et son contenu dans le but de l'améliorer et de le mettre à jour, sauf accords contractuels ou législation contraires.

Informations sur le document

ID du document	D0230085-6		
Note	Document original. Document source pour cette traduction D0190917-6/2016-01-26		
Date	Langue	DCC	Usine/Département
2016-06-10	fr	DA	WRD Management Support GmbH / Documentation Department



Sommaire

1	Introduction	1
2	Composants et fonctionnalités standard	2
2.1	ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA)	2
2.1.1	Fonctionnalité	2
2.1.2	Types de données	2
2.1.3	Transmission des données au bureau de service technique d'ENERCON Service Center	3
2.2	Bus de données ENERCON dans un parc éolien	3
2.3	ENERCON SCADA Remote	4
2.3.1	Fonctionnalité	4
2.3.2	Echange de données	5
2.4	Messages d'état et informations	6
2.5	Mise à disposition de données lors d'un défaut de communication	7
3	Composants et fonctionnalités secondaires	8
3.1	Interfaces de données vers les systèmes externes	8
3.1.1	Aperçu	8
3.1.2	ENERCON SCADA PDI-OPC	9
3.1.2.1	Fonctionnalité	9
3.1.2.2	Echange de données	10
3.1.2.3	Analyses externes	10
3.1.3	ENERCON SCADA PDI-61400	11
3.1.3.1	Fonctionnalité	11
3.1.3.2	Echange de données	12
3.1.3.3	Analyses externes	12
3.1.4	ENERCON SCADA RTU (RTU-I et RTU-C)	13
3.2	Composants pour la saisie des valeurs de mesure	14
3.2.1	Aperçu	14
3.2.2	ENERCON SCADA RTU-C	14
3.2.3	ENERCON METEO	16
3.3	Commande et régulation avec le système ENERCON SCADA	17
3.3.1	Aperçu	17
3.3.2	Commande avec le système ENERCON SCADA	17
3.3.3	Régulation avec le système ENERCON SCADA	18
3.3.4	ENERCON SCADA RTU-C	19
3.3.4.1	Aperçu du produit	19
3.3.4.2	Types de commande et de régulation	20

3.3.5	ENERCON SCADA FCU	22
3.3.5.1	Aperçu du produit	22
3.3.5.2	Régulation	23
3.4	Envoi de message de défaut automatique	25
3.5	Système de contrôle d'événement	27
3.6	Commande de différents systèmes d'une éolienne ENERCON	28
3.6.1	Commande du système de dégivrage	28
3.6.2	Commande de la lampe témoin de glace/givre	28
3.7	Management annulaire du système ENERCON SCADA	29
3.8	ENERCON SCADA Power Consumption Management	30
3.9	ENERCON SCADA Bat Protection	31
3.10	Système ENERCON SCADA - Solutions spéciales et applications en fonction du pays	31
4	Conditions préalables	32
5	Etendue des prestations de livraison	33
6	Maintenance	34
6.1	Maintenance nécessaire	34
6.2	Système ENERCON SCADA dans ENERCON PartnerKonzept (EPK)	34
	Table des figures	35
	Index des termes techniques	36

1 Introduction

Le système ENERCON SCADA est la plateforme éprouvée depuis de longues années pour la surveillance et la régulation à distance des éoliennes, et constitue une partie intégrale du concept Service et Maintenance d'ENERCON. Lancé en 1998, le système a fait ses preuves pour la surveillance de milliers d'éoliennes partout dans le monde. Il offre une multitude de fonctions optionnelles, des interfaces pour l'intégration des parcs éoliens ENERCON dans différentes configurations de réseau et le respect des critères techniques relatifs aux directives de raccordement au réseau. ENERCON SCADA est de conception modulaire très flexible et peut être adapté aisément pour répondre aux applications spécifiques d'un client. Le système ENERCON SCADA est aussi utilisé dans les parcs solaires et les centrales hydroélectriques.

Les composants et les fonctionnalités du système ENERCON SCADA sont présentés dans ce document. Vous trouverez des informations détaillées de ces composants dans les documentations produits correspondantes. Ces dernières sont disponibles auprès du contact concerné du bureau des ventes.

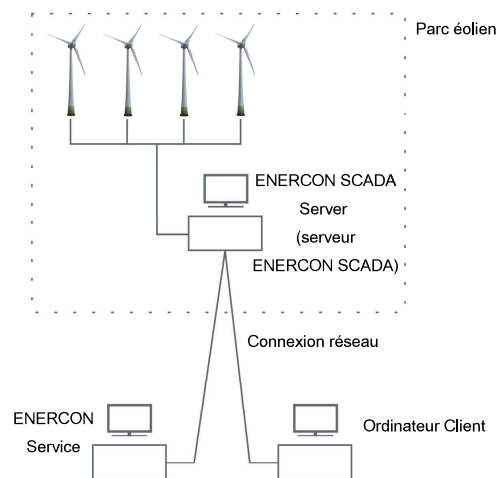


Fig. 1: Représentation schématique du système ENERCON SCADA avec composants standards

Des coupures ou des bridages d'éoliennes individuelles, par ex. en raison de conditions spécifiques au projet concernant les émissions sonores ou les zones d'ombre, ne sont pas exécutées via le système ENERCON SCADA, mais sont directement programmées dans le système de commande des éoliennes. Cela a pour avantage que même en cas de pannes de communication dans le système ENERCON SCADA, les valeurs limites d'émission sont respectées.

Le contact pour toutes questions quant à la satisfaction d'exigences spécifiques au projet ou au pays et à l'équipement nécessaire est le Sales-Grid Integration et est joignable à l'adresse suivante sales-grid-integration@enercon.de.

2 Composants et fonctionnalités standard

2.1 ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA)

2.1.1 Fonctionnalité

L'ENERCON SCADA server (serveur ENERCON SCADA) est le composant central d'un système ENERCON SCADA. L'ENERCON SCADA server (serveur ENERCON SCADA) assure une série de fonctions en liaison avec la communication, la commande et la régulation dans le parc éolien et est l'emplacement central disponible pour stocker des données d'exploitation actuelles et passées des éoliennes et des composants SCADA. Par ailleurs, des algorithmes de commande peuvent être implémentés dans l'ENERCON SCADA server (serveur ENERCON SCADA).

L'ENERCON SCADA server (serveur ENERCON SCADA) couvre par ex. les fonctions suivantes:

- Acquisition et enregistrement des données d'exploitation du parc éolien
- Communication du parc éolien avec l'ENERCON Service Center
- Communication du parc éolien avec le client et l'exploitant du réseau
- Système de commande dans le parc éolien

2.1.2 Types de données

Les types de données suivants sont mis à disposition par le ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA):

Données en ligne

Les données en ligne sont des valeurs momentanées actualisées via le ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA) aussi souvent que le système SCADA l'autorise dans le parc éolien. La fréquence de l'actualisation de ces données dépend du nombre d'éoliennes installées dans le parc éolien, de la structure du bus de données dans le parc éolien et, en premier lieu, du matériel de communication choisi.

D'autres données à définir tels que les numéros de série d'une éolienne, appartiennent au groupe des données en ligne.

Données de rapport

Les données de mesure sont disponibles pendant tout le temps de fonctionnement des éoliennes. En service, l'éolienne est surveillée en permanence par les appareils de mesure et un enregistreur de données note les données de mesure. Les données d'accès de l'éolienne ainsi que les valeurs moyennes sur des périodes définies en font partie. Les données recueillies par le programme ENERCON SCADA sur le ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA) font partie de ces valeurs moyennes.

Les valeurs moyennes sont généralement déterminées sur une minute, dix minutes, un jour, une semaine, un mois et une année. Elles sont toutes basées sur des valeurs moyennes sur une minute. Toutes les valeurs sur 10 minutes (et les valeurs d'intervalles plus longs) sont enregistrées sur le ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA).

Archivage des données d'exploitation

La capacité du disque dur de l'ENERCON SCADA server (serveur ENERCON SCADA) permet généralement la sauvegarde complète des données pendant la période d'exploitation de 20 ans. Si l'acquisition de données par l'ENERCON SCADA server (serveur

ENERCON SCADA) inclut également les postes sources, les mâts de mesure météo ou autres, la quantité de données peut considérablement augmenter, ce qui signifie que la limite de capacité sera plus vite atteinte. Si la capacité du disque dur est chargée à 90 %, l'ENERCON SCADA server (serveur ENERCON SCADA) envoie un message d'avertissement à l'ENERCON Service Center.

2.1.3 Transmission des données au bureau de service technique d'ENERCON Service Center

La nuit, ENERCON transmet les données de toutes ses éoliennes à travers le monde au bureau de service technique et les enregistre (la plateforme téléphonique doit pour cela être joignable). Les messages d'état des dernières 24 heures ainsi que les données d'exploitation du jour et du mois écoulé sont mis à jour. Si une période de 24 heures est dépassée depuis la dernière communication transmise, des présentations de périodes plus longues sont adaptées en conséquence.

Si 24 heures se sont écoulées après la dernière communication avec la centrale de Service ENERCON, alors un message test est envoyé par le système ENERCON SCADA au bureau de service technique. Cela garantit par conséquent qu'un défaut de communication plus long avec l'extérieur ne passe pas inaperçu.

2.2 Bus de données ENERCON dans un parc éolien

Le ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA) est relié via le système de bus de données par câbles en fibre optique interne au parc avec les éoliennes du parc.

Dans l'intérêt de conserver un haut degré de sécurité de communication, un maximum de 10 éoliennes sont réunies dans un bus de données physique. S'il y a plus de 10 éoliennes installées dans le parc, plusieurs lignes de bus de données physiques sont montées en étoile. Le système de bus de données logique comprend toujours toutes les éoliennes du parc éolien.

La liaison du serveur d'ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA) au système de bus de données ENERCON s'effectue par une platine d'interface. Elle constitue le convertisseur entre les signaux électriques et optiques.

La platine d'interface SCADA peut être mise en mémoire tampon en option grâce à des accumulateurs. Si une éolienne dans un bus de données physique est mise hors tension, par exemple à cause d'opérations de maintenance du transformateur HTA, la communication peut être conservée avec les installations se trouvant en aval du ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA).

Afin de garantir la connexion des données pendant une interruption d'une partie concernée du système de bus de données fibre optique, le bus de données peut être découpé en topologie annulaire et la communication peut être maintenue via le management annulaire ENERCON SCADA même en cas de défaut par câble fibre optique, vers une grande partie de l'éolienne et d'appareils (voir chap. 3.7, p. 29).

2.3 ENERCON SCADA Remote

2.3.1 Fonctionnalité

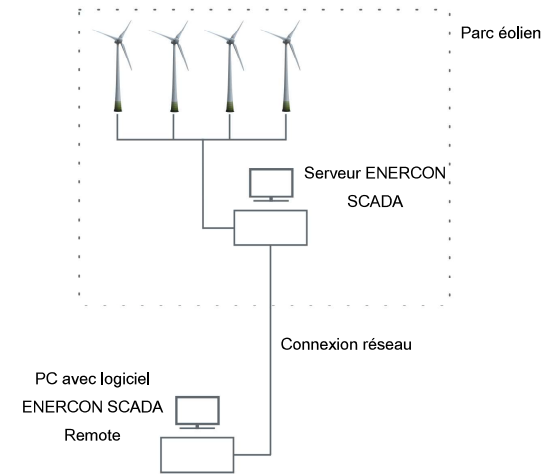


Fig. 2: ENERCON SCADA Remote

Le programme ENERCON SCADA Remote fait partie de l'ensemble de programmes ENERCON SCADA et sert tout d'abord à la surveillance à distance des éoliennes. Grâce à ce programme, il est possible d'établir une liaison avec le serveur ENERCON SCADA pour pouvoir consulter en ligne, les données actuelles et l'historique des données du parc éolien et continuer à les traiter en ligne.

Dans le parc éolien, des informations enregistrées peuvent, grâce à ce logiciel, être présentées sous forme de tableau ou de graphique. On compte, parmi elles, les données de fonctionnement actuelles et les données passées, comme les messages d'état, la vitesse du vent, les heures de service et la disponibilité technique de l'éolienne.

Si une autorisation d'utilisation étendue est accordée par ENERCON, des éoliennes ou tout le parc éolien peuvent être démarrés ou arrêtés à l'aide de l'ENERCON SCADA Remote.

2.3.2 Echange de données

Données en ligne

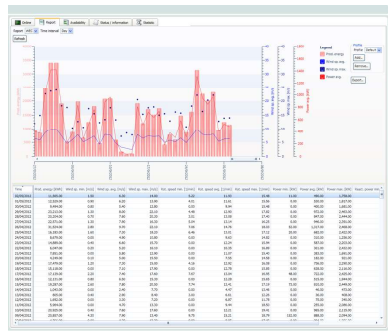


Fig. 3: ENERCON SCADA Remote: Affichage des données quotidiennes

Le client a la possibilité d'observer "en ligne" les éoliennes existantes. Pour ce faire, une connexion de télécommunication est nécessaire entre le Remote PC (ordinateur distant) du client et le serveur ENERCON SCADA. L'affichage sur le Remote PC (ordinateur distant) est mis à jour très rapidement, en fonction de la vitesse de transmission des données entre le système ENERCON SCADA et le Remote PC (ordinateur distant).

