

Etude de Dangers

Ferme éolienne du Moulin Neuf SAS

Département d'Eure et Loir (28)

Commune de Cormainville



Volkswind France SAS
SAS au capital de 250 000€
R.C.S PARIS 439 906 934

Centre Régional de Tours
25 rue du Général Mocquery
37500 SAINT AVERTIN
02 47 54 27 44

MARS 2026



Historique des versions

Date de la version	Etabli par	Relu par :	Commentaire :	Nature des modifications :
15/09/2025	Baptiste Charlet	Charline Charton Maurin	Dépôt	/
25/03/2026	Baptiste CHARLET	Clément VEZIN	Compléments	Détaillées dans le mémoire en réponse aux compléments du 25/03/2026

Avant-Propos

Le dossier de demande d'autorisation environnementale (DDAE) au titre des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement relatif au projet de parc éolien du Moulin Neuf sur la commune de Cormainville est constitué de différentes pièces distinctes, afin de faciliter sa lecture :

- **Pièce n°1** : Une lettre de demande
 - **Pièce n°1-1** : Sommaire inversé et lexique
- **Pièce n°2** : Note de présentation non technique
- **Pièce n°3** : Dossier administratif (justificatif de maîtrise foncière)
- **Pièce n°4** : Etude d'impact du projet sur l'environnement, à laquelle sont joints les documents suivants :
 - **Pièce 4-1** : Résumé non technique de l'étude d'impact
 - **Pièce 4-2** : Etude paysagère (Agence SILLAGE – ex Couasnon)
 - **Pièce 4-3** : Etude acoustique (EREA Ingénierie)
 - **Pièce 4-4** : Etude naturaliste et étude d'incidence NATURA 2000 (Auddicé Seine Normandie)
- **Pièce n°5** :
 - **Pièce 5-1 : Etude de dangers**
 - **Pièce 5-2** : Résumé non-technique de l'étude de dangers
- **Pièce n°6** : Dossier plans, comprenant :
 - Une carte de situation au 1/25 000ème, et un plan de l'installation au 1/2 500ème,
 - Un plan de masse des installations au 1/1 000ème.

Table des matières

1.	Préambule.....	10
1.1.	Objectif de l'étude de dangers	10
1.2.	Contexte législatif et réglementaire	10
1.3.	Nomenclature des installations classées	12
2.	Informations générales concernant l'installation	13
2.1.	Renseignements administratifs	13
2.2.	Localisation du site	13
2.3.	Définition de l'aire d'étude	15
3.	Description de l'environnement de l'installation	17
3.1.	Environnement humain	17
3.1.1.	Zones urbanisées	17
3.1.2.	Etablissements recevant du public (ERP)	19
3.1.3.	Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et installations nucléaires de base (INB).....	19
3.1.4.	Autres activités.....	19
3.2.	Environnement naturel.....	20
3.2.1.	Contexte climatique	20
3.2.2.	Risques naturels	23
3.3.	Environnement matériel.....	29
3.3.1.	Voies de communication.....	29
3.3.2.	Réseaux publics et privés	32
3.4.	Cartographie de synthèse.....	34
4.	Description de l'installation	42
4.1.	Caractéristiques de l'installation	42
4.1.1.	Activité de l'installation	42
4.1.2.	Composition de l'installation	43
4.2.	Fonctionnement de l'installation.....	66
4.2.1.	Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur	66
4.2.2.	Sécurité de l'installation	69
4.2.3.	Opérations de maintenance de l'installation	71
4.2.4.	Stockage et flux de produits dangereux.....	78
4.2.5.	Procédure en cas d'incident.....	78
4.3.	Fonctionnement des réseaux de l'installation	82

4.3.1.	Raccordement électrique	82
4.3.2.	Autres réseaux	82
5.	Identification des potentiels de dangers de l'installation	83
5.1.	Potentiels de dangers liés aux produits.....	83
5.1.1.	Inventaire des produits	83
5.1.2.	Dangers des produits.....	84
5.2.	Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation	84
5.3.	Réduction des potentiels de dangers à la source	86
5.3.1.	Principales actions préventives	86
5.3.2.	Réduction des potentiels de dangers liés aux produits	86
5.3.3.	Utilisation des meilleures techniques disponibles	87
6.	Analyse des retours d'expérience.....	88
6.1.	Inventaire des accidents et incidents en France.....	88
6.2.	Inventaire des accidents et incidents à l'international	92
6.3.	Inventaire des accidents majeurs survenus sur les sites de l'exploitant	93
6.4.	Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience.....	93
6.4.1.	Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents	93
6.4.2.	Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents	94
6.5.	Limites d'utilisation de l'accidentologie.....	94
7.	Analyse préliminaire des risques	95
7.1.	Objectif de l'analyse préliminaire des risques	95
7.2.	Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques	95
7.3.	Recensement des agressions externes potentielles	96
7.3.1.	Agressions externes liées aux activités humaines	96
7.3.2.	Agressions externes liées aux phénomènes naturels	98
7.4.	Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques	98
7.5.	Effets dominos	104
7.6.	Mise en place des mesures de sécurité	104
7.7.	Conclusion de l'analyse préliminaire des risques	117
8.	Etude détaillée des risques.....	119
8.1.	Rappel des définitions.....	119
8.1.1.	Cinétique	120
8.1.2.	Intensité	120
8.1.3.	Gravité	121
8.1.4.	Probabilité	121

8.1.5.	Acceptabilité	123
8.2.	Caractérisation des scénarios retenus	124
8.2.1.	Effondrement de l'éolienne.....	124
8.2.2.	Chute de glace	127
8.2.3.	Chute d'éléments de l'éolienne	131
8.2.4.	Projection de pales ou de fragments de pales	134
8.2.5.	Projection de glace	138
8.3.	Synthèse de l'étude détaillée des risques	141
8.3.1.	Tableau de synthèse des scénarios étudiés.....	141
8.3.2.	Synthèse de l'acceptabilité des risques.....	143
8.3.3.	Cartographie des risques	144
9.	Conclusion.....	154
10.	Annexes.....	156

ANNEXE 1 :	« Certification-type » des éoliennes V110 – 2,2 MW	156
ANNEXE 2 :	Attestation de conformité du projet aux règlements d'urbanisme	164
ANNEXE 3 :	Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne.....	165
ANNEXE 4 :	Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaires des risques.....	168
ANNEXE 5 :	Probabilité d'atteinte et risque individuel	173
ANNEXE 6 :	Glossaire.....	175
ANNEXE 7 :	Bibliographie et références utilisées	179
ANNEXE 8 :	Schémas unifilaires	180

Figures

Figure 1 : Rose des vents des stations météorologiques de Châteaudun	22
Figure 2 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur	45
Figure 3 : Schéma technique de la nacelle Vestas V110 - 2,2MW	47
Figure 4 : Dessin d'élévation de l'éolienne Vestas V110- 2,2 MW	48
Figure 5 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne.....	49
Figure 6 : Aires de montage et d'entretien des éoliennes	50
Figure 7 : Schéma de raccordement électrique d'un parc éolien	55
Figure 8 : Exemple de tranchées sous champs labouré.....	59
Figure 9 : Schéma d'un poste de livraison	63
Figure 10 : Photographie d'un exemple de balisage aéronautique	64
Figure 11 : Exemple de panneau d'affichage des prescriptions	65
Figure 12 : Procédure en cas d'incident	81
Figure 13 : Répartition des événements accidentels en France	89
Figure 14 : Répartition des causes des incendies en France	90
Figure 15 : Répartition des causes d'effondrement en France	91
Figure 16 : Répartition des causes de ruptures de pales en France	91
Figure 17 : Répartition des événements accidentels dans le monde	92
Figure 18 : Répartition des causes premières d'effondrement.....	92
Figure 19 : Répartition des causes premières de rupture de pale	93
Figure 20 : Répartition des causes premières d'incendie.....	93
Figure 21 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et du nombre d'éoliennes installées	94

Tableaux

Tableau 1 : Rubrique 2980 de la nomenclature des installations classées	12
Tableau 2 : Températures mini-maxi et moyennes mensuelles à Guillonville en °C	20
Tableau 3 : Pluviométrie moyenne sur la station de Guillonville en mm	20
Tableau 4 : Arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle sur les communes de Cormainville et Guillonville (Source : www.géorisques.fr)	28
Tableau 5 : Informations relatives aux voies de communication principales comprises dans la zone d'étude	29
Tableau 6 : Distance de chaque éolienne à la voirie située dans la zone d'étude.....	30

Tableau 7 : Nombre de personnes exposées sur l'ensemble du périmètre d'étude	35
Tableau 8 : Coordonnées des éoliennes et du poste de livraison	43
Tableau 9 : Résumé des réseaux HTA à créer, par tronçon.....	61
Tableau 10 : Principaux éléments constitutifs de l'éolienne Vestas V110 – 2,2 MW.....	66
Tableau 11 : Opérations d'entretien et de contrôle du matériel	73
Tableau 12 : Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation.....	85
Tableau 13 : Agressions externes liées aux activités humaines	97
Tableau 14 : Agressions externes liées aux phénomènes naturels	98
Tableau 15 : Analyse générique des risques.....	99
Tableau 16 : Mesures de sécurité pour prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	106
Tableau 17 : Mesures de sécurité pour prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	106
Tableau 18 : Mesures de sécurité pour prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques.....	107
Tableau 19 : Mesures de sécurité pour prévenir la survitesse	108
Tableau 20 : Mesures de sécurité pour prévenir les courts-circuits	109
Tableau 21 : Mesures de sécurité pour prévenir les effets de la foudre	110
Tableau 22 : Mesures de sécurité pour protéger et intervenir en cas d'incendie	111
Tableau 23 : Mesures de sécurité pour la prévention et la rétention des fuites.....	113
Tableau 24 : Mesures de sécurité pour prévenir les défauts de stabilité et d'assemblage de l'éolienne....	115
Tableau 25 : Mesures de sécurité pour prévenir les erreurs de maintenance	116
Tableau 26 : Mesures de sécurité pour prévenir la dégradation de l'état des équipements.....	116
Tableau 27 : Mesures de sécurité pour prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	117
Tableau 28 : Scénarios exclus.....	118
Tableau 29 : Niveaux d'intensité.....	121
Tableau 30 : Niveaux de gravité.....	121
Tableau 31 : Niveaux de probabilités	122
Tableau 32 : Matrice de criticité pour la détermination de l'acceptabilité	123
Tableau 33 : Niveau d'intensité pour le scénario d'effondrement de l'éolienne	124
Tableau 34 : Niveau de gravité pour le scénario d'effondrement de l'éolienne.....	125
Tableau 35 : Niveau de probabilité pour le scénario d'effondrement de l'éolienne	126
Tableau 36 : Niveau de risque pour le scénario d'effondrement de l'éolienne	127
Tableau 37 : Niveau de d'intensité pour le scénario de chute de glace	128
Tableau 38 : Niveau de gravité pour le scénario de chute de glace	129

Tableau 39 : Niveau de risque pour le scénario de chute de glace.....	130
Tableau 40 : Niveau d'intensité pour le scénario de chute d'éléments de l'éolienne	131
Tableau 41 : Niveau de gravité pour le scénario de chute d'éléments de l'éolienne	132
Tableau 42 : Niveau de risque pour le scénario de chute d'éléments de l'éolienne	133
Tableau 43 : Niveau d'intensité pour le scénario de projection de pale ou de fragment de pale	135
Tableau 44 : Niveau de gravité pour le scénario de projection de pale ou de fragment de pale	136
Tableau 45 : Niveau de probabilité pour le scénario de projection de pale ou de fragment de pale	136
Tableau 46 : Niveau de risque pour le scénario de projection de pale ou de fragment de pale.....	137
Tableau 47 : Niveau d'intensité pour le scénario de projection de morceaux de glace.....	139
Tableau 48 : Niveau de gravité pour le scénario de projection de morceaux de glace.....	140
Tableau 49 : Niveau de risque pour le scénario de projection de morceaux de glace	141
Tableau 50 : Tableau de synthèse des risques et des paramètres associés pour toutes les éoliennes.....	142
Tableau 51 : Légende de la matrice de criticité	143
Tableau 52 : Matrice de criticité des différents scénarios	143

Cartes

Carte 1 : Localisation de la zone de projet à l'échelle régionale	13
Carte 2 : Plan d'ensemble du projet.....	14
Carte 3 : Localisation de la zone d'étude de dangers	16
Carte 4 : Localisation des habitations par rapport au mâât des éoliennes	18
Carte 5 : Vitesse du vent moyen à 100 m d'altitude en Centre-Val-de-Loire.....	21
Carte 6 : Carte de France du niveau kéraunique	23
Carte 7 : Zonage sismique de France.....	24
Carte 8 : Risque d'inondation.....	26
Carte 9 : Risque « retrait gonflement des argiles » (Source : BRGM)	27
Carte 10 : Identification du risque de remontée de nappes au sein et à proximité de la zone d'étude de dangers (source : georisques.gouv.fr)	28
Carte 11 : Les principales voies de communication dans le périmètre d'étude	31
Carte 12 : Réseaux électriques et de communication	33
Carte 13 : Synthèse des cibles et du nombre de personnes exposées pour l'ensemble du parc	36
Carte 14 : Synthèse des cibles et du nombre de personnes exposées pour l'éoliennes MN01	37
Carte 15 : Synthèse des cibles et du nombre de personnes exposées pour l'éoliennes MN02.....	38
Carte 16 : Synthèse des cibles et du nombre de personnes exposées pour l'éoliennes MN03.....	38

Carte 17 : Synthèse des cibles et du nombre de personnes exposées pour l'éoliennes MN04.....	39
Carte 18 : Synthèse des cibles et du nombre de personnes exposées pour l'éoliennes MN05.....	39
Carte 19 : Synthèse des cibles et du nombre de personnes exposées pour l'éoliennes MN06.....	40
Carte 20 : Synthèse des cibles et du nombre de personnes exposées pour l'éoliennes MN07.....	40
Carte 21 : Synthèse des cibles et du nombre de personnes exposées pour l'éoliennes MN08.....	41
Carte 22 : Implantation du parc éolien.....	44
Carte 23 : Localisation du poste de livraison et réseau interne du parc éolien	57
Carte 24 : Plan d'installation du poste de livraison.....	62
Carte 25 : Synthèse des risques	145
Carte 26 : Synthèse des risques pour l'éolienne MN01.....	146
Carte 27 : Synthèse des risques pour l'éolienne MN02.....	147
Carte 28 : Synthèse des risques pour l'éolienne MN03.....	148
Carte 29 : Synthèse des risques pour l'éolienne MN04	149
Carte 30 : Synthèse des risques pour l'éolienne MN05	150
Carte 31 : Synthèse des risques pour l'éolienne MN06	151
Carte 32 : Synthèse des risques pour l'éolienne MN07	152
Carte 33 : Synthèse des risques pour l'éolienne MN08	153

1. Préambule

1.1. Objectif de l'étude de dangers

Cette étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du parc éolien du Moulin Neuf, 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.

Elle a été réalisée par l'exploitant de l'installation, sous sa responsabilité et sous le contrôle de l'inspection des installations classées.

Elle est proportionnée aux risques présentés par l'établissement. 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 à la complexité des installations et de leurs risques.

Elle précise l'ensemble des mesures de maîtrise des risques mises en œuvre à l'intérieur de l'établissement, qui réduit le risque à l'intérieur et à l'extérieur de l'établissement 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.

Toutes les distances aux éoliennes indiquées correspondent aux distances au mât des éoliennes.

1.2. Contexte législatif et réglementaire

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. 512-1, 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 notamment par les articles L181-25 et D181-15-2 du Code de l'environnement :

- ✚ Description de l'environnement et du voisinage,
- ✚ Description des installations et de leur fonctionnement,
- ✚ Identification et caractérisation des potentiels de danger,
- ✚ Estimation des conséquences de la concrétisation des dangers,
- ✚ Réduction des potentiels de danger,
- ✚ Enseignements tirés du retour d'expérience (des accidents et incidents représentatifs),
- ✚ Analyse préliminaire des risques,
- ✚ Etude détaillée de réduction des risques,
- ✚ Quantification et hiérarchisation des différents scénarios en termes de gravité, de probabilité et de cinétique de développement en tenant compte de l'efficacité des mesures de prévention et de protection,
- ✚ Représentation cartographique,
- ✚ Résumé non technique de l'étude des dangers.

De même, 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 le contenu attendu de l'étude de dangers et apporte des éléments d'appréciation des dangers pour les installations classées soumises à autorisation.

Enfin, les principaux risques sont générés au cours de la phase d'exploitation, c'est pourquoi l'étude de dangers concerne principalement cette phase.

1.3. Nomenclature des installations classées

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 :

Tableau 1 : 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..... b/ Inférieure à 20 MW.....	A D	6
(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 du Moulin Neuf, comprend 8 aérogénérateurs dont les mâts ont une hauteur supérieure 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 générales concernant l'installation

2.1. Renseignements administratifs

L'exploitant et le propriétaire de l'installation projetée sont la Ferme Eolienne du Moulin Neuf SAS.

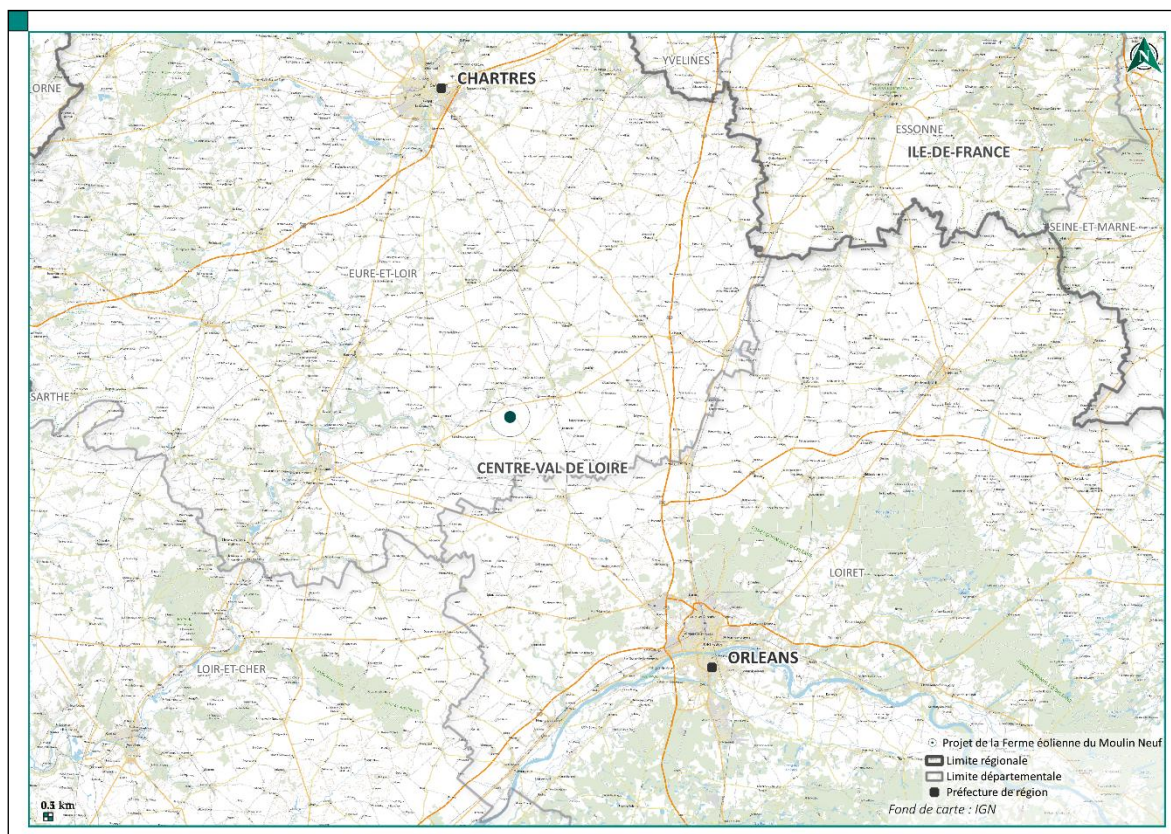
Les statuts ainsi que les principales informations relatives à cette société sont précisés ci-après :

Dénomination	Ferme éolienne du Moulin Neuf
Date de création de la société	25 octobre 2022
Activité	Production d'électricité (code APE 3511Z)
Forme juridique	Société par Actions Simplifiée
Capital	20 000 €
N° SIRET	920 817 277 00014
Adresse du siège social	1, Rue des Arquebusiers – 67 000 STRASBOURG
Personne chargée de suivre le dossier	Clément VEZIN, Chef de projet, VOLKSWIND
Personne chargée de rédiger l'étude	Baptiste CHARLET, Chargé d'études, VOLKSWIND

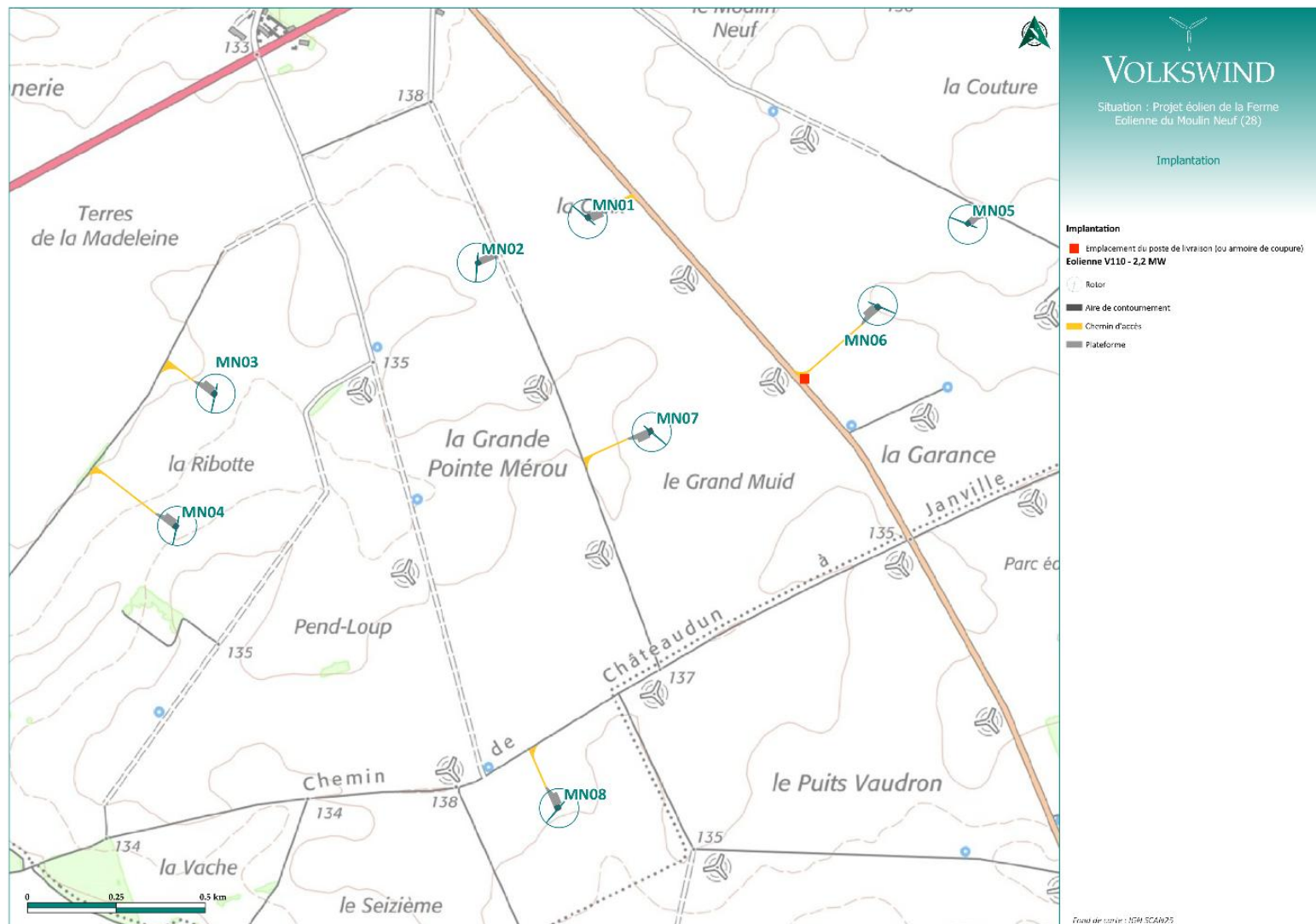
2.2. Localisation du site

Le parc éolien du Moulin Neuf composé de 8 aérogénérateurs, est localisé sur la commune de Cormainville, dans le département d'Eure et Loir, en région Centre-Val de Loire.

Carte 1 : Localisation de la zone de projet à l'échelle régionale



Carte 2 : Plan d'ensemble du projet



2.3. Définition de l'aire d'étude

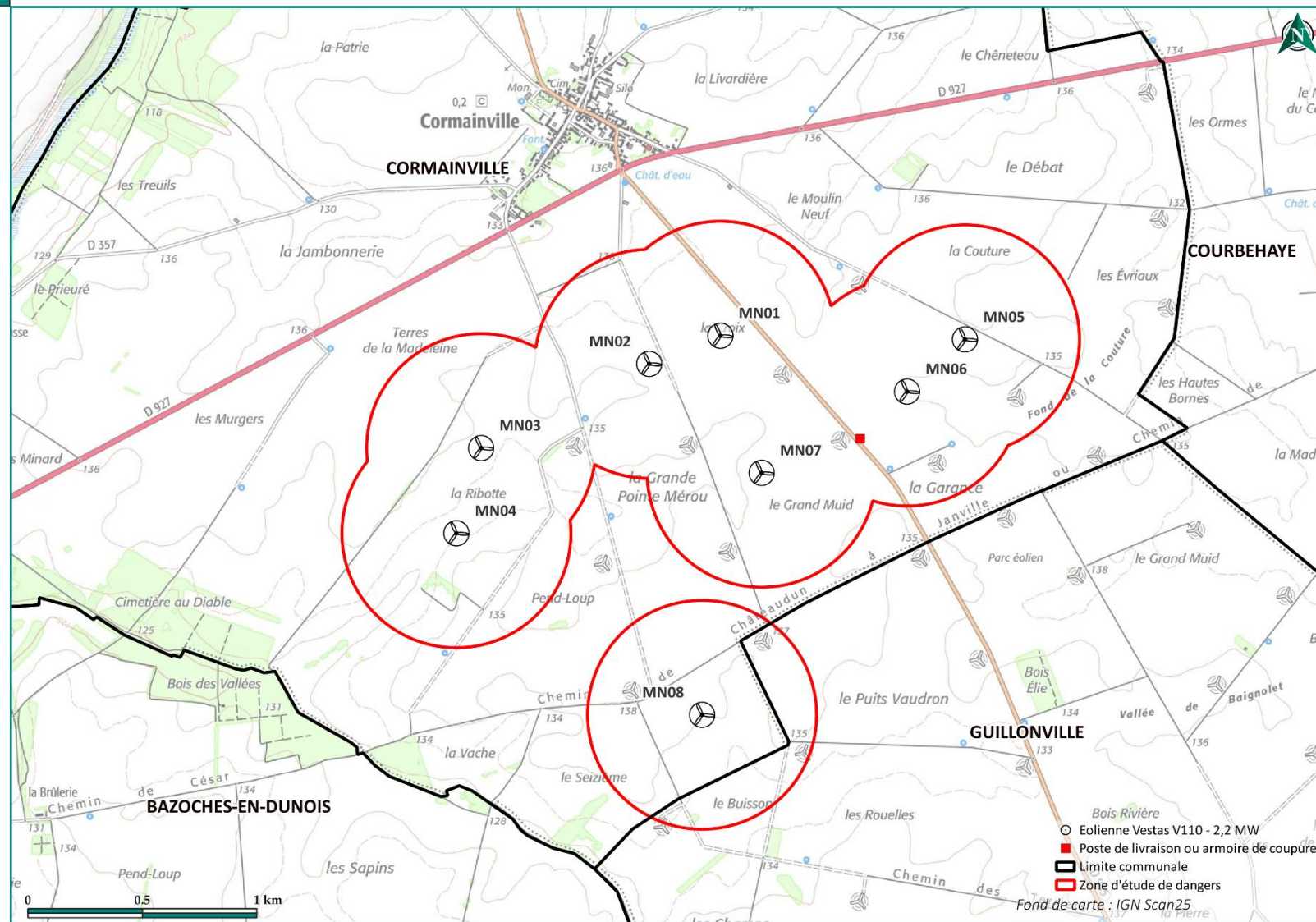
Compte tenu des spécificités de l'organisation spatiale d'un parc éolien, composé de plusieurs éléments disjoints, la zone sur laquelle porte l'étude de dangers est constituée d'une aire d'étude par éolienne.

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 1.1.1.

L'emplacement du poste de livraison (ou armoire de coupure) se situe dans la zone d'étude de dangers, toutefois, les expertises réalisées ont en effet montré l'absence d'effet à l'extérieur du poste de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter. Il n'est donc pas pris en compte ni dans la détermination de la zone d'étude, ni dans les analyses suivantes.

La zone d'étude de danger se situe sur les communes de Cormainville et Guillonville, et couvre une superficie d'environ 450,1 ha (voir carte ci-après).

Carte 3 : Localisation de la zone d'étude de dangers



3. Description de l'environnement de l'installation

Ce chapitre a pour objectif de décrire l'environnement dans la zone d'étude de l'installation, 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 communes de Cormainville et Guillonville comptaient respectivement 231 et 461 habitants au dernier recensement de la population effectué par l'INSEE datant de 2021.

Aucune habitation, ni zone à urbaniser à vocation d'habitat de ces communes ne se situent dans la zone d'étude.

L'habitation la plus proche du projet se situe à 787 mètres de l'éolienne MN02 localisée au niveau du bourg de Cormainville.

La commune de Cormainville est soumise au Plan Local d'Urbanisme intercommunal (PLUi) Cœur de Beauce. Les éoliennes sont implantées en zone Agricole du PLUi.

Le règlement écrit précise dans les dispositions générales que « *Les constructions à vocation écologique et ayant un intérêt public, comme ce peut être le cas pour les modes de production d'énergie renouvelables (éoliennes, panneaux photovoltaïques, etc.) peuvent être implantées en zone agricole. Une attention particulière devra être portée sur l'insertion paysagère des installations et sur leur impact sur les zones d'habitations voisines* »

Ainsi, l'implantation des éoliennes est conforme aux dispositions du PLUi Cœur de Beauce.

Le président de la communauté de communes Cœur de Beauce a signé une attestation de conformité par rapport au PLUi disponible en ANNEXE 2.



3.1.2. Etablissements recevant du public (ERP)

Aucun établissement recevant du public n'est présent dans la zone d'étude de dangers de 500 mètres défini autour de chaque aérogénérateur.

3.1.3. Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)
et installations nucléaires de base (INB)

13 éoliennes en fonctionnement se situent au sein de la zone d'études de dangers. Les éoliennes sont des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) soumises à autorisation. Ces éoliennes sont prises en compte dans l'étude détaillée des risques.

Aucune autre ICPE ou INB se situe dans la zone d'études de dangers.

3.1.4. Autres activités

Les activités au sein du périmètre d'étude sont principalement agricoles.

3.2. Environnement naturel

3.2.1. Contexte climatique

D'après Météo France, la station de mesure la plus proche de la zone d'étude est celle de Guillonville, localisée à proximité immédiate de la zone de projet.

3.2.1.1. Température

Selon les relevés de la station météorologique de Guillonville, sur la période 1991-2020, la température moyenne varie entre 4,0 °C et 19,5 °C.

Le mois de juillet est le plus chaud, avec des températures maximales moyennes de 25,9°. Le mois de février est le plus froid avec une température minimale moyenne de 1,2°C.

Les températures sont donc plutôt tempérées.

Tableau 2 : Températures mini-maxi et moyennes mensuelles à Guillonville en °C
(Source : Météo France)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
T min moy (°C)	1,4	1,2	2,8	4,8	8,4	11,4	13,0	13,1	10,1	7,9	4,3	1,9
T max moy (°C)	6,7	8,3	12,3	16,1	19,5	23,2	25,9	25,8	21,9	16,7	10,7	7,2
T moy (°C)	4,0	4,7	7,6	10,5	13,9	17,3	19,5	19,4	16,0	12,3	7,5	4,6

Le nombre de jours moyen avec une température minimale inférieure à 0°C est d'environ 50 jours par an (Météo France).

3.2.1.2. Pluviométrie

Les précipitations peuvent varier significativement (par exemple entre les mois de mai et de juin), globalement il pleut plus l'hiver que l'été. La pluviométrie minimale est de 42,2 mm au mois de septembre et une pluviométrie maximale de 60,7 mm au mois de mai pour la station de Guillonville.

Tableau 3 : Pluviométrie moyenne sur la station de Guillonville en mm
(Source : Météo France)

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
P (mm)	47,1	42,4	46,3	48	60,7	50,9	54,8	45,1	42,2	60,1	59,8	60,5

3.2.1.3. Potentiel éolien

D'après Global Wind Atlas, le gisement éolien sur la zone de projet est compris entre 6,5 et 7,5 m/s à une altitude de 100 m.

D'après Météo France, les vents les plus forts ont pour direction le sud-ouest. Ils peuvent atteindre des vitesses supérieures à 8 mètres par seconde. Les stations météorologiques les plus proches se situent à Guillonville (sur la zone de projet) et à Châteaudun (à 21 km à l'Ouest de la zone de projet). Seule la station de Châteaudun enregistre les données relatives au vent, sa rose des vents est présentée ci-après. Les vents sont majoritairement de secteur sud-ouest à nord-est.