Pour d'autres informations sur les données en ligne, voir *Données en ligne*, p. 2.

Données de rapport

Avec le SCADA Remote, les données rassemblées dans le serveur ENERCON SCADA peuvent être transmises de manière ciblée à un Remote PC (ordinateur distant) (par ex. du client) pendant des intervalles choisis. Par conséquent, une copie exacte des données d'exploitation est reproduite sur le Remote PC (ordinateur distant), permettant de procéder à une analyse indépendamment d'une autre connexion en ligne. Les fichiers d'origine restent sur le serveur ENERCON SCADA. Par conséquent, une modification involontaire des données est évitée.

Les données demandées sont enregistrées dans le Remote PC (ordinateur distant) au format dBASE IV et sont ensuite disponibles pour tout type d'analyses, p. ex. dans les programmes de tableur dBASE ou dans les autres applications logicielles.

Pour d'autres informations sur les données de rapport, voir *Données de rapport*, p. 2.

2.4 Messages d'état et informations

Généralités

Une éolienne ENERCON génère pendant son fonctionnement des messages qui donnent des informations sur son état.

Une partie de ces messages est transmise par le parc éolien automatiquement au service ENERCON, pour qu'il puisse garantir la disponibilité de l'éolienne. Les messages qui ne se rapportent pas directement à la disponibilité technique de l'éolienne ne sont pas transmis à l'ENERCON Service Center, mais sont à la disposition de l'ENERCON SCADA Remote.

Etat

L'état indique l'état de fonctionnement actuel de l'éolienne. Les messages d'état apportent continuellement des informations sur l'état de l'éolienne ainsi que, le cas échéant, la raison à l'origine du statut actuel. Un état peut être par ex.:

Turbine in operation (éolienne en service) ou *Lack of wind* (absence de vent).

Chaque état se compose d'un état principal et d'un sous-état.

- L'état principal désigne l'état de fonctionnement général, comme *TURBINE STOPPED* (éolienne arrêtée).
- Le sous-état donne de plus amples informations et la raison de l'actuel état principal, comme *TURBINE STOPPED : CONTROL CABINET* (éolienne arrêtée : armoire de commande).

Les états s'affichent dans l'ENERCON SCADA Remote et sur l'écran de l'éolienne comme des codes chiffrés avec une courte explication sous forme de texte. Lors de l'état 0:0, l'éolienne se trouve en service.

Messages de défaut

Si un état de fonctionnement inhabituel apparaît sur l'éolienne (par ex. un défaut), l'éolienne envoie un message de défaut et s'arrête.

Informations

Les informations présentent dans le système ENERCON SCADA des consignes pour l'éolienne et ses composants et sont structurées de la même manière que des états en information principale et information secondaire.

Les informations s'affichent dans l'ENERCON SCADA Remote et sur l'écran de l'éolienne comme des codes chiffrés avec une courte explication sous forme de texte.

Messages d'avertissement

Les messages d'avertissement correspondent aux informations de priorité élevée. Les messages d'avertissement se composent d'un avertissement principal et d'un avertissement secondaire.

Si un état de fonctionnement inhabituel apparaît sur l'éolienne (par ex. défaut dans le système de lubrification) qui n'entraîne pas un arrêt immédiat de l'éolienne, mais exige une intervention du service, l'éolienne envoie un message d'avertissement. L'éolienne est encore en service.

2.5 Mise à disposition de données lors d'un défaut de communication

Messages d'état

Lors d'un défaut de communication entre le système de contrôle d'une éolienne ENERCON et le serveur ENERCON SCADA, jusqu'à 400 messages d'état peuvent s'afficher en fonction du type de commande (par ex. CS82a).

Une fois la communication rétablie, au moins 50 messages d'état sont transmis rétroactivement au serveur ENERCON SCADA. Le nombre peut être supérieur, si besoin.

Messages d'avertissement et d'informations

Les messages d'avertissement et d'informations sont tout d'abord supprimés de la mémoire du système de contrôle, lorsqu'ils ont été transmis au serveur ENERCON SCADA.

Comme lors d'un défaut de communication, aucun message ne peut être transmis, ils sont disponibles sur le serveur ENERCON SCADA, une fois la communication rétablie.



Messages émis pendant la maintenance

Les messages émis pendant la maintenance d'une éolienne ENERCON ne sont pas transmis au serveur ENERCON SCADA. Par ailleurs, ces messages ne sont pas conservés par l'éolienne.

Valeurs momentanées

Les valeurs momentanées, comme la vitesse du vent, la vitesse de rotation, la puissance, etc. ne sont pas mises à disposition.

Valeur moyenne sur 10 minutes

Le serveur ENERCON SCADA appelle de manière cyclique les valeurs moyennes mises à disposition par le système de contrôle de l'éolienne et en donne une valeur moyenne sur 10 minutes.

Aussi longtemps que la communication est interrompue ou perturbée, le serveur ENERCON SCADA ne peut consulter aucune valeur moyenne et n'est donc pas en possibilité de créer ni de fournir de valeurs moyennes sur 10 minutes.

Heures de service et énergie injectée

Les heures de service et l'énergie injectée dans le réseau sont répertoriées et enregistrées par le système de contrôle.

Une fois la communication rétablie, les données sont transmises rétroactivement au serveur ENERCON SCADA.

Dispositifs SCADA

Les dispositifs SCADA comme RTU, FCU, METEO etc. ne donnent aucune donnée en cas de défaut de communication.

3 Composants et fonctionnalités secondaires

Les composants et fonctionnalités secondaires pour le système ENERCON SCADA doivent être convenus séparément lors des négociations de contrat. Le contact est l'employé correspondant dans le bureau des ventes.

3.1 Interfaces de données vers les systèmes externes

3.1.1 Aperçu

ENERCON offre les interfaces de données suivantes pour les systèmes externes :

- ENERCON SCADA PDI-OPC
- ENERCON SCADA PDI-61400
- ENERCON SCADA RTU-I
- ENERCON SCADA RTU-C (autres fonctions, voir chap. 3.2.2, p. 14 et chap. 3.3.4, p. 19)
- ENERCON SCADA FCU (autres fonctions, voir chap. 3.3.5, p. 22)

Les interfaces de données sont utilisées lorsque la lecture de données ou le transfert des valeurs de consigne doivent être effectués de manière rapide et flexible. Une liaison permanente pour la transmission des données est nécessaire. Il est possible de consulter les données des éoliennes via ENERCON SCADA PDI-OPC et ENERCON SCADA PDI-61400. Comparé au programme de télésurveillance ENERCON SCADA Remote, l'échange de données via l'interface permet avant tout de définir de nouvelles valeurs de consigne. La vitesse de transmission des données dépend du type de liaison.

3.1.2 ENERCON SCADA PDI-OPC

3.1.2.1 Fonctionnalité

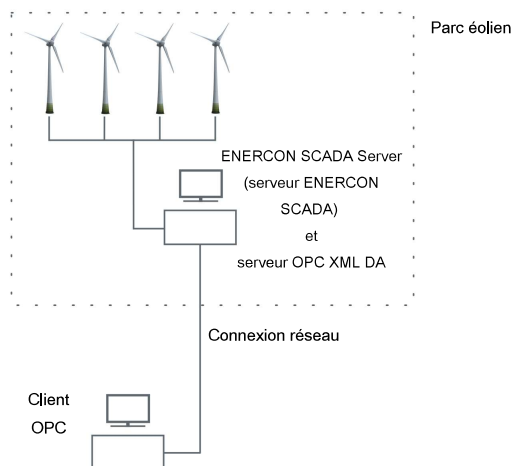


Fig. 4: ENERCON SCADA PDI-OPC dans le système ENERCON SCADA

ENERCON SCADA PDI-OPC est un serveur OPC XML DA selon les spécifications V1.01 de la OPC Foundation et peut être utilisé pour consulter les valeurs de mesure et pour la commande de tout le parc éolien ou d'éoliennes individuelles.

Toutes les données disponibles via le logiciel ENERCON SCADA Remote peuvent également être activées via ENERCON SCADA PDI-OPC. De plus, il est également possible d'envoyer des valeurs de consigne à l'aide d'ENERCON SCADA PDI-OPC pour modifier la génération de puissance réactive du parc éolien.

Les fonctions de l'ENERCON SCADA PDI-OPC, ainsi que les interfaces et signaux techniques afférents et disponibles sont décrits dans la documentation correspondante. Le réglage approprié de valeur de consigne doit être choisi en fonction des caractéristiques du projet.

3.1.2.2 Echange de données

Les données suivantes sont mises à disposition via le serveur OPC XML DA ou peuvent être reçues:

Données en ligne

Les données en ligne sont souvent mises à jour par le serveur OPC XML DA, comme le système ENERCON SCADA le permet dans le parc éolien. La structure du projet spécifique est transmise par le système et peut être affichée sur le Client. L'intervalle d'actualisation le plus court dans l'OPC est une seconde.

Pour d'autres informations sur les données en ligne, voir *Données en ligne*, p. 2.

Données de rapport

Le processus de données de rapport est conservé, cela signifie que le serveur OPC ne présente pas seulement des valeurs actuelle, mais aussi des valeurs d'intervalles passés et permet par conséquent de préserver la concordance entre les données sur les PC du client et du parc éolien.

Pour d'autres informations sur les données de rapport, voir *Données de rapport*, p. 2.

Indications de valeur de consigne

A l'aide des données de commande, les paramètres du parc éolien ou de l'éolienne peuvent être modifiés par le client. Cela concerne notamment les commandes ou ordres Marche/arrêt des différentes éoliennes ainsi que la modification des valeurs de consigne pour les régulations du parc éolien.

3.1.2.3 Analyses externes

Les données du serveur OPC XML DA installé dans le parc éolien peuvent être exportées puis traitées.

Le système informatique du client requiert un logiciel conçu pour échanger des données au moyen du protocole OPC XML DA. Il existe sur le marché un vaste choix d'applications logicielles. Le client peut choisir lui-même les données qu'il souhaite sélectionner, afficher et enregistrer sur son système.

Le serveur OPC XML DA du parc éolien est conçu de sorte que le client puisse enregistrer localement les données présentes dans le parc éolien, même lorsque la communication en ligne est défectueuse. Il est ainsi sûr d'avoir à disposition tout l'historique en plus des valeurs en ligne et des moyennes actuelles. Le client a ainsi la possibilité de compléter ultérieurement les données manquantes en cas d'interruption de la transmission des données. Cela doit cependant être initié par OPC Client (=client) car le serveur ne peut pas déterminer les manques au niveau des données du client.

3.1.3 ENERCON SCADA PDI-61400

3.1.3.1 Fonctionnalité

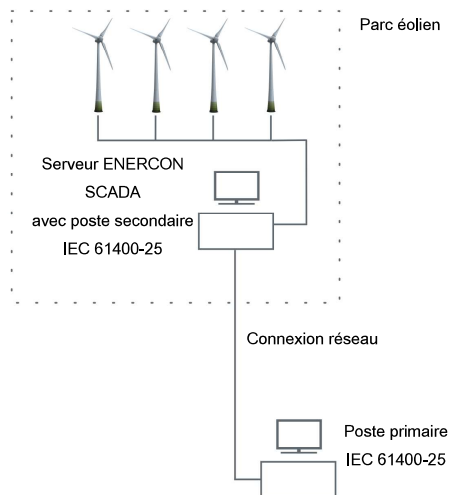


Fig. 5: ENERCON SCADA PDI-61400

Avec ENERCON SCADA PDI-61400, l'opérateur dispose d'une interface qui permet d'accéder en ligne aux données du parc éolien et des éoliennes indépendamment du logiciel ENERCON SCADA Remote.

L'ENERCON SCADA PDI-61400 est une interface qui utilise le modèle de données de la norme IEC 61400-25 et qui transmet les données via le protocole de la norme IEC 60870-5-104 (2006).

Il s'agit exclusivement d'un poste secondaire avec « Monitor Direction », « Reverse Direction » et « Both Direction » ne sont pas pris en charge.

Le principe de communication dans le parc éolien ENERCON est schématisé à la fig. 5, p. 11. Un poste primaire se connecte au serveur ENERCON SCADA via le réseau de communication et peut ainsi accéder aux données des éoliennes et du parc éolien.

L'ENERCON SCADA PDI-61400 permet en outre d'accéder à des données en ligne des appareils ENERCON SCADA (RTU/FCU) et de définir des valeurs de consigne pour influencer la régulation du parc éolien. Les éoliennes peuvent également être démarrées, arrêtées et réinitialisées.

Les fonctions de l'ENERCON SCADA PDI-61400, ainsi que les interfaces et signaux techniques afférents et disponibles sont décrits dans la documentation correspondante. Le réglage approprié des valeurs de consigne doit être choisi en fonction des caractéristiques du projet.

3.1.3.2 Echange de données

Les données suivantes sont mises à disposition via ENERCON SCADA PDI-61400 ou peuvent être reçues :

Données en ligne

Les données en ligne sont mises à jour via ENERCON SCADA PDI-61400 aussi souvent que le système ENERCON SCADA du parc éolien le permet. La structure est prédéfinie par la hiérarchie de l'IEC 61400-25. L'intervalle d'actualisation le plus court dans PDI-61400 est une seconde.

Pour d'autres informations sur les données en ligne, voir chap. 2.1.2, p. 2.

Données de rapport

ENERCON SCADA PDI-61400 ne met à disposition aucune donnée de rapport.

Indication de valeurs de consigne

Le parc éolien et les différentes éoliennes peuvent être démarrés et mis à l'arrêt à l'aide de données de commande. Ces dernières permettent également de réinitialiser les éoliennes. Il est par ailleurs possible d'indiquer des valeurs de consigne aux appareils ENERCON SCADA (RTU/FCU) pour la commande du parc éolien.

3.1.3.3 Analyses externes

Pour analyser les données mises à disposition via ENERCON SCADA PDI-61400, le système informatique du client requiert un logiciel conçu pour échanger des données au moyen du protocole IEC 60870-5-104. Il existe sur le marché un vaste choix d'applications logicielles. Le client peut décider lui-même les données qu'il souhaite afficher et enregistrer sur son système.

3.1.4 ENERCON SCADA RTU (RTU-I et RTU-C)

Le terminal à distance ENERCON SCADA Remote Terminal Unit (RTU) joue le rôle d'une interface de données du système ENERCON SCADA vers l'extérieur. Il prend en charge DNP3, Modbus RTU ainsi que des bus de terrain basés sur Ethernet, comme Modbus TCP ou IEC 60870-5-104.

Le RTU peut être équipé en option de modules I/O numériques et/ou analogiques pour échanger des signaux avec le distributeur d'électricité ou avec l'exploitant. Par ailleurs, le RTU peut, selon l'équipement, exercer des fonctions de commande ou de régulation pour influencer les paramètres du réseau.

Les valeurs de consigne suivantes peuvent être déterminées sur le RTU :

- Puissance active P [%] rapportée à la puissance d'alimentation du parc éolien convenue dans le contrat
- Puissance réactive Q [%] rapportée à la puissance réactive nominale du parc éolien
- Facteur de puissance $\cos \varphi$
- Offset de tension U [%] rapporté à la tension nominale au point d'injection du réseau

Interface IEC 60870-5-104

Le terminal à distance ENERCON SCADA RTU peut fonctionner comme IEC 60870-5-104 Controlled Station (esclave). Les interfaces IEC 60870-5-104 permettent seulement d'écrire des valeurs de consigne et de consulter les données du parc éolien. Il n'est toutefois pas possible de consulter les données des éoliennes individuelles.

Interface DNP3

Le RTU peut être relié comme Outstation DNP3 (DNP3 esclave) aux postes de commande/ centre de Dispatch (DNP3 maître) (implémentation de rapport: DNP3-L2 Outstation). Via les interfaces DNP3, seules des valeurs de consigne peuvent être écrites et les données de parc éolien peuvent être consultées. Il n'est toutefois pas possible de consulter les données des éoliennes individuelles.

Interface Modbus TCP/RTU

L'interface Modbus permet seulement d'écrire des valeurs de consigne et de consulter les données de parc éolien. Il n'est toutefois pas possible de consulter les données des éoliennes.

3.2 Composants pour la saisie des valeurs de mesure

3.2.1 Aperçu

La fonction des composants pour la saisie des valeurs de mesure est de prendre en charge les valeurs de mesure des appareils de mesure spécifiques et des capteurs, et la préparation des données puis la transmission au système ENERCON SCADA, dans le rapport spécifique ENERCON.

ENERCON offre les composants SCADA suivants pour la saisie des valeurs de mesure:

- ENERCON SCADA RTU-C (autres fonctions, voir chap. 3.1.4, p. 13 et chap. 3.3.4, p. 19)
- ENERCON METEO

3.2.2 ENERCON SCADA RTU-C

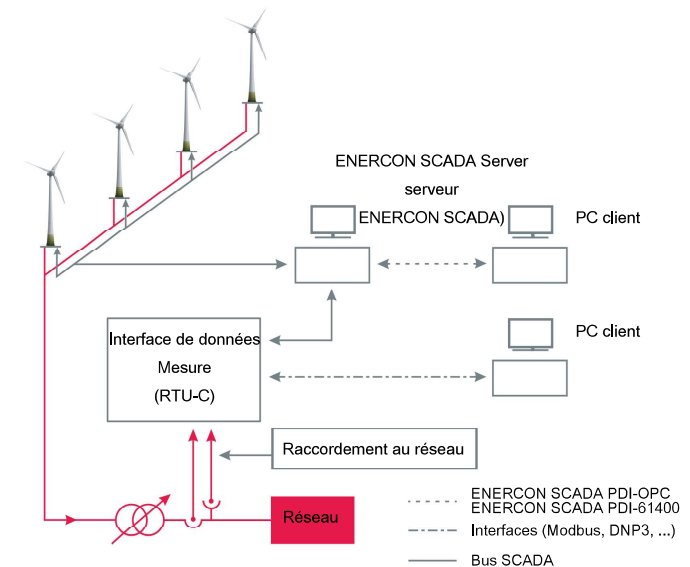


Fig. 6: Aperçu RTU-C

Le RTU-C prend en charge les fonctions suivantes:

- Interface de données
- Mesure de grandeurs électriques au point de raccordement au réseau

Le RTU enregistre via le transformateur de mesure, à l'aide d'un analyseur de réseau de courant (I1, I2, I3) et de tension (U1, U2, U3, N) triphasée sur le point de référence, en général au point d'injection du réseau. L'analyseur de réseau enregistre les valeurs de courant et de tension triphasée, et détermine tous les paramètres importants du réseau comme la puissance réactive et la puissance active.

Lié aux valeurs de consigne qui sont par ex. prédéfinies par l'exploitant du réseau, le RTU-C fournit au parc les valeurs de contrôle qui sont transmises via le serveur ENERCON SCADA. De cette manière, il est possible d'installer un circuit de régulation fermé.

Les valeurs suivantes sont enregistrées comme des valeurs moyennes sur une durée de 10 minutes et sont enregistrées dans le serveur ENERCON SCADA:

- Puissance active P, P1, P2, P3
- Puissance réactive Q, Q1, Q2, Q3
- Tensions composées U12, U23, U31
- Intensités I1, I2, I3
- Fréquence du réseau
- Facteur de puissance cos phi

3.2.3 ENERCON METEO

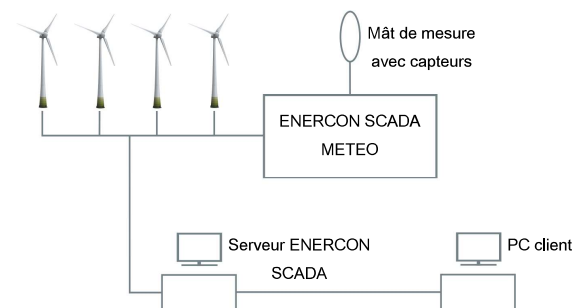


Fig. 7: ENERCON METEO

Le système METEO ENERCON sert à enregistrer et analyser les données météorologiques à l'aide du système ENERCON SCADA. La composante centrale du système METEO ENERCON est l'enregistreur de données, placé dans la boîte d'enregistrement de données météorologiques. Cela permet de raccorder un grand choix de capteurs pour la mesure de vent et la mesure météo. Des capteurs et un mât de mesure ne font pas partie du système METEO ENERCON, mais peuvent être fournis sur demande par ENERCON.

Enregistrement des données et transmission

Un microcontrôleur du système METEO ENERCON lit les données mises à disposition de l'enregistreur de données en quelques secondes. Il calcule en une seconde, basé sur un jeu de données sur une valeur moyenne d'une minute, les minima et maxima. Le serveur ENERCON SCADA interroge les jeux de données du microcontrôleur en quelques minutes et rend de son côté des valeurs moyennes plus élevées (sur 10 minutes, en heures, jours, etc.). L'horodateur afférent à un jeu de données est fixé par le serveur ENERCON SCADA.

Tant qu'il y a une connexion en ligne entre l'ENERCON SCADA Remote et le serveur ENERCON SCADA, les données disponibles en quelques secondes par l'enregistreur de données sont transmises au SCADA et affichées par l'ENERCON SCADA Remote. Une autre solution peut être aussi d'interroger les données via OPC XML par les clients externes OPC. La fréquence d'actualisation de l'affichage dans l'ENERCON SCADA Remote dépend du débit de la connexion en ligne. Pour une liaison stable par le réseau fixe, les valeurs affichées sont en général actualisées toutes les secondes.

Alimentation sans interruption (ASI)

L'ASI (UPS) en option permet un fonctionnement normal en cas de panne de l'alimentation en courant externe. Le fonctionnement du système de chauffage du boîtier est déjà exclus lors du fonctionnement de l'ASI (UPS), pour pouvoir maintenir le plus longtemps possible le service de mesure. Il est possible de partir d'une durée de fonctionnement de l'ASI (UPS) de plusieurs jours à quelques semaines, en fonction des conditions de température sur site et du nombre de capteurs raccordés. Une alimentation en courant solaire ne peut pas être raccordée.

3.3 Commande et régulation avec le système ENERCON SCADA

3.3.1 Aperçu

Le système ENERCON SCADA est un outil complexe qui permet de remplir différentes fonctions de régulation et de commande du parc éolien.

Pour ce faire, des commandes (circuit de régulation en boucle ouverte, sans rétroaction) et des régulations (circuit de régulation en boucle fermée, avec rétroaction) peuvent être réalisées avec des composants ENERCON SCADA.

Pour exécuter les fonctions de commande à l'aide du système ENERCON SCADA, ENERCON propose les composants suivants :

- ENERCON SCADA PDI-OPC (autres fonctions, voir chap. 3.1.2, p. 9)
- ENERCON SCADA RTU (toutes les versions)

Pour exécuter les fonctions de régulation à l'aide du système ENERCON SCADA, ENERCON propose les composants suivants :

- ENERCON SCADA RTU-C (autres fonctions, voir chap. 3.1.4, p. 13 et chap. 3.2.2, p. 14)
- ENERCON SCADA FCU (Farm Control Unit)

3.3.2 Commande avec le système ENERCON SCADA

La manière la plus simple pour intervenir sur le fonctionnement d'un parc éolien est de commander les paramètres de fonctionnement. « Système de commande » signifie (contrairement à « régulation ») qu'il n'y a pas de retour d'effet des valeurs de consigne. En d'autres termes, la valeur réelle à régler n'est pas contrôlée et ne peut pas être automatiquement prise en compte dans le prochain processus de commande.

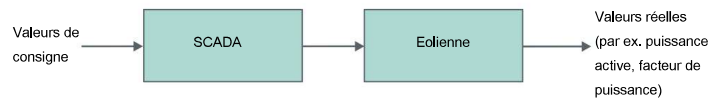


Fig. 8: Structure d'un système de commande de dimensions électriques à l'aide de l'ENERCON SCADA

Commande de valeur de consigne

Sur le serveur ENERCON SCADA, les valeurs de consigne peuvent être définies comme paramètres de commande. Les valeurs saisies sont envoyées de la même façon à toutes les éoliennes raccordées au système ENERCON SCADA et s'appliquent jusqu'à ce que de nouvelles valeurs de consigne soient définies.

Les paramètres de service suivants peuvent être commandés :

- Puissance active
- Facteur de puissance
- Puissance réactive

Commande par table

La commande par table peut être utilisée pour régler la puissance nominale d'un parc et le facteur de puissance jusqu'à 40 périodes par semaine. La commande du parc éolien se réfère à ces valeurs de consigne en fonction du temps. Les valeurs de table sont seule-

ment entrées une fois via ENERCON SCADA Remote ou directement sur le serveur ENERCON SCADA. La modification de paramètres est protégée par mot de passe, et peut uniquement être fixée par ENERCON.

Valeurs de commande via des interfaces

ENERCON propose des interfaces qui peuvent également être utilisées pour transmettre des signaux de commande purs, par exemple de l'exploitant du réseau au système ENERCON SCADA du parc éolien. Parmi ces interfaces, on compte ENERCON SCADA RTU (toutes les versions) et ENERCON SCADA PDI-OPC.

3.3.3 Régulation avec le système ENERCON SCADA

Grâce à ENERCON SCADA RTU-C et ENERCON SCADA FCU, un circuit de régulation en boucle fermée peut être établi, en liaison avec le système ENERCON SCADA et les éoliennes. La régulation de grandeurs électriques se réfère au point de saisie des valeurs de mesure, c'est-à-dire la plupart du temps le point d'alimentation de l'exploitant du réseau.

Si une régulation est souhaitée, il faut utiliser soit le RTU-C ou la FCU. Des valeurs de consigne externes peuvent être intégrées par les interfaces décrites. La précision et la dynamique de la régulation dépend de la configuration du parc éolien, du nombre d'éoliennes raccordées, de la classe du transformateur de courant et d'autres facteurs.