Carte 5 : Vitesse du vent moyen à 100 m d'altitude en Centre-Val-de-Loire

(Source : GlobalWindAtlas)

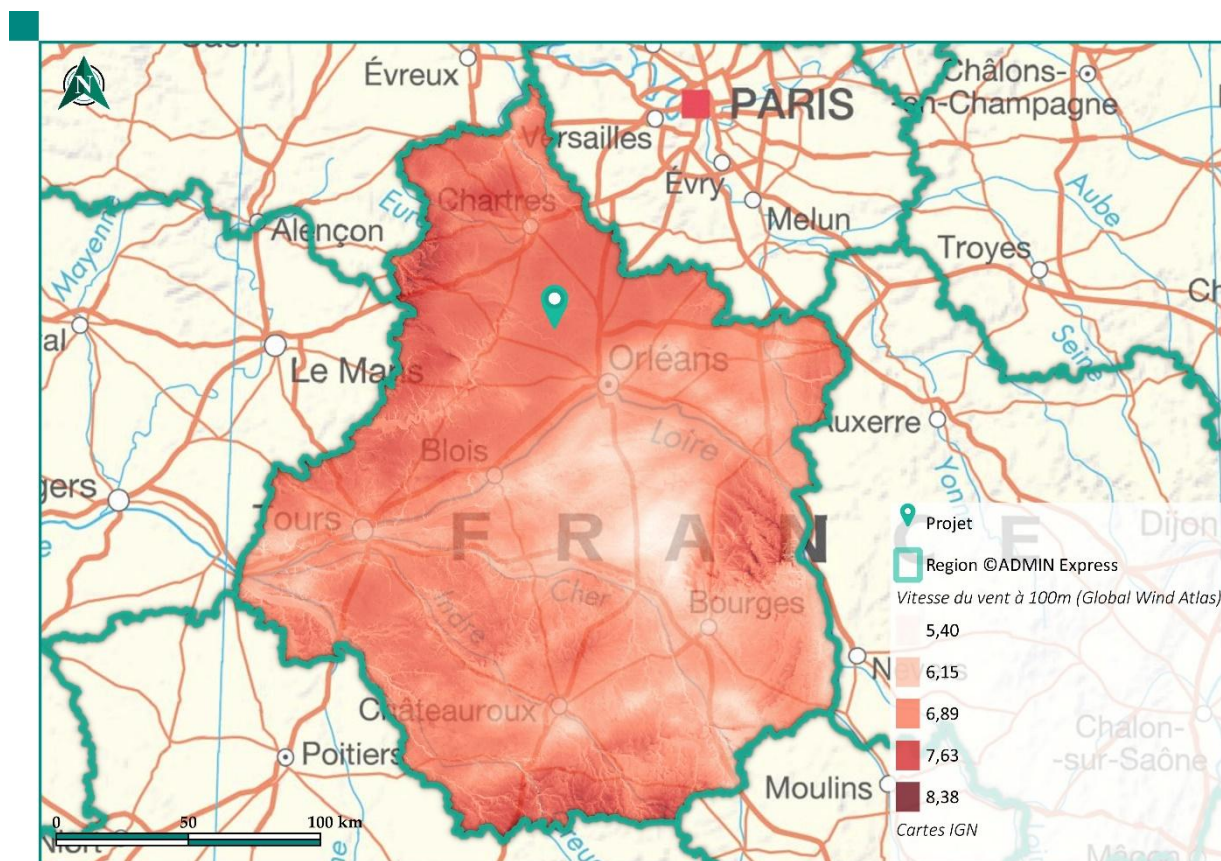
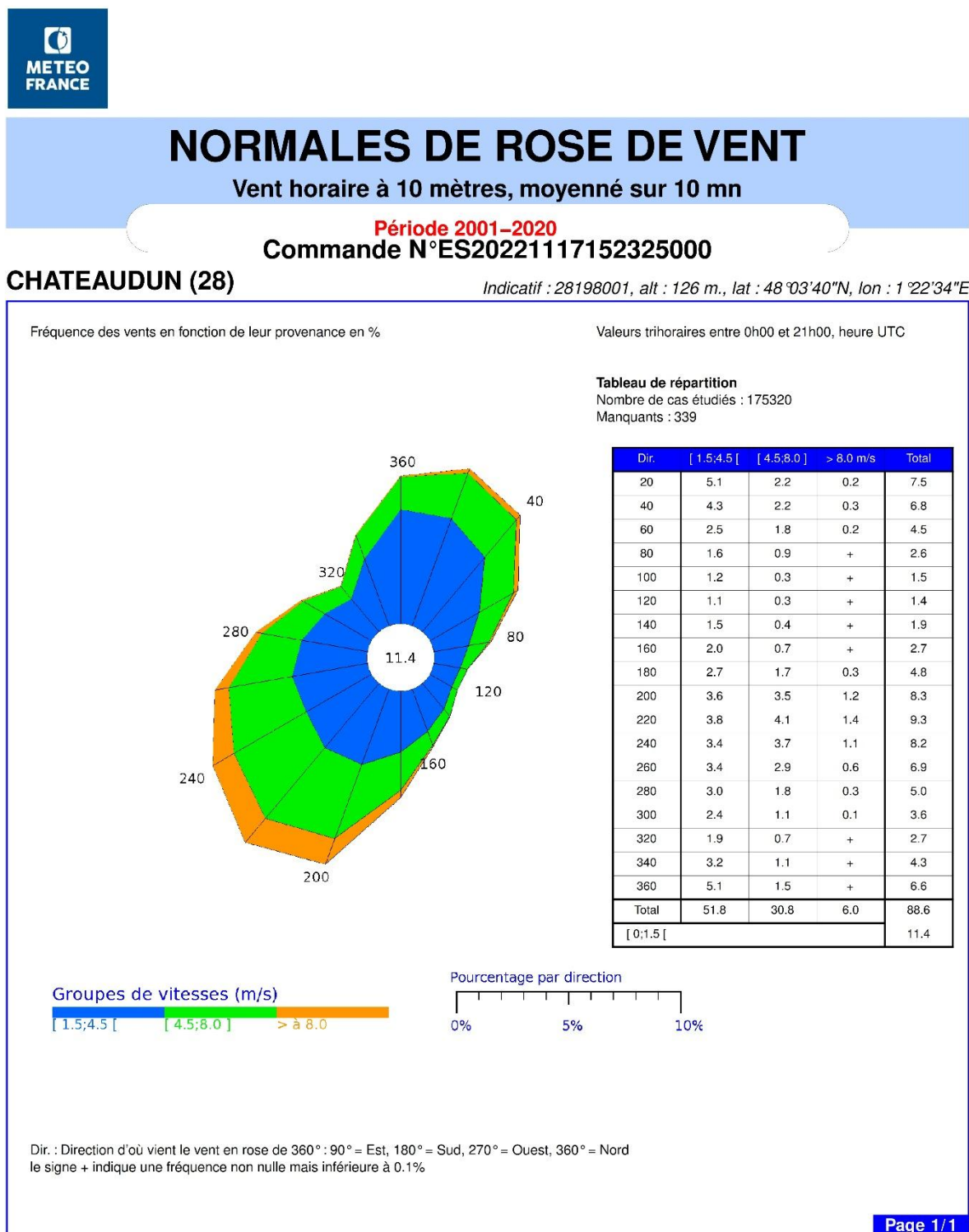


Figure 1 : Rose des vents des stations météorologiques de Châteaudun
(Source : Météo France)



Edité le : 17/11/2022 dans l'état de la base

N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues, en l'état ou sous forme de produits dérivés, est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE

Météo-France
73 avenue de Paris – 94165 SAINT MANDE
Tel : 0 890 71 14 15 – Email : contactmail@meteo.fr

Les phénomènes de vents extrêmes, pouvant empêcher le bon fonctionnement des installations, sont assez rares. Seuls les épisodes supérieurs à 24,5 m/s (soit 88 km/h) sont en effet susceptibles de provoquer l'arrêt momentané des éoliennes (« mise en drapeau »). La rafale maximale de vents observée sur la station de Châteaudun de 1991 à 2020 est de 40 m/s (144 km/h). Lors des épisodes de rafales de vent exceptionnel, les éoliennes se mettront en drapeau provoquant leur arrêt momentané. Au regard des données disponibles, le territoire de la commune de Cormainville apparaît comme un secteur propice au développement d'un projet éolien.

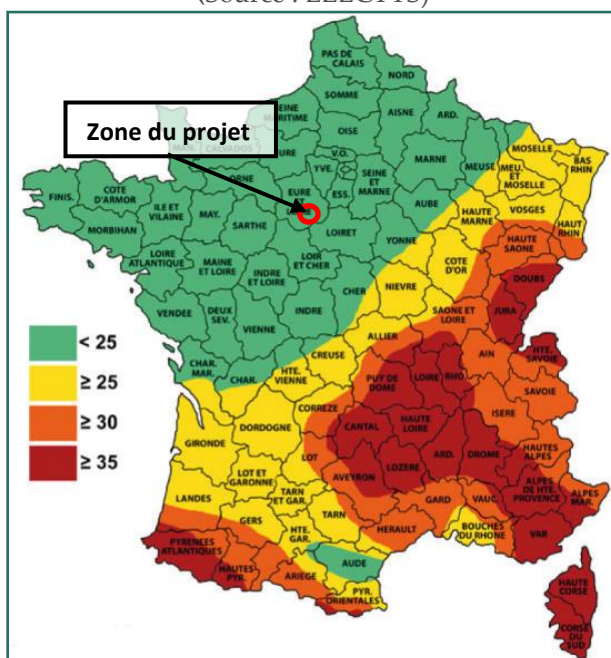
3.2.2. Risques naturels

Cette partie liste les différents risques naturels identifiés dans la zone d'étude. En effet, ces risques naturels sont susceptibles de constituer des agresseurs potentiels pour les éoliennes et devront donc être pris en compte dans l'évaluation préliminaire des risques.

3.2.2.1. La foudre

Les éoliennes sont des projets de grande dimension, pour lesquels le risque orageux, et notamment la foudre, doit être pris en compte. L'activité orageuse d'une région est définie par le niveau kéraunique (Nk), c'est-à-dire le nombre de jours où l'on entend gronder le tonnerre. La majorité des orages circulent dans un régime de vents de sud-ouest, qui apportent de l'air d'origine subtropicale, chaud et humide. La plupart d'entre eux s'observent entre mai et septembre ; la moyenne nationale est de 20 jours de tonnerre par an, dont 14 jours entre mai et août.

Carte 6 : Carte de France du niveau kéraunique
(Source : ELECTYS)



Aux alentours de la zone d'étude, la valeur du niveau kéraunique est inférieure à 25 jours. Le site de Météorage calcule une valeur équivalente au niveau kéraunique, le nombre de jours d'orage, issu des mesures du réseau de détection de foudre. Pour chaque commune, ce nombre est calculé à partir de la Base de Données Foudre et représente une moyenne sur les dix dernières années. Pour la commune de Cormainville, Météorage indique 8 jours

d'orage par an. Ce critère ne caractérise pas l'importance des orages. La meilleure représentation de l'activité orageuse est la densité d'arcs (Da) qui est le nombre d'arcs de foudre au sol par km² et par an. D'après Météorage, sur la commune de Cormainville, le nombre la densité d'arcs est de 0,62 arcs par an et par km² tandis que la moyenne française est de 1,1 arcs/km²/an, pour la période 2013-2022.

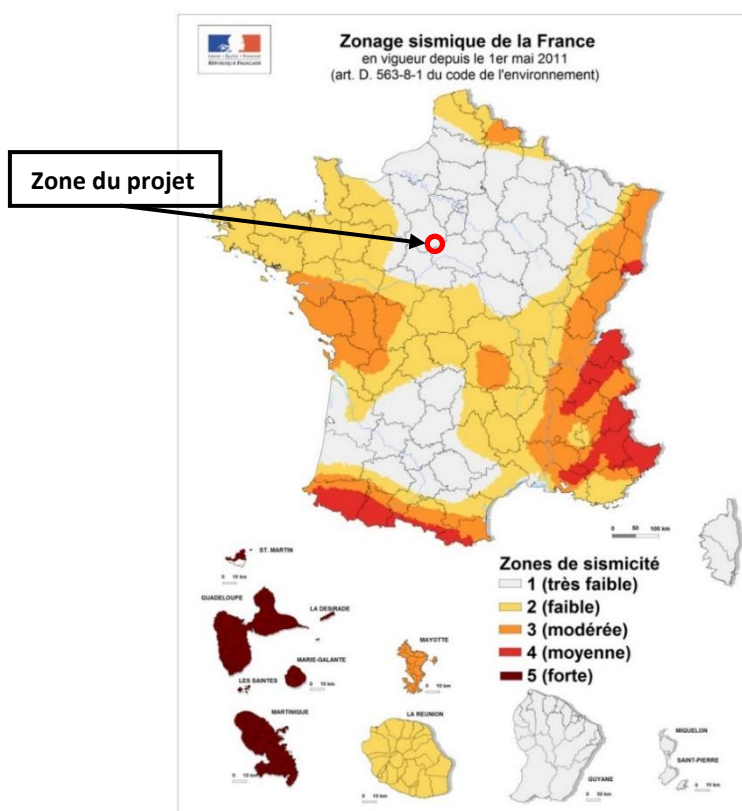
L'activité orageuse du site projet de la Ferme éolienne du Moulin Neuf est donc nettement inférieure à la moyenne nationale.

3.2.2.2. Sismicité

Le territoire national est divisé au niveau cantonal en cinq zones de sismicité croissante en fonction de la probabilité d'occurrence des séismes :

- ✧ une zone de sismicité 1 où il n'y a pas de prescription parasismique particulière pour les bâtiments à risque normal (l'aléa sismique associé à cette zone est qualifié de très faible),
- ✧ quatre zones de sismicité 2 à 5, où les règles de construction parasismique sont applicables aux nouveaux bâtiments, et aux bâtiments anciens dans des conditions particulières.

Carte 7 : Zonage sismique de France
(source : planseisme.fr)



D'après la cartographie ci-contre, le secteur du projet se situe dans la zone 1 correspondant à un aléa sismique très faible.

Le pétitionnaire prend en considération le risque sismique de la zone d'étude ; l'élaboration du plan d'implantation intègre les caractéristiques géologiques locales (failles, blocs effondrés...).

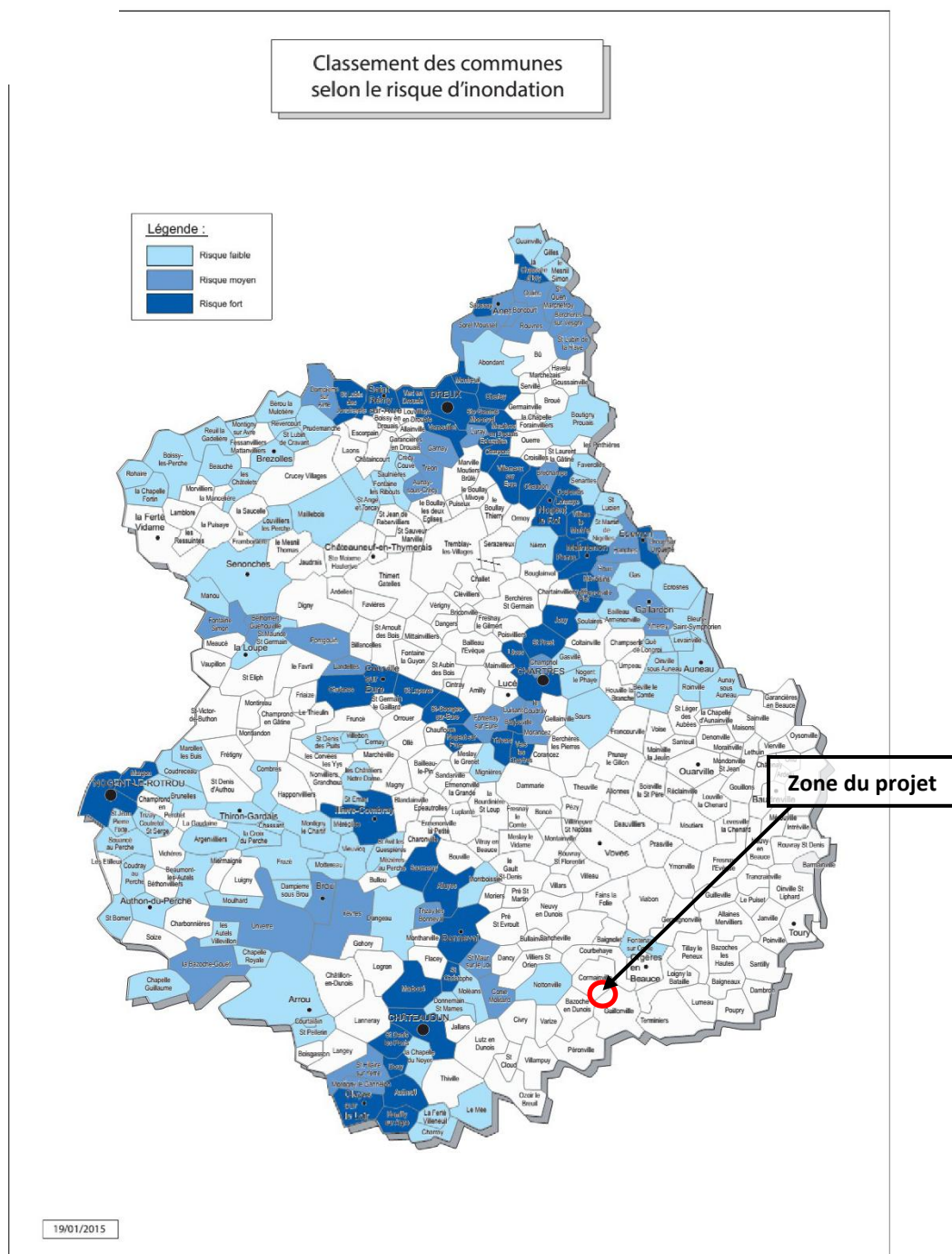
Une étude géotechnique menée après obtention de l'autorisation unique, affinera la problématique en conséquence.

3.2.2.3. Le risque d'inondation

Une inondation est une submersion plus ou moins rapide d'une zone, due à une augmentation du débit d'un cours d'eau provoquée par des pluies importantes et durables ou par la rupture d'une importante retenue d'eau. Elle peut se traduire par un débordement du cours d'eau, une remontée de la nappe phréatique, une stagnation des eaux pluviales.

D'après le dossier départemental sur les risques majeurs (DDRM) de l'Eure-et-Loir, la commune de Cormainville n'est pas concernée par le risque inondation, de plus, elle ne se situe pas dans le périmètre d'un Plan de Prévention des Risques Inondations (PPRi).

Carte 8 : Risque d'inondation
(Source : Dossier Départemental des risques Majeurs - 2015)

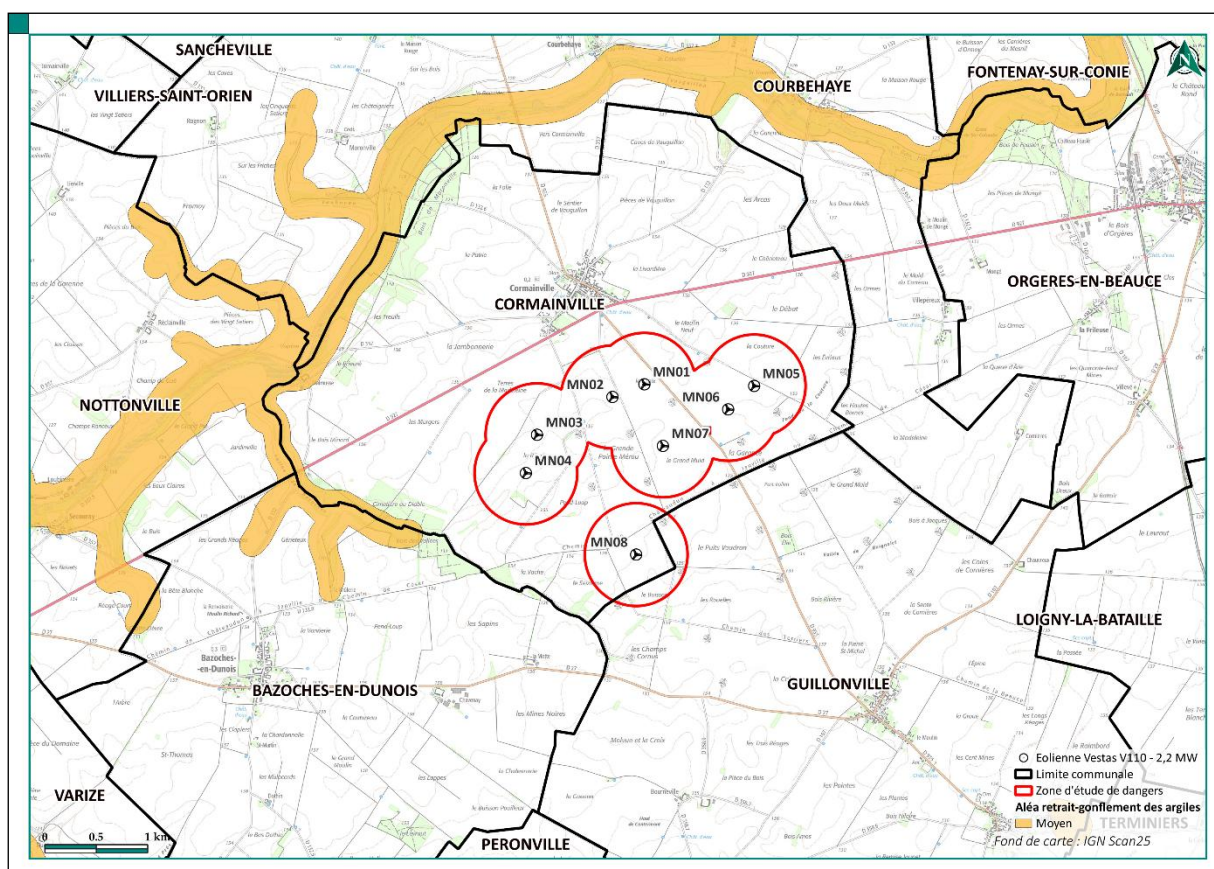


3.2.2.1. Le risque de retrait – gonflement des argiles

Les risques de retrait/gonflement des argiles rendent le sol plus instable. En effet, les sols argileux se rétractent en période de sécheresse, ce qui se traduit par des tassements différentiels pouvant occasionner des dégâts parfois importants aux constructions de taille raisonnable comme les habitations.

D'après la cartographie nationale des retraits gonflements des argiles, éditée par le BRGM, la zone d'étude de dangers n'est pas concernée par un aléa de retrait gonflement des argiles. Cependant par principe de précaution et au regard de la masse des aérogénérateurs, une étude géotechnique in situ sera réalisée en préambule aux travaux de construction et permettront d'adapter au mieux les techniques et caractéristiques de la construction aux contraintes géologiques locales.

Carte 9 : Risque « retrait gonflement des argiles » (Source : BRGM)



3.2.2.1. Arrêtés de catastrophe naturelle

Afin de prévenir les catastrophes naturelles un plan de prévention des risques naturels (PPRn) a été mis en place et est conduit par les services de l'Etat. Un PPRn se base sur l'analyse historique des principaux phénomènes ainsi que leurs impacts sur les personnes et les biens existants ou futurs. Le PPRn régleme fortement les nouvelles constructions dans les zones très exposées. La zone du projet ne se trouve pas dans un plan de prévention des risques naturels.

2 arrêtés de catastrophe naturelles ont été recensés sur les communes de Cormainville et Guillonville.

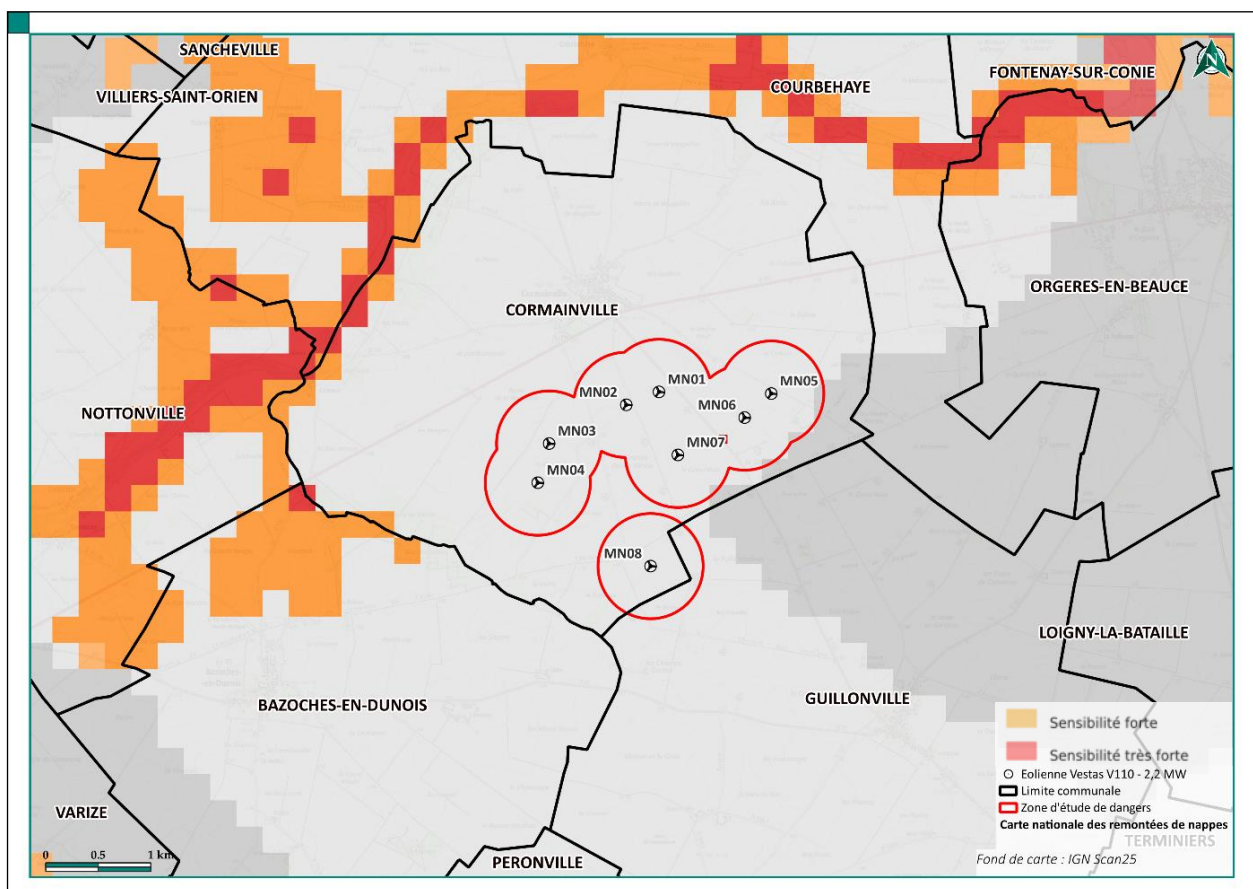
Tableau 4 : Arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle sur les communes de Cormainville et Guillonville (Source : www.georisques.fr)

Type	Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le Journal Officiel du
Inondations et/ou Coulées de Boue	INTE9900627A	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999
Mouvement de Terrain	INTE9900627A	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999

3.2.2.1. Le risque de remontée de nappes

Des risques de remontées de nappes sont possibles sur le territoire français. Selon les données de Géorisques, il n'y a pas de risque de débordement de nappe ou d'inondation des caves au sein de la zone d'étude de dangers. Cependant des études géologiques réalisées avant la construction du parc permettront de confirmer ce résultat afin d'évaluer le risque réel de remontée de nappes.

Carte 10 : Identification du risque de remontée de nappes au sein et à proximité de la zone d'étude de dangers (source : georisques.gouv.fr)



3.3. Environnement matériel

3.3.1. Voies de communication

Sont présentes dans la zone d'étude de dangers la route départementale n°935 et un ensemble de chemins ruraux.

Une étude de comptage routier visant à déterminer le Trafic Moyen Journalier Automobile a été menée par le Conseil Départemental de l'Eure-et-Loir. Cette étude révèle, pour l'année 2018, une circulation journalière de :

✎ 1535 véhicules : tous véhicules et sens confondus sur la route départementale RD 935 ;

En raison de leur moindre importance, aucune mesure n'a été effectuée sur les chemins ruraux des communes de Cormainville et Guillonville.

Les caractéristiques des voies de communication principales au sein du périmètre d'étude sont les suivantes :

Tableau 5 : Informations relatives aux voies de communication principales comprises dans la zone d'étude

Dénomination	Distance aux éoliennes requisse par le Conseil Départemental (CD80)	Distance à l'éolienne la plus proche	Longueur dans le périmètre d'étude	Traffic moyen journalier (source : CD28)
Route départementale RD 935	Recul au minimum égal à la hauteur totale de l'éolienne (pylône + pale)	140 m / MN01	1582 m	Section D153-D927 : 1279 VL ¹ 125 PL ²
Chemins Ruraux	Aucune distance requise	60 m / MN05	8998 m	NA (aucun comptage)

¹ VL : Véhicule Léger

² PL : Poids lourd

Le tableau suivant précise la distance (en mètres) entre les voies de communication et les éoliennes dans le périmètre d'étude :

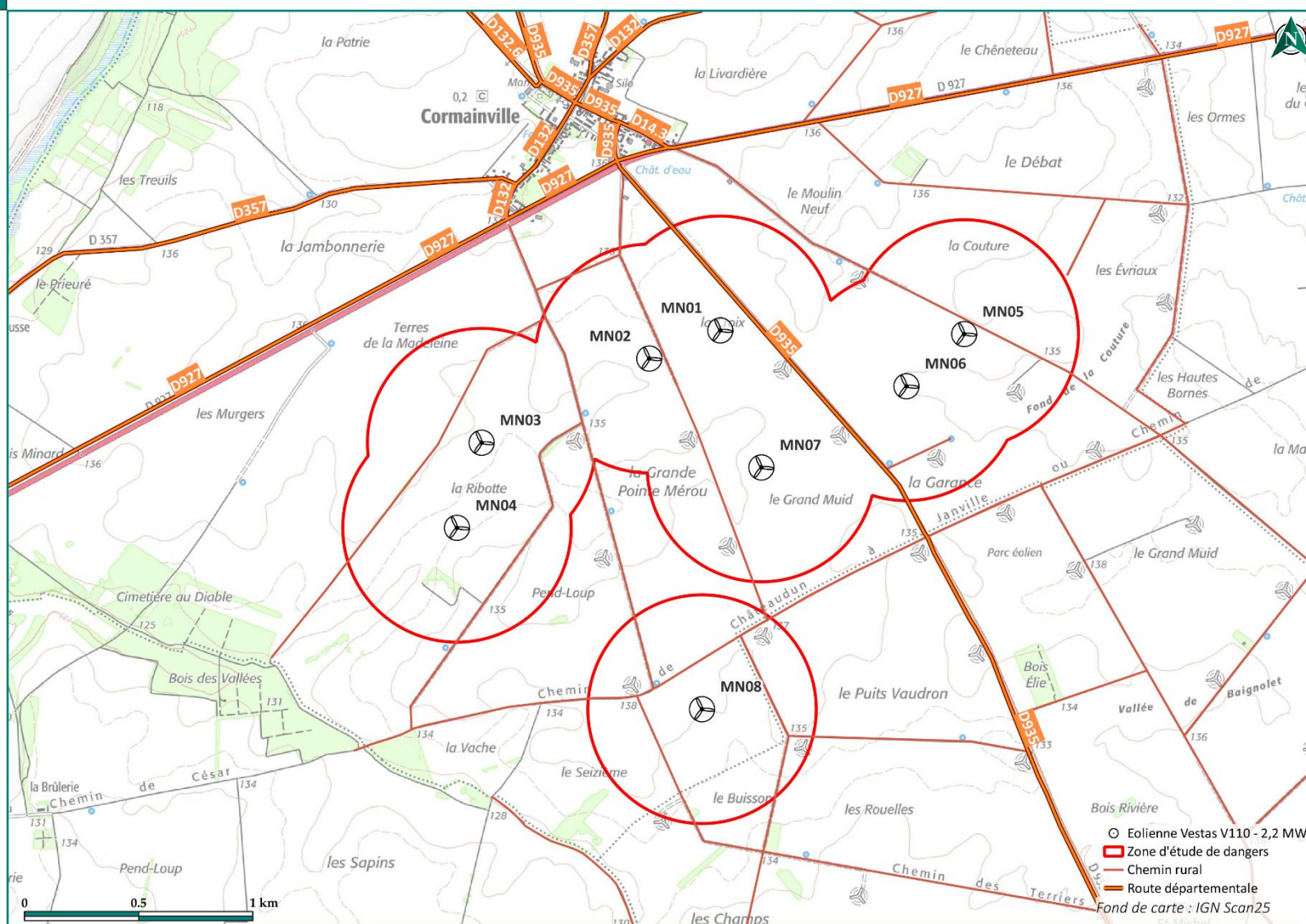
Tableau 6 : Distance de chaque éolienne à la voirie située dans la zone d'étude

N° Eolienne	RD 935	Chemins ruraux
MN01	140 m	270 m
MN02	454 m	65 m
MN03	A plus de 500 m	166 m
MN04	A plus de 500 m	287 m
MN05	A plus de 500 m	60 m
MN06	310 m	290 m
MN07	400 m	209 m
MN08	A plus de 500 m	186 m

Les éoliennes ne surplombent aucune voie de circulation. Il n'y a pas de transport fluvial ou ferroviaire et de servitudes liées à ces moyens de transport sur le périmètre d'étude.

Avec une hauteur en bout de pale de 140 m, le projet respecte les contraintes liées aux voies de communication au sein de la zone.