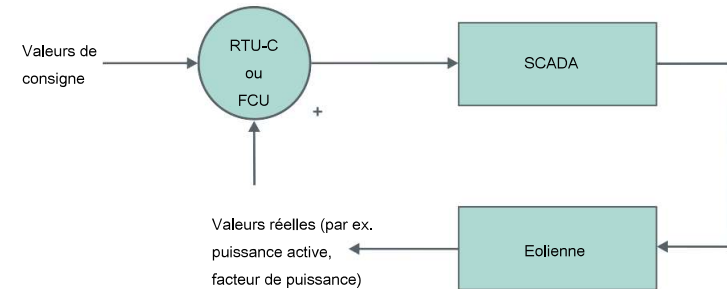


Fig. 9: Structure d'une régulation avec réinjection caractéristique du signal de sortie

3.3.4 ENERCON SCADA RTU-C

3.3.4.1 Aperçu du produit

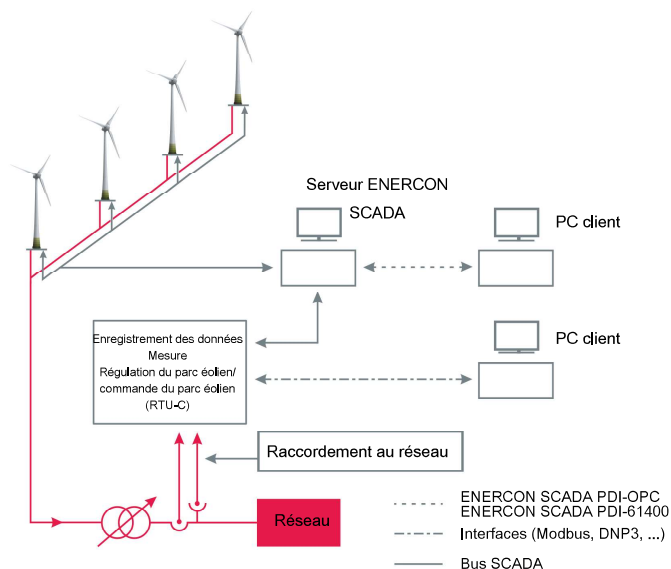


Fig. 10: Aperçu RTU-C

Le RTU-C prend en charge les fonctions suivantes:

- Interface de données
- Mesure de grandeurs électriques au point de raccordement au réseau
- Régulation du parc éolien ou commande du parc éolien

À l'aide du RTU-C, il est possible de réaliser une régulation du parc éolien en lien avec les « paramètres réels » au point d'alimentation. Les grandeurs de référence peuvent être la puissance active, la puissance réactive, le facteur de puissance (cos Phi) et la tension. Pour ce faire, différents modes de régulateurs peuvent être choisis et configurés en fonction du projet par le personnel spécialisé ENERCON.

Le RTU (ENERCON SCADA Remote Terminal Unit) enregistre via le transformateur de mesure, à l'aide d'un analyseur de réseau de courant (I1, I2, I3) et de tension (U1, U2, U3, N) triphasée sur le point de référence, en général au point d'injection du réseau.

Lié aux valeurs de consigne qui sont par ex. prédéfinies par l'exploitant du réseau, le RTU fournit au parc les valeurs de contrôle qui sont transmises via le serveur ENERCON SCADA. De cette manière, il est possible d'installer un circuit de régulation fermé.

3.3.4.2 Types de commande et de régulation

Indication de valeurs de consigne

Il est possible de différencier les types suivants d'indications de valeur de consigne :

- Indication fixe de valeurs de consigne
La valeur de consigne est réglée de manière fixe dans le RTU.
- Indication en ligne de valeurs de consigne
La valeur de consigne est indiquée via l'interface définie.
- Indication de valeurs de consigne à partir d'une courbe de référence
La valeur de consigne concernée est déterminée ici sur une courbe de référence. Le paramètre de la courbe de référence peut être soit la moyenne de la puissance active, soit la moyenne de la tension de réseau. Le calcul de la moyenne peut être réglé dans le temps entre 1 s et 1 min.

Si l'on opte pour la régulation de puissance réactive (régulation Q), la valeur de consigne est définie en tant que valeur relative par rapport à la puissance réactive installée du parc éolien. Dans le cas de la régulation du facteur de puissance, la valeur de consigne est définie en tant que valeur absolue.

La prise en compte d'une valeur de consigne est limitée dans le temps. Ce paramètre réglable vise à garantir une stabilisation sûre du régulateur.

Régulation de puissance active et commande de puissance active Régulateur

Le régulateur peut fonctionner dans différents modes en fonction du cas d'utilisation :

- Default Values Open Loop Control (commande)
- P Open Loop Control (commande)
- P Closed Loop Control (régulation)

Régulation de puissance réactive et commande de puissance réactive Régulateur

Le régulateur peut fonctionner dans différents modes en fonction du cas d'utilisation :

- Default Values (régulateur off, les valeurs par défaut sont envoyées)
- Cos phi Open Loop Control (système de commande)
- Q Open Loop Control (commande)
- Cos phi Closed Loop Control (régulation)
- Q Closed Loop Control (régulation)
- Cos phi(P) Closed Loop Control (régulation, courbe)
- Q(U) Closed Loop Control (régulation, courbe)
- Cos phi(U) Closed Loop Control (régulation, courbe)
- Q(P) Closed Loop Control (régulation, courbe)
- Cos Phi + Q Open Loop (système de commande)

Limitation de la plage de réglage de puissance réactive

Pour réduire autant que possible les éventuelles pertes de rendement provoquées par le dépassement de la puissance réactive minimale requise, le RTU-C est en mesure de limiter la plage de réglage de la puissance réactive utilisée pour la régulation au point d'injec-

tion. Une caractéristique de courbe, qui limite la plage de réglage de la puissance réactive réellement utilisée, peut être définie à cette fin à l'aide de deux courbes de référence (pages exportation et importation).

3.3.5 ENERCON SCADA FCU

3.3.5.1 Aperçu du produit

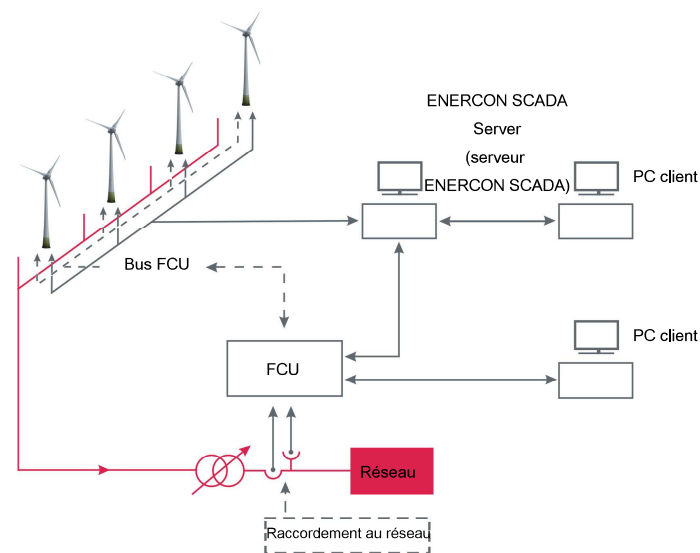


Fig. 11: Aperçu FCU

À l'aide de l'ENERCON Farm Control Unit (FCU), il est possible de réaliser une régulation rapide, continue et centrale du parc éolien. Le point de référence de cette régulation est un point de référence défini selon le projet. Ce dernier est d'habitude identique avec le point d'alimentation de réseau du parc éolien sur le réseau HTA ou HTB.

Selon les exigences de l'exploitant du réseau, il est possible de réguler, d'une part, la puissance active injectée dans le réseau et, d'autre part, les grandeurs de puissance réactive ou de facteur de puissance et de tension qui y sont liées.

La ENERCON SCADA FCU comprend, outre le logiciel et matériel central (armoire de commande de la FCU) au point de référence, du matériel supplémentaire dans les éoliennes et un système de transmission des données à distance par câble en fibre optique.

3.3.5.2 Régulation

Les valeurs de consigne de régulation peuvent être, d'une part, paramétrées de manière fixe ou, d'autre part, être déterminées de l'extérieur via des interfaces définies.

Le régulateur et ses paramètres sont conçus et réglés par ENERCON en fonction du projet. Pour garantir une régulation stable au point d'alimentation, il est indispensable d'établir une étroite collaboration entre le client, ENERCON et l'exploitant du réseau. Il relève de la responsabilité du développeur de projet de vérifier au préalable avec l'exploitant du réseau quelles exigences doivent être satisfaites au point de connexion pour que le temps et les coûts appropriés puissent être pris en considération.

La FCU enregistre au point de référence la tension et le courant injecté et calcule les valeurs réelles des grandeurs de régulation, par ex. la puissance active ou réactive. De la différence des valeurs de consigne données, c'est-à-dire de la différence de régulation, les régulateurs implémentés dans la FCU génèrent les valeurs de réglage correspondantes et les envoient aux éoliennes. Pour ce faire, la FCU envoie le même signal de réglage à toutes les éoliennes.

Limitation de la puissance active

Ce régulateur limite la puissance active injectée au point de référence sur une valeur de consigne définie par ex. par l'exploitant du réseau. On enregistre la puissance active injectée au point de référence et, en cas de vitesse de vent insuffisante, parfaitement réglée sur la valeur de consigne définie. Le régulateur se compose d'un régulateur P avec retard. La valeur de consigne peut être modifiée sous forme de saut ou avec un gradient réglable.

Régulation du facteur de puissance

Le régulateur règle le facteur de puissance $\cos \Phi$ au point de référence sur une valeur de consigne prédéfinie par l'exploitant du réseau, par ex.

La FCU calcule du facteur de puissance prédéfini et de la puissance active injectée mesurée au point de référence, la valeur de consigne de puissance réactive nécessaire. La valeur réelle de la puissance réactive injectée est parfaitement réglée sur la valeur de consigne de puissance réactive.

Réglage de la puissance réactive

Le régulateur limite la puissance réactive injectée au point de référence sur une valeur de consigne définie par ex. par l'exploitant du réseau.

Régulation de la tension

Comme les points d'alimentation sont principalement inductifs, la valeur absolue de la tension au point de référence peut être réglée de manière ciblée via la puissance fournie ou le rapport de puissance réactive.

Le régulateur de tension implémenté dans la FCU transforme la différence de réglage entre la valeur de consigne et la valeur réelle de la tension au point de référence en un signal de réglage de puissance réactive et l'envoie à toutes les éoliennes du parc éolien qui sont actives pour cette régulation.

Régulation de puissance réactive en fonction de la tension

A l'aide de cette structure de régulation, il est possible de réaliser une courbe d'injection $Q-\Delta U$ (calcul statique) linéaire définie par l'exploitant du réseau. Une telle courbe décrit la puissance réactive injectée au point de référence en fonction de la différence de régulation de la tension au point de référence.

On détermine, pour ce faire, la différence entre la valeur de consigne de tension et la valeur réelle enregistrée au point de référence. La puissance réactive injectée au point de référence est ensuite réglée sur la valeur de consigne de puissance réactive résultant de la courbe $Q-\Delta U$.

Limitation de la plage de réglage de puissance réactive

Pour réduire autant que possible les éventuelles pertes de rendement provoquées par le dépassement de la puissance réactive minimale requise, le FCU est en mesure de limiter la plage de réglage de la puissance réactive utilisée pour la régulation au point d'injection. Une caractéristique de courbe, qui limite la plage de réglage de la puissance réactive réellement utilisée, peut être définie à cette fin à l'aide de deux courbes de référence (pages exportation et importation).

3.4 Envoi de message de défaut automatique

Pour la communication du système ENERCON SCADA vers l'extérieur, on utilise en général TCP/IP. Le système ENERCON SCADA envoie en cas de défaut automatiquement des messages d'avertissement et de défauts à la centrale de service ENERCON. Ces messages sont automatiquement affectés aux équipes du Service et enregistrés.

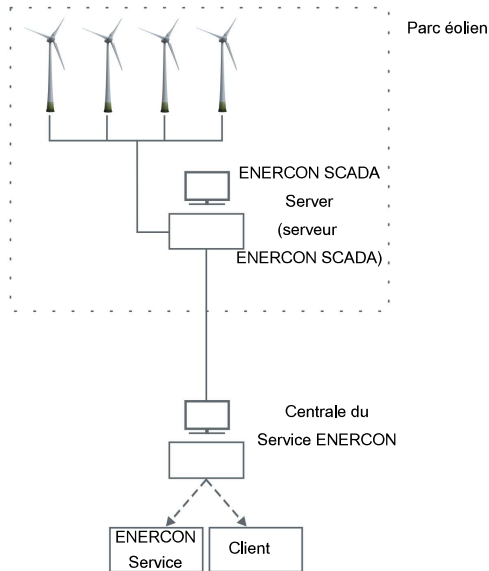


Fig. 12: Messages de défaut

Le client peut, sur demande, être informé de tout message de défaut par la centrale de Service ENERCON. Cette information peut en principe être transmise par SMS ou e-mail. Si plusieurs personnes sont informées des messages de défaut, ENERCON conseille de choisir le transfert par e-mail au client. Le client peut ensuite décider lui-même quels messages doivent être transférés. ENERCON doit seulement être tenu informé en cas de modification de l'adresse e-mail ou du numéro de téléphonie mobile.

Structure du message de défaut

Les messages envoyés au client par e-mail ou par texto (SMS) ont le format suivant :
[Numéro du parc éolien]_[Numéro de l'éolienne]_[Numéro de série]_[EC DB Nr.]_[Nom du client]_[Nom du site]_[Heure du défaut]_[Type de message]_[État de l'éolienne]_[Numéro du message de défaut ou du message d'avertissement]_[Description de l'état]_[Description du message de défaut ou du message d'avertissement]

Exemple de message (en anglais)

3252 01 70217 1 Test Ltd. Test farm 2013-07-01 15:59:57 (Warning) 0:0 190:2 Hazard light : Fault

Demande d'envoi d'un message de défaut

Les informations suivantes doivent être transmises au service à la clientèle ENERCON (département Customer Relations Management (gestion des relations avec la clientèle) - appel d'offres) en cas de demande d'envoi d'un message de défaut :

- Type d'envoi : Par e-mail ou par texto (SMS)
- Numéro(s) de série de(s) (l') éolienne(s)
- Numéro du parc éolien
- Nom du site
- Coordonnées du destinataire

Adresse (Service à la clientèle ENERCON (appel d'offres))

ENERCON Kundenservice (Angebotswesen)
Dornumer Straße 20
26607 Aurich, Allemagne
E-mail : serviceoffer@enercon.de
Tél. : +49 4941 976 388

Frais supplémentaires

Des frais d'envoi supplémentaires peuvent s'appliquer selon le lieu où est situé le parc éolien, la méthode d'envoi du message, ainsi que le type de contrat de maintenance.

3.5 Système de contrôle d'événement

Le système de contrôle d'événement est conçu et installé comme un programme sur le serveur ENERCON SCADA. Avec celui-ci, il est possible de modifier en fonction de la date et de l'heure, l'état des éoliennes en prenant compte des valeurs de mesure.

En saisissant les lignes de commande relatives au fichier de configuration du procédé, une opération peut, dans une certaine mesure, être programmée, par ex. "Marche/Arrêt de l'éolienne" ou "Envoyer messages". Une réduction de la puissance active n'est toutefois pas possible à l'aide du système de contrôle de l'événement. Tous les événements apparus sont documentés à part.



Les systèmes de commande liés à la sécurité ne peuvent pas être réalisés par la présente !

Il est possible de choisir entre 3 types d'événements :

- Date / heure :
- Etat de l'éolienne
- Condition de mesure d'un enregistreur de données via SCADA METEO ou de données de l'éolienne comme la direction et la vitesse du vent

Ces événements peuvent être reliés entre eux ET- par ligne de commande, lancer une opération.

AVERTISSEMENT

Défaut de configuration!

Les modifications nécessaires dans le fichier de configuration doivent être effectuées pour des raisons de sécurité, exclusivement par ENERCON.

Exemples d'utilisation pour le système de contrôle de l'événement :

- Protection contre le bruit
- Distance minimale aux bâtiments

3.6 Commande de différents systèmes d'une éolienne ENERCON



Le client ne peut commander les différents systèmes d'une éolienne ENERCON qu'après une déconnexion par ENERCON. Des informations peuvent être prises chez un employé concerné des ventes ENERCON ou d'ENERCON Service Center.

3.6.1 Commande du système de dégivrage

L'interface ENERCON SCADA PDI-OPC proposée en option du serveur ENERCON SCADA et d'ENERCON SCADA Remote 3 permet de commander activement le système de dégivrage intégré aux éoliennes ENERCON.

Les fonctions de commande suivantes peuvent être exécutées si l'éolienne ¹⁾ est en marche ou à l'arrêt:

- Suppression du fonctionnement automatique du système de dégivrage (empêcher/ interrompre le dégivrage)
- Enclencher le dégivrage manuellement (fonctionnement automatique supprimé)
- Démarrer le dégivrage pour la durée de chauffe préréglée (paramètre 1317 de l'éolienne)
- Relevé de l'état de commande actuel

¹⁾ Si l'éolienne est en fonctionnement, le système de dégivrage de pales peut uniquement être commandé lorsque l'éolienne est correctement paramétrée, voir document "paramètres du système de dégivrage de pales" (D0167474).

3.6.2 Commande de la lampe témoin de glace/givre

L'interface ENERCON SCADA PDI-OPC proposée en option du serveur ENERCON SCADA et d'ENERCON SCADA Remote 3 permet de commander activement une lampe témoin de glace/givre intégrée dans un parc éolien ENERCON.

Les fonctions de commande suivantes peuvent être exécutées:

- Activer la lampe témoin de glace/givre
- Désactiver la lampe témoin de glace/givre¹⁾
- Lecture de l'état actuel du système de détection de givre/glace

¹⁾ Après avoir activé la lampe témoin de glace/givre, cette lampe reste activée pendant au moins 20 min, quel que soit le système de commande. La lampe témoin de glace/givre peut uniquement être désactivée si aucun système de l'éolienne (p. ex. système de détection de givre/glace) génère un signal pour activer la lampe témoin de glace/givre.

L'éolienne ne s'affiche pas l'état de la lampe témoin de glace/givre. L'état du système de détection de givre/glace est uniquement transmis au système ENERCON SCADA.

Les informations plus détaillées sur l'option "lampe témoin de glace/givre" sont indiquées dans le document "lampe témoin de glace/givre des éoliennes ENERCON" (D0353070).

3.7 Management annulaire du système ENERCON SCADA

Le management annulaire du système ENERCON SCADA permet, en relation avec l'installation du bus de données fibre optique interne du parc éolien en topologie annulaire, d'augmenter la fiabilité du système de bus.

Les données sont envoyées en deux directions des bus de données et restent comme cela disponibles à la majorité des éoliennes lors de l'interruption d'une partie du bus de données, par ex. à cause d'un câble défectueux.

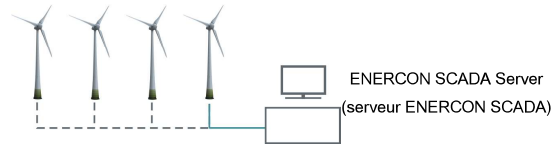


Fig. 13: Interruption d'une partie du bus de données sans management annulaire

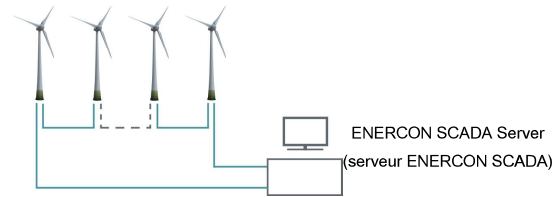


Fig. 14: Interruption d'une partie du bus de données avec management annulaire

Le management annulaire ENERCON SCADA est réalisé comme solution logicielle dans des modules de communication à fibres optiques et peut aussi être utilisé pour le bus de données du Farm Control Unit (FCU).

3.8 ENERCON SCADA Power Consumption Management

L'ENERCON SCADA Power Consumption Management (système de gestion de la consommation d'énergie ENERCON SCADA; abrégé par PCM) permet de limiter la consommation d'énergie des éoliennes ENERCON à une valeur réglable au point d'alimentation.

Cela est utile notamment pour les grandes charges thermiques telles que le système de dégivrage de pales et le système de séchage du générateur, car ces processus ne sont souvent effectués que lors de l'arrêt de l'éolienne, s'appliquent fréquemment à l'ensemble du parc éolien et ont pour conséquence une consommation d'énergie considérable au point d'alimentation.

Le PCM calcule cycliquement la puissance de consommation disponible aux éoliennes. Cette puissance correspond à la différence entre la puissance de consommation maximale prédéfinie (valeur de consigne définie par le client/l'exploitant du réseau) et la puissance actuelle consommée au point d'alimentation. La puissance actuelle consommée au point d'alimentation peut être déterminée soit par un point d'alimentation virtuel soit par un système de saisie optionnel des valeurs de mesure (FCU ou RTU-C).

La puissance est offerte cycliquement aux éoliennes les unes après les autres. Si une éolienne a besoin de puissance de consommation et qu'il y a assez de puissance disponible, l'éolienne réserve et consomme de la puissance de consommation. La puissance de consommation disponible aux autres éoliennes se réduit par la quantité réservée.

Le besoin de puissance d'une éolienne peut se composer des besoins de plusieurs systèmes internes de celle-ci. L'éolienne réserve de la puissance pour chaque système, c.-à-d. si la puissance offerte à l'éolienne ne suffit que pour un système sur deux, l'éolienne réserve de la puissance uniquement pour ce système.

En raison de ce comportement et du traitement cyclique, la consommation d'énergie au point d'alimentation est limitée.

Le PCM est un processus exécuté sur l'ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA) et sur le logiciel de commande des éoliennes ENERCON.

Aucun matériel supplémentaire n'est nécessaire.

Interfaces

L'ajustement et la demande de données peut se faire par le biais des interfaces/ programmes suivants:

- ENERCON SCADA Remote 3
- ENERCON SCADA PDI-OPC

3.9 ENERCON SCADA Bat Protection

Des mesures pour la protection des chauves-souris peuvent être exigées à l'aide des avis d'autorisation de fonctionnement des éoliennes. Par conséquent, il peut être nécessaire de déconnecter les éoliennes pendant la période dans laquelle les chauves-souris volent.

Le système ENERCON SCADA Bat Protection permet de réagir aux modifications des données météorologiques en fonction de la date et de l'heure. En fonction des paramètres actuellement définis, les éoliennes sont arrêtées ou redémarrées. Les données importantes sont mises à disposition par les éoliennes et en option via le système ENERCON SCADA METEO (système). Le système ENERCON SCADA Bat Protection est conçu et installé comme un programme sur le serveur ENERCON SCADA.

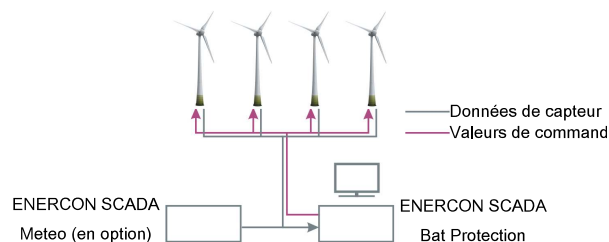


Fig. 15: Aperçu de la communication de l'ENERCON SCADA Bat Protection

Le système ENERCON SCADA Bat Protection permet de définir beaucoup de conditions de coupure des éoliennes sur la base des conditions prédéfinies pour le vol des chauves-souris.

Les conditions de coupure peuvent être déterminées à l'aide des paramètres suivants:

- Temps
- Données de capteur
- Combinaison de temps et des données de capteur

Si le résultat de l'évaluation est que les conditions définies pour le vol des chauves-souris sont remplies, le système ENERCON SCADA Bat Protection déclenche un arrêt des éoliennes. Dès que les conditions pour le vol des chauves-souris ne sont plus remplies, les éoliennes sont redémarrées.

Une réduction de la puissance active n'est pas possible à l'aide du système ENERCON SCADA Bat Protection. Tous les événements apparus sont documentés à part.



Les systèmes de commande liés à la sécurité ne doivent pas être faits à l'aide du système ENERCON SCADA Bat Protection.

3.10 Système ENERCON SCADA - Solutions spéciales et applications en fonction du pays

Les solutions spéciales en fonction du projet et du pays sont possibles après concertation.

4 Conditions préalables

ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA)

Le serveur ENERCON SCADA est une condition préalable pour le fonctionnement du système ENERCON SCADA dans le parc éolien.

Communication des données

Pour garantir la communication du serveur ENERCON SCADA vers l'extérieur, une connexion Internet est nécessaire.

Les options de liaison suivantes sont possibles :

- DSL (option de liaison privilégiée)
- Connexion à un réseau public (option de liaison alternative)
- Liaison satellite (option de liaison alternative)
- Accès internet mobile via un UMTS ou la 3G ainsi que les protocoles de communication analogiques (POTS), ISDN et GSM (du fait de leur technologie, ils s'utilisent exclusivement comme connexion de secours)

Câble fibre optique

Pour la transmission de données dans le parc éolien, une liaison de données sécurisée est nécessaire. Cette liaison de données nécessite des câbles en fibre optique.

Alimentation sans interruption (ASI)

Le serveur ENERCON SCADA est équipé de manière standard d'une alimentation sans interruption (UPS).

5 Etendue des prestations de livraison

Par système ENERCON SCADA, on entend tous les composants SCADA installés en fonction du projet et leur interaction. Ces composants sont utilisés en fonction du projet.

La prestation de livraison standard d'un projet de parc éolien contient les composants suivants:

- ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA)
- ENERCON SCADA (logiciel installé sur le serveur ENERCON SCADA)
- ENERCON SCADA Remote pour un PC approprié du client
- une licence pour chacun des deux programmes
- une clé de connexion (Dongle)

6 Maintenance

6.1 Maintenance nécessaire

Les mesures de maintenance nécessaires aux différentes composantes matérielle et logicielle du système ENERCON SCADA sont définies dans les documentations produits correspondantes.