Carte 11 : Les principales voies de communication dans le périmètre d'étude



3.3.2. Réseaux publics et privés

3.3.2.1. Réseau électrique et de communication

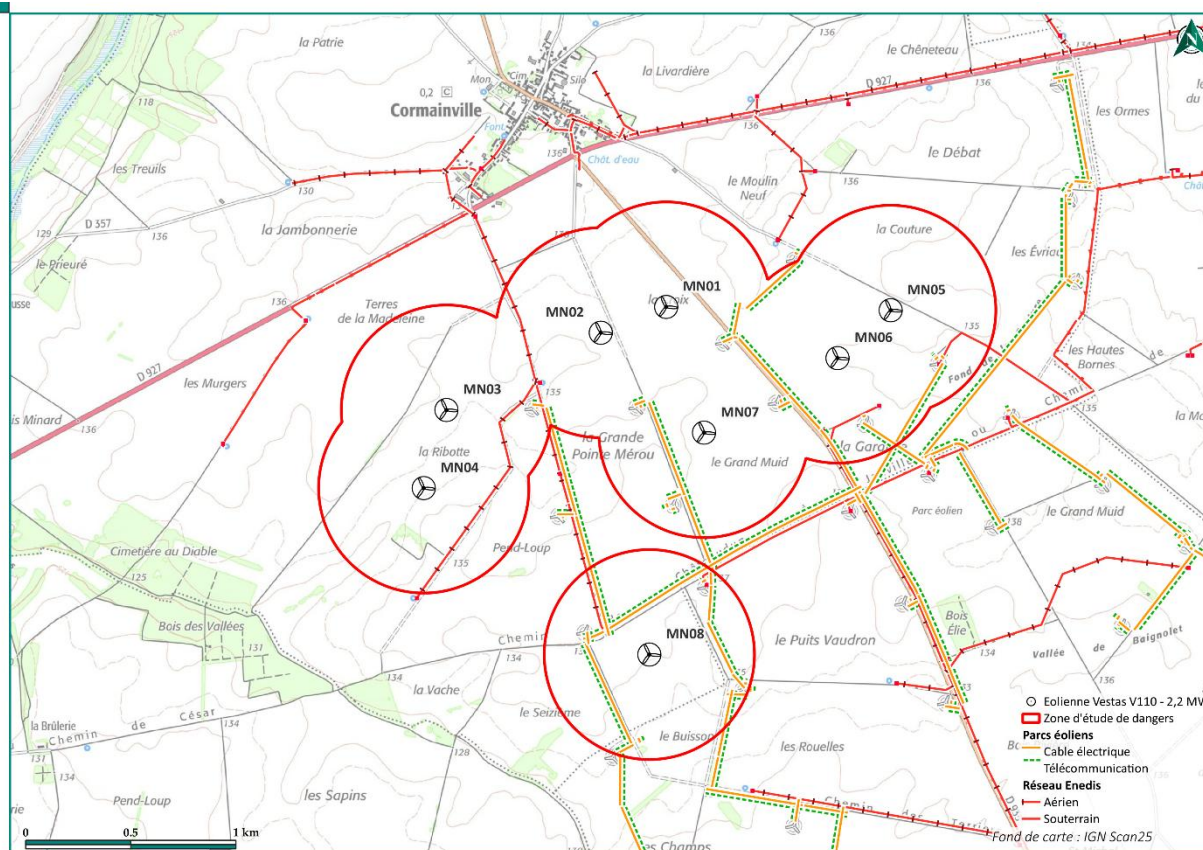
Au sein de la zone d'étude de dangers, plusieurs réseaux électriques et de communication sont présents :

- ✚ Réseaux de distribution d'électricité : plusieurs lignes électriques, hautes et basse tension, gérées par ENEDIS sont présentes dans le périmètre de la zone d'étude de dangers. Ces dernières se situent en réseau aérien et souterrain ;
- ✚ Plusieurs parcs éoliens se situent au sein de la zone d'étude de dangers. Ces derniers sont dotés d'un réseau de câble électrique souterrain ainsi que d'un réseau de câble de télécommunication ;
- ✚ Aucune ligne de transport d'électricité ou d'autres lignes de télécommunication ne sont présentes au sein de la zone d'étude ;

N° Eolienne	Distance au réseau de distribution électrique aérien le plus proche	Distance au réseau de distribution électrique souterrain le plus proche	Distance au réseau électrique et de télécommunication de parc éolien le plus proche
MN01	Plus de 500 m	Plus de 500 m	319 m
MN02	357 m	Plus de 500 m	391 m
MN03	258 m	Plus de 500 m	410 m
MN04	277 m	Plus de 500 m	Plus de 500 m
MN05	Plus de 500 m	324 m	327 m
MN06	353 m	291 m	308 m
MN07	Plus de 500 m	Plus de 500 m	213 m
MN08	244 m	431 m	187 m

Carte 12 : Réseaux électriques et de communication

(Source : Enedis, Volkswind)



3.3.2.2. Réseau d'eau

Il n'y a pas de réseau d'eau potable au sein de la zone d'étude de dangers. Toutefois, il existe plusieurs réseaux d'irrigation.

Il n'y a pas de captage d'eau potable au sein de la zone d'étude de dangers.

3.3.2.3. Réseau de gaz

Aucune canalisation de gaz n'existe sur la zone d'étude.

3.3.2.4. Ouvrages publics

Aucun ouvrage public n'est à signaler dans la zone d'étude.

3.4. Cartographie de synthèse

■ Les enjeux humains et matériels

La comptabilité du nombre de personnes exposées s'appuie sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010.

Les habitations :

On ne dénombre aucune habitation dans le périmètre d'étude. Personne n'est ainsi exposé à des risques potentiels au sein des habitations.

Les 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 véhicules / jour) sont déjà comptées dans la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés.

D'après les comptages routiers, pour la section entre la RD153 et RD 927, la RD 935 présente un trafic moyen journalier de 1279 VL. Elle n'est donc pas considérée comme une route structurante et rentre ainsi dans la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés.

Il n'existe pas de comptage pour les chemins ruraux, ils seront également considérés comme des terrains aménagés mais peu fréquentés.

Les terrains :

Le nombre de personnes exposées sur des terrains est effectué à partir de barème selon le type de terrain :

- ⤴ Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts, friches, marais...) : 1 personne par tranche de 100 hectares.
- ⤴ Terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de circulation non structurantes, chemins agricoles, plateformes de stockage, vignes, jardins et zones horticoles, gare de triage...) : 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...) : 10 personnes minimum à l'hectare (et prise en compte de la capacité du terrain).

L'intégralité du périmètre d'étude, est considérée comme terrains aménagés mais peu fréquentés ce qui permet un calcul conservateur.

Tableau 7 : Nombre de personnes exposées sur l'ensemble du périmètre d'étude

Type de terrains	Barème	Surface	Nombre de personnes exposées
Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 personne/10 hectares	450,1	45

Au total, **45 personnes sont exposées** sur les terrains présents au sein de l'ensemble du périmètre d'étude.

Les ERP :

Aucun établissement ne recevant du public n'est présent dans la zone d'étude de dangers.

Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et Installations Nucléaires de Base (INB) :

13 éoliennes en fonctionnement se situent au sein de la zone d'études de dangers. Les éoliennes sont des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) soumises à autorisation. Ces dernières sont prises en compte dans l'analyse détaillée des risques.

Aucune autre ICPE ou INB se situe dans la zone d'études de dangers.

Les autres activités :

Les activités au sein du périmètre d'étude sont principalement agricoles.

Les chemins de promenade et de randonnée :

Il n'existe pas de chemins de randonnée inscrit au Plan Départementale des Itinéraires de Promenades et de randonnée (PDIPR) sur le périmètre de la zone d'études de dangers.

La carte suivante identifie les enjeux humains à l'intérieur et à proximité de la zone d'étude pour l'ensemble du parc éolien.

Carte 13 : Synthèse des cibles et du nombre de personnes exposées pour l'ensemble du parc



Les cartes suivantes précisent les caractéristiques de la zone d'étude autour de chaque aérogénérateur ainsi que le nombre de personnes exposées.

Carte 14 : Synthèse des cibles et du nombre de personnes exposées pour l'éoliennes MN01



Carte 15 : Synthèse des cibles et du nombre de personnes exposées pour l'éoliennes MN02



Carte 16 : Synthèse des cibles et du nombre de personnes exposées pour l'éoliennes MN03



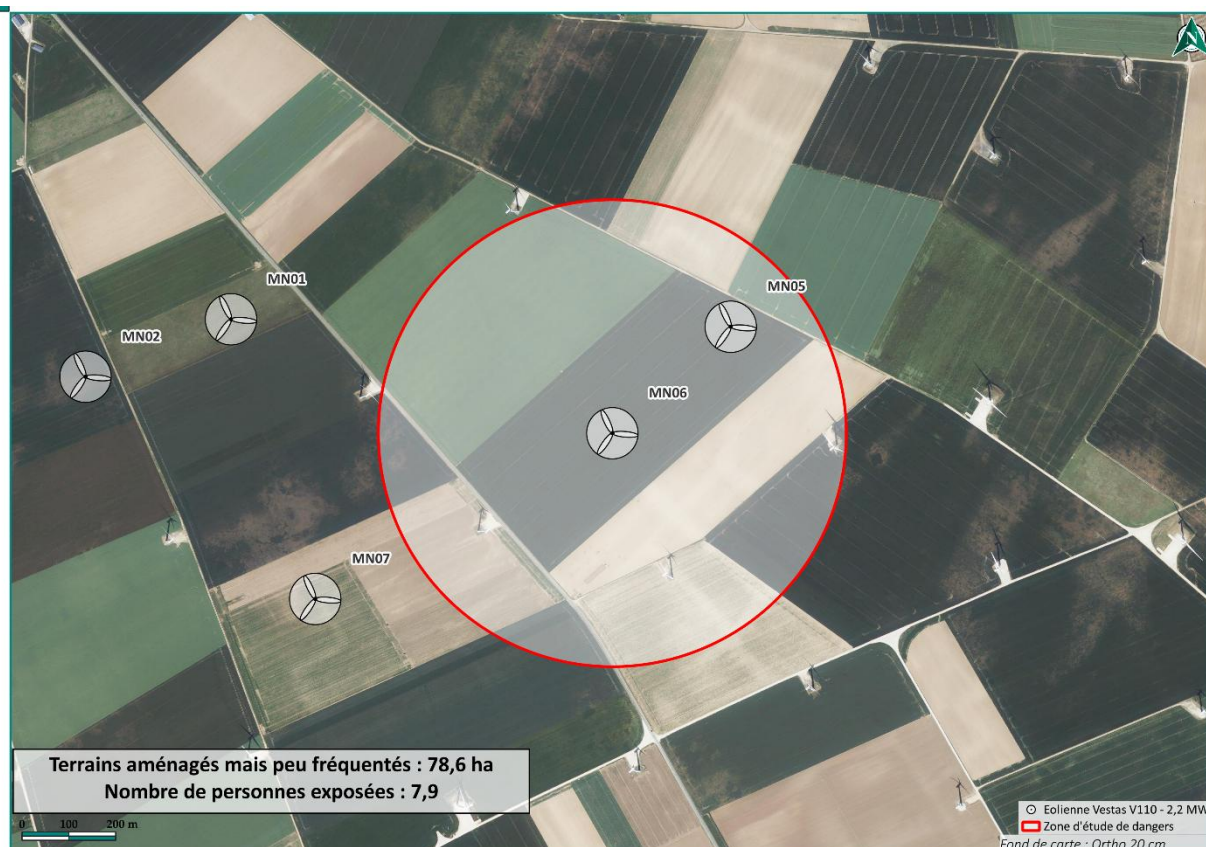
Carte 17 : Synthèse des cibles et du nombre de personnes exposées pour l'éoliennes MN04



Carte 18 : Synthèse des cibles et du nombre de personnes exposées pour l'éoliennes MN05



Carte 19 : Synthèse des cibles et du nombre de personnes exposées pour l'éoliennes MN06



Carte 20 : Synthèse des cibles et du nombre de personnes exposées pour l'éoliennes MN07



Carte 21 : Synthèse des cibles et du nombre de personnes exposées pour l'éoliennes MN08



4. Description de l'installation

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

4.1. Caractéristiques de l'installation

4.1.1. Activité de l'installation

L'activité principale de la ferme éolienne du Moulin Neuf est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent à une hauteur de moyeu de 85 m. Cette installation est soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

4.1.2. Composition de l'installation

4.1.2.1. Le parc éolien

La ferme éolienne du Moulin Neuf est composée de 8 éoliennes et d'un poste de livraison (ou armoire de coupure). Chaque aérogénérateur a une hauteur de moyeu de 85 mètres et un diamètre de rotor de 110 mètres, soit une hauteur totale en bout de pale de 140 mètres.

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs et du poste de livraison (ou armoire de coupure).

Tableau 8 : Coordonnées des éoliennes et du poste de livraison

Numéro Eolienne et poste de livraison	Coordonnées en Lambert 93 (m)*		Coordonnées en WGS 84 (dd°mm'ss,s") **		Cote NGF au sol (m)*	Hauteur totale éolienne (m)	Cote NGF en bout de pales (m) ***
	X	Y	E	N			
MN01	596986	6781873	1°36'55.06"E	48°07'44.75"N	137	140	277
MN02	596675	6781750	1°36'40.11"E	48°07'40.59"N	137	140	277
MN03	595941	6781382	1°36'04.92"E	48°07'28.25"N	135	140	275
MN04	595833	6781010	1°36'00.01"E	48°07'16.14"N	132	140	272
MN05	598054	6781857	1°37'46.74"E	48°07'44.83"N	137	140	277
MN06	597801	6781629	1°37'34.69"E	48°07'37.30"N	136	140	276
MN07	597166	6781274	1°37'04.27"E	48°07'25.45"N	137	140	277
MN08	596906	6780217	1°36'52.59"E	48°06'51.06"N	136	140	276
PDL / ACM	Centre 597593	Centre 6781419	Centre 1°37'24.81E	Centre 48°07'30.39 N			

*Les coordonnées X, Y ont été éditées par des géomètres experts du cabinet TTGE et arrondies au mètre près (Données extraites des feuilles cadastrales géoréférencées fournies par www.cadastre.gouv.fr et recalées par les géomètres experts du cabinet TTGE après repérage sur site, sans bornage contradictoire. Les coordonnées en WGS84 sont converties à partir des coordonnées en Lambert93 via Qgis, et arrondies au centième de seconde près.

** Les coordonnées Zmax correspondent à l'altitude maximale, avec une marge de 30 cm, arrondie au mètre supérieur, des levées topographies réalisés par les géomètres-experts du cabinet TTGE au niveau de la plateforme de chaque éolienne. Ainsi, l'altitude au socle et en bout de pale de chaque éolienne construite ne dépassera pas la valeur Z maximale, arrondie au mètre supérieur, indiquée ici.

*** L'altitude maximale en bout de pale est calculée à partir de l'altitude maximale au socle de l'éolienne, arrondie au mètre supérieur.

Carte 22 : Implantation du parc éolien

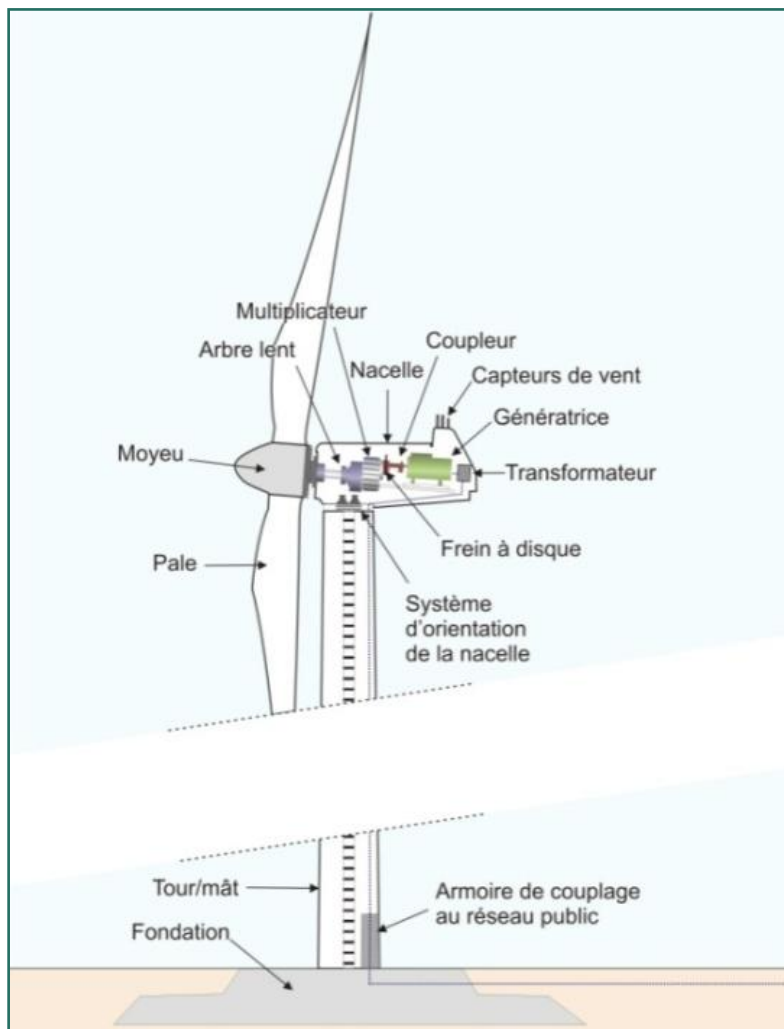


4.1.2.2. L'éolienne

Au sens de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par les arrêtés du 22 juin 2020 et du 10 décembre 2021, relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent, un aérogénérateur (ou éolienne) est défini comme un dispositif mécanique destiné à convertir l'énergie du vent en électricité, composé des principaux éléments suivants : un mât, une nacelle, une génératrice, un rotor constitué d'un moyeu et de pales, ainsi que, le cas échéant, un transformateur.

Les aérogénérateurs envisagés pour le projet de la Ferme éolienne du Moulin Neuf sont adaptés pour les vents moyens. Il s'agit d'éoliennes Vestas V110 de 2,2 MW de puissance unitaire. Pour ce modèle d'éolienne, le mât a une hauteur de 85 m (hauteur du moyeu), le diamètre du rotor est de 110 m et la hauteur totale de l'éolienne est de 140 m.

Figure 2 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur



Comme l'illustre la Figure 2, de bas en haut, une éolienne se compose :

- ✚ Des fondations de 2,5 à 5 m de profondeur (valeur théorique, des études du sol vont être faites afin de déterminer précisément la profondeur des fondations) couvrant une surface bétonnée pouvant aller de 20 à 26 mètres de diamètre ;
- ✚ Un mât tubulaire composé de plusieurs tronçons en acier, de 4,45 m de diamètre à la base. A l'intérieur de la base du mât, est installée une armoire de contrôle électrique contenant des systèmes de comptage ainsi qu'un monte-charge pour accéder à la nacelle ;
- ✚ Une nacelle abritant plusieurs éléments fonctionnels :
 - La génératrice qui transforme l'énergie mécanique de rotation du rotor en énergie électrique ;
 - Le multiplicateur ;
 - Le transformateur qui permet d'élever la tension électrique produite au niveau de celle du réseau électrique ;
 - Le système de freinage mécanique ;
 - Le système d'orientation de la nacelle qui place l'éolienne face au vent pour une production optimale d'énergie ;
 - Les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette) ;
 - Le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique.
- ✚ Un rotor de 110 m de diamètre, composé de 3 pales en matériaux composites de 55 m de long et réunies au niveau du moyeu. Il se prolonge dans la nacelle pour constituer l'arbre lent.

Les principales caractéristiques de ces éoliennes sont :

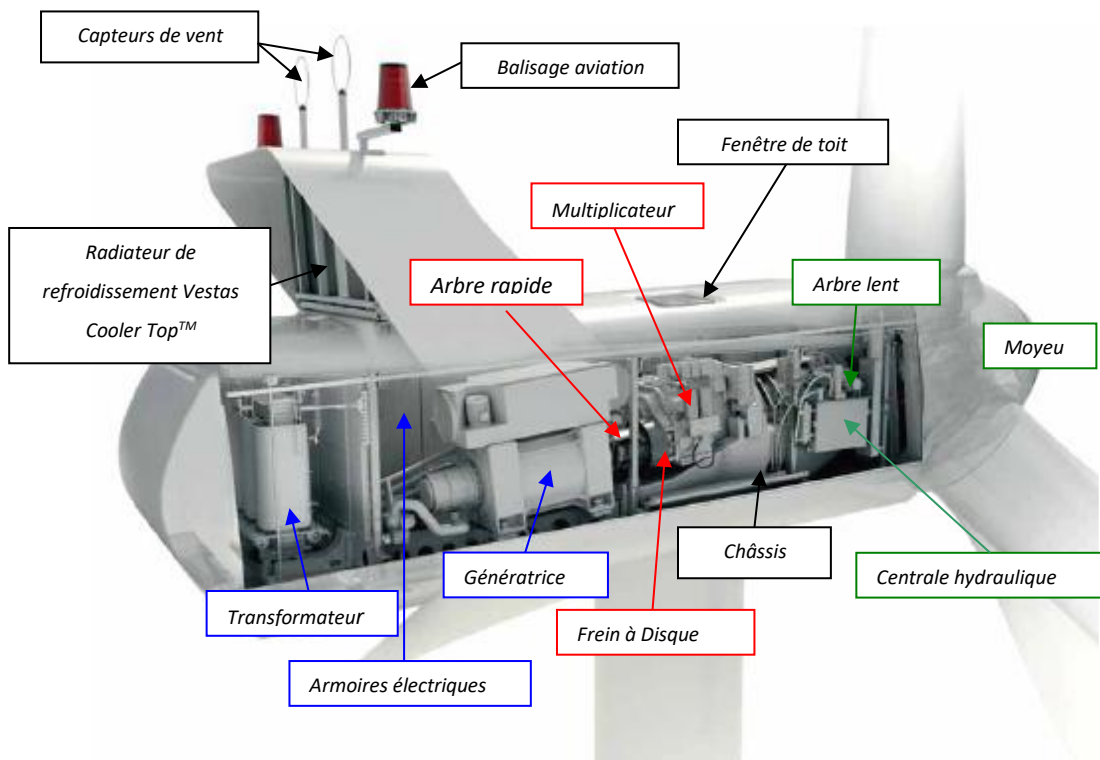
- ✚ Une puissance nominale de 2,2 MW ;
- ✚ Une régulation de la puissance s'effectuant par variation de l'angle des pales (régulation pitch) ;
- ✚ Une vitesse du rotor : de 9,3 à 16,6 tours/minute pour la V110 ;
- ✚ Une vitesse de vent de démarrage : de 3 m/s ;

Les limites de fonctionnement de ces éoliennes sont :

- ✚ Vitesse de coupure du vent : 22 m/s,
- ✚ Vitesse de redémarrage : 20 m/s
- ✚ Durée de vie théorique : 25 ans.

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

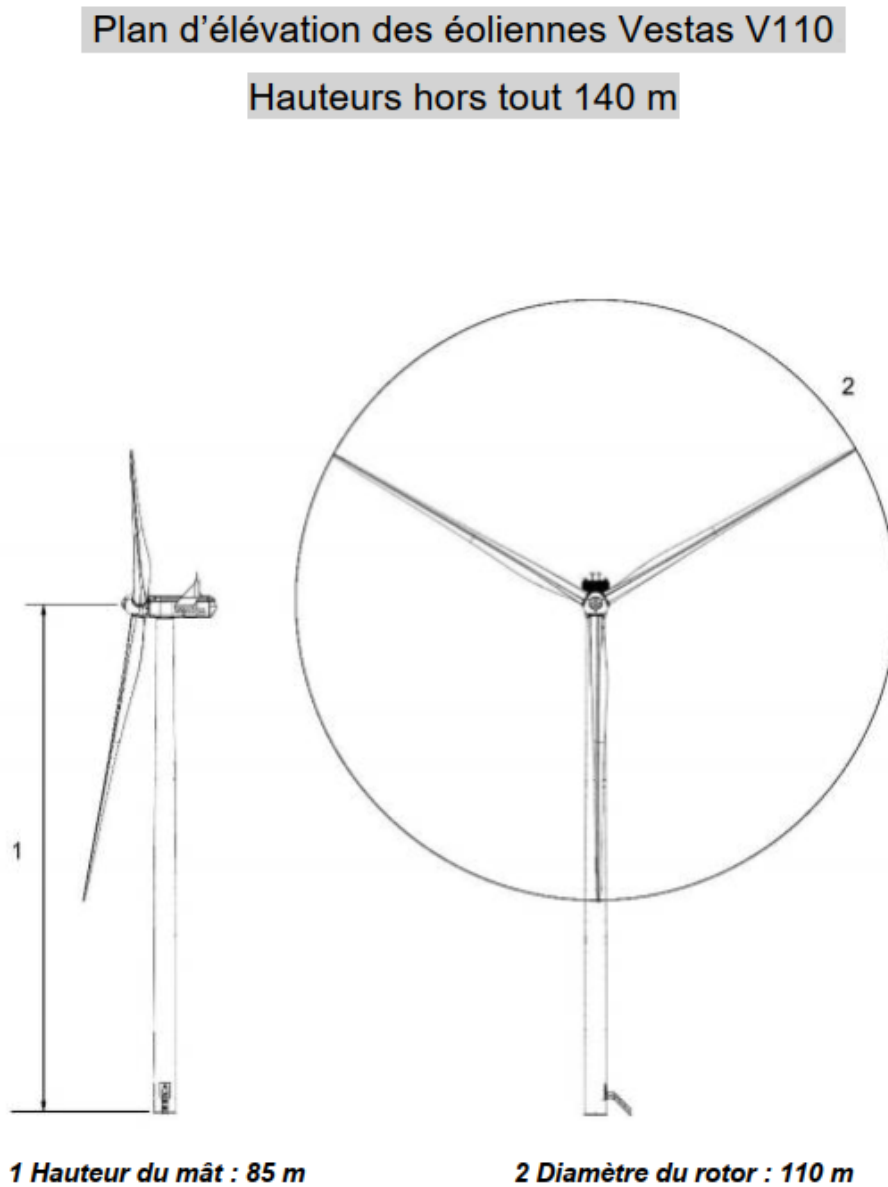
Figure 3 : Schéma technique de la nacelle Vestas V110 - 2,2MW



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

Sur le site du projet, les éoliennes sont ainsi implantées à 322 m minimum des autres éoliennes du pôle éolien.

Figure 4 : Dessin d'élévation de l'éolienne Vestas V110- 2,2 MW



4.1.2.3. Les emprises au sol

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

- ✚ **La surface de chantier** est une surface temporaire, durant la phase de construction, destinée aux manœuvres des engins et au stockage au sol des éléments constitutifs des éoliennes.
- ✚ **La fondation de l'éolienne** est recouverte de terre végétale. Ses dimensions exactes sont calculées en fonction des aérogénérateurs et des propriétés du sol.
- ✚ **La zone de surplomb ou de survol** correspond à la surface au sol au-dessus de laquelle les pales sont situées, en considérant une rotation à 360° du rotor par rapport à l'axe du mât.
- ✚ **La plateforme ou aire de maintenance** correspond à une surface permettant le positionnement de la grue destinée au montage et aux opérations de maintenance liées aux éoliennes. Sa taille varie en fonction des éoliennes choisies et de la configuration du site d'implantation.

Figure 5 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne

(les dimensions sont données à titre d'illustration pour une éolienne d'environ 180m de hauteur)