6.2 Système ENERCON SCADA dans ENERCON PartnerKonzept (EPK)

Il faut déterminer en fonction du projet la manière et comment le système ENERCON SCADA est couvert par l'ENERCON PartnerKonzept (EPK).

Table des figures

Fig. 1	Représentation schématique du système ENERCON SCADA avec composants standards	1
Fig. 2	ENERCON SCADA Remote	4
Fig. 3	ENERCON SCADA Remote: Affichage des données quotidiennes	5
Fig. 4	ENERCON SCADA PDI-OPC dans le système ENERCON SCADA	9
Fig. 5	ENERCON SCADA PDI-61400	11
Fig. 6	Aperçu RTU-C	14
Fig. 7	ENERCON METEO	16
Fig. 8	Structure d'un système de commande de dimensions électriques à l'aide de l'ENERCON SCADA	17
Fig. 9	Structure d'une régulation avec réinjection caractéristique du signal de sortie	18
Fig. 10	Aperçu RTU-C	19
Fig. 11	Aperçu FCU	22
Fig. 12	Messages de défaut	25
Fig. 13	Interruption d'une partie du bus de données sans management annulaire	29
Fig. 14	Interruption d'une partie du bus de données avec management annulaire	29
Fig. 15	Aperçu de la communication de l'ENERCON SCADA Bat Protection	31

Index des termes techniques

ASI (UPS)	Alimentation sans interruption (ASI) : système technique assurant pratiquement sans délai l'alimentation des consommateurs de courant en cas de panne du réseau électrique
Bus de données	Câble de données qui relie par ex. chaque éolienne avec l'ENERCON SCADA server (serveur ENERCON SCADA).
Client	Un « Client » (en français : client) est un programme informatique qui établit une liaison avec le serveur pour recourir aux services du serveur. En fonction du type de client, il est possible d'accéder à différents services.
dBASE	Nom du premier système de gestion de base de données développé pour l'utilisation des ordinateurs qui est très répandu et a fixé beaucoup de normes dans ce domaine.
Dongle	La clé pour la protection de copie du matériel sert d'une identification exacte de l'utilisateur, d'une détermination du niveau d'utilisateur et de la protection contre l'utilisation interdite du logiciel en combinaison avec le nom utilisateur et le mot de passe.
EPK	L'ENERCON PartnerKonzept (EPK) prévoit un contrat facultatif de maintenance complète entre l'exploitant d'une éolienne et ENERCON, à la suite de quoi ENERCON prend en charge les maintenances et les réparations des éoliennes et garantit une disponibilité technique définie.
Etat principal	est dans le système ENERCON SCADA un état de l'éolienne et de ses composants, et s'affiche comme code numérique avec des explications.
Informations	Les informations présentent dans le système ENERCON SCADA des consignes pour l'éolienne et ses composants. L'apparition d'une information signifie que l'éolienne continue à fonctionner.
Message de défaut	Un message de défaut équivaut à un message d'état ayant la priorité la plus élevée. Le message de défaut se compose d'un message de défaut principal et d'un message de défaut secondaire. Si un état de fonctionnement inhabituel apparaît sur une éolienne (défaut p. ex.) et provoque son arrêt immédiat, l'éolienne envoie un message de défaut.
Messages d'avertissement	Les messages d'avertissement correspondent aux informations de priorité élevée. L'éolienne est encore en service.
OPC XML DA	Open Process Connectivity, voir www.opcfoundation.org . L'Extensible Markup Language (en français : langage de balisage extensible) est un langage XML qui est utilisé entre autres pour l'échange de données entre des systèmes informatiques, spécialement via Internet. DA est l'abréviation de « Data Access » (en français : accès aux données).
Sous-état	Indique dans le système ENERCON SCADA des informations plus précises y compris la raison pour l'actuel état principal et s'affiche comme code numérique avec des explications.

WEA

Éolienne

Description technique

Éoliennes ENERCON

Système de détection de givre/glacé

Description technique Système de détection de givre/glacé ENERCON



Editeur ENERCON GmbH • Dreekamp 5 • 26605 Aurich • Allemagne
Téléphone : +49 4941 927-0 • Fax : +49 4941 927-109
E-mail : info@enercon.de • Internet : http://www.enercon.de
Directeur général : Hans-Dieter Kettwig, Simon-Hermann Wobben
Tribunal compétent : Aurich • Numéro d'immatriculation au registre de commerce : HRB 411
N° TVA : DE 181 977 360

Remarque sur les droits de propriété intellectuelle Le contenu de ce document est protégé par le droit d'auteur, par les lois sur la propriété intellectuelle ainsi que par les lois nationales et internationales applicables. Sauf mention explicite à l'effet contraire, les droits sur le contenu de ce document appartiennent à ENERCON GmbH.

ENERCON GmbH accorde à l'utilisateur le droit de dupliquer et de copier ce document uniquement pour usage informatif interne dans la mesure où l'utilisateur consent à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété intellectuelle compris dans le contenu du document et que la source dudit contenu soit citée. Aucun autre droit n'est accordé à l'utilisateur par la mise à disposition de ce document. À moins d'une disposition législative obligatoire à l'effet contraire, toute autre duplication, reproduction, copie, modification, diffusion, publication, transmission, distribution, création de produits dérivés du document, mise à disposition à des tiers et/ou exploitation, totale ou partielle, du contenu de ce document est interdite sans avoir préalablement obtenu le consentement écrit d'ENERCON GmbH.

Les droits d'ENERCON GmbH ne peuvent être utilisés d'aucune façon et à quelque fin sans le consentement préalable écrit exprès d'ENERCON GmbH. L'utilisateur ne peut enregistrer de droits de quelque type que ce soit relativement au contenu du document, incluant sans s'y limiter, au savoir-faire.

Tous les droits sur le contenu apparaissant dans le document sont la propriété de leurs détenteurs respectifs. L'utilisateur s'engage à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété compris dans ledit contenu.

Marques déposées Toutes les marques de commerce et logos désignés dans ce document sont la propriété intellectuelle de l'auteur correspondant. Les droits conférés par le droit des marques de commerce et logos s'appliquent de manière illimitée.

Réserve de modification ENERCON GmbH se réserve le droit, à tout moment et sans préavis de modifier ce document et son contenu dans le but de l'améliorer et de le mettre à jour, sauf accords contractuels ou législation contraires.

Informations sur le document

ID du document	D0157529-6		
Note	Document original. Document source pour cette traduction D0154407-6/2018-02-23		
Date	Langue	DCC	Usine / Département
2018-04-18	fr	DA	WRD Management Support GmbH / Documentation Department



Sommaire

1	Introduction	1
2	Procédé des courbes ENERCON	2
2.1	Principe de fonctionnement	2
2.2	Sécurité.....	3
2.3	Limites	3
2.4	Adaptation de la durée de détection.....	3
2.5	Effet d'une éolienne à l'arrêt sur la durée de détection	4
2.6	Arrêt préventif après des défauts.....	4
2.7	Positionnement de la nacelle.....	6
2.8	Système de détection de givre/glace du parc.....	8
3	Détecteur de glace/givre Labko (en option).....	10
3.1	Principe de fonctionnement	10
3.2	Sécurité.....	10
3.3	Limites	10
3.4	Utilisation en fonction de la situation	10
4	Redémarrage de l'éolienne	12
5	Paramètres	13

1 Introduction

Dans certaines conditions météorologiques, les pales des éoliennes peuvent être recouvertes de glace, de givre ou de neige, ce qui peut réduire le rendement et accroître les émissions sonores. Ces dépôts provoquent un déséquilibre, exposant ainsi le matériel à des sollicitations accrues. Ces dépôts une fois durcis peuvent tomber (chute de glace) ou être projetés (projection de glace) et ainsi représenter un danger pour les personnes et les biens.

Pour réduire ces dangers, toutes les éoliennes ENERCON sont équipées de série du système de détection de givre/glacé selon le procédé des courbes ENERCON. Chaque éolienne peut également être complétée d'un système de détection de glace de la marque Labko.

Le système de détection de givre/glacé ne peut toutefois exclure totalement le risque de chute de glace/projection de glace. Cela signifie que même après avoir préréglé les paramètres standards (chap. 5, p. 13), il subsiste toujours un risque résiduel inévitable de chute de glace et de projection de glace mineure, qui par expérience n'induit aucune blessure corporelle.

Le procédé des courbes ENERCON (voir l'expertise TÜV NORD, rapport n° : 8111 881 239) et le système de détection de glace Labko en option sont décrits dans ce document.

2 Procédé des courbes ENERCON

2.1 Principe de fonctionnement

Des profilés aérodynamiques haut de gamme sont utilisés pour les pales de rotor, afin d'obtenir un rendement optimal sur une large plage de fonctionnement. Les caractéristiques aérodynamiques de ces profilés sont très sensibles aux modifications des contours et de la rugosité causées par le givre. La modification importante des caractéristiques de fonctionnement qui en résulte pour l'éolienne (rapport vent/vitesse de rotation/puissance/angle de pale) est utilisée par le système de détection de givre/glacé. Chaque éolienne est dotée d'une courbe de référence standard, qui s'adapte automatiquement en cours de fonctionnement au site d'implantation. Pour ce faire, les valeurs moyennes à long terme des rapports de fonctionnement spécifiques à l'installation (vent/puissance/angle de pale) sont établies à partir des mesures effectuées à l'arrière et en dessous de la nacelle, à l'abri des intempéries, dès lors que la température extérieure est supérieure à +2 °C. Lorsque la température extérieure est inférieure à +2 °C, les données de fonctionnement actuelles sont comparées aux valeurs moyennes, en raison de la possible formation d'un dépôt de glace/givre dans ces conditions de température.

Pour cela, une plage de tolérance, déterminée de manière empirique, est définie autour de la courbe de puissance et de la courbe d'angle de pale en fonction du vent. Ces calculs se basent sur des simulations, des essais et plusieurs années d'expérience sur un grand nombre d'éoliennes de types variés. Si les données de fonctionnement concernant la puissance ou l'angle de pale sont hors de la plage de tolérance, dans le cadre d'une prise glissante de moyennes, l'éolienne est stoppée avec l'état principal 14:XX Ice detection (système de détection de givre/glacé) (fonctionnement à vide).

Le type de divergence de la plage de tolérance est également analysé et s'affiche sous forme de sous-état.

Si la puissance moyenne mesurée se situe sous la fourchette de puissance, cela indique le givrage des pales du rotor. L'éolienne est alors stoppée avec l'état 14:11 Ice detection : Rotor (power measurement) (système de détection de givre/glacé : rotor (mesure de puissance)) (fonctionnement à vide).

Si les pales du rotor sont givrées, l'angle de pale est réduit par rapport à des pales de rotor sans glace. Si l'angle de pale moyen mesuré se situe sous la fourchette d'angle de pale, cela indique le givrage des pales du rotor. L'éolienne est alors stoppée avec l'état 14:13 Ice detection : Rotor (blade angle measurement) (système de détection de givre/glacé : rotor (mesure de l'angle de pale)) (fonctionnement à vide).

Délai avant l'arrêt

La plage de tolérance est relativement réduite. L'arrêt de l'éolienne intervient ainsi immédiatement au terme de la durée de détection du dépôt de glace/givre (chap. 2.4, p. 3). L'épaisseur de la couche de glace formée n'entraîne par conséquent aucun danger pour l'environnement. En dehors des conditions de givrage, certains points de mesure tombent également régulièrement en dehors des tolérances. La prise glissante de moyennes permet cependant d'éviter généralement l'arrêt de l'éolienne.

2.2 Sécurité

Le système de détection de givre/glacé selon le procédé des courbes ENERCON est extrêmement fiable. Des capteurs de température indépendants les uns des autres, installés en dessous de la nacelle et au pied du mât, surveillent toute éventuelle défaillance au niveau de ces points de mesure de la température.

La plausibilité de toutes les mesures liées à l'éolienne est vérifiée en permanence par le système de contrôle. S'il y a lieu, les valeurs mesurées non plausibles sont interprétées comme étant un dépôt de glace/givre par le système de contrôle pour des raisons de sécurité, même en l'absence de givre.

Le procédé des courbes ENERCON peut même déceler la formation de glace lorsque d'autres systèmes, p. ex. le détecteur de glace/ givre Labko (chap. 3, p. 10) installés sur la nacelle, n'ont encore détecté aucun dépôt de glace/givre.

2.3 Limites

Étant donné que le rotor doit tourner pour le procédé des courbes et que l'éolienne doit produire de la puissance, ce procédé ne peut détecter les dépôts de glace/givre à l'arrêt. Lorsque la vitesse du vent est inférieure à 3 m/s, le procédé est moins sensible. Lorsque la vitesse du vent est supérieure à 3 m/s, il n'y a aucune restriction.

Le démarrage du rotor peut déjà entraîner des projections/chutes de glace. Néanmoins, étant donné que le rotor ne tourne qu'à une vitesse réduite, la glace n'est pas projetée mais tombe comme c'est le cas sur les autres édifices de grande taille.

2.4 Adaptation de la durée de détection

La durée de détection, qui correspond au délai écoulé entre la première divergence de la plage de tolérance et l'arrêt de l'éolienne, est calculée comme suit :

- Pour chaque divergence constatée sur une durée moyenne de 60 secondes, un compteur est incrémenté de 1, jusqu'à la valeur seuil maximale P4112 (chap. 5.11, p. 16). Cette valeur seuil atteinte, l'éolienne est stoppée avec le message d'état suivant :
14:11 Ice detection : Rotor (power measurement) (système de détection de givre/glacé : rotor (mesure de puissance))
14:13 Ice detection : Rotor (blade angle measurement) (système de détection de givre/glacé : rotor (mesure de l'angle de pale))
- En l'absence de divergence sur une durée moyenne de 60 secondes, ce même compteur est décrémenté de 1, jusqu'à la valeur seuil minimale de 0.

Le réglage par défaut du paramètre offre une détection suffisante du dépôt de glace/givre. La diminution de la valeur seuil maximale du paramètre entraîne une détection plus rapide du dépôt de glace/givre par la commande de l'éolienne, pouvant cependant conduire à un arrêt prématuré du système. Il peut être judicieux de diminuer cette valeur seuil maximale pour les éoliennes implantées sur des sites exposés à un risque accru de projection de glace en raison des conditions environnementales et météorologiques (givre et vent) locales.

2.5 Effet d'une éolienne à l'arrêt sur la durée de détection

En complément du fonctionnement décrit concernant la durée de détection, les compteurs correspondant aux états 14:11 et 14:13 sont incrémentés plus lentement en cas de givrage éventuel lorsque l'éolienne est à l'arrêt. La vitesse de formation du givre sur un rotor arrêté étant plus faible que sur un rotor en mouvement, les compteurs atteignent au bout de 3 heures seulement une valeur inférieure de 3 minutes à la durée de détection paramétrée. Lorsque l'éolienne redémarre, la durée de détection du système de détection de givre/glacé est ainsi réduite d'au moins 3 minutes en fonction de la durée de l'arrêt. Le système de contrôle détecte rapidement le dépôt de glace/givre éventuel et l'éolienne est à nouveau arrêtée dans la foulée.

2.6 Arrêt préventif après des défauts

Même en cas d'arrêt prolongé de l'éolienne suite à un défaut, du givre peut se former sur les pales lorsque la température est inférieure à +2 °C et l'humidité de l'air élevée. Si l'éolienne est redémarrée à l'aide de la commande à distance, il y a un risque de projections de glace. Le rayon de projection de la glace en question dépend ici entre autres fortement de la vitesse de rotation de l'éolienne et ainsi de la vitesse du vent qui prédomine lors du redémarrage.

Pour réduire ce risque, le système de contrôle calcule la durée de l'arrêt consécutif à un défaut. En se basant sur des valeurs empiriques d'ENERCON valables pour les parcs situés en moyenne montagne, l'éolienne redémarre d'elle-même jusqu'à un temps d'arrêt de 2 heures et 59 minutes après la réinitialisation d'un défaut. Si le temps d'arrêt atteint ou dépasse 3 heures, l'éolienne ne redémarre pas automatiquement après la réinitialisation du défaut, lorsque la vitesse de vent moyenne flexible sur 10 minutes est supérieure à 5 m/s.

Cette fonction est exécutée comme suit : En cas de défaut et si une formation de givre est à craindre, le compteur est incrémenté pour l'état 14:16 Ice detection: Turbine stopped preventive (détection de glace : éolienne arrêtée de manière préventive). Au bout de 3 heures, le compteur atteint la valeur prédéfinie de 180 minutes et il est de nouveau automatiquement incrémenté de 5 à 185 minutes. Si à présent l'éolienne est redémarrée, l'état 14:16 empêche tout redémarrage automatique lorsque la vitesse du vent est supérieure à 5 m/s sur une moyenne de 10 minutes.

Toutefois, lorsque la vitesse moyenne du vent est inférieure à 5 m/s, l'éolienne redémarre d'abord, puis commence à réduire le compteur pour l'état 14:16 toutes les minutes. Étant donné que le compteur est supérieur à 180 durant les 5 premières minutes, la vitesse du vent continue d'être observée. Si, dans l'intervalle, la vitesse moyenne du vent vient à dépasser 5 m/s, l'éolienne est à nouveau stoppée. L'éolienne reste en service même à des vitesses de vent supérieures à 5 m/s seulement lorsque le compteur est repassé sous le seuil de 180 minutes.

Le compteur continue de baisser chaque minute pour l'état 14:16 pendant le fonctionnement de l'éolienne et atteint ainsi la valeur 0 seulement au bout de 3 h. Si, dans l'intervalle, l'éolienne devait avoir un nouveau défaut, le compteur serait à nouveau incrémenté depuis la valeur actuelle et atteindrait en conséquence la valeur de 180 minutes plus tôt que prévu.

L'état 14 : 16 est acquitté automatiquement lorsque le redémarrage automatique après givrage (chap. 5.7, p. 15) est activé et que le timer est à nouveau réglé sur 0 lorsqu'un dépôt de glace/givre est envisageable. Les éventuels dépôts de givre ou de glace fondent en raison des températures extérieures supérieures à +2 °C, ce qui permet à l'éolienne de redémarrer.

L'état 14 : 16 n'est émis que lorsque le redémarrage automatique en présence de givre (chap. 5.8, p. 15) est désactivé. Lorsque le redémarrage automatique en présence de givre est activé, le compteur n'est pas incrémenté pour l'état 14 : 16 en cas de défaut et ainsi l'état 14 : 16 n'est pas émis, car l'éolienne se trouve sur un site qui ne présente pas de danger.

2.7 Positionnement de la nacelle

Lorsque du givre est détecté et qu'un message d'état correspondant est généré, l'éolienne concernée s'arrête. Le système de contrôle d'orientation de l'éolienne reste cependant activé.

En cas de dépôt de glace/givre, la fonction de positionnement de la nacelle permet de tourner automatiquement la nacelle de l'éolienne, après que celle-ci ait été arrêtée à cause de la présence de glace/givre, dans une position prédéfinie.

Lorsqu'un site se trouve à proximité immédiate d'une rue, d'un chemin ou de bâtiments, le rotor de l'éolienne peut être positionné de sorte à réduire les risques liés aux chutes de glace.

Principe de fonctionnement

La position est définie en alignant l'axe de la nacelle à un angle compris entre 0° (en direction du nord) et 359°.

Dès que la nacelle a été positionnée selon l'angle défini, le message 14:21 Ice detection: Nacelle positionned (détection de glace : nacelle positionnée) est émis. Cela permet de consigner la date et la fréquence de positionnement de la nacelle.

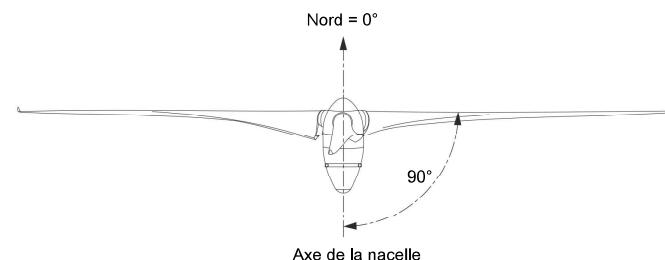


Fig. 1 : position de la nacelle en cas de dépôt de givre

Désactivation automatique à des vitesses de vent élevées

Si la nacelle n'est pas correctement alignée par rapport au vent, l'humidité risque de pénétrer à l'intérieur de la nacelle par les orifices de ventilation, entraînant ainsi des dommages à l'installation électrique lors de l'arrêt prolongé de l'éolienne. C'est pourquoi le positionnement de la nacelle n'est autorisé qu'à la demande expresse du client et est activé/désactivé automatiquement selon les règles suivantes :

Le positionnement est activé lorsque la vitesse du vent est inférieure à P4113 (moyenne sur 10 minutes).

Le positionnement est interrompu et la nacelle pivote à nouveau dans le sens du vent dès que la vitesse du vent est supérieure à P4113 +3,0 m/s (valeur moyenne sur 10 minutes) ou supérieure à P4113 +6,0 m/s (valeur moyenne sur 1 minute).

Si le positionnement est interrompu car la vitesse du vent est trop élevée, un nouveau positionnement interviendra au plus tôt 15 minutes après que la vitesse du vent soit retombée en dessous de P4113.

Exemple :

- P4113: Vitesse de vent max, pour le positionnement de la nacelle: 7,0 m/s (standard)

Activation du positionnement de la nacelle:

- vitesse du vent en dessous de 7,0 m/s (valeur moyenne sur 10 minutes)

Désactivation du positionnement de la nacelle:

- vitesse du vent supérieure à 10,0 m/s (valeur moyenne sur 10 min) ou 13,0 m/s (valeur moyenne sur 1 min)

2.8 Système de détection de givre/glace du parc**Principe de fonctionnement**

À des fins d'optimisation de la sécurité, le système de détection de givre/glace du parc présente un fonctionnement basé sur les événements, permettant l'arrêt de toutes les éoliennes de la centrale éolienne, ou d'une partie d'entre elles, dès lors que l'une ou plusieurs renvoient un message de dépôt de glace/givre.

Les préconditions suivantes doivent être satisfaites :

- La centrale éolienne se compose exclusivement d'éoliennes pourvues de systèmes de contrôle de l'actuelle gamme de produits ENERCON.
- Une version supérieure à la version 1,99 du système ENERCON SCADA doit être installée.

Les éoliennes de la centrale éolienne partagent les données suivantes par le biais du système ENERCON SCADA :

- Horodatage du message d'état de détection d'un dépôt de glace/givre
- Numéro d'installation de l'éolienne ayant transmis le message d'état
- Nombre d'éoliennes dans la centrale éolienne

Le système de détection de givre/glace du parc transmet ces informations une fois au moment où le message d'état est généré à l'ensemble des éoliennes de la centrale éolienne. Chaque éolienne enregistre ces informations dans le système de contrôle et calcule le degré de givrage du parc sous forme de pourcentage. Ce degré de givrage est recalculé à chaque actualisation des informations enregistrées et comparé à la valeur enregistrée dans le système de contrôle de chaque éolienne.

Si par ex. le paramètre (chap. 5.6, p. 14) d'une éolienne installée dans une centrale de 10 éoliennes est configuré sur 20 %, l'éolienne est arrêtée dès lors que 2 éoliennes au moins transmettent un message d'état identique sur l'ensemble de la centrale. La configuration d'une valeur de 100 % désactive le système de détection de givre/glace du parc.

Dès lors que le système de détection de givre d'une éolienne ne détecte plus aucun dépôt de glace/givre, le message d'état correspondant est réinitialisé et l'information est transmise par l'éolienne à l'ensemble des éoliennes de la centrale. L'information est supprimée au niveau de chaque éolienne et le degré de givrage du parc est recalculé. Lorsque le degré de givrage du parc est inférieur à la valeur configurée pour une éolienne, le processus de démarrage est enclenché au niveau de cette éolienne, en l'absence de détection de dépôt de glace/givre sur l'éolienne en question et à condition que celle-ci ne fasse pas l'objet d'un arrêt préventif suite à un arrêt prolongé dans des conditions de températures basses.

La valeur actuelle du degré de givrage et la valeur seuil configurée (chap. 5.6, p. 14) sont visibles dans le menu `Icing data` (données de dépôt de glace/givre).

Réinitialisation de la fonction de détection de givre/glace du parc

La réinitialisation de la fonction de détection de givre/glace du parc supprime toutes les données du système de détection de givre/glace du parc enregistrées dans le système de contrôle de l'éolienne. Le taux de givrage du parc chute à 0 % et l'éolienne redémarre dès lors qu'elle ne détecte plus aucun dépôt de glace/givre.

Désactivation de la fonction de détection de givre/glacé du parc

Pour mettre en service une éolienne arrêtée par la fonction de détection de givre/glacé du parc, p. ex. à des fins de maintenance, on peut régler le paramètre (chap. 5,6, p. 14) [valeur limite pour le système de détection de givre/glacé du parc] provisoirement sur l'éolienne concernée à 100 % et ainsi désactiver la fonction.

3 Détecteur de glace/givre Labko (en option)

Le détecteur de glace/givre Labko se compose de deux appareils, du module de capteur lui-même (capteur Labko) avec dégivrage intégré et point de mesure de la température, et d'une unité de contrôle. Une interface RS232 relie l'unité de contrôle au système de contrôle et transmet l'état du capteur et la température extérieure.

Le capteur Labko est fixé au berceau de l'anémomètre sur la nacelle. L'unité de contrôle située dans la nacelle est protégée des intempéries.

3.1 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement du système de détection de glace Labko repose sur la surveillance de la fréquence d'un fil à oscillation fonctionnant dans la plage des ultrasons. L'amortissement de l'oscillation du fil par l'accroissement de la masse dû au dépôt de glace/givre entraîne une modification de l'amplitude de l'oscillation du capteur et ainsi la détection d'un givrage possible via la comparaison avec une valeur limite réglable.