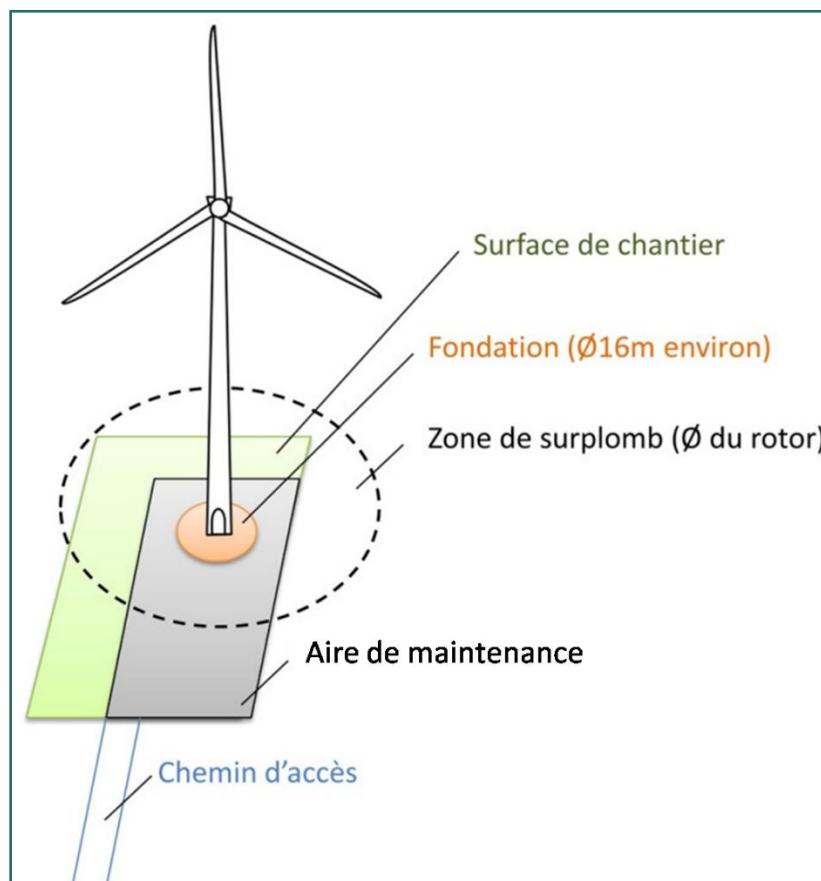
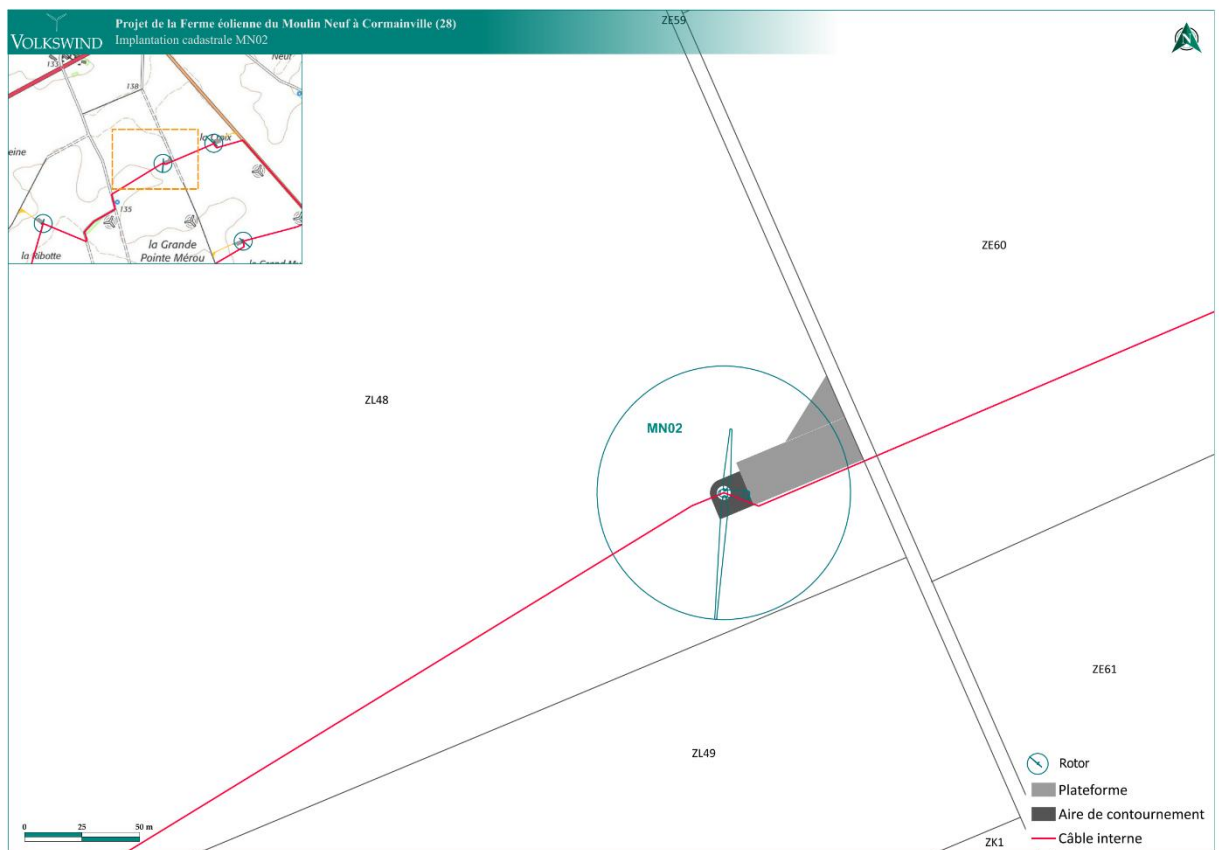
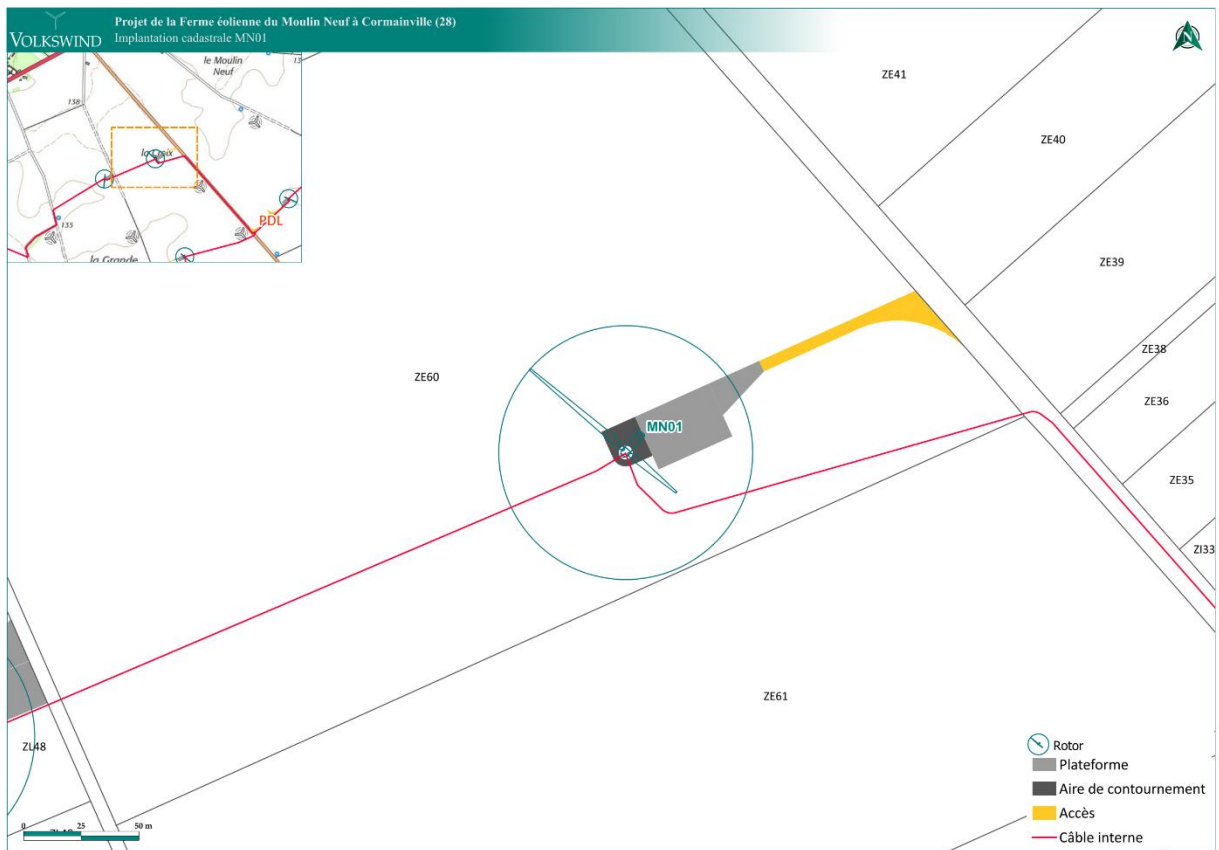
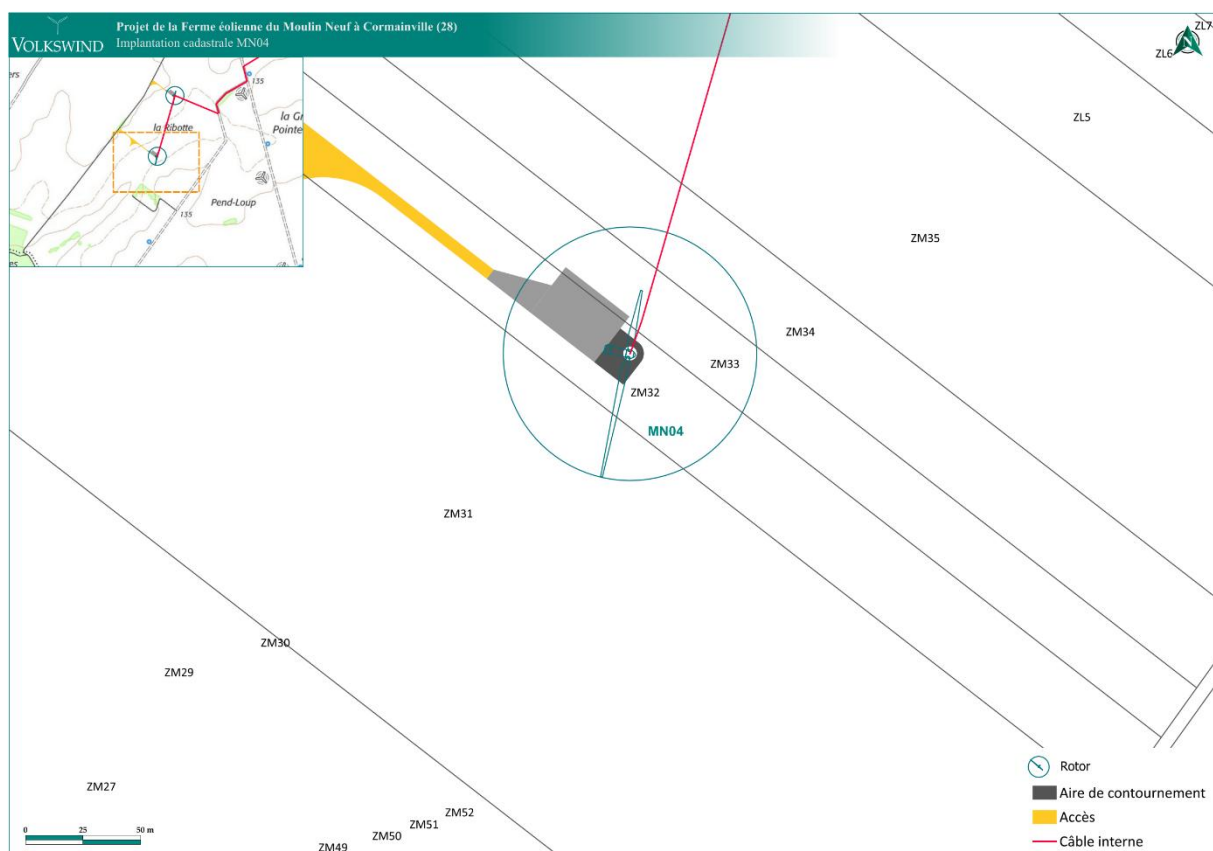
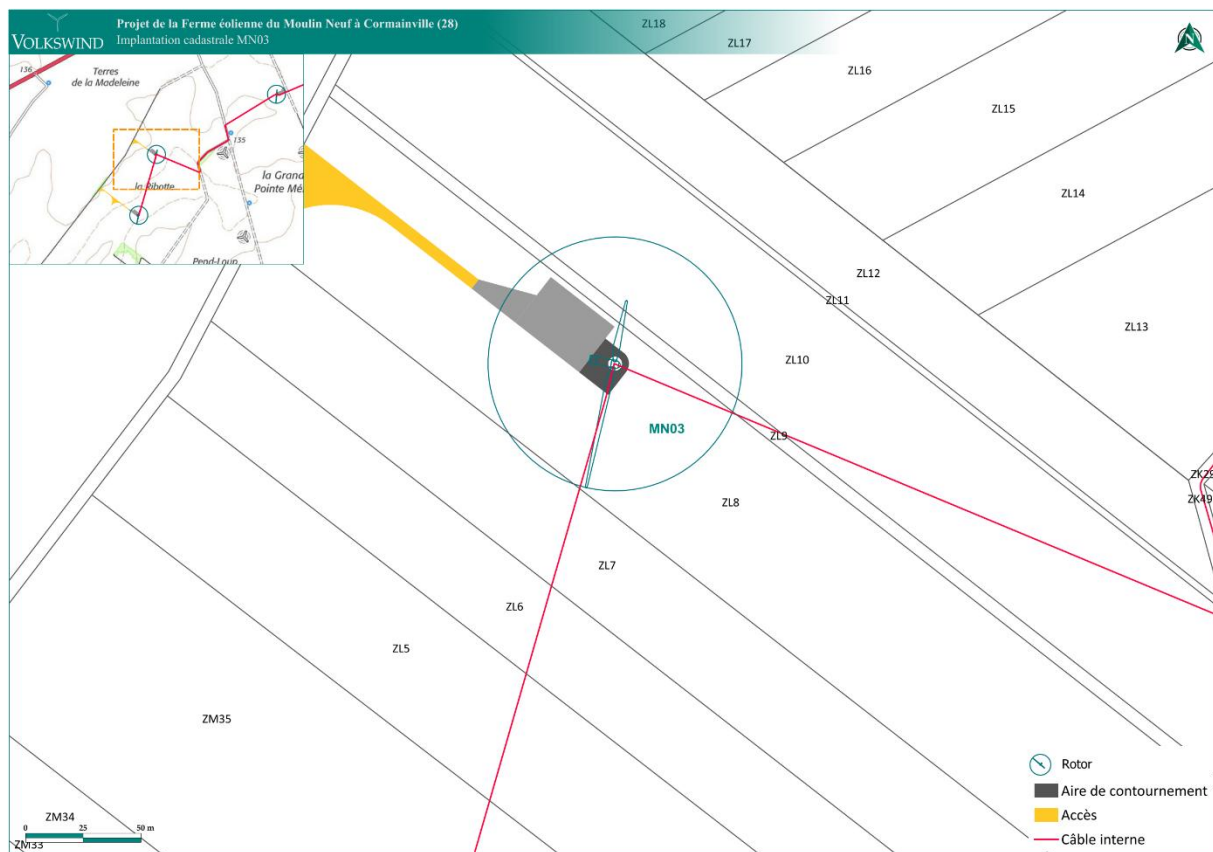
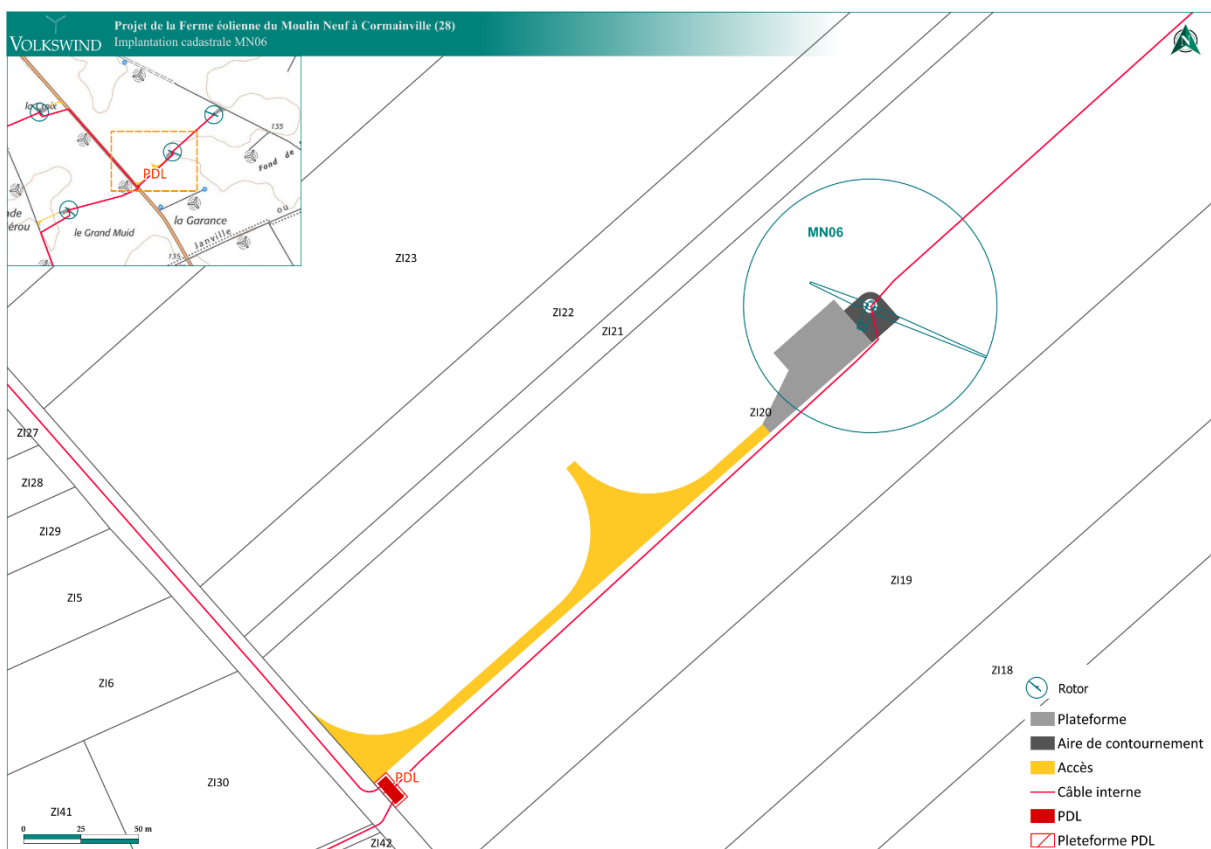
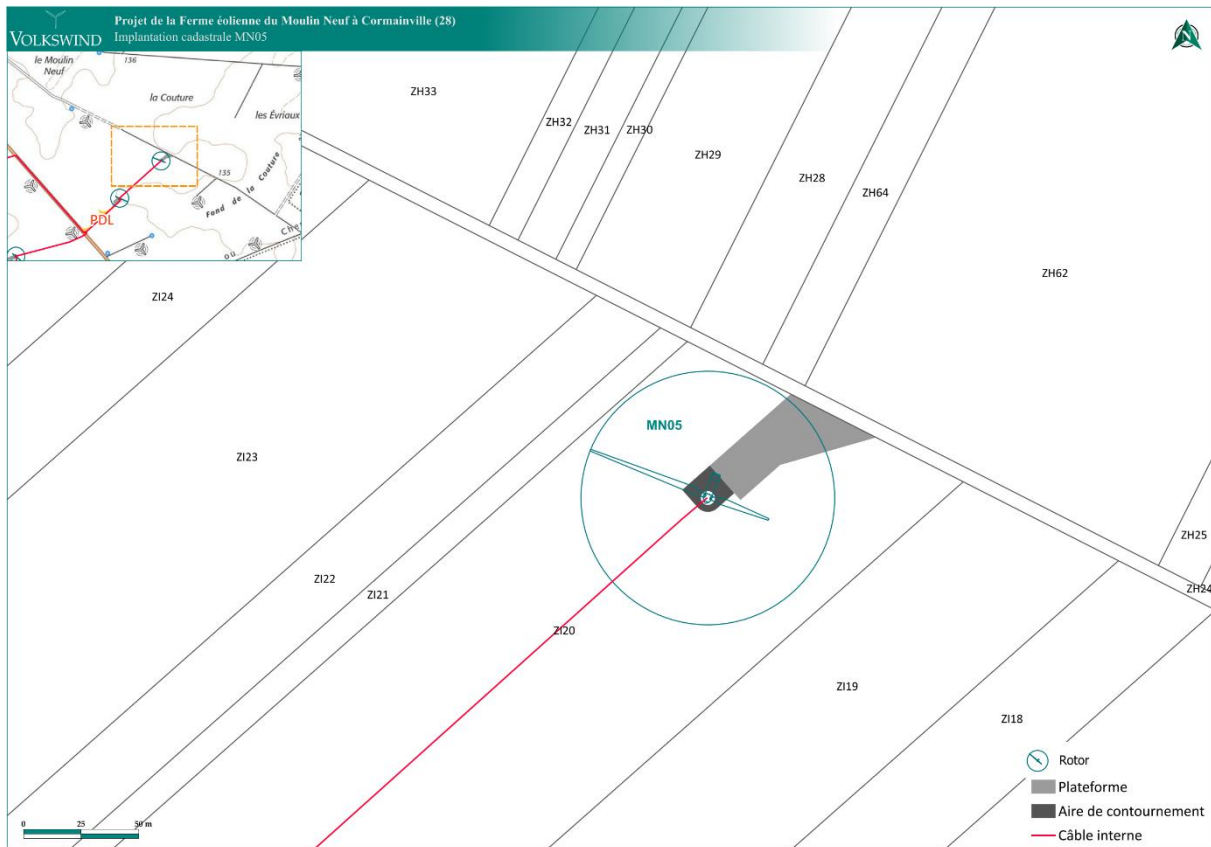
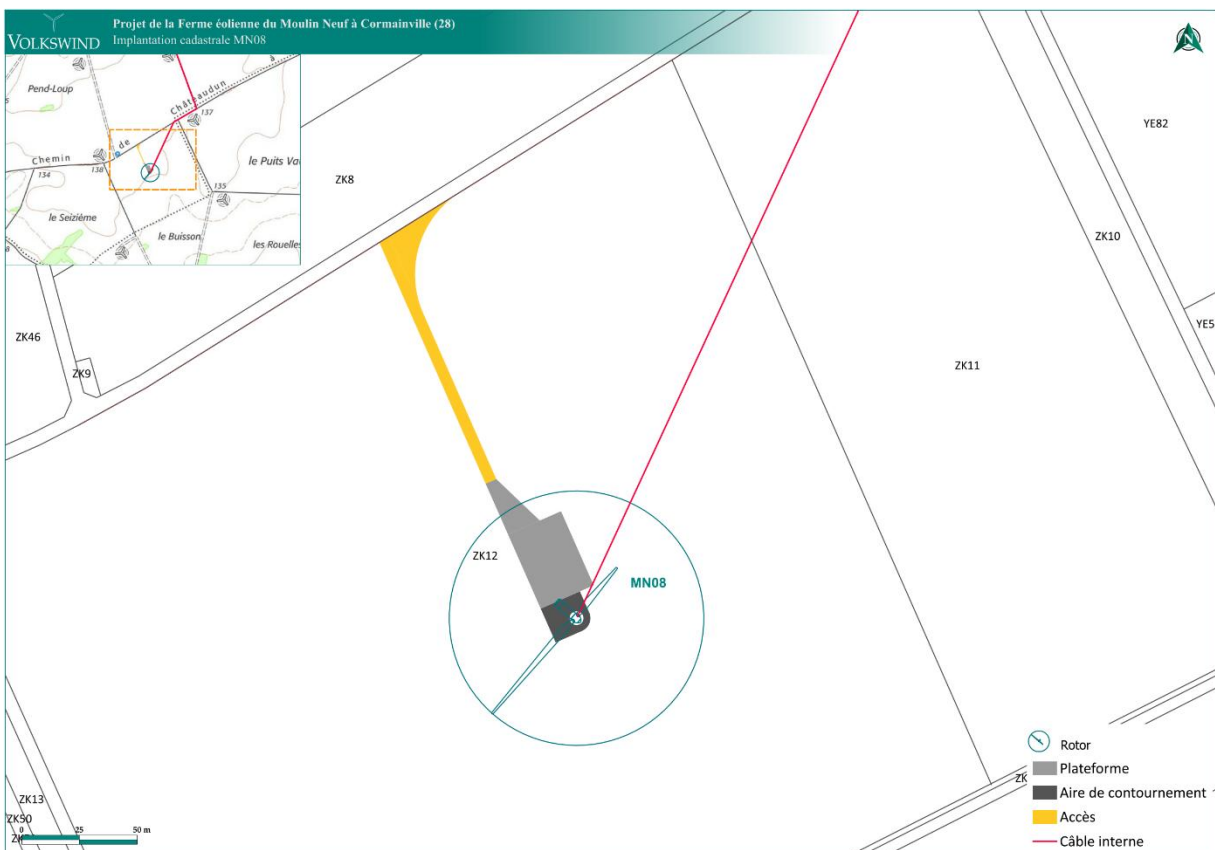
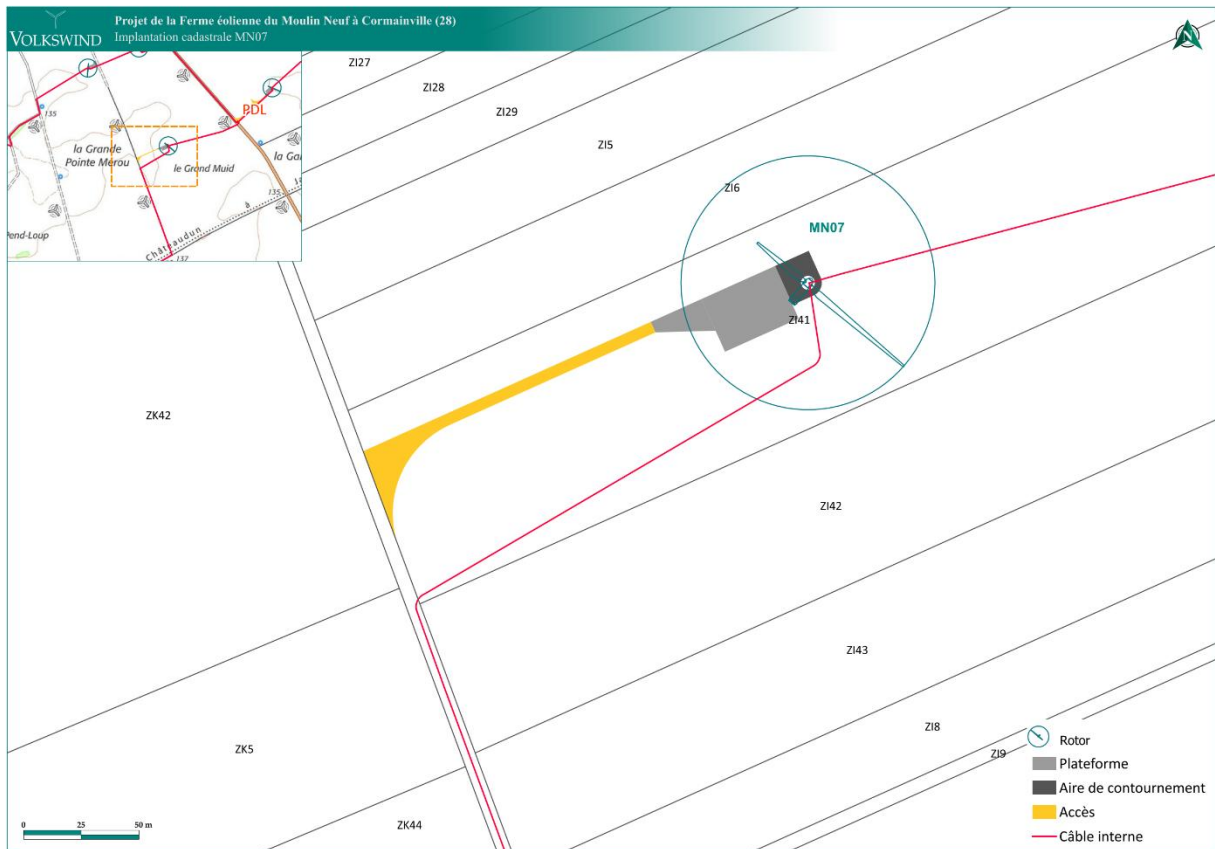


Figure 6 : Aires de montage et d'entretien des éoliennes









4.1.2.4. Les chemins d'accès

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

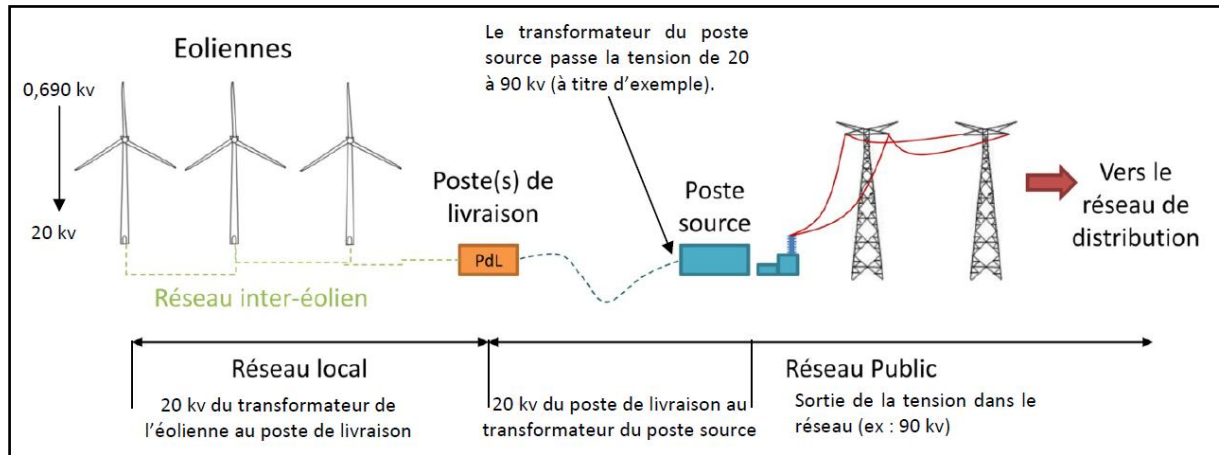
- ⤴ L'aménagement de ces accès concerne principalement les chemins agricoles existants ;
- ⤴ Si nécessaire, de nouveaux chemins seront créés sur les parcelles agricoles.

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

4.1.2.5. Les réseaux électriques

Figure 7 : Schéma de raccordement électrique d'un parc éolien



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

■ Réseau inter-éolien et téléphonique

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

Ce chapitre a pour but de présenter les caractéristiques électriques principales des ouvrages de raccordement entre les éoliennes jusqu'au poste de raccordement au réseau public de distribution.

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

■ Description des ouvrages électriques Haute Tension

Pour le projet éolien du Moulin Neuf, porté par « la Ferme éolienne du Moulin Neuf », il y aura 1 poste de livraison avec 2 points de connexion au réseau public.

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

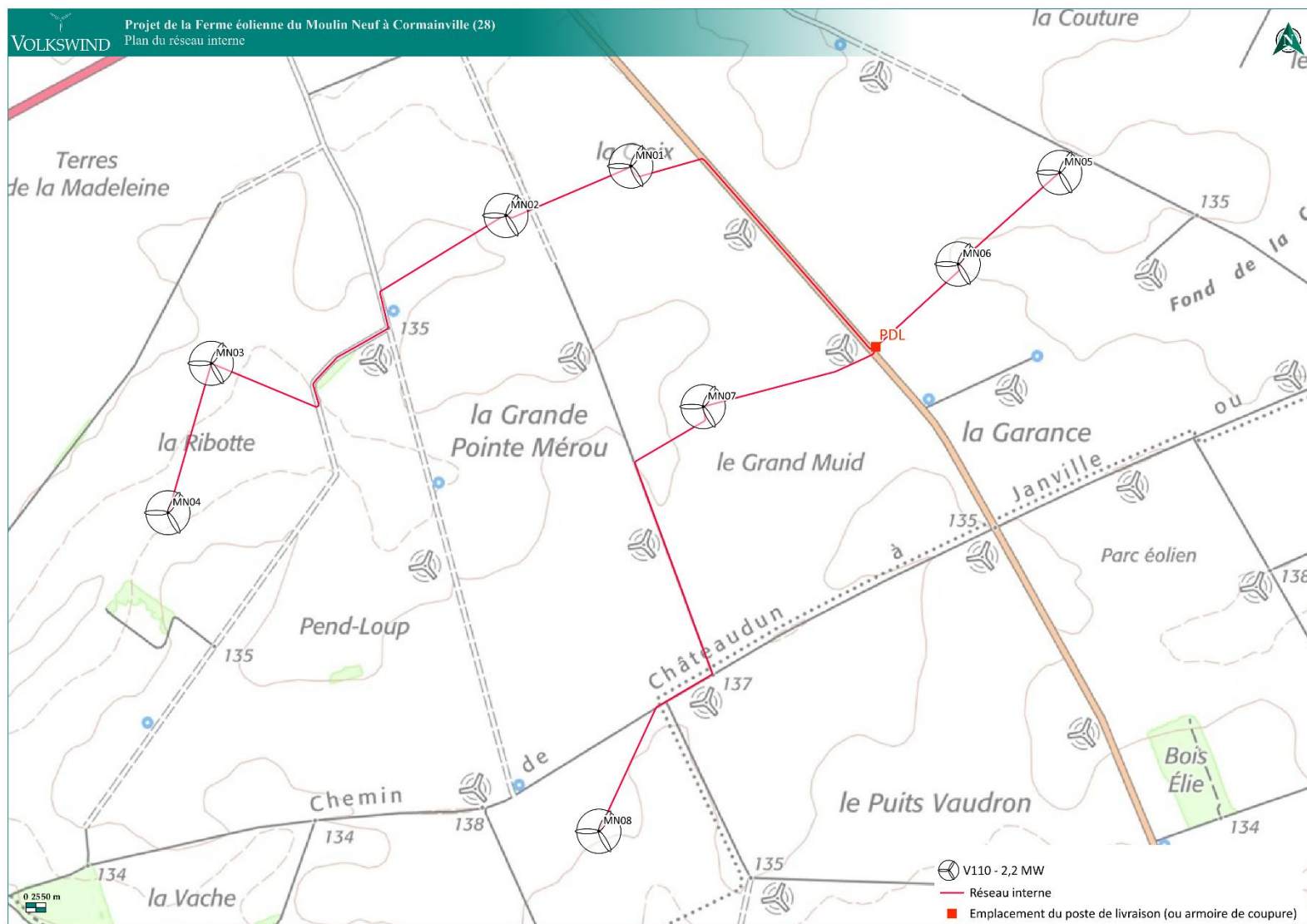
De plus, une attention particulière sera portée aux champs électromagnétiques émanant des réseaux électriques en courant alternatif (le champ électrique résultant ne doit pas excéder 5 kV/m et le champ magnétique, 100 μ T), et au bruit des équipements des postes de transformation et des lignes électriques, conformément aux articles 12 bis et 12 ter de l'arrêté du 17 Mai 2001.

■ Conformité et contrôle des ouvrages :

Le maître d'ouvrage s'engage à :

- ✎ Appliquer lors de la mise en service des ouvrages d'interconnexion électrique, un contrôle technique prévu à l'article R323-40 du code de l'énergie, conformément à l'arrêté d'application du 25 février 2019 (attestation de conformité, organisme technique certifié indépendant, comptes rendus des contrôles effectués) ;
- ✎ Respecter l'arrêté interministériel du 17 mai 2001, fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique, notamment pour la construction et l'exploitation de l'installation ;

Carte 23 : Localisation du poste de livraison et réseau interne du parc éolien



■ Tension réseau

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

■ Techniques utilisées

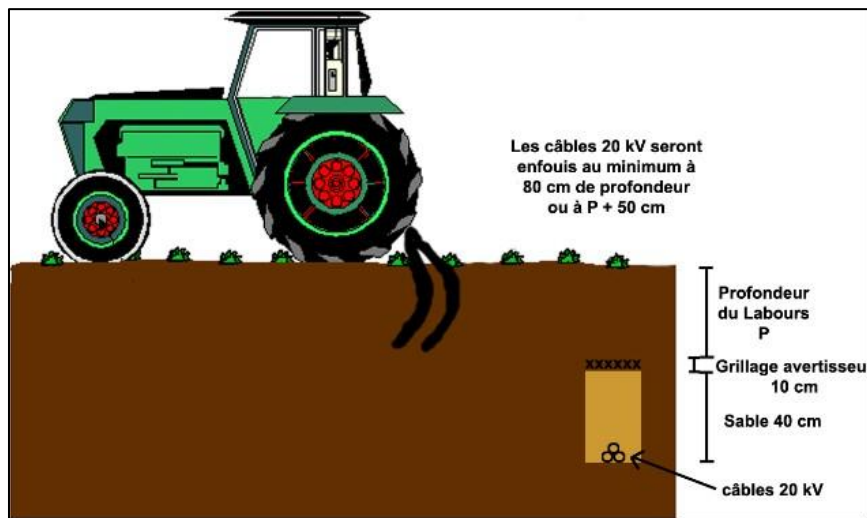
Cette partie vise à décrire la technique de pose retenue pour la réalisation des réseaux électriques HTA et du réseau de fibres optiques assurant la communication entre les éoliennes et les postes de livraisons :

- ⤴ Décapage des terres végétales sur une profondeur comprise entre 0,1 à 0,3m, et une largeur de 4 à 6m.
- ⤴ Ouverture de la tranchée (soit à la pelle mécanique soit à la trancheuse) :
 - Profondeur : 0,8 à 1,1m selon la nature du terrain.
 - Largeur de 0,28 m à 0,45m selon le nombre de câbles,
- ⤴ Déroulage des câbles sur un lit de sable (ou sans sable si le câble est renforcé),
- ⤴ Fermeture et remblai de la tranchée, puis compactage,
- ⤴ Remise des terres végétales ou finition de surface si sur chemin ou traversée de route.

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

Par la suite, ces ouvrages de réseaux d'électricité feront l'objet de contrôles techniques spécifiques afin de vérifier leur conformité aux prescriptions techniques qui leur sont applicables. Le contrôle de conformité sur pièces et sur place, par un organisme agréé, indépendant du maître d'ouvrage et du gestionnaire du réseau, en application de l'article R323-40 du code de l'énergie relatif aux ouvrages assimilables aux réseaux publics d'électricité. Les attestations de conformité délivrées seront à disposition des autorités compétentes.

Figure 8 : Exemple de tranchées sous champs labouré



■ Mise à la terre du parc

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

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

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

■ Nature des câbles

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

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

Section de câbles

La norme NF C13-200 définit la méthode de calcul des sections minimales de câbles applicable aux installations alimentées en courant alternatif sous une tension nominale supérieure à 1 000 V et inférieure ou égale à 245 kV, les

fréquences préférentielles étant 50 et 60 Hz. Ce document est applicable pour les installations de production d'énergie ainsi que les installations industrielles, tertiaires et agricoles.

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

■ Hypothèses de pose

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

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

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

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

■ Hypothèses de calcul

- ⌚ Tension de raccordement : 20 kV
- ⌚ Cos Phi = 0,95 pour les échauffements hors court-circuit
- ⌚ Intensité de court-circuit = 4,33kA (Pcc max < 150MVA au poste source)
- ⌚ Ame en aluminium
- ⌚ Isolant = Polyéthylène réticulé (PR)
- ⌚ Type de câble : Tripolaire
- ⌚ Puissance nominale utilisée pour les éoliennes : 2,2 MW.

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

Le schéma électrique unifilaire fourni en ANNEXE 8, présente la répartition électrique HTA entre le poste de livraison et les éoliennes. Il montre également le schéma des cellules HTA et des différents éléments électriques qui le composent.

Tableau 9 : Résumé des réseaux HTA à créer, par tronçon

Poste de livraison (ou armoire de coupure)		Tronçon	Longueur du câble (m)	Longueur de tranchée (m)*	Section du câble (mm ²)
Connexion 1		PDL-MN01	850	880	300
		MN01-MN02	370	400	150
		MN02-MN03	1070	1100	95
		MN03-MN04	420	450	95
Connexion 2	Liaison A	PDL-MN07	470	500	95
		MN07-MN08	1335	1365	95
	Liaison B	PDL-MN06	300	330	95
		MN06-MN05	393	423	95

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

■ Poste de livraison (ou armoire de coupure)

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

En cas de raccordement à un poste privé, le poste de livraison sera remplacé par une armoire de coupure. La limite de propriété entre la partie privée des réseaux et le réseau de distribution sera alors situé au niveau du poste source privé. Le rôle de l'armoire de coupure est d'assurer la protection du système électrique du parc dans les mêmes conditions citées ci-dessous.

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

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

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

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

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

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

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

La ferme éolienne du Moulin Neuf ne comporte qu'un seul poste de livraison (poste situé à proximité de la plateforme de l'éolienne MN06). Son impact est donc globalement limité à son emprise au sol de 60 m² (12 m x 5 m).

Carte 24 : Plan d'installation du poste de livraison

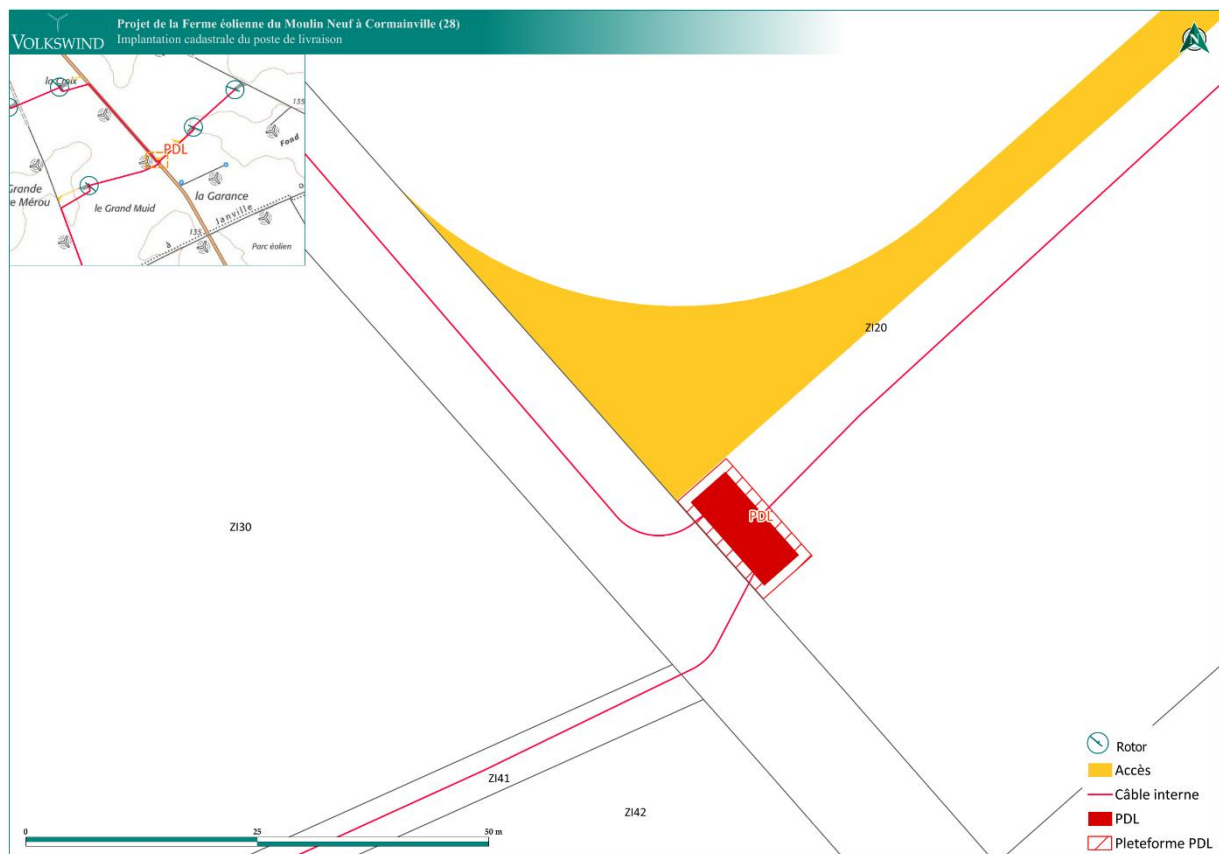
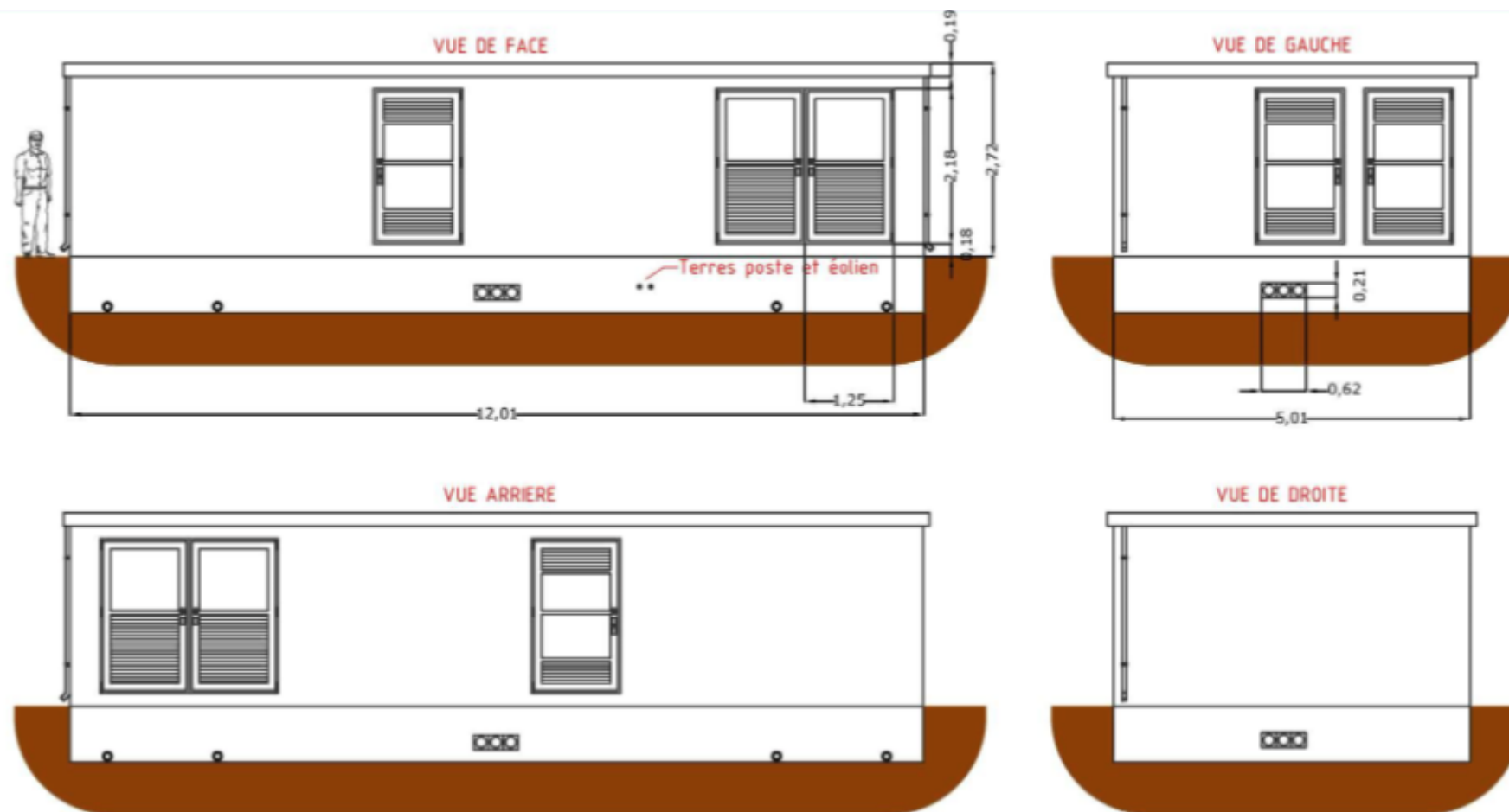


Figure 9 : Schéma d'un poste de livraison



■ Réseau électrique externe

Le réseau électrique externe relie le poste de livraison au poste source (réseau public de transport d'électricité). Ce réseau est réalisé par le GRD Gestionnaire du Réseau de Distribution (par exemple : Enedis) ; il est entièrement enterré.

4.1.2.6. Les dispositifs particuliers

■ Le balisage aéronautique :

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

L'arrêté du 23 avril 2018 (relatif à la réalisation du balisage des éoliennes situées en dehors des zones grevées de servitudes aéronautiques) modifié par l'arrêté du 29 mars 2022, fixe les exigences de réalisation du balisage des éoliennes qui constituent un obstacle à la navigation aérienne.

Le balisage lumineux d'obstacle :

- ✧ Sera installé sur toutes les éoliennes,
- ✧ Sera assuré de jour par des feux d'obstacle à éclats blancs, sur le sommet de la nacelle,
- ✧ Sera assuré de nuit par des feux d'obstacle à éclats rouges, sur le sommet de la nacelle,
- ✧ Assure la visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts (360°),
- ✧ Sera synchronisé de jour comme de nuit.

Figure 10 : Photographie d'un exemple de balisage aéronautique



■ Le balisage des prescriptions :

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

Les prescriptions figurant sur les panneaux sont :

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

Figure 11 : Exemple de panneau d'affichage des prescriptions



4.2. Fonctionnement de l'installation

4.2.1. Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur

Les principaux éléments constitutifs de l'aérogénérateur sont :

Tableau 10 : Principaux éléments constitutifs de l'éolienne Vestas V110 – 2,2 MW

Principaux Elément de l'installation	Fonction	Description
Fondation	<i>Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol.</i>	Le massif de fondation est composé de béton armé et conçu pour répondre aux prescriptions de l'Eurocode 2. Les fondations ont entre 2.5 et 5 mètres d'épaisseur pour un diamètre de l'ordre de 20 à 26 mètres (les dimensions précises seront définies une fois l'étude géotechnique réalisée pour chaque éolienne). Cette structure doit répondre aux calculs de dimensionnement des massifs qui prennent en compte les caractéristiques suivantes : - - Le type d'éolienne ; - La nature des sols ; - Les conditions météorologiques extrêmes ; - Les conditions de fatigue.
Mât	<i>Supporter la nacelle et le rotor.</i>	Le mât de l'éolienne est constitué de plusieurs sections tubulaires en acier, de plusieurs dizaines de millimètres d'épaisseur et de forme tronconique, qui sont assemblées entre elles par brides. Fixée par une bride aux tiges d'ancrage disposées dans le massif de fondation, la tour est autoportante. La hauteur de la tour, ainsi que ses autres dimensions, sont en relation avec le diamètre du rotor, la classe des vents, la topologie du site et la puissance recherchée. La tour permet le cheminement des câbles électriques de puissance et de contrôle et abrite : - une échelle d'accès à la nacelle ; - un monte-charge ; - une armoire de contrôle et des armoires de batteries d'accumulateurs (en point bas) ; - les cellules de protection électriques. Ici la hauteur du mât est de 85 m (au niveau du moyeu) et son diamètre de base est de 4,45 mètres.

Principaux Élément de l'installation	Fonction	Description
Nacelle	▪ Supporter le rotor ▪ Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice, etc.) ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité	La nacelle se situe au sommet de la tour et abrite les composants mécaniques, hydrauliques, électriques et électroniques, nécessaires au fonctionnement de l'éolienne (voir figure ci-après). Elle est constituée d'une structure métallique habillée de panneaux en fibre de verre et est équipée de fenêtres de toit permettant d'accéder à l'extérieur. Ses dimensions sont les suivantes : 5,44 m de hauteur (avec refroidisseur), 3,42 m de largeur (avec refroidisseur) et 10,44 m de longueur. La nacelle n'est pas fixée de façon rigide à la tour. La partie intermédiaire entre la tour et la nacelle constitue le système d'orientation, appelé « yaw system », permettant à la nacelle de s'orienter face au vent.
Rotor / pales	Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice	Les rotors Vestas sont composés de trois pales fixées au moyeu via des couronnes à deux rangées de billes et double contact radial. La rotation du rotor permet de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique de rotation. Elle est transmise à la génératrice via le multiplicateur. Les pales peuvent pivoter d'environ 90 degrés sur leur axe grâce à des vérins hydrauliques montés dans le moyeu. La position des pales est alors ajustée par un système d'inclinaison, appelé « Vestas Pitch System ». Ainsi, les variations de vitesse de vents sont constamment compensées par l'ajustement de l'angle d'inclinaison des pales. Le « Vestas Pitch System » est conçu pour optimiser au maximum la production de l'éolienne. Dans le cas où la vitesse de vent devient trop importante risquant d'amener une usure prématurée des divers composants ou de conduire à un emballement du rotor, le « Vestas Pitch System » ramène les pales dans une position où elles offrent le moins de prise au vent, dite « en drapeau », conduisant à l'arrêt du rotor (freinage aérodynamique). Ici le rotor est caractérisé par les données suivantes : - 110 m de diamètre de rotor, - 9503 m² de surface balayée, - plage de rotation opératoire : entre 9,3 et 16,6 tr/min.

Principaux Élément de l'installation	Fonction	Description
		Les pales sont caractérisées par les données suivantes : - 54 m de longueur de pale, - 8,3 tonnes de masse unitaire
Multiplicateur	<i>Multiplier la vitesse de rotation issue de l'arbre lent</i>	Le multiplicateur permet de multiplier la vitesse de rotation d'un facteur de l'ordre de 100 à 130 selon les modèles, de telle sorte que la vitesse de sortie (« arbre rapide ») est d'environ 1 500 tours par minute. Le multiplicateur est constitué d'un étage de train épicycloïdal et de deux arbres parallèles à roues dentées à dentures hélicoïdales. Sur l'arbre rapide du multiplicateur est monté un disque de frein, à commande hydraulique, utilisé pour l'arrêt de la turbine en cas d'urgence.
Générateur et transformateur	▪ <i>Produire de l'énergie électrique à partir d'énergie mécanique.</i> ▪ <i>Elever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau</i>	Les éoliennes sont équipées d'un système générateur/transformateur fonctionnant à vitesse variable (et donc à puissance mécanique fluctuante). Le générateur, de type asynchrone, convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. Il s'agit d'un générateur triphasé, du type quadripolaire à rotor bobiné avec alimentation électrique du stator au démarrage. Il délivre deux niveaux de tension différents (690 V et 480 V en courant alternatif) qui sont dirigés vers le transformateur qui élève la tension de 690 V à 20 000 V.
Poste de livraison (ou armoire de coupure)	<i>Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public.</i>	Les éoliennes d'un même champ éolien sont ensuite raccordées au réseau électrique de distribution (le GRD Gestionnaire de Réseau de Distribution ou régies) ou de transport (RTE) via un ou plusieurs postes de livraison. Ces postes font ainsi l'interface entre les installations et le réseau électrique. Chaque poste est équipé d'appareils de comptage d'énergie indiquant l'énergie soutirée au réseau mais également celle injectée. Il comporte aussi la protection générale dont le but est de protéger les éoliennes et le réseau inter-éolien en cas de défaut sur le réseau électrique amont. Les liaisons électriques entre éoliennes et poste de livraison (ou armoire de coupure) sont assurées par des câbles souterrains. Les dimensions du poste de livraison sont de 12 x 5m.

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

Les pales se mettent en mouvement lorsque l'anémomètre (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 10 km/h et c'est seulement à partir de 12 km/h que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor et l'arbre dit « lent » transmettent alors l'énergie mécanique à basse vitesse (entre 9,3 et 16,6 tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit « rapide » tourne environ 100 fois plus vite que l'arbre lent. Certaines éoliennes sont dépourvues de multiplicateur et la génératrice est entraînée directement par l'arbre « lent » lié au rotor. La génératrice transforme l'énergie mécanique captée par les pales en énergie électrique.

La puissance électrique produite varie en fonction de la vitesse de rotation du rotor. Dès que le vent atteint environ 45 km/h à hauteur de nacelle, l'éolienne fournit sa puissance maximale. Cette puissance est dite « nominale ».

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

Lorsque la mesure de vent, indiquée par l'anémomètre, atteint des vitesses de plus de 80 km/h, l'éolienne cesse de fonctionner pour des raisons de sécurité. Deux systèmes de freinage permettront d'assurer la sécurité de l'éolienne :

- ✧ Le premier par la mise en drapeau des pales, c'est-à-dire un freinage aérodynamique : les pales prennent alors une orientation parallèle au vent ;
- ✧ Le second par un frein mécanique sur l'arbre de transmission à l'intérieur de la nacelle.

4.2.2. Sécurité de l'installation

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

La description des différents systèmes de sécurité et de surveillance de l'installation sera effectuée au stade de l'analyse préliminaire des risques, dans la partie 7 « Analyse préliminaire des risques » de l'étude de dangers.

■ L'aérogénérateur :

Concernant la société VESTAS, elle stipule que :

- ✧ **La société VESTAS atteste de la conformité de ses aérogénérateurs à l'ensemble des dispositions contenues dans l'Arrêté du 26 août 2011, modifié par les arrêtés du 22 juin 2020 et du 10 décembre 2021, relatives à la sécurité de l'installation.**
- ✧ **La société VESTAS atteste du respect des principales normes applicables à l'installation d'aérogénérateurs :** La liste des codes et standards appliqués pour la construction des éoliennes Vestas,

présentée ci-après, n'est pas exhaustive (il y a en effet des centaines de standards applicables). Seuls les principaux standards sont présentés ci-dessous.

- L'aérogénérateur respecte la Directive Machine 2006/42/CE.
- La norme IEC61400-1 intitulée « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi, la nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard : IEC61400-1. Les pales respectent le standard IEC61400-1 ; 12 ; 23.
- La génératrice est construite suivant le standard IEC60034.
- La conception du multiplicateur répond aux règles fixées par la norme ISO81400-4.
- La protection foudre de l'éolienne répond au standard IEC61400-24 et aux standards non spécifiques aux éoliennes comme IEC62305-1, IEC62305-3 et IEC62305-4.
- Les éoliennes Vestas répondent aux réglementations qui concernent les ondes électromagnétiques, notamment la Directive 2004/108/EC du 15 décembre 2004.
- Les éoliennes Vestas sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air. Le traitement anticorrosion des éoliennes répond à la norme ISO 12944.

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

■ Le balisage :

Le balisage aéronautique :

L'arrêté du 23 avril 2018 (relatif à la réalisation du balisage des éoliennes situées en dehors des zones grevées de servitudes aéronautiques) modifié par l'arrêté du 29 mars 2022, fixe les exigences de réalisation du balisage des éoliennes qui constituent un obstacle à la navigation aérienne.

Le balisage lumineux d'obstacle :

- ✈ Sera installé sur toutes les éoliennes,
- ✈ Sera assuré de jour par des feux à éclats blancs,
- ✈ Sera assuré de nuit par des feux à éclats rouges,
- ✈ Assure la visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts (360°),
- ✈ Sera synchronisé de jour comme de nuit.

Le balisage des prescriptions :

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

Les prescriptions figurant sur les panneaux sont :

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

■ **La fondation :**

Les fondations répondent au standard IEC1400-1.

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

Les principaux Eurocodes utilisés pour le calcul des fondations sont :

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

4.2.3. Opérations de maintenance de l'installation

4.2.3.1. Mode d'exploitation

■ **Conduite du système**

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

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

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

Par contre, en cas d'arrêts liés à des déclenchements de capteurs de sécurité (déclenchement VOG, déclenchement détecteur d'arc ou d'incendie, pression basse huile, ...), une intervention humaine sur l'éolienne est nécessaire pour examiner l'origine du défaut et acquitter l'alarme avant de pouvoir relancer un démarrage.

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

Afin d'assurer la sécurité des équipes intervenantes, un dispositif de prise de commande locale de l'éolienne est disposé en partie basse de la tour. Ainsi, lors des interventions sur l'éolienne, les opérateurs basculent ce dispositif sur « commande locale » ce qui interdit toute action pilotée à distance.

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

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

■ Formation des personnels

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

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

4.2.3.2. Modalités de maintenance

■ Entretien préventif du matériel :

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

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

Tableau 11 : Opérations d'entretien et de contrôle du matériel

Inspection après 3 mois de fonctionnement	Composants	Opérations
	Etat général	Vérification de la propreté de l'intérieur de l'éolienne Vérification qu'aucun matériau combustible ou inflammable n'est entreposé dans l'éolienne (tous les 6 mois, d'après l'arrêté du 26 août 2011)
	Moyeu	Inspection visuelle du moyeu Vérification des boulons entre le moyeu et les supports de pale* Vérification des boulons maintenant la coque du moyeu
	Pales	Vérification des roulements et du jeu Vérification des joints d'étanchéité Inspection visuelle des pales, de l'extérieur et de l'intérieur (tous les 6 mois) Vérification des boulons de chaque pale* Vérification des bruits anormaux Vérification des bandes paratonnerres
	Système de transfert de courant foudre Moyeu / nacelle	Vérification des boulons et de l'absence d'impacts de foudre.
	Arbre principal	Vérification des boulons fixant l'arbre principal et le moyeu* Inspection visuelle des joints d'étanchéité Vérification des bruits anormaux et des vibrations Vérification du fonctionnement du système de lubrification Vérification des dommages au niveau des boulons de blocage du rotor
	Système d'orientation de la nacelle (Yaw system)	Vérification des boulons fixant le haut du palier d'orientation et la tour* Vérification des bruits anormaux Vérification du système de lubrification
	Tour	Vérification de l'état du béton à l'intérieur et à l'extérieur de la tour* Vérification des boulons entre la partie fondation et la tour, entre les sections de la tour et sur l'échelle* Vérification des brides et des cordons de soudure Vérification des plateformes Vérification du câble principal
	Bras de couple	Vérification boulons Vérification et serrage de la connexion à la terre
	Système d'inclinaison des	Vérification des boulons du cylindre principal et du bras de manivelle

pales (Vestas Pitch System)	Vérification des boulons de l'arbre terminal et des roulements
Multiplicateur	Changement d'huile et nettoyage du multiplicateur si nécessaire Vérification du niveau sonore lors du fonctionnement du multiplicateur Vérification des joints, de l'absence de fuite, etc... Vérification d'absence de fuites au niveau des points de lubrification Vérification des capteurs de débris
Huile du multiplicateur	Vérification du niveau d'huile Vérification des composants du bloc hydraulique et des pompes
Système de freinage	Vérification des étriers, des disques et des plaquettes de freins Inspection des entrées et des sorties de tuyaux
Générateur	Vérification des câbles électriques dans le générateur Vérification des fuites de liquides de refroidissement et de graisse Lubrification des roulements
Système de refroidissement par eau	Vérification du fonctionnement des pompes à eau Vérifications des tubes et des tuyaux Vérification du niveau de liquide de refroidissement
Vestas Cooler Top™	Vérification boulons
Système hydraulique	Vérification d'absence de fuites dans la nacelle, l'arbre principal et les pompes
Onduleur	Vérification du fonctionnement de l'onduleur.
Capteur de vent et balisage aérien	Vérification du bon fonctionnement du balisage aérien et inspection visuelle du capteur de vitesse de vent.
Nacelle	Vérification boulons Vérification d'absence de fissures autour des raccords Vérification des points d'ancrage et des fissures autour de ceux-ci
Extérieur	Vérification de la protection de surface Nettoyage des têtes de boulons et d'écrous, des raccords, etc.
Transformateur	Inspection mécanique et électrique du transformateur
Sécurité générale	Inspection des câbles électriques Inspection du système de mise à la terre

**Ces vérifications sont effectuées au bout de trois mois, puis d'un an de fonctionnement, puis tous les trois ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020.*

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

Les opérations de maintenance supplémentaires sont présentées ci-après.

	Composants	Opérations
Inspection après chaque année de fonctionnement	Moyeu	Vérification de l'état de la fibre de verre Vérification des joints d'étanchéité Vérification de la fonctionnalité des trappes d'accès et de leurs verrous
	Pales	Vérification des tubes de graissage et du bloc de distribution de graisse Vérification du niveau de graisse dans les collecteurs de graisse et remplacement s'ils sont pleins Remplissage du distributeur de graisse
	Système de transfert de courant foudre Moyeu / nacelle	Vérification du câble connectant les bandes anti-foudre Vérification des amortisseurs d'usure Vérification des bandes anti-foudre
	Système d'inclinaison des pales (Vestas Pitch System)	Vérification du bon fonctionnement du système d'inclinaison des pales Vérification de la pression des accumulateurs Vérification de la tension des fixations des accumulateurs Vérification des boulons Vérification des pistons des vérins hydrauliques
	Arbre principal	Vérification et lubrification des roulements principaux tous les 5 ans Vérification de l'ajustement des capteurs RPM Lubrification des boulons de blocage du rotor
	Bras de couple	Vérification des boulons entre le bras de couple et le bâti tous les 4 ans
	Multiplicateur	Vérification et remplacement (si nécessaire) des filtres à air Remplacement des filtres à air tous les 10 ans Remplacement du système de détection de particules tous les 10 ans Vérification des flexibles de drainage. Remplacement si nécessaire. Remplacement des flexibles de drainage tous les 10 ans Remplacement des tuyaux tous les 7 ans Inspection des boulons du système d'accouplement entre le multiplicateur et l'arbre principal tous les 4 ans Extraction d'un échantillon d'huile pour analyse
	Système de freinage	Vérification du câblage des capteurs d'usure et de chaleur Remplacement des plaquettes de freins tous les 7 ans

	Générateur	Vérification du bruit des roulements Vérification du système de graissage automatique Vérification du système de refroidissement
	Système de refroidissement par eau	Remplacement du liquide de refroidissement tous les 5 ans
	Système hydraulique	Vérification des niveaux d'huile et remplacement si nécessaire Extraction d'un échantillon d'huile pour analyse Changement d'huile selon les rapports d'analyse Remplacement des filtres (tous les ans, tous les 2 ans ou tous les 4 ans, selon le filtre) Remplacement des filtres (tous les ans, tous les 2 ans ou tous les 4 ans, selon le filtre) Contrôle des flux et de la pression Vérification de la pression dans le système de frein
	Vestas Cooler Top™	Inspection visuelle du Vestas Cooler Top™ et des systèmes parafoudres
	Onduleur	Vérification du bon fonctionnement de l'onduleur Remplacement des différents filtres des ventilateurs Remplacement des différents ventilateurs tous les 5 ans Remplacement de la batterie tous les 5 ans
	Capteur de vent et balisage aérien	Inspection visuelle du capteur de vitesse de vent et du bon fonctionnement du balisage.
	Nacelle	Changement des filtres à air Changement des batteries des processeurs
	Tour	Changement des filtres de ventilation contaminés Maintenance de l'élévateur de personnes
	Système de détection d'arc électrique	Test du capteur de détection d'arc électrique du jeu de barres et dans la salle du transformateur
	Système d'orientation nacelle (Yaw System)	Lubrification de la Couronne d'orientation Vérification du niveau d'huile des motoréducteurs, et remplissage si besoin Changement de l'huile des motoréducteurs tous les 10 ans Vérification et ajustement du couple de freinage
	Armoire de contrôle en pied de tour	Test des batteries Remplacement des batteries de secours tous les 5 ans Remplacement des radiateurs en cas de défaillance
	Sécurité générale	Test des boutons d'arrêt d'urgence

	Test d'arrêt en cas de survitesse Vérification des équipements de sauvetage Vérification de la date d'inspection des extincteurs Test des détecteurs de fumée (si installés) Vérification du système antichute
--	---

■ Contrôles réglementaires périodiques

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

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

■ Maintenance curative

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

4.2.4. Stockage et flux de produits dangereux

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

4.2.5. Procédure en cas d'incident

■ Capteurs :

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

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

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

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

■ La télésurveillance : système SCADA

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

■ Centre Monitoring

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

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

■ VOLKSWIND Opération & Maintenance

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

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

Le personnel, basé en France et en Allemagne, est en mesure de se connecter en permanence au SCADA des parcs éoliens et réalise la surveillance à distance en redondance avec les constructeurs.

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

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

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

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

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

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

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

- ⤴ Numéro du centre de conduite du GRD Gestionnaire de Réseau de Distribution -> couper l'alimentation du Poste de Livraison à distance.

En accord avec le SDIS, des consignes types sont indiquées sur site permettant d'identifier clairement les éléments d'information à donner aux secours lors d'un appel d'urgence, via le **numéro 18** (type d'incidence, accident avec personne ou non, incendie, etc.). Ainsi le SDIS sera en mesure de mobiliser les moyens adéquates : pompiers, GRIMP, évacuation en hélicoptère ou tout simplement mise en sécurité du périmètre s'il n'y a pas de possibilité /nécessité d'intervenir dans les éoliennes. Le SDIS le plus proche du projet de la Ferme éolienne du Moulin Neuf est le Centre de Secours d'Orgères-en-Beauce, situé Rue de l'Arsenal à Orgères-en-Beauce. Le temps de parcours entre l'éolienne la plus éloignée et le centre de secours est estimé à 10 minutes.

■ Procédure d'urgence

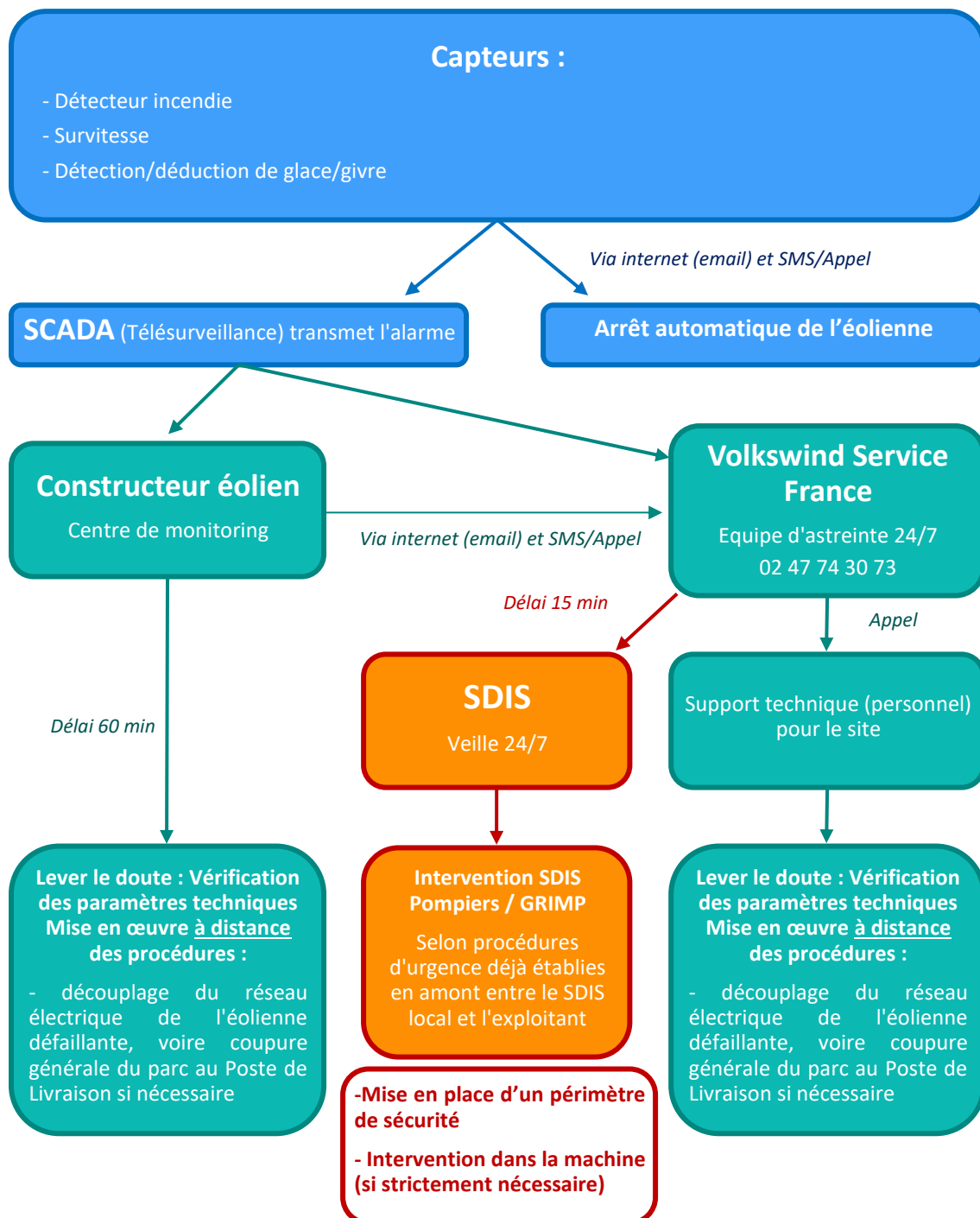
C'est un document rédigé par le SDIS, en collaboration avec l'exploitant au moment de la mise en service du site, comportant les recommandations d'intervention en fonction du type d'incident. Il s'agit d'un document propre à chaque SDIS.

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

■ Rapport d'incident ou d'accident

Conformément à l'article R512-69 du code de l'environnement, les exploitants sont tenus de déclarer à l'inspection des installations classées dans les plus brefs délais tout accident ou incident survenu au cours de l'exploitation et de nature à porter atteinte aux intérêts mentionnés à l'article L.511-1 du code de l'environnement. Un rapport d'accident voire, sur demande de l'inspection des installations classées, un rapport d'incident, sous la forme d'une fiche de notification spécifique (BARPI), doit être transmis par l'exploitant au préfet et à l'inspection des installations classées. Ce rapport doit comprendre à minima les causes, les effets et conséquences sur les personnes et l'environnement et les mesures prises ou envisagées pour éviter un accident similaire et pallier les effets à moyen ou long terme.

Figure 12 : Procédure en cas d'incident



4.3. Fonctionnement des réseaux de l'installation

4.3.1. Raccordement électrique

Le réseau électrique est décrit précédemment dans la partie 4.1.2.5.

4.3.2. Autres réseaux

La Ferme Eolienne du Moulin Neuf ne comporte aucun réseau d'alimentation en eau potable ni aucun réseau d'assainissement. De même, les éoliennes ne sont reliées à aucun réseau de gaz.