Si un dépôt de glace/givre est détecté, le système de détection prévoit l'activation d'un système de dégivrage du capteur. Ce cycle - détection, dégivrage, refroidissement - dure environ 30 minutes. Le système de détection est ensuite réinitialisé.

Le système de détection de glace Labko permet d'arrêter l'éolienne ou d'empêcher son redémarrage.

3.2 Sécurité

Le détecteur de glace/givre Labko permet de détecter rapidement et en toute fiabilité des conditions favorisant la formation de givre à hauteur du moyeu. Il améliore ainsi la sécurité de la surveillance des dépôts de givre/glacé sur les éoliennes.

L'interaction entre le détecteur de glace/givre Labko et le procédé des courbes ENERCON élargit la zone d'opération du système de détection de givre/glacé (détection aussi bien pendant qu'après l'arrêt de l'éolienne) et réduit ainsi encore une fois le risque de chute de glace.

Le détecteur de glace/givre Labko est utilisé exclusivement en complément du procédé des courbes ENERCON.

3.3 Limites

Comme le capteur Labko est installé sur la nacelle, il n'existe pas de lien manifeste et direct entre l'état annoncé du capteur de glace et la quantité réelle de givre sur les pales. Le détecteur de glace/givre Labko détecte si un dépôt de glace/givre est possible sur les pales, qu'il y ait présence ou non de glace. Comparé à l'utilisation seule du procédé des courbes ENERCON, cela entraîne par conséquent des temps d'arrêt accrus.

3.4 Utilisation en fonction de la situation

Lorsque la vitesse du vent est supérieure à 3 m/s, la détection du givrage par le système de détection de givre/glacé Labko n'est pas nécessaire et peut même conduire à des temps d'arrêt conséquents de l'éolienne. Les paramètres P3103 à P3105 (chap. 5,3,

p. 13 à chap. 5.5, p. 14) permettent de réguler la commande de l'éolienne, de sorte que le système de détection de glace Labko ne soit activé qu'en dehors d'une plage d'anémométrie donnée ou lorsque l'éolienne est à l'arrêt.

Si le détecteur de glace/givre Labko est désactivé, la fonction du détecteur Labko et la communication demeurent inchangées, sans que cela ait un impact sur le système de contrôle. Lorsque le détecteur de glace/givre Labko détecte un dépôt de glace/givre, même s'il est désactivé à ce moment-là, le message 14:2 Ice detection: Labko : ice detected (dépôt de glace : Labko : glace détectée) s'affiche.

4 Redémarrage de l'éolienne

Redémarrage manuel

Un redémarrage prématuré manuel ne sera possible que directement sur l'éolienne après avoir procédé au contrôle visuel requis. Le personnel présent sur le site est ainsi responsable des éventuels dangers encourus.

Si le client souhaite que l'éolienne ne redémarre pas automatiquement après avoir été arrêtée suite à un dépôt de glace/givre, le réglage peut être effectué sur le système de contrôle (chap. 5.7, p. 15 [redémarrage automatique après givrage]). Dans ce cas, l'éolienne ne sera redémarrée que manuellement.

Redémarrage automatique sans le système de dégivrage des pales

Sur les éoliennes non équipées du système de dégivrage des pales facultatif, on part du principe que la glace ne peut fondre qu'à des températures extérieures supérieures à +2 °C. Le temps de dégivrage requis, basé sur des valeurs empiriques, est défini en fonction de la température extérieure. Ce temps de dégivrage est mesuré de sorte à réduire autant que possible les risques de chute de glace pendant le redémarrage. Il peut donc s'écouler plusieurs heures avant le redémarrage de l'éolienne, en fonction de la température extérieure.



Des tentatives de démarrage répétées de l'éolienne peuvent être réalisées à des températures constantes inférieures à +2 °C à 6 heures d'intervalle via le paramètre 4108 (chap. 5.8, p. 15 [redémarrage automatique en présence de givre]).

Redémarrage automatique en cas de système de dégivrage des pales installé

Lorsque le système de dégivrage des pales est en mode de fonctionnement automatique, l'éolienne est remise en route au terme de la durée de dégivrage, habituellement de 4 heures, en fonction du réglage du paramètre P1350 (Redémarrage automatique suite au système de dégivrage des pales).

Jusqu'à la version 5,90 du logiciel (platine I/O Board de l'armoire de commande 1), le redémarrage de l'éolienne au terme de la durée de dégivrage est fonction du réglage du paramètre P4107 (chap. 5.7, p. 15).

5 Paramètres

Les valeurs à régler pour les paramètres suivants sont prédéfinies par l'autorité réglementaire compétente ou l'exploitant. Elles sont réglées et consignées par ENERCON.

5.1 P3101: Labko ice detector (détecteur de glace/givre Labko)

Indique si un système de détection de glace Labko est installé.

Réglages possibles	Standard
Installé/pas installé	pas installé

5.2 P3102: Labko ice detector: Automat. restart after icing (détecteur de glace/givre Labko : redémarrage automatique après givrage)

Indique si l'éolienne peut être redémarrée lorsque la température extérieure est suffisamment élevée. Ce réglage concerne exclusivement le détecteur de glace/givre Labko.

Réglages possibles	Standard
Activé/désactivé	activé

5.3 P3103: Labko ice detector: Only active when WEC is stopped (détecteur de glace/givre Labko : activé uniquement lorsque l'éolienne est à l'arrêt)

Détermine si le système de détection de glace Labko n'est actif qu'en cas d'arrêt de l'éolienne.

Réglages possibles	Standard
oui/non	non

5.4 P3104: Labko ice detector: Inactive from ... (détecteur de glace/givre Labko : désactivé de...)

Indique à partir de quelle vitesse de vent le détecteur de glace/givre Labko doit être désactivé.

Réglages possibles	Standard
2,0 – 60,0 m/s	3,0 m/s

5.5 P3105: Labko ice detector: inactive to ... (détecteur de glace/givre Labko : désactivé jusqu'à...)

Indique jusqu'à quelle vitesse de vent le détecteur de glace/givre Labko doit être désactivé.

Réglages possibles	Standard
2,0 – 60,0 m/s	3,0 m/s

Tab. 1 : Effet des paramètres 3103 à 3105 sur le fonctionnement du système de détection de glace Labko

Réglage des paramètres		Conséquence
P3104 = P3105 (aucune plage d'anémométrie définie)	P3103 = non	Le système de détection de glace Labko est toujours actif.
P3104 = P3105 (aucune plage d'anémométrie définie)	P3103 = oui	Le système de détection de glace Labko est uniquement actif lorsque l'éolienne est arrêtée.
P3104 < P3105 (plage d'anémométrie définie)	P3103 = non	Le système de détection de glace Labko est uniquement actif lorsque la mesure de vitesse du vent est en dehors de la plage définie.
P3104 < P3105 (plage d'anémométrie définie)	P3103 = oui	Le système de détection de glace Labko est uniquement actif lorsque la mesure de vitesse du vent est en dehors de la plage définie ou lorsque l'éolienne est arrêtée.

5.6 P4106: Limit for wind farm ice detection system (valeur limite pour le système de détection de givre/glace du parc)

Détermine le pourcentage d'éoliennes ayant détecté un dépôt de glace/givre dans le parc à partir duquel l'éolienne doit être arrêtée.

Le système de détection de givre/glace du parc doit uniquement être activé lorsque toutes les éoliennes du parc sont en mesure de générer l'information 14:9 Ice detection : No icing (détection de dépôt de glace/givre : aucun dépôt de glace/givre) suite à un dépôt de givre. Notamment dans le cas de parcs mixtes dotés d'anciens systèmes de commande qui ne remplissent pas cette fonction, il ne faut pas activer le système de détection de givre/glace du parc. Cette fonction est uniquement prise en charge par les commandes de la gamme actuelle de produits ENERCON. Cette fonction ne peut pas être installée sur les commandes plus anciennes. Par ailleurs, une version SCADA ≥ V1.99 doit être installée pour pouvoir transmettre les informations correspondantes aux éoliennes.

Réglages possibles	Standard
1 – 100 %	100 %

5.7 P4107: Automatic restart after icing (redémarrage automatique après givrage)

Détermine si l'éolienne peut redémarrer automatiquement lorsque la température extérieure est suffisamment élevée. Ce paramètre repose sur le procédé des courbes de référence ENERCON et le système de détection de givre/glacé de systèmes externes.

Jusqu'à la version 5.90 du logiciel (comprise) (armoire de commande platine I/O Board 1), ce paramètre commande également le redémarrage automatique éventuel de l'éolienne au terme du processus de dégivrage du système de dégivrage de pales.

Réglages possibles	Standard
Activé/désactivé	activé

5.8 P4108: Automatic restart during icing (redémarrage automatique en présence de givre)

Indique si l'éolienne doit tenter de redémarrer toutes les 6 heures lorsqu'il y a du givre. Ce paramètre ne peut être activé que lorsque le redémarrage automatique après givrage est activé (P4107 = marche).

Ce paramètre permet d'effectuer un redémarrage automatique sur les sites qui ne présentent aucun danger.

Réglages possibles	Standard
Activé/désactivé	désactivé

5.9 P4109 : Position nacelle during icing at xxx° (Positionner la nacelle à xxx° en cas de dépôt de glace/givre)

Indique si la nacelle doit être positionnée dans une position définie pendant qu'il y a du givre.

Si ce paramètre est activé, le redémarrage automatique est désactivé automatiquement pendant qu'il y a du givre (P4108 = désactivé).

Réglages possibles	Standard
oui/non	non

5.10 P4110: nacelle position at icing (position de la nacelle en cas de dépôt de glace/givre)

Indique la position de la nacelle en degrés (0° = en direction du nord) lorsqu'il y a formation de givre, si le positionnement est activé (P4109 = oui).

Pour empêcher que la fonction ne soit activée par mégarde, le programme initialise l'angle avec 65535 (0xFFFF).

Réglages possibles	Standard
0 – 359°	-

5.11 P4112: Ice accretion detection time (durée de détection du dépôt de glace/givre)

Indique quelle durée doit être mise à la disposition de l'éolienne pour détecter le dépôt de glace/givre.

La réduction de la durée de détection ne modifie en rien la sensibilité du système de détection de givre/glacé. L'éolienne réagira seulement plus précocement, en présence de valeurs en dehors de la plage de tolérance de la courbe de référence. Le risque de coupure injustifiée du système augmente également de manière insignifiante.

En cas de redémarrage automatique en présence d'un dépôt de glace/givre (paramètre 4108 = oui) ou au terme d'un processus de dégivrage du système de dégivrage des pales, les compteurs des états 14:11 à 14:14 (mesures de puissance et d'angle des pales) sont réinitialisés conformément aux paramètres configurés. Cette valeur se situe 3 minutes en dessous de la valeur prédéfinie pour la durée de détection du dépôt de glace/givre. En présence d'un dépôt de givre résiduel sur les pales, l'éolienne est à nouveau arrêtée au bout de quelques minutes. Ceci se produit indépendamment de la durée de détection du dépôt de glace/givre configurée.

Réglages possibles	Par défaut
10 à 30 minutes	Site critique : 15 minutes Site non critique : 30 minutes <i>Exceptions :</i> <i>Allemagne : 15 minutes</i> <i>Benelux : 15 minutes</i> <i>Autriche : 30 minutes (installations existantes) ; 15 minutes (nouvelles installations)</i>

Pour les éoliennes installées sur des sites qui ne se trouvent pas à une distance suffisante des objets à protéger (1,5 x (diamètre du rotor + hauteur du moyeu)), la durée de détection du dépôt de glace/givre doit être réglée sur 15 minutes.

5.12 P4113: Max. wind speed for nacelle positioning (vitesse max. du vent pour le positionnement de la nacelle)

Indique jusqu'à quelle vitesse de vent (moyenne sur 10 minutes) le positionnement de la nacelle est autorisé en cas de dépôt de glace/givre.

Réglages possibles	Standard
5,0 – 15,0 m/s	7,0 m/s

5.13 Sensibilité de la détection du dépôt de glace/givre

Indique avec quelle sensibilité le système de détection de givre/glace (procédé des courbes ENERCON) est réglé.

Plus la sensibilité est élevée, mieux il détecte les petites quantités de glace/givre.

Le réglage standard correspond à « TÜV Nord Gutachten – Eisansatzerkennung nach dem ENERCON Kennlinienverfahren » (expertise TÜV Nord – système de détection de givre/glace selon le procédé des courbes ENERCON) (D0367983).

Réglages possibles	Standard
Sensibilité faible ¹	Sensibilité normale
Sensibilité réduite ¹	
Sensibilité normale	
Sensibilité accrue	
Sensibilité élevée	

¹Ces réglages sont possibles uniquement après avoir pris en compte la configuration du site et effectué une évaluation des risques. Ces réglages sont interdits pour les éoliennes installées sur des sites qui ne se trouvent pas à une distance suffisante des objets à protéger (1,5 x (diamètre du rotor + hauteur du moyeu)).