5. Identification des potentiels de dangers de l'installation

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

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

5.1. Potentiels de dangers liés aux produits

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

Les produits identifiés dans le cadre du parc éolien du Moulin Neuf sont utilisés pour le bon fonctionnement des éoliennes, leur maintenance et leur entretien :

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

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

5.1.1. Inventaire des produits

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

- ✚ L'huile hydraulique du circuit haute pression (huile Texaco Rando WM 32) dont la quantité présente est de l'ordre de 250 litres.
- ✚ L'huile de lubrification du multiplicateur (huile Mobil Gear SHCXP) : 1 170 litres.
- ✚ L'eau glycolée (mélange d'eau et d'éthylène glycol), utilisée comme liquide de refroidissement, dont le volume total de la boucle est de 400 litres) ;
- ✚ Les graisses pour les roulements et systèmes d'entraînements ;
- ✚ L'hexafluorure de soufre (SF₆), qui est le gaz utilisé comme milieu isolant pour les cellules de protection électrique. La quantité présente varie entre 1.5 kg et 2.15 kg suivant le nombre de caissons composant la cellule.

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

5.1.2. Dangers des produits

■ Inflammabilité et comportement vis à vis de l'incendie

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

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

Le SF₆ est pour sa part ininflammable.

■ Toxicité pour l'homme

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

■ Dangerosité pour l'environnement

Vis-à-vis de l'environnement, le SF₆ possède un potentiel de réchauffement global (gaz à effet de serre) très important, mais les quantités présentes sont très limitées (seulement 1 à 2 kg de gaz dans les cellules de protection).

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

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

5.2. Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien du Moulin Neuf sont de cinq types :

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

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

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

5.3. Réduction des potentiels de dangers à la source

5.3.1. Principales actions préventives

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.

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

■ Les habitations :

La distance minimale réglementaire est de 500 m. L'habitation la plus proche dans le cadre de ce projet se situe en dehors du périmètre d'étude à 787 m de l'éolienne MN02 localisé au niveau du bourg de Cormainville.

■ Les voies de communications :

La distance minimale requise par le Conseil Départemental d'Eure et Loir vis-à-vis du réseau départemental est égale à une hauteur d'éolienne soit dans le cas présent : 140 m. Le parc respecte cette recommandation.

■ Choix de l'éolienne V110-2,2 MW :

Ces éoliennes de dernière génération présentent toutes les caractéristiques intrinsèques indispensables au respect de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par les arrêtés du 22 juin 2020 et du 10 décembre 2021.

Ces éoliennes permettent de couvrir une plage plus importante de vent du fait de son rotor imposant de 110 m de diamètre. Grâce à leurs tailles, il capte plus facilement le vent même dans les petites vitesses, comparé à un rotor de diamètre inférieur. Cela optimise la production et permet de produire davantage d'électricité à partir d'une même quantité de vent.

Le mât de 85 m quant à lui, permet de positionner le l'axe de rotation du rotor à une hauteur telle que les irrégularités du sol n'ont plus d'influence sur la force et la constance du vent.

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

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

5.3.2. Réduction des potentiels de dangers liés aux produits

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

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

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

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

Le SF₆ est un très bon isolant et ne dispose pas à ce jour de produit de substitution présentant des qualités équivalentes. De plus, malgré son caractère de gaz à effet de serre, il ne présente pas de danger pour l'homme (inflammable et non toxique). Il n'est donc pas prévu de solution de substitution. Il faut rappeler que ce gaz est contenu dans les cellules d'isolement disposées en pied d'éolienne (cellules étanches) qui sont des matériels du commerce.

5.3.3. Utilisation des meilleures techniques disponibles

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

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

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

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

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

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

6. Analyse des retours d'expérience

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

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

6.1. Inventaire des accidents et incidents en France

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

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

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

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

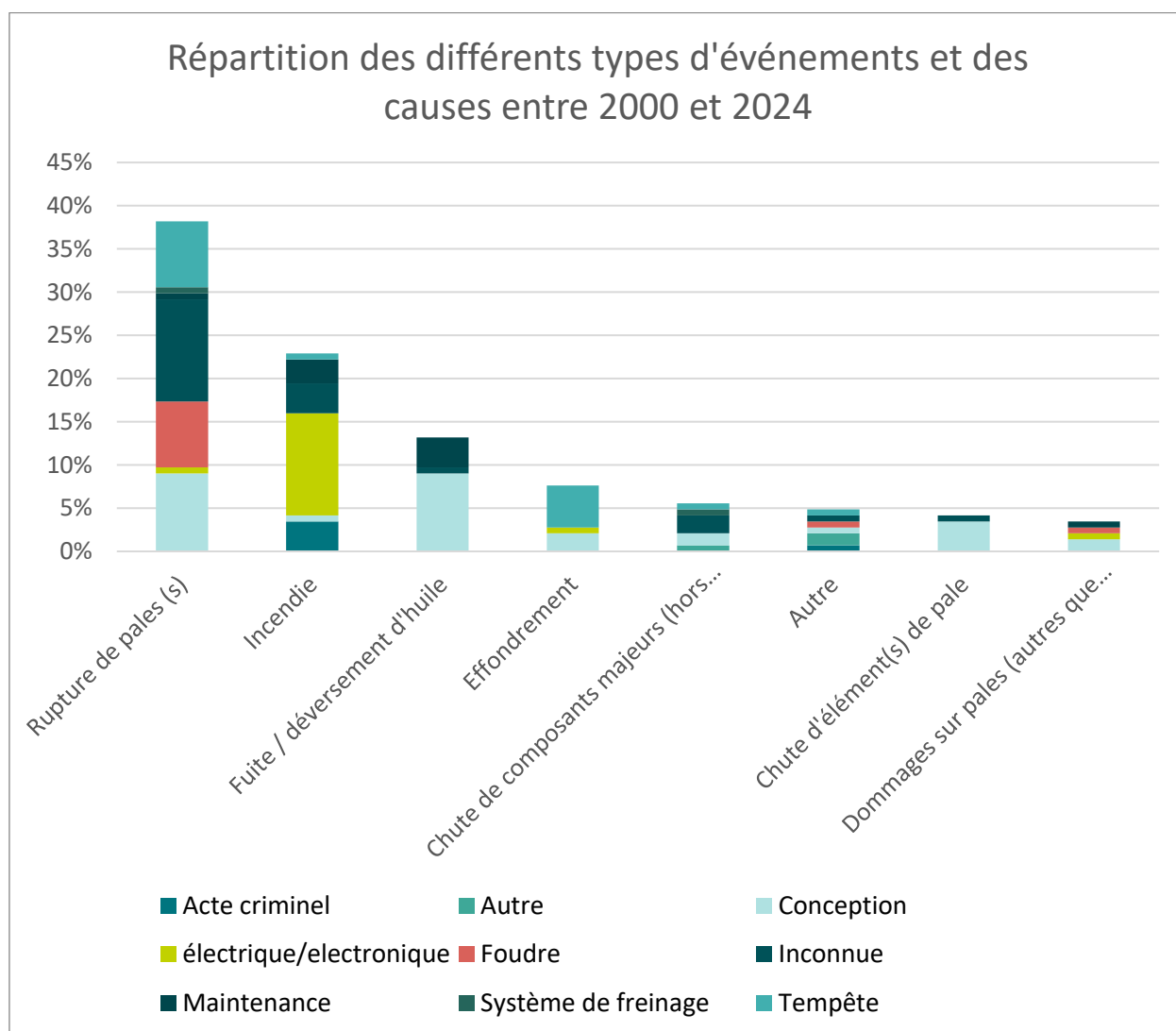
Dans l'état actuel, la base de données apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis l'année 2000. L'ensemble de ces sources permet d'arriver à un inventaire aussi complet que possible des incidents survenus en France. Un total de 144 incidents ou accidents (hors accidents du travail et presque incidents) est recensé entre 2000 et fin 2024.

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

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et le premier semestre 2019. Cette synthèse exclut les accidents du travail (maintenance, chantier de construction, etc.) et les événements qui n'ont pas conduits à des effets sur les zones autour des aérogénérateurs. L'identification des causes est nécessairement réductrice. Dans ce graphique sont présentées :

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

Figure 13 : Répartition des événements accidentels en France



Par ordre d'importance, les accidents les plus recensés sont les ruptures de pale, les incendies, fuites/déversement d'huile, les effondrements, les chutes de pale et les chutes d'éléments de pales. La principale cause de ces accidents est liée à la conception des machines, régulièrement mise en cause en cas de tempête.

Figure 14 : Répartition des causes des incendies en France

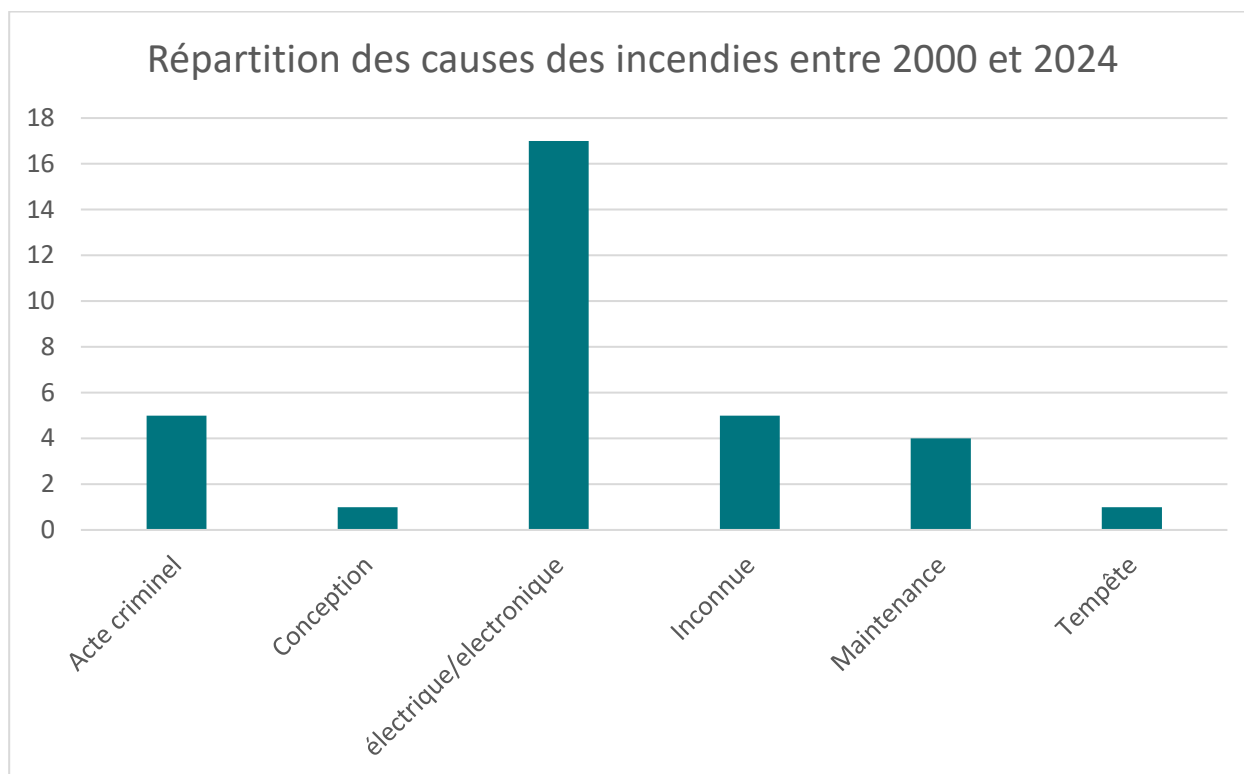


Figure 15 : Répartition des causes d'effondrement en France

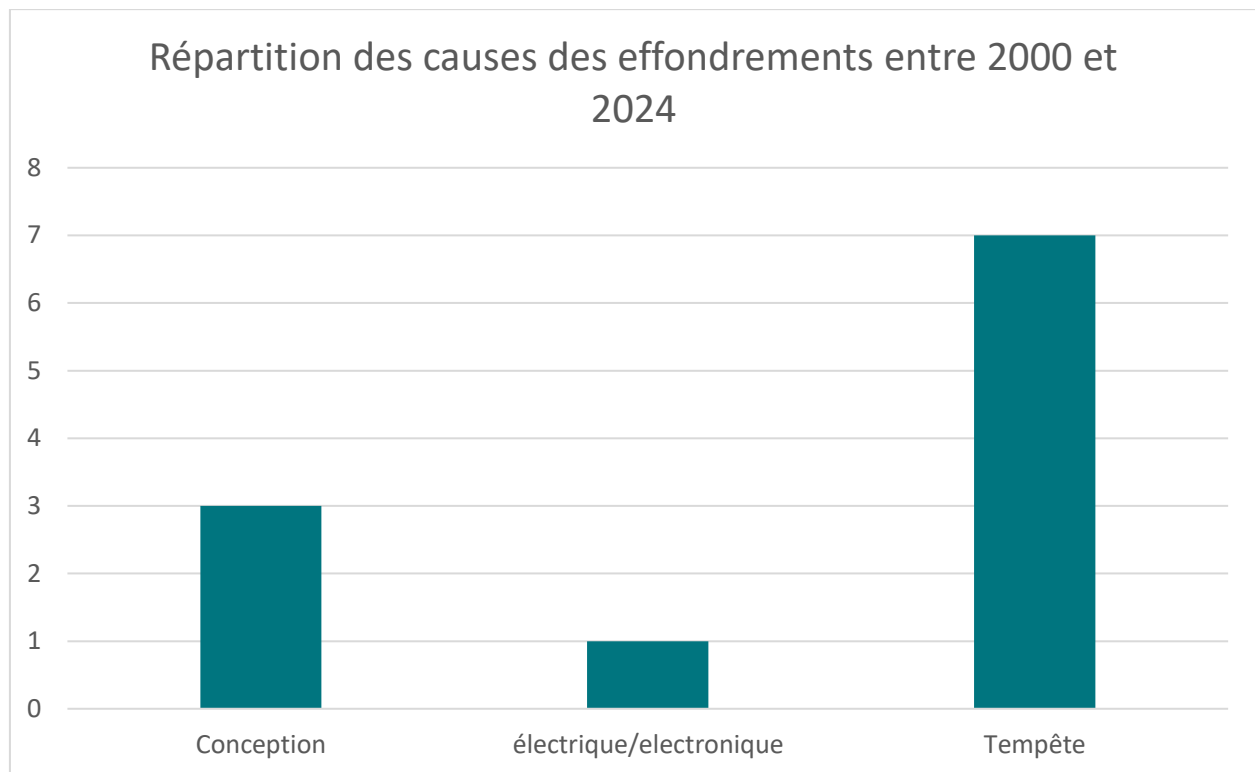
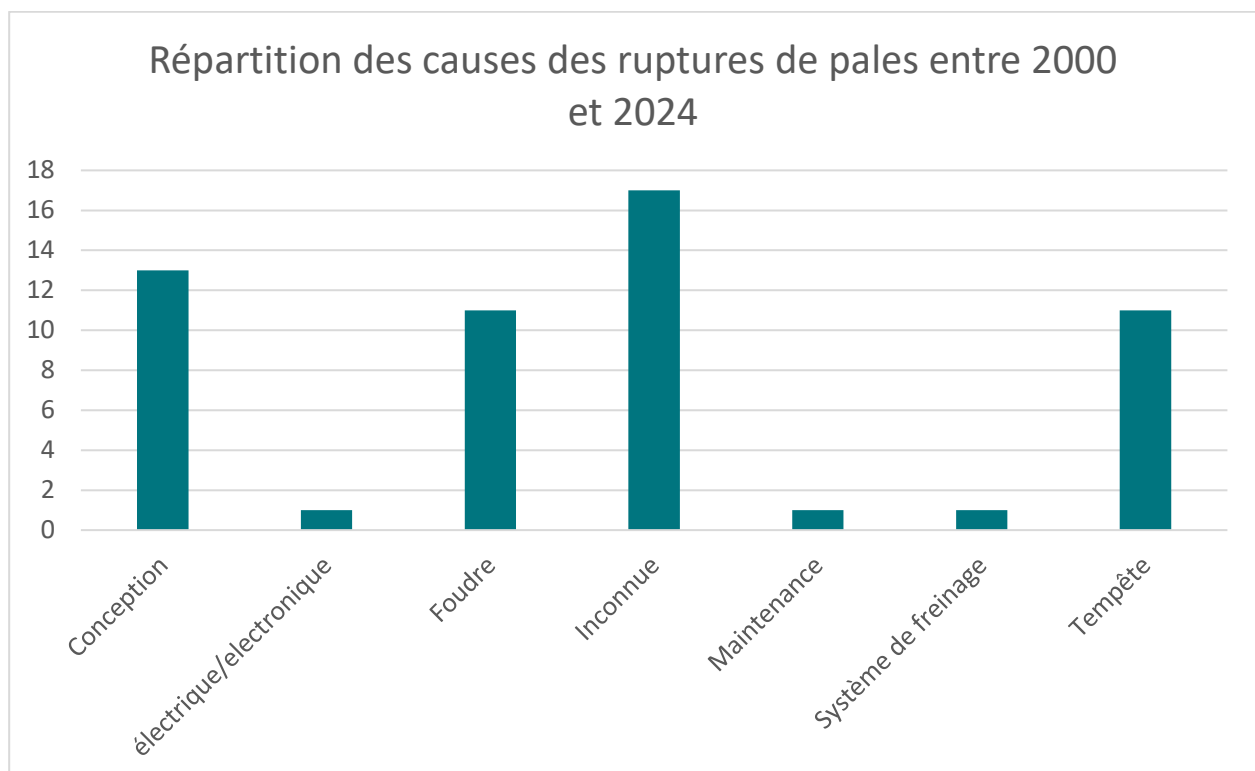


Figure 16 : Répartition des causes de ruptures de pales en France



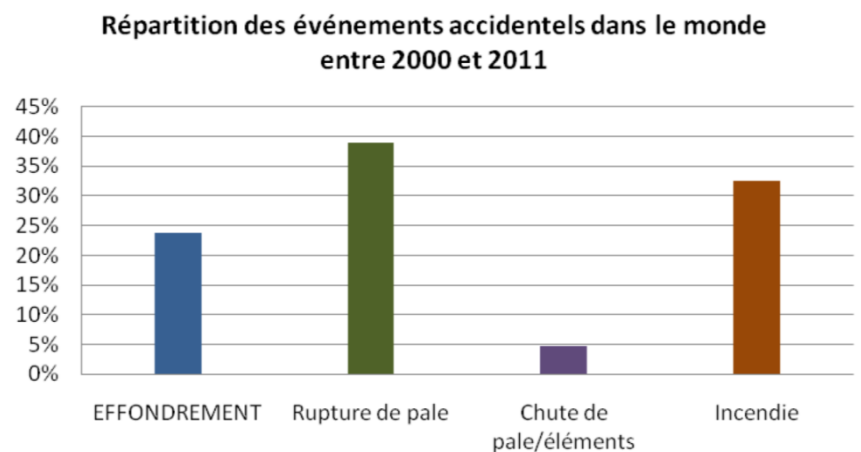
6.2. Inventaire des accidents et incidents à l'international

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

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

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

Figure 17 : Répartition des événements accidentels dans le monde



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

Figure 18 : Répartition des causes premières d'effondrement

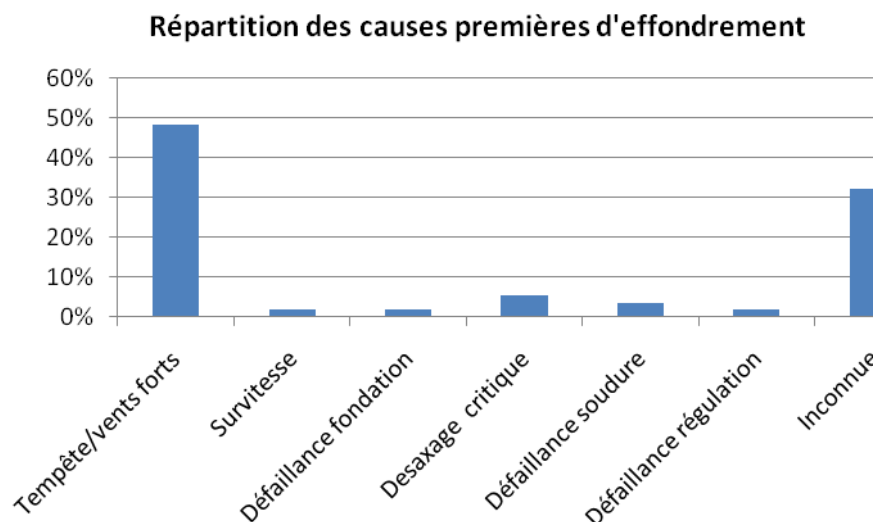


Figure 19 : Répartition des causes premières de rupture de pale

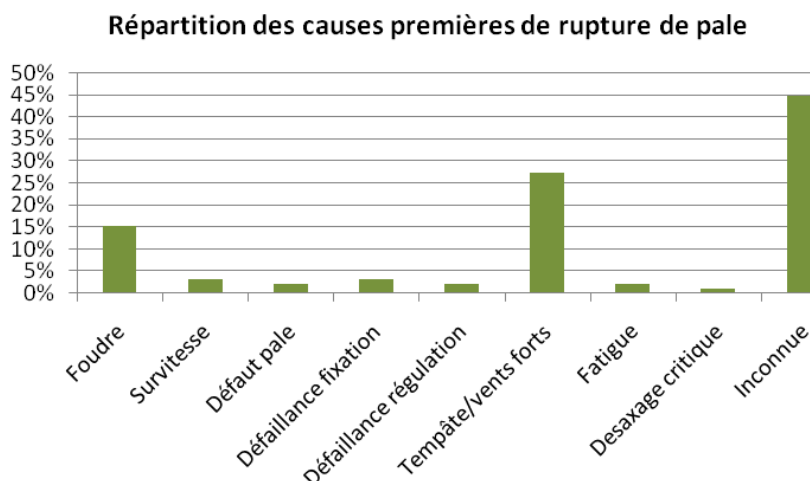
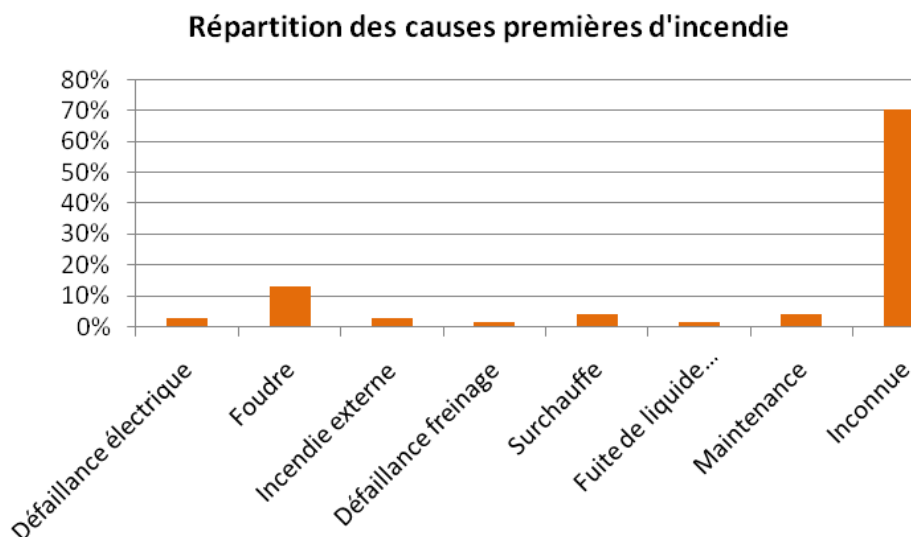


Figure 20 : Répartition des causes premières d'incendie



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

6.3. Inventaire des accidents majeurs survenus sur les sites de l'exploitant

Le groupe VOLKSWIND n'a connu qu'un seul accident sur l'ensemble des parcs qu'il exploite depuis 2001. Il s'agit d'un incident survenu sur l'une des éoliennes du parc éolien de Périgné (79), dont une pale s'est cassée en raison d'un impact de foudre en février 2020. L'éolienne a été arrêtée afin de déposer la pale au sol et procéder à sa réparation.

6.4. Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience

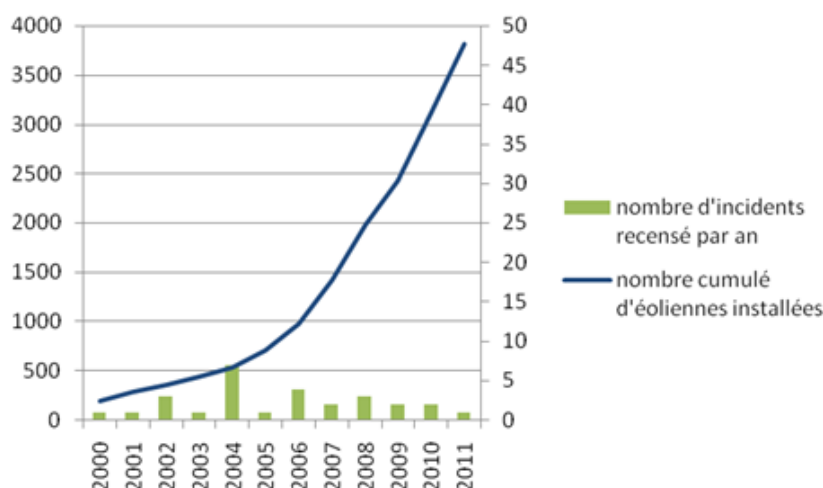
6.4.1. Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

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

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

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

Figure 21 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et du nombre d'éoliennes installées



6.4.2. Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

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

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

6.5. Limites d'utilisation de l'accidentologie

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

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

- ✎ Les importantes incertitudes sur les causes et sur la séquence qui a mené à un accident : de nombreuses informations sont manquantes ou incertaines sur la séquence exacte des accidents ;

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

7. Analyse préliminaire des risques

7.1. Objectif de l'analyse préliminaire des risques

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

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

7.2. Recensement des événements 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.

7.3.1. Agressions externes liées aux activités humaines

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

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

Tableau 13 : Agressions externes liées aux activités humaines

Infrastructure	Fonction	Événement redouté	Danger potentiel	Distance par rapport au mât des éoliennes (m)							
				MN01	MN02	MN03	MN04	MN05	MN06	MN07	MN08
Route départementale RD935	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	140 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m	> 200 m
Chemins ruraux	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	>200m	65 m	166 m	> 200 m	60 m	> 200 m	> 200 m	186 m
Autre aérogénérateur le plus proche	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	E2– FE Route de Gaubert (324 m)	MN01 (334 m)	MN04 (387 m)	MN03 (387 m)	MN06 (341 m)	MN05 (341 m)	E1 - FE Grande Pointe Mérou (340 m)	E4 - FE sur Pendloup (322 m)
Agriculture	Exploitation agricole	Engin agricole percutant le poste de livraison	Energie cinétique des véhicules	NA**							
Chasse	Loisir	Balle perdue sur les parois du mât ou sur les pales	Energie cinétique de la balle	NA**							

** NA : Non Applicable

7.3.2. Agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

Tableau 14 : Agressions externes liées aux phénomènes naturels

Agression externe	Intensité
Séisme	Zone de sismicité 1 : très faible
Vents et tempête	Le record de vent est de 40 m/s (soit de 144 km/h) enregistrés en 1999 sur la station Météo France de Châteaudun
Inondations	Le projet n'est pas situé en zone inondable
Foudre	Niveau kéraunique < 25 jours Respect de la norme NF EN IEC 61 400-24 (Juin 2010) ou EN 62 305 – 3 (Décembre 2006)
Glissement de sols / affaissement miniers	Zone d'aléa retrait-gonflement d'argile nul

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 NF EN IEC 61 400-24 (Juin 2010) ou la norme EN 62 305-3 (Décembre 2006) est respectée. Ces conditions sont reprises dans la fonction de sécurité n°6 ci-après.

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

7.4. Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques

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

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

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

- ⌘ une évaluation qualitative de l'intensité de ces événements.
- ⌘ L'échelle utilisée pour l'évaluation de l'intensité des événements a été adaptée au cas des éoliennes :
- ⌘ « 1 » correspond à un phénomène limité ou se cantonnant au surplomb de l'éolienne ;
- ⌘ « 2 » correspond à une intensité plus importante et impactant potentiellement des personnes autour de l'éolienne.

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

Tableau 15 : Analyse générique des risques

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement 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

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
I03	Survitesse	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3) Prévenir la survitesse (N°4)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I04	Désaxage de la génératrice / Pièce défectueuse / Défaut de lubrification	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I05	Conditions climatiques humides	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
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	Ecoulement hors de la nacelle et le long du mât,	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
	Fuite transformateur	puis sur le sol avec infiltration				
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 importantes 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 Erreur maintenance – desserrage	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage	Impact sur cible	2

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
				(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

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
E08	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°12) Dans les zones cycloniques, mettre en place un système de prévision cyclonique et équiper les éoliennes d'un dispositif d'abattage et d'arrimage au sol (N°13)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
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. Des précisions sur les différents scénarios décrits dans ce tableau sont disponibles en ANNEXE 4 de la présente étude de dangers.

7.5. Effets dominos

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

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

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

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

7.6. Mise en place des mesures de sécurité

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

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les fonctions de sécurité identifiées et mises en œuvre sur les éoliennes du parc du Moulin Neuf.

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

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

- ⤵ **Indépendance** (« oui » ou « non ») : cette caractéristique décrit le niveau d'indépendance d'une mesure de maîtrise des risques vis-à-vis des autres systèmes de sécurité et des scénarios d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner « oui ») ou non (renseigner « non »).

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

- Est-ce que la mesure de sécurité décrite a pour unique but d'agir pour la sécurité ? Il s'agit en effet ici de distinguer ces dernières de celles qui ont un rôle dans la sécurité mais aussi dans l'exploitation de l'aérogénérateur.
- Cette mesure est-elle indépendante des autres mesures intervenant sur le scénario ?

- ⤵ **Temps de réponse** (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité. Dans le cadre d'une étude de dangers éolienne, l'estimation de ce temps de réponse peut être 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. Il s'agit de vérifier qu'une mesure de sécurité est bien dimensionnée pour remplir la fonction qui lui a été assignée.

- ⤵ **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.

Tableau 16 : Mesures de sécurité pour prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace

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

Tableau 17 : Mesures de sécurité pour prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace

Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité	2
Mesures de sécurité	Signalisation du risque sur le chemin d'accès de chaque éolienne Eloignement des zones habitées et fréquentées		
Description	Mise en place de panneaux de signalisation sur le chemin d'accès de chaque éolienne du risque de chute de glace (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020.). Modifié lors des compléments du 25/03/2026		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %. Nous considérerons que compte tenu de l'implantation des panneaux et de l'entretien prévu, l'information des promeneurs sera systématique.		

Tests	NA
Maintenance	Vérification de l'état général du panneau, de l'absence de détérioration, entretien de la végétation afin que le panneau reste visible.

Tableau 18 : Mesures de sécurité pour prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
Mesures de sécurité	Sondes de température sur pièces mécaniques Suivant les niveaux d'alarme et les capteurs, la machine peut être bridée ou mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement. Le redémarrage peut être effectué à distance, si les seuils de température sont au-dessous des seuils d'alarme.		
Description	Des sondes de température sont mises en place sur les équipements ayant de fortes variations de température au cours de leur fonctionnement (paliers et roulements des machines tournantes, enroulements du générateur et du transformateur). Ces sondes ont des seuils hauts qui, une fois dépassés, conduisent à une alarme et à une mise à l'arrêt du rotor.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min		
Efficacité	100 %		
Tests	Surveillance via la maintenance prédictive, avec détection de la déviation de températures de chaque capteur.		
Maintenance	Surveillance via la maintenance prédictive, avec détection de la déviation de température de chaque capteur (comparaison avec les données des autres éoliennes du parc). Remplacement de la sonde de température en cas de dysfonctionnement de l'équipement. Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020.		

Tableau 19 : Mesures de sécurité pour prévenir la survitesse

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage. Eléments du système de protection contre la survitesse conformes aux normes IEC 61508 (SIL 2) et EN 954-1		
Description	Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande. NB : Le système de freinage est constitué d'un frein aérodynamique principal (mise en drapeau des pales) et / ou d'un frein mécanique auxiliaire.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	15 à 60s (arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage adapté) L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté 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 industrielle des aérogénérateurs conformément à l'article 17 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par les arrêtés du 22 juin 2020 et du 10 décembre 2021.		
Maintenance	Maintenance préventive annuelle de l'éolienne avec notamment contrôle de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Tableau 20 : Mesures de sécurité pour prévenir les courts-circuits

Fonction de sécurité	Prévenir les courts-circuits	N° de la fonction de sécurité	5
Mesures de sécurité	Détecteur d'arc avec coupure électrique (salle transformateur et armoires électriques).		
Description	Outre les protections traditionnelles contre les surintensités et les surtensions, les armoires électriques disposées dans les nacelles Vestas (qui abritent les divers jeux de barres), sont équipées de détecteurs d'arc électrique. Ce système de capteurs photosensibles a pour objectif de détecter toute formation d'un arc électrique (caractéristique d'un début d'amorçage) qui pourrait conduire à des phénomènes de fusion de conducteurs et de début d'incendie. Le fonctionnement de ces détecteurs commande le déclenchement de la cellule HT située en pied de mât, conduisant ainsi à la mise hors tension de la machine. La remise sous tension puis le recouplage de la machine ne peuvent être faits qu'après inspection visuelle des éléments HT de la nacelle, puis du réarmement du détecteur d'arc et de l'acquittement manuel du défaut.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	50 millisecondes Le couplage du système de détection d'arc électrique avec le système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant.		
Efficacité	100 %		
Tests	Test des détecteurs d'arc à la mise en service puis tous les ans.		
Maintenance	Les installations électriques font l'objet d'un contrôle avant la mise en service industrielle du parc éolien, qui donne lieu à un rapport de contrôle d'un organisme compétent, attestant de la conformité de l'ensemble des installations électriques, conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par les arrêtés du 22 juin 2020 et du 10 décembre 2021. Des vérifications de tous les équipements électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrés dans le manuel de maintenance préventive Vestas.		

Tableau 21 : Mesures de sécurité pour prévenir les effets de la foudre

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Système de protection contre la foudre conçue pour répondre à la classe de protection I de la norme internationale IEC 61400.		
Description	Compte tenu de leur situation et des matériaux de construction, les pales sont les éléments les plus sensibles à la foudre. Des pastilles métalliques en acier inoxydable permettant de capter les courants de foudre sont disposées à intervalles réguliers sur les deux faces des pales. Elles sont reliées entre elles par une tresse en cuivre, interne à la pale. Le pied de pale est muni d'une plaque métallique en acier inoxydable, sur une partie de son pourtour, raccordée à la tresse de cuivre. Un dispositif métallique flexible (nommé LCTU – Lightning Current Transfer Unit) assure la continuité électrique entre la pale et le châssis métallique de la nacelle (il s'agit d'un système de contact glissant comportant deux points de contact par pale). Ce châssis est relié électriquement à la tour, elle-même reliée au réseau de terre disposé en fond de fouille. En cas de coup de foudre sur une pale, le courant de foudre est ainsi évacué vers la terre via la fondation et des prises profondes.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat, dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	Avant la première mise en route de l'éolienne, une mesure de mise à la terre est effectuée.		
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément aux articles 9 et 18II de l'arrêté du 26 août 2011, modifiés par les arrêtés du 22 juin 2020 et du 10 décembre 2021.		

Tableau 22 : Mesures de sécurité pour protéger et intervenir en cas d'incendie

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	1. Sondes de température sur pièces mécaniques. Suivant les niveaux d'alarme et les capteurs, la machine peut être bridée ou mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement. Le redémarrage peut être effectué à distance, si les seuils de température sont au-dessous des seuils d'alarme. 2. Système de détection incendie		
Description	1. Des sondes de température sont mises en place sur les équipements ayant de fortes variations de température au cours de leur fonctionnement (paliers et roulements des machines tournantes, enroulements du générateur et du transformateur). Ces sondes ont des seuils hauts qui, une fois dépassés, conduisent à une alarme et à une mise à l'arrêt du rotor. 2. Les éoliennes sont équipées par défaut d'un système autonome de détection composé de plusieurs capteurs de fumée et de chaleur disposés aux possibles points d'échauffements tels que : - La chambre du transformateur - Le générateur - La cellule haute tension - Le convertisseur - Les armoires électriques principales - Le système de freinage. En cas de détection, une sirène est déclenchée, l'éolienne est mise à l'arrêt en « emergency stop » et isolement électrique par ouverture de la cellule en pied de mât. De façon concomitante un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance via le système de contrôle commande. Le système de détection incendie est alimenté par le réseau secours (UPS). Vis-à-vis de la protection incendie, deux extincteurs sont présents dans la nacelle et un extincteur est disponible en pied de tour (utilisables par le personnel sur un départ de feu).		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Le couplage des éléments de détection de fumée au système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant.		

	L'exploitant sera ainsi en mesure de transmettre l'alerte aux services d'Urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément à l'article 23 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020.
Efficacité	100%
Tests	Test des détecteurs de fumée à la mise en service puis tous les ans.
Maintenance	Contrôle tous les ans du système de détection incendie pour être conforme à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020. Le matériel incendie (extincteurs) est contrôlé périodiquement par un organisme spécialisé. Maintenance prédictive sur les capteurs de température.

Tableau 23 : Mesures de sécurité pour la prévention et la rétention des fuites

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

	Dépendant du débit de fuite.
Maintenance	Les vérifications d'absence de fuites sont effectuées à chaque service planifié. Surveillance des niveaux d'huile via des outils d'analyses instantanées ou hebdomadaires. Inspection et maintenance curative en fonction du type de déclenchement d'alarme.

Tableau 24 : Mesures de sécurité pour prévenir les défauts de stabilité et d'assemblage de l'éolienne

Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	N° de la fonction de sécurité	9
Mesures de sécurité	Contrôles réguliers des fondations et des différents assemblages de structure (ex : brides, joints, etc.) Procédures et contrôle qualité		
Description	La norme NF EN IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Le constructeur remet à chacun de ses clients, un document « Type certificate » qui atteste de la conformité de l'éolienne fournie au standard NF EN IEC 61400-1 (édition juin 2006). Ainsi la nacelle, le moyeu, les fondations et la tour répondent aux standards IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400 -1 ; 12 ; 23. De plus, des organismes compétents externes, mandatés par l'exploitant du parc, produisent des rapports attestant de la conformité de nos turbines à la fin de la phase d'installation. L'article R125-17 du code de la construction et de l'habitation fait référence au contrôle technique de construction. Il est obligatoire, à la charge de l'exploitant et réalisé par des organismes agréés par l'État. Ce contrôle assure la solidité des ouvrages ainsi que la sécurité des biens et des personnes. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100%		
Tests	NA		
Maintenance	Le plan de maintenance Vestas prévoit le contrôle des brides de fixation, des brides de mât, des fixations des pales et le contrôle visuel du mât trois mois puis un an après la mise en service industrielle puis tous les trois ans, conformément à l'article 18I de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020.		

Tableau 25 : Mesures de sécurité pour prévenir les erreurs de maintenance

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

Tableau 26 : Mesures de sécurité pour prévenir la dégradation de l'état des équipements

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

Tableau 27 : Mesures de sécurité pour prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort

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

L'ensemble des procédures de maintenance et des contrôles d'efficacité des systèmes sera conforme à l'arrêté du 26 août 2011, modifié par les arrêtés du 22 juin 2020 et du 10 décembre 2021.

Notamment, suivant une périodicité qui ne peut excéder un an, l'exploitant réalise une vérification de l'état fonctionnel des équipements de mise à l'arrêt, de mise à l'arrêt d'urgence et de mise à l'arrêt depuis un régime de survitesse en application des préconisations du constructeur de l'aérogénérateur.

7.7. Conclusion de l'analyse préliminaire des risques

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

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

Tableau 28 : Scénarios exclus

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

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

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

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

8. Etude détaillée des risques

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

8.1. Rappel des définitions

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8.1.1. Cinétique

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

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

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

8.1.2. Intensité

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

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

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

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

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

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

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

Tableau 29 : Niveaux d'intensité

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.

8.1.3. Gravité

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

Tableau 30 : Niveaux de 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'accidents majeurs :

Tableau 31 : Niveaux de probabilités

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

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 :

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

PERC = probabilité que l'événement redoute central (défaillance) se produise = probabilité de départ

Porientation = 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)

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

Patteinte = 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)

Pprésence = 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 (PERC) a été retenue.

8.1.5. Acceptabilité

L'acceptabilité est le croisement entre probabilité et niveau de gravité d'un événement.

Ainsi, une fois la définition des paramètres précédents effectuée (Cinétique ; Intensité ; Gravité et Probabilité) pour l'ensemble des scénarios retenus, la matrice de criticité suivante est utilisée pour en définir l'acceptabilité. Elle est adaptée de la circulaire du 29 septembre 2005 reprise dans la circulaire du 10 mai 2010.

Tableau 32 : Matrice de criticité pour la détermination de l'acceptabilité

Conséquence	Classe de probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux					
Modéré					

La légende suivante permettra d'apprécier l'acceptabilité des risques pour les événements accidentels redoutés :

Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible		Acceptable
Risque faible		Acceptable <i>avec mises en place de mesures de sécurité supplémentaires</i>
Risque important		Non acceptable

8.2. Caractérisation des scénarios retenus

8.2.1. Effondrement de l'éolienne

■ Zone d'effet :

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 140 m dans le cas des éoliennes du parc éolien du Moulin Neuf.

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

■ Intensité :

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement d'une éolienne dans le cas de la ferme éolienne du Moulin Neuf. ZI est la zone d'impact, ZE est la zone d'effet, R est la longueur de pale (R = 54 m), H la hauteur du moyeu (H = 85 m), H_{nacelle} la hauteur du mât et de la nacelle (H_{nacelle} = 86,9 m), D le diamètre du rotor (D=110 m), L la largeur du mat (L = 4,45 m) et LB la largeur de la base de la pale (LB = 3,60 m).

Tableau 33 : Niveau d'intensité pour le scénario d'effondrement de l'éolienne

Effondrement de l'éolienne			
(dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 140 m)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$ZI = (H_{nacelle} \times L) + 3 \times R \times LB/2 = 679,08 \text{ m}^2$	$ZE = \pi \times (H+D/2)^2 = 6175,22 \text{ m}^2$	$D = ZI / ZE \times 100 = 1,10\%$ $(1 \% < x < 5 \%)$	Exposition forte

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

■ Gravité :

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

- ⌋ Plus de 100 personnes exposées à « Désastreux »
- ⌋ Entre 10 et 100 personnes exposées à « Catastrophique »
- ⌋ Entre 1 et 10 personnes exposées à « Important »
- ⌋ Au plus 1 personne exposée à « Sérieux »
- ⌋ Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement à « Modéré »

Dans un rayon de 140 m autour des éoliennes, la surface de 6,16 ha est constituée de champs, de chemins agricoles et de voies de circulation non structurantes. Les terrains sont donc considérés comme aménagés mais peu fréquentés et le nombre de personnes permanentes est de 1 personne/10 ha.

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 :

Tableau 34 : Niveau de gravité pour le scénario d'effondrement de l'éolienne

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 140 m)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
MN01	$(6,16 \times 1/10) = 0,62$	Modéré
MN02	$(6,16 \times 1/10) = 0,62$	Modéré
MN03	$(6,16 \times 1/10) = 0,62$	Modéré
MN04	$(6,16 \times 1/10) = 0,62$	Modéré
MN05	$(6,16 \times 1/10) = 0,62$	Modéré
MN06	$(6,16 \times 1/10) = 0,62$	Modéré
MN07	$(6,16 \times 1/10) = 0,62$	Modéré
MN08	$(6,16 \times 1/10) = 0,62$	Modéré

■ Probabilité :

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

Tableau 35 : Niveau de probabilité pour le scénario d'effondrement de l'éolienne

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 » (improbable) 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'expérience³, 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 évoluées, 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 types de 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 système redondant de freinage ;
- ⌋ système de détection des vents forts et un système redondant de freinage et de mise en sécurité des installations.

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par les arrêtés du 22 juin 2020 et du 10 décembre 2021, 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 » (rare), à savoir : « *S'est produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité* ».

■ Acceptabilité :

³ 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.

Dans le cas d'implantation d'éoliennes équipées des technologies récentes, compte tenu de la classe de probabilité d'un effondrement, on pourra conclure à l'acceptabilité de ce phénomène si moins de 10 personnes sont exposées.

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur de la ferme éolienne du Moulin Neuf, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable). Voir Tableau 51 pour la détermination du niveau de risque.

Tableau 36 : Niveau de risque pour le scénario d'effondrement de l'éolienne

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 180 m)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
MN01	Modéré	Acceptable
MN02	Modéré	Acceptable
MN03	Modéré	Acceptable
MN04	Modéré	Acceptable
MN05	Modéré	Acceptable
MN06	Modéré	Acceptable
MN07	Modéré	Acceptable
MN08	Modéré	Acceptable

Ainsi, pour la Ferme Eolienne du Moulin Neuf, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

8.2.2. Chute de glace

■ 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 concernée 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.

■ Zone d'effet :

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mat de l'éolienne. Pour le parc éolien, la zone d'effet a donc un rayon de 55 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.

■ 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 de la ferme éolienne du Moulin Neuf. Z_I est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, d est le degré d'exposition, D est le diamètre du rotor ($D = 110$ m), SG est la surface du morceau de glace majorant ($SG = 1$ m²).

Tableau 37 : Niveau de d'intensité pour le scénario de chute de glace

Chute de glace			
(dans un rayon inférieur ou égal à $D/2$ = zone de survol, soit 55 m)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = SG = 1$ m ²	$Z_E = \pi \times (D/2)^2 = 9503$ m ²	$d = Z_I / Z_E \times 100 = 0,01$ % (< 1 %)	Exposition modérée

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

■ 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 à « Désastreux »
- ⌋ Entre 100 et 1000 personnes exposées à « Catastrophique »
- ⌋ Entre 10 et 100 personnes exposées à « Important »
- ⌋ Moins de 10 personnes exposées à « Sérieux »

⤴ Présence humaine exposée inférieure à « une personne » à « Modéré »

Dans un rayon de 55 m autour des éoliennes, la surface de 0,95 ha est occupée par des champs et les aires de maintenance des éoliennes. Les terrains sont considérés comme aménagés mais peu fréquentés. Le nombre de personnes exposées est donc de 1 personne/10 ha.

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 :

Tableau 38 : Niveau de gravité pour le scénario de chute de glace

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à $D/2$ = zone de survol, soit 55 m)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
MN01	$(0,95 \times 1/10) = 0,1$	Modéré
MN02	$(0,95 \times 1/10) = 0,1$	Modéré
MN03	$(0,95 \times 1/10) = 0,1$	Modéré
MN04	$(0,95 \times 1/10) = 0,1$	Modéré
MN05	$(0,95 \times 1/10) = 0,1$	Modéré
MN06	$(0,95 \times 1/10) = 0,1$	Modéré
MN07	$(0,95 \times 1/10) = 0,1$	Modéré
MN08	$(0,95 \times 1/10) = 0,1$	Modéré

■ Probabilité :

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

■ 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.

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur de la ferme éolienne, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable). Voir Tableau 51, pour la détermination du niveau de risque.

Tableau 39 : Niveau de risque pour le scénario de chute de glace

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol, soit 55 m)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
MN01	Modéré	Acceptable
MN02	Modéré	Acceptable
MN03	Modéré	Acceptable
MN04	Modéré	Acceptable
MN05	Modéré	Acceptable
MN06	Modéré	Acceptable
MN07	Modéré	Acceptable
MN08	Modéré	Acceptable

Ainsi, pour la Ferme éolienne du Moulin Neuf, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

Il convient également de rappeler que, conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020, 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

■ 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'éléments est cantonné à la zone de survol des pales, c'est-à-dire une zone d'effet correspondant à un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor.

■ 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 du Moulin Neuf. Z_I est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, d est le degré d'exposition, R est la longueur de pale ($R = 54$ m), D est le diamètre du rotor ($D = 110$ m) et LB la largeur de la base de la pale ($LB = 3,6$ m).

Tableau 40 : Niveau d'intensité pour le scénario de chute d'éléments de l'éolienne

Chute d'éléments de l'éolienne			
(Dans un rayon inférieur ou égal à $D/2$ = zone de survol, soit 54 m)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = R \times LB/2 = 97,389$ m ²	$Z_E = \pi \times (D/2)^2 = 9503,3$ m ²	$d = Z_I/Z_E \times 100 = 1,02$ % (1%<x<5%)	Exposition forte

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

■ 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'éléments de l'éolienne, dans la zone de survol de l'éolienne :

Si le phénomène de chute d'éléments engendre une zone d'exposition forte :

- ⌘ Plus de 100 personnes exposées à « Désastreux »

- ⌵ Entre 10 et 100 personnes exposées à « Catastrophique »
- ⌵ Entre 1 et 10 personnes exposées à « Important »
- ⌵ Au plus 1 personne exposée à « Sérieux »
- ⌵ Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement « Modéré »

De même que le scénario de chute de glace, dans un rayon de 55 m autour des éoliennes, la surface de 0,95 ha est occupée par des champs et les aires de maintenance des éoliennes. Les terrains sont considérés comme aménagés mais peu fréquentés. Le nombre de personnes exposées est donc de 1 personne/10 ha.

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

Tableau 41 : Niveau de gravité pour le scénario de chute d'éléments de l'éolienne

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à $D/2$ = zone de survol, soit 55 m)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
MN01	$(0,95 \times 1/10) = 0,1$	Modéré
MN02	$(0,95 \times 1/10) = 0,1$	Modéré
MN03	$(0,95 \times 1/10) = 0,1$	Modéré
MN04	$(0,95 \times 1/10) = 0,1$	Modéré
MN05	$(0,95 \times 1/10) = 0,1$	Modéré
MN06	$(0,95 \times 1/10) = 0,1$	Modéré
MN07	$(0,95 \times 1/10) = 0,1$	Modéré
MN08	$(0,95 \times 1/10) = 0,1$	Modéré

■ 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 » : « *Evénement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au*

niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité ».

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

■ Acceptabilité :

Avec une classe de probabilité « C », le risque de chute d'éléments pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un nombre de personnes permanentes (ou équivalent) inférieur à 10 dans la zone d'effet.

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable). Voir Tableau 51, pour la détermination du niveau de risque.

Tableau 42 : Niveau de risque pour le scénario de chute d'éléments de l'éolienne

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à $D/2$ = zone de survol, soit 55 m)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
MN01	Modéré	Acceptable
MN02	Modéré	Acceptable
MN03	Modéré	Acceptable
MN04	Modéré	Acceptable
MN05	Modéré	Acceptable
MN06	Modéré	Acceptable
MN07	Modéré	Acceptable
MN08	Modéré	Acceptable

Ainsi, pour la Ferme éolienne du Moulin Neuf, le phénomène de chute d'éléments de l'éolienne constitue un risque acceptable pour les personnes.

8.2.4. Projection de pales ou de fragments de pales

■ Zone d'effet :

Dans l'accidentologie française, la distance maximale relevée et vérifiée 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.

■ 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 projection de pale ou de fragment de pale dans le cas du parc éolien du Moulin Neuf. Z_I est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, d est le degré d'exposition, R est la longueur de pale ($R = 54$ m) et LB est la largeur de la base de la pale ($LB = 3,607$ m).

Tableau 43 : Niveau d'intensité pour le scénario de projection de pale ou de fragment de 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
$Z_I = R \times LB/2 = 97 \text{ m}^2$	$Z_E = \pi \times 500^2 = 785\,398 \text{ m}^2$	$d = Z_I/Z_E \times 100 = 0,01 \% (< 1 \%)$	Exposition modérée

■ 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 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 ».

Dans un rayon de 500 m autour des éoliennes, la surface de 78,54 ha comprend des champs, des chemins agricoles et des voies de circulation non structurantes (< 2000 véhicules / jour) ainsi que des mâts d'éoliennes existantes. Cette zone fait donc partie de la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés (voir paragraphe 3.4 Cartographie de synthèse). Pour chaque éolienne, 1 personne/10 ha est prise en compte.

De plus, afin de prendre en compte les personnes travaillant dans les éoliennes existantes, deux personnes supplémentaires sont prises en compte si une éolienne d'un parc éolien existant ou autorisé se situe dans la zone d'effet. Si plusieurs éoliennes sont exploitées par un même exploitant, seules deux personnes sont ajoutées.

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 :

Tableau 44 : Niveau de gravité pour le scénario de projection de pale ou de fragment de pale

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
MN01	$2 + (78,54 \times 1/10) = 11,85$	Sérieux
MN02	$2 + (78,54 \times 1/10) = 9,85$	Sérieux
MN03	$4 + (78,54 \times 1/10) = 11,85$	Important
MN04	$2 + (78,54 \times 1/10) = 9,85$	Sérieux
MN05	$2 + (78,54 \times 1/10) = 9,85$	Sérieux
MN06	$2 + (78,54 \times 1/10) = 9,85$	Sérieux
MN07	$2 + (78,54 \times 1/10) = 9,85$	Sérieux
MN08	$2 + (78,54 \times 1/10) = 9,85$	Sérieux

■ Probabilité :

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

Tableau 45 : Niveau de probabilité pour le scénario de projection de pale ou de fragment de pale

Source	Fréquence	Justification
Site specific hazard assesment 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 » (probable), « C » (improbable) ou « E » (extrêmement rare).

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 évoluées, 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 NF EN 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 ;
- ✚ 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 les arrêtés du 22 juin 2020 et du 10 décembre 2021, 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 » (rare) : « S'est produit mais a fait l'objet de mesures correctrices réduisant significativement la probabilité ».

■ Acceptabilité :

Avec une classe de probabilité de « D », le risque de projection de tout ou partie de pale pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un nombre équivalent de personnes permanentes inférieur à 1000 dans la zone d'effet.

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable). Voir Tableau 51, pour la détermination du niveau de risque.

Tableau 46 : Niveau de risque pour le scénario de projection de pale ou de fragment de pale

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
MN01	Sérieux	Acceptable
MN02	Sérieux	Acceptable
MN03	Important	Acceptable

MN04	Sérieux	Acceptable
MN05	Sérieux	Acceptable
MN06	Sérieux	Acceptable
MN07	Sérieux	Acceptable
MN08	Sérieux	Acceptable

Ainsi, pour la Ferme éolienne du Moulin Neuf, le phénomène de projection de tout ou partie de pale des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

8.2.5. Projection de glace

■ 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 :

$$\text{Distance d'effet} = 1,5 \times (\text{hauteur de moyeu} + \text{diamètre de rotor})$$

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.

■ 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 m²) 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. Z_i est la zone d'impact, Z_e est la zone d'effet, d est le degré d'exposition, D est le diamètre du rotor (D = 110 m), H est la hauteur au moyeu (H = 85 m), et SG est la surface majorante d'un morceau de glace.

Tableau 47 : Niveau d'intensité pour le scénario de projection de morceaux de glace

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H + D)$ autour de l'éolienne, soit 292,5 m)			
Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_i = SG = 1 \text{ m}^2$	$Z_E = \pi \times [1,5 \times (H + D)]^2 = 268 \text{ m}^2$	$d = Z_i/Z_E \times 100 = 3,7 \times 10^{-4} \%$ ($< 1 \%$)	Exposition modérée

■ 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 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.**

Dans un rayon de 292,5 m autour de chaque éolienne, la surface de 43,47 ha comprend des champs, des portions de chemins ruraux et routes départementales non structurantes. Cette zone fait donc partie dans son intégralité, de la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés (voir paragraphe 3.4 « Cartographie de synthèse »). Pour chaque éolienne, 1 personne/10 ha est prise en compte.

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 :

Tableau 48 : Niveau de gravité pour le scénario de projection de morceaux de glace

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H + 2R)$ autour de l'éolienne, soit 292,5 m)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
MN01	$(26,88 \times 1/10) = 2,69$	Sérieux
MN02	$(26,88 \times 1/10) = 2,69$	Sérieux
MN03	$(26,88 \times 1/10) = 2,69$	Sérieux
MN04	$(26,88 \times 1/10) = 2,69$	Sérieux
MN05	$(26,88 \times 1/10) = 2,69$	Sérieux
MN06	$(26,88 \times 1/10) = 2,69$	Sérieux
MN07	$(26,88 \times 1/10) = 2,69$	Sérieux
MN08	$(26,88 \times 1/10) = 2,69$	Sérieux

■ Probabilité :

Au regard de la difficulté d'établir un retour d'expérience précis 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 l'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.

■ Acceptabilité :

Avec une classe de probabilité « B – événement probable », le risque de projection de glace pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un niveau de gravité « Sérieux ». Cela correspond pour cet événement à un nombre équivalent de personnes permanentes inférieur à 10 dans la zone d'effet.

Pour les aérogénérateurs munis de système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur, pour lesquels, en cas de formation importante de glace, la mise à l'arrêt de la machine est effectuée dans un délai maximal de soixante minutes et ayant une procédure de redémarrage en cas d'arrêt automatique lié à la présence de glace sur les pales, le risque sera jugé acceptable pour les niveaux de gravité « Modéré » et « Sérieux ».

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur de la ferme éolienne du Moulin Neuf, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable). Voir Tableau 51, pour la détermination du niveau de risque.

Tableau 49 : Niveau de risque pour le scénario de projection de morceaux de glace

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H + 2R)$ autour de l'éolienne, soit 292,5 m)			
Eolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage	Niveau de risque
MN01	Sérieux	Oui	Acceptable
MN02	Sérieux	Oui	Acceptable
MN03	Sérieux	Oui	Acceptable
MN04	Sérieux	Oui	Acceptable
MN05	Sérieux	Oui	Acceptable
MN06	Sérieux	Oui	Acceptable
MN07	Sérieux	Oui	Acceptable
MN08	Sérieux	Oui	Acceptable

Ainsi, pour la Ferme éolienne du Moulin Neuf, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes.

8.3. Synthèse de l'étude détaillée des risques

8.3.1. Tableau 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 regroupent toutes les éoliennes qui ont le même profil de risque.

Tableau 50 : Tableau de synthèse des risques et des paramètres associés pour toutes les éoliennes

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne	Rayon $\leq$ hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 140 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition forte	D (rare)	Modéré
Chute de glace	Rayon $\leq D/2$ = zone de survol = 55 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	A (courant)	Modéré
Chute d'éléments de l'éolienne	Rayon $\leq D/2$ = zone de survol = 55 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition forte	C (improbable)	Modéré
Projection de pale ou de fragment de pale	Rayon = 500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (rare)	Sérieux Important (MN03)
Projection de glace	Rayon = $1,5 \times (H+D)$ autour de l'éolienne = 292,5 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	B (probable)	Sérieux

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. Elle est détaillée dans la matrice ci-dessous :

Tableau 51 : Légende de la matrice de criticité

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

Tableau 52 : Matrice de criticité des différents scénarios

Conséquence	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important		Projection de pale ou de fragment de pale (MN03)			
Sérieux		Projection de pale ou de fragment de pale		Projection de glace	
Modéré		Effondrement de l'éolienne	Chute d'éléments de l'éolienne		Chute de glace

Au regard de la matrice complétée pour chacun des événements accidentels redoutés, il ressort que :

- ✎ aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice, ce qui signifie qu'il n'existe aucun « risque important » et « non acceptable » ;
- ✎ certains accidents figurent en case jaune. Pour ces accidents, il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 seront mises en place.

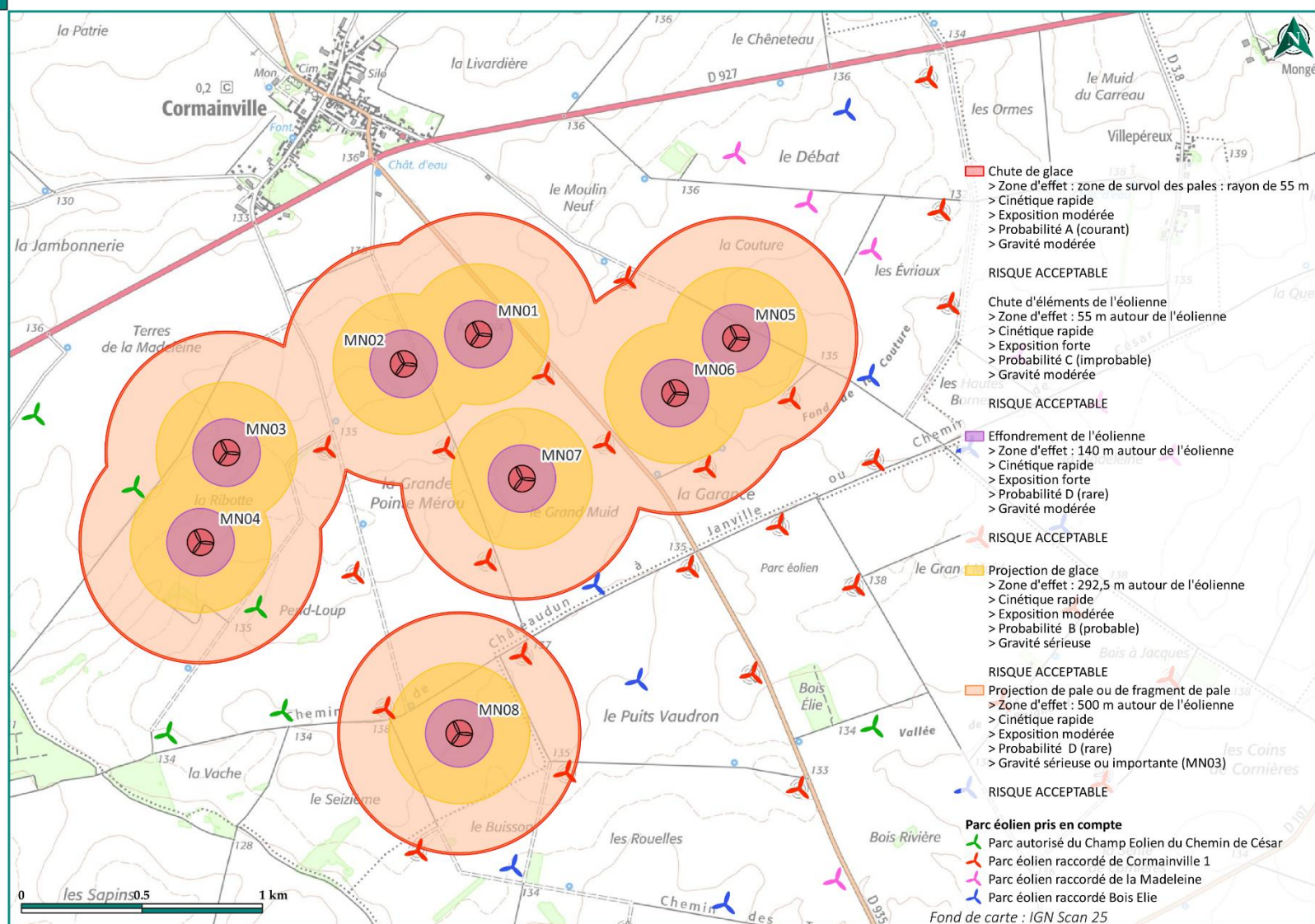
Tous les phénomènes accidentels redoutés comportent donc un niveau de risque acceptable.

8.3.3. Cartographie des risques

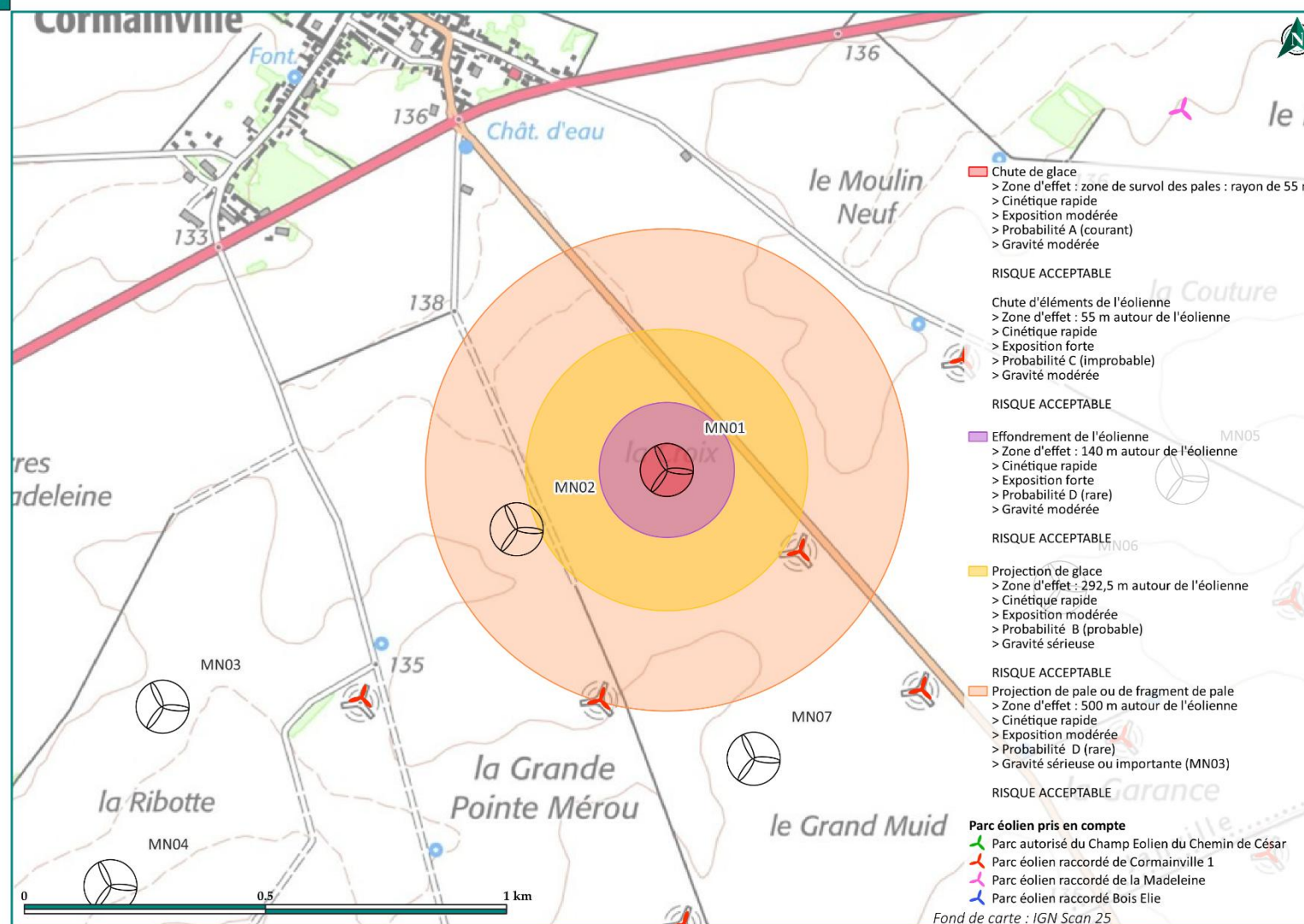
Les cartes de synthèse ci-après sont proposées pour chaque aérogénérateur. Elles font apparaître, pour les scénarii détaillés dans le tableau de synthèse :

- ✚ Les enjeux étudiés dans l'étude détaillée des risques,
- ✚ L'intensité des différents phénomènes dangereux dans les zones d'effet de chaque phénomène dangereux,
- ✚ Le nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) exposées par zone d'effet.

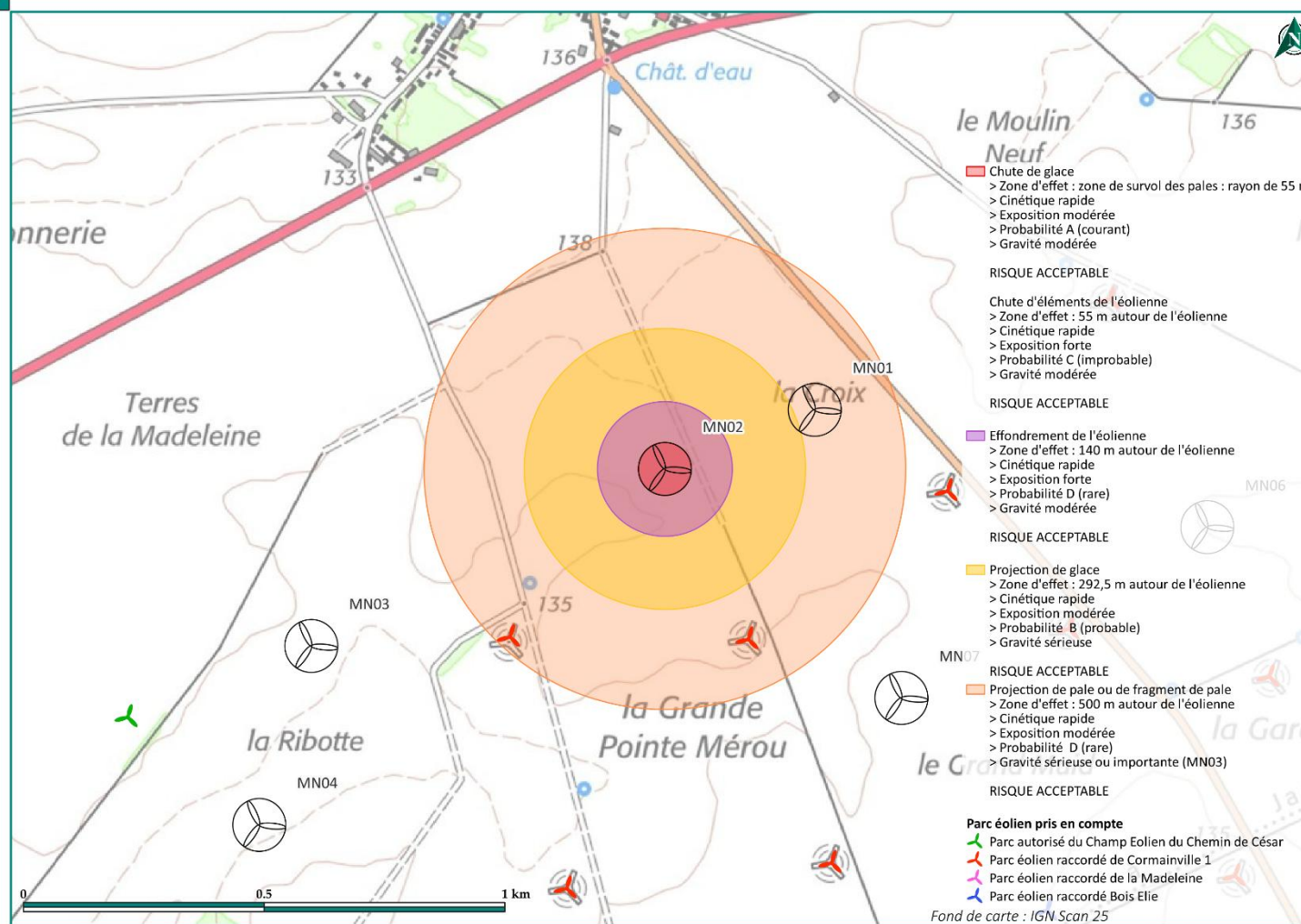
Carte 25 : Synthèse des risques



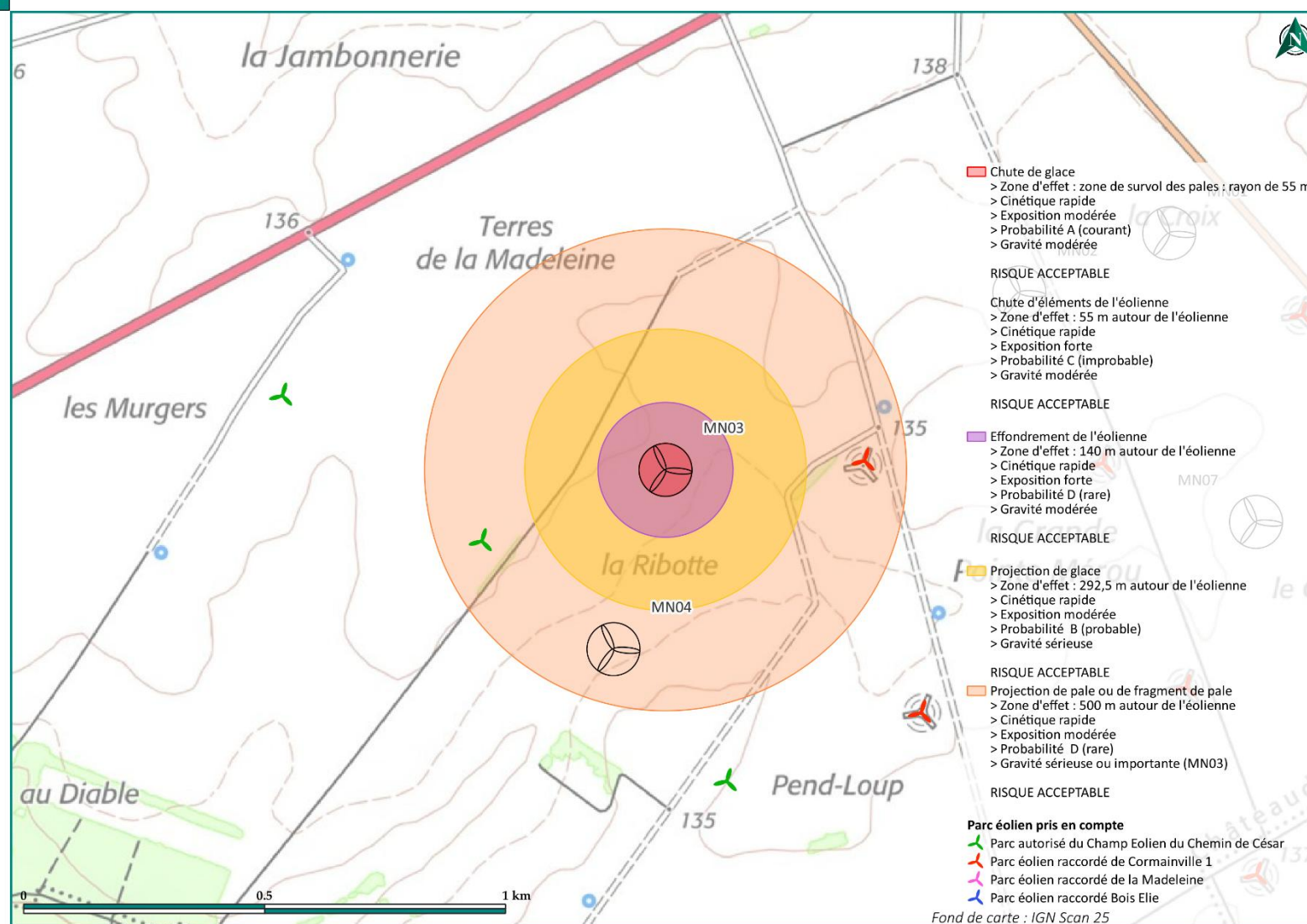
Carte 26 : Synthèse des risques pour l'éolienne MN01



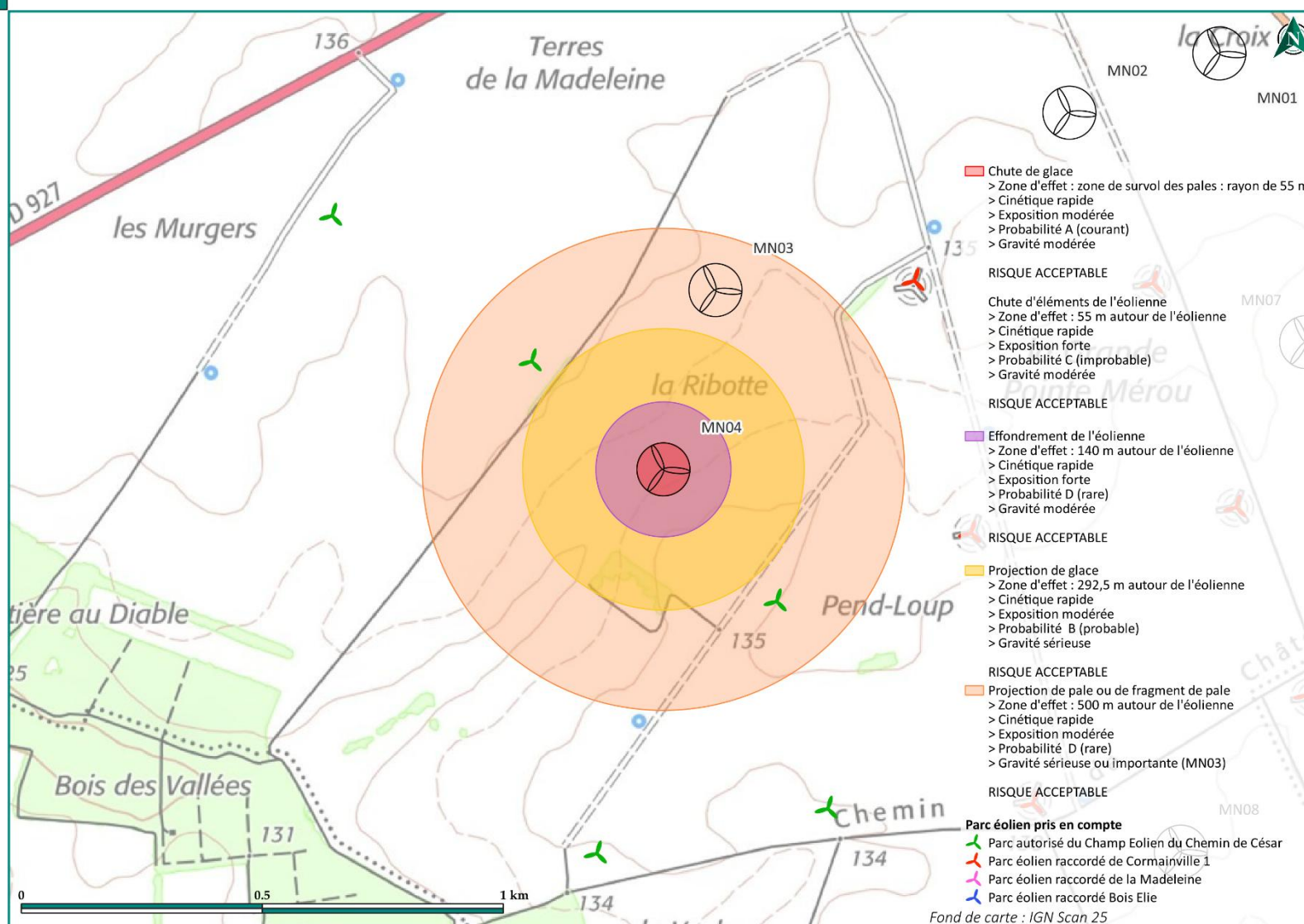
Carte 27 : Synthèse des risques pour l'éolienne MN02



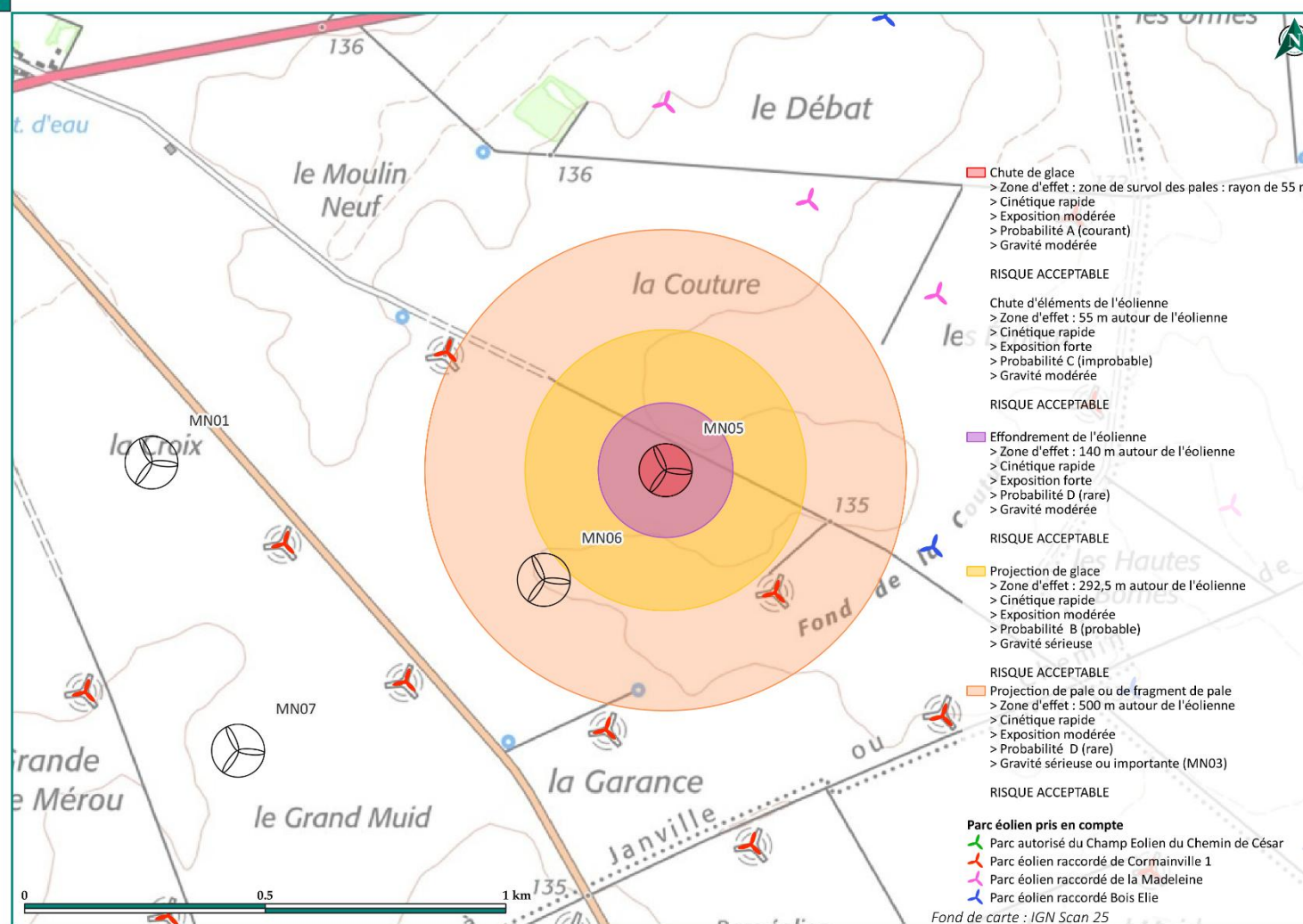
Carte 28 : Synthèse des risques pour l'éolienne MN03



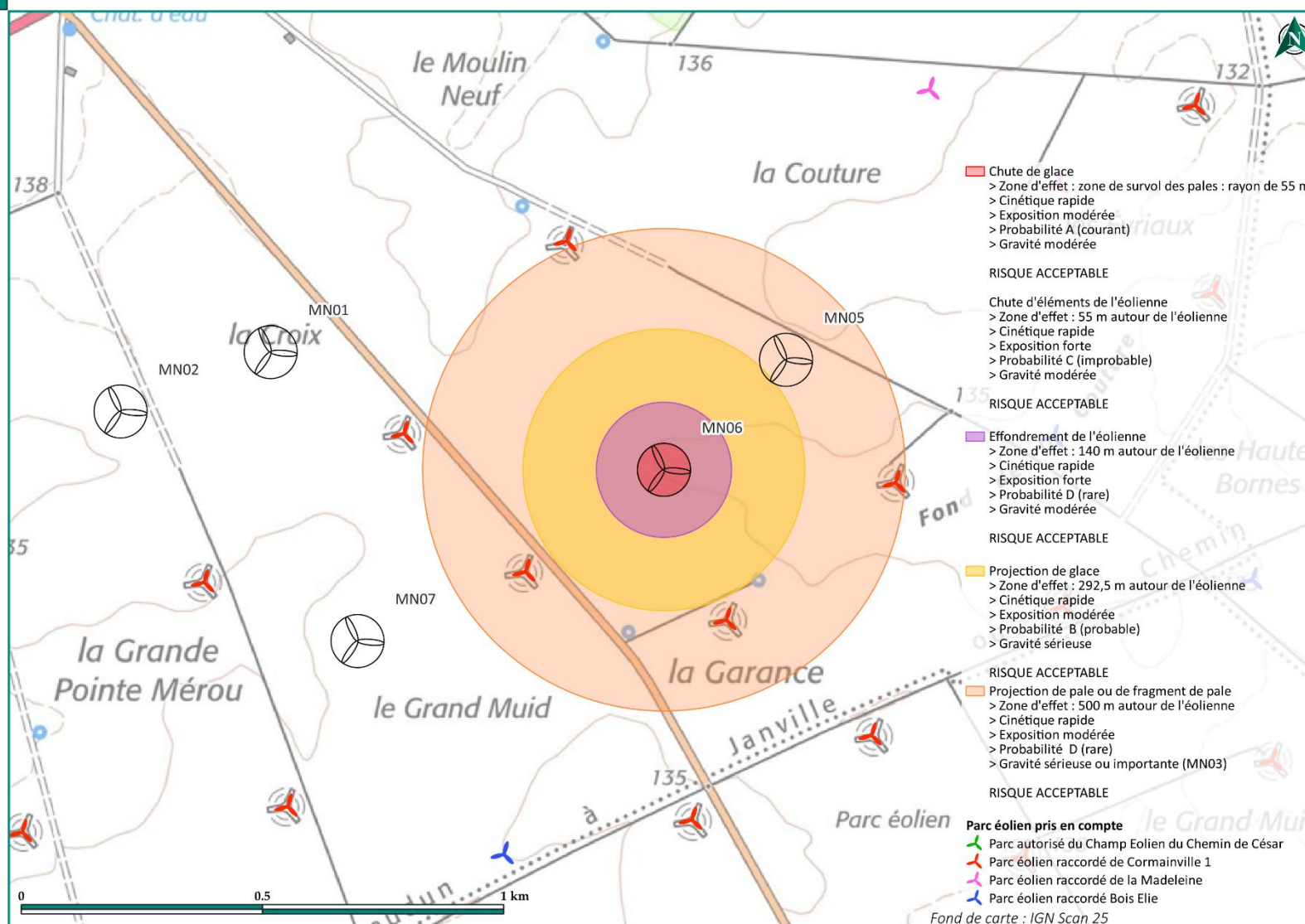
Carte 29 : Synthèse des risques pour l'éolienne MN04



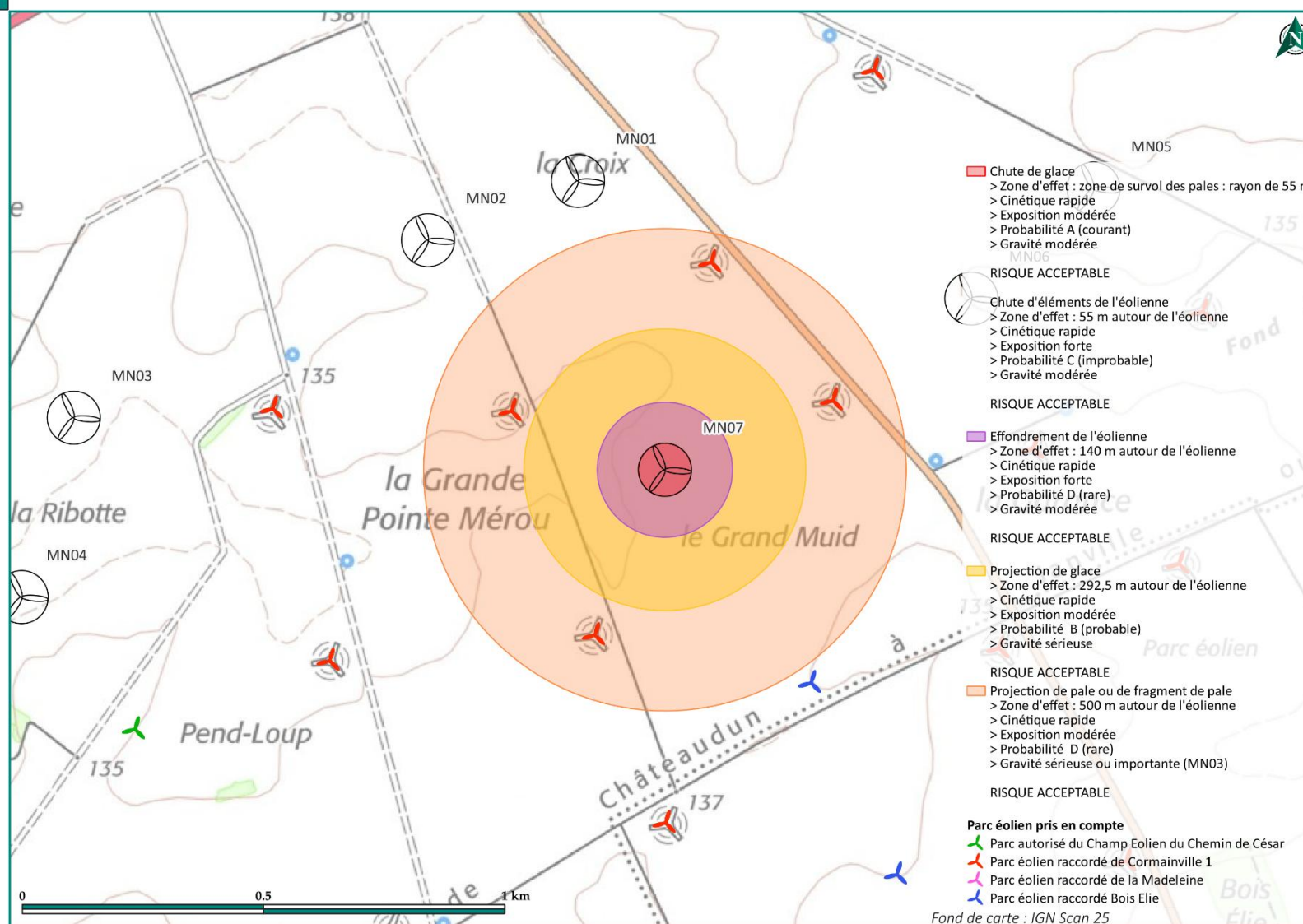
Carte 30 : Synthèse des risques pour l'éolienne MN05



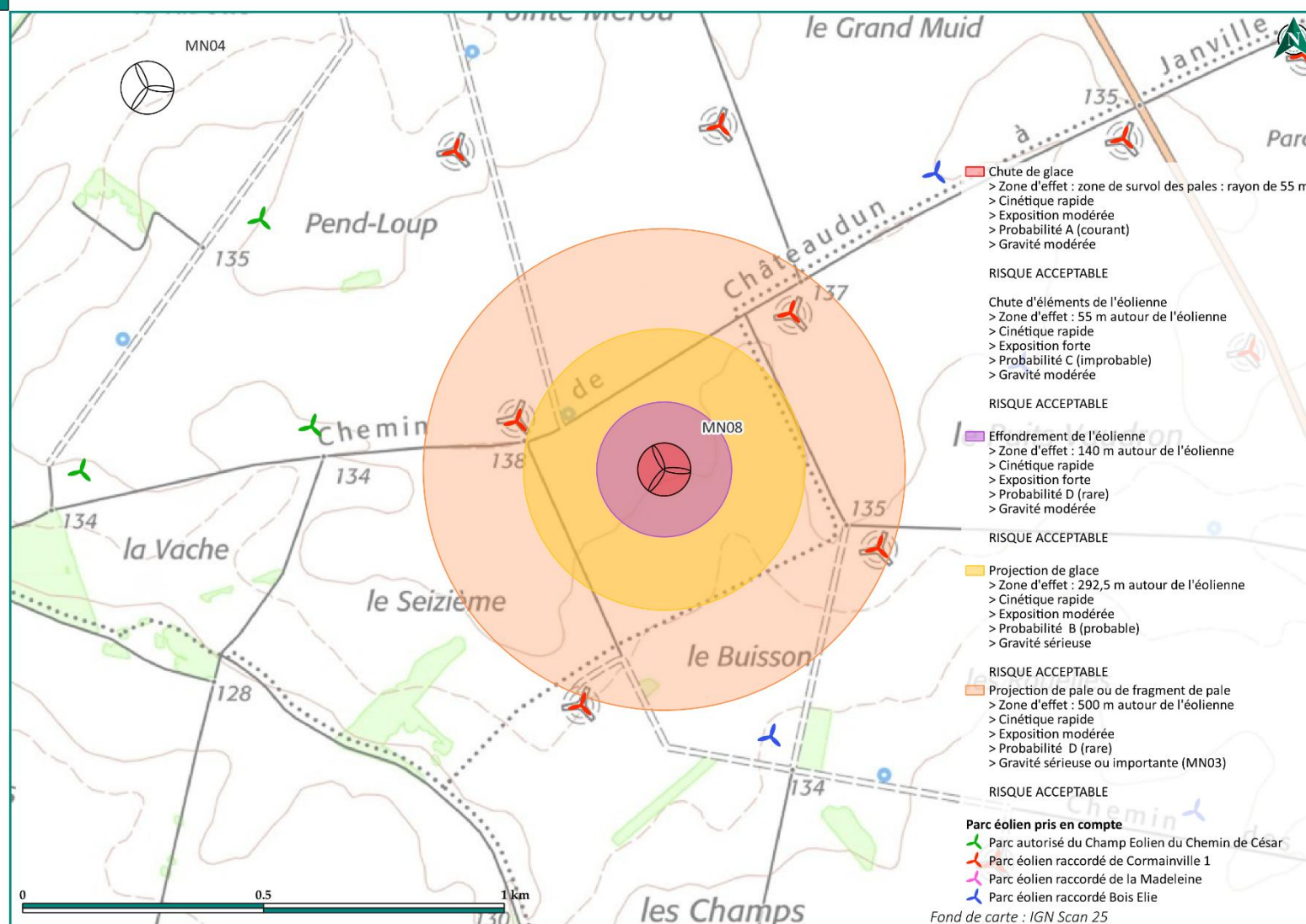
Carte 31 : Synthèse des risques pour l'éolienne MN06



Carte 32 : Synthèse des risques pour l'éolienne MN07



Carte 33 : Synthèse des risques pour l'éolienne MN08



9. Conclusion

Cette étude de dangers a pour objectif de répondre aux exigences du classement des éoliennes à la nomenclature ICPE. Ce document est réalisé par le pétitionnaire grâce au document générique produit par le groupe de travail SER-FEE–INERIS.

Tout d’abord, cette étude a décrit l’environnement du site ainsi que l’installation et son fonctionnement. Cela a permis de présenter le respect de l’ensemble de la réglementation s’appliquant aux éoliennes mais aussi la prise en compte des préconisations et des avis des organismes consultés (aviation militaire, conseil général, etc.). L’ensemble des cibles humaines dans le périmètre d’étude a été identifié et quantifié.

Ensuite, l’étude a identifié les potentiels de dangers de l’installation qu’ils soient liés aux produits ou au fonctionnement de l’installation (chute d’éléments, projection d’éléments, effondrement, échauffement de pièces mécaniques, court-circuit électrique).

Puis, le retour d’expérience a permis d’identifier les principaux événements accidentels au niveau national et international que sont l’incendie, l’effondrement, la rupture de pale et la chute d’éléments.

L’analyse préliminaire des risques (APR) a permis d’identifier les scénarios d’accident majeurs et les mesures de sécurité qui empêchent ces scénarios de se produire ou en limitent les effets. L’APR a ainsi identifié l’ensemble des séquences accidentelles et phénomènes dangereux pouvant déclencher la libération du danger. Les scénarios ont été regroupés par thème : Glace, Incendie, Fuite, Chute d’élément, Projection et Effondrement. L’analyse du séquençage du déroulement des phénomènes accidentels permet de concevoir les mesures appropriées à apporter pour supprimer, réduire ou limiter le danger. L’APR, en répondant à l’ensemble des séquences accidentelles et phénomènes dangereux par des mesures appropriées, sélectionne les scénarios qui font l’objet de l’Etude Détaillée des Risques en excluant ceux dont l’intensité est faible.

Un ensemble de mesures de maîtrise des risques est mise en place pour prévenir ou limiter les conséquences des accidents majeurs dont voici les principales :

- ✎ Prévenir la mise en mouvement de l’éolienne lors de la formation de glace,
- ✎ Prévenir l’atteinte des personnes par la chute de glace,
- ✎ Prévenir l’échauffement significatif des pièces mécaniques,
- ✎ Prévenir la survitesse,
- ✎ Prévenir les courts-circuits,
- ✎ Prévenir les effets de la foudre,
- ✎ Prévenir les défauts de stabilité de l’éolienne et les défauts d’assemblage,
- ✎ Prévenir les risques de dégradation de l’éolienne en cas de vent fort.

L’Etude Détaillée des Risques a caractérisé les scénarios sélectionnés en termes de probabilité, cinétique, intensité et gravité. Les scénarios retenus sont : projection de tout ou une partie de pale, effondrement de l’éolienne, chute d’éléments de l’éolienne, chute de glace et projection de glace.

Pour chaque scénario d'accident, le calcul du niveau d'intensité (en fonction du ratio entre la zone d'impact et la zone d'effet du phénomène étudié) et l'estimation du niveau de gravité (en fonction du nombre de personnes exposées) associés à la probabilité d'occurrence (niveaux issus de la bibliographie), permet de définir si le risque est acceptable ou non.

Les niveaux de gravité selon les scénarii de danger sont communs à toutes les éoliennes, le niveau de gravité le plus important, la gravité « important » concerne le risque de projection de pale uniquement pour l'éolienne MN03.

Le risque de projection de tout ou partie de pale présente une faible probabilité d'occurrence (probabilité D : rare), tout comme le risque d'effondrement de l'éolienne, alors que le risque de projection de glace a une probabilité d'occurrence probable (probabilité B : probable). A l'inverse, le risque de chute de glace détient un niveau de gravité des plus faibles (gravité modérée) mais sa probabilité d'occurrence est la plus forte (probabilité A : courant).

En conclusion, les éléments exposés par la présente étude de dangers montrent objectivement, que les risques résiduels associés au projet sont acceptables, confirmant ainsi la sûreté du projet de parc éolien du Moulin Neuf.

10. Annexes

ANNEXE 1 : « Certification-type » des éoliennes V110 – 2,2 MW

PUBLIC



TYPE CERTIFICATE

Certificate No.:
TC-DNVGL-SE-0074-02382-7

Issued:
2025-05-12

Valid until:
2030-05-12

Issued for:

Vestas V110 2.0-2.2 MW 50 Hz VCS Mk 10

Specified in Annex 1 and 2

Issued to:

Vestas Wind Systems A/S

Hedeager 42

8200 Aarhus N, Denmark

According to:

DNVGL-SE-0074:2018-01 Type and component certification of wind turbines according to IEC 61400-22

Based on the document:

FER-TC-DNVGL-SE-0074-02382-8

Final Evaluation Report, dated 2025-05-12

Additional references according to above report are given in Annex 3.

Changes of the system design, the production and erection or the manufacturer's quality system are to be approved by DNV.

Hellerup, 2025-05-12

For DNV Renewables Certification

Bente Vestergaard
Service Line Leader for Type Certification



By DAkkS according DIN EN IEC/ISO 17065 accredited Certification Body for products. The accreditation is valid for the fields of certification listed in the certificate.

Hellerup, 2025-05-12

For DNV Renewables Certification

Maria Olsen
Project Manager

The accredited certification body is DNV Renewables Certification GmbH, Brooktorkai 18, 20457 Hamburg.
DNV Renewables Certification is the trading name of DNV's certification business in the renewable energy industry.

VESTAS PROPRIETARY NOTICE: This document contains valuable confidential information of Vestas Wind Systems A/S. It is protected by copyright law as an unpublished work. Vestas reserves all patent, copyright, trade secret, and other proprietary rights to it. The information in this document may not be used, reproduced, or disclosed except if and to the extent rights are expressly granted by Vestas in writing and subject to applicable conditions. Vestas disclaims all warranties except as expressly granted by written agreement and is not responsible for unauthorized uses, for which it may pursue legal remedies against responsible parties.

Original Instruction: T05 0063-5965 VER 10

T05 0063-5965 Ver 10 - Approved- Exported from DMS: 2025-05-20 by ANROU

PUBLIC



TYPE CERTIFICATE – ANNEX 1

Certificate No.:
TC-DNVGL-SE-0074-02382-7

Page 2 of 8

Original Instruction: T05 0063-5965 VER 10

General

Basic standard IEC 61400-1 ed. 3 + A1
Wind turbine class S (specified below for each configuration ID numbers)

Power regulation pitch-controlled
Rotor orientation upwind
Rotor tilt 6°
Cone angle -3°
Rated power ID 1, 2 & 3: 2.0 MW*
ID 4, 5 & 6: 2.2 MW**

* derating strategy for cooler top 30 at ambient temperature above 35°C

* derating strategy for cooler top 40 at ambient temperature above 40°C

** derating strategies for ambient temperature above 30°C

Rated wind speed V_r ID 1, 2 & 3: 9.6 m/s
ID 4, 5 & 6: 10.0 m/s
Rotor diameter 110 m
Hub height(s) 75m, 80 m, 95 m, 110 m, 120 m and 125 m
Hub height operating wind speed range $V_{in} - V_{out}$ ID 1, 2 & 3: 3-22 m/s with high wind operation from 19 m/s
ID 4, 5 & 6: 3-20 m/s
Design lifetime 20 years
Software version VMP Global 17.09

Wind conditions

Wind conditions ID1 to ID3: Wind turbine class S
(IIIA/IIIB/IIIC except for temperature ranges)

Turbulence intensity I_{ref} at $V_{hub} = 15$ m/s ID1: 0.16 (IEC turbulence class A)
ID2: 0.14 (IEC turbulence class B)
ID3: 0.12 (IEC turbulence class C)

Annual average wind speed at hub height V_{ave} 7.5 m/s

Reference wind speed V_{ref} 37.5 m/s

Mean flow inclination 8°

Hub height extreme wind speed v_{e50} 52.5 m/s

Wind conditions ID4 to ID6: Wind turbine class S

Turbulence intensity I_{ref} at $V_{hub} = 15$ m/s ID4: 0.16 (IEC turbulence class A)
ID5: 0.14 (IEC turbulence class B)
ID6: 0.12 (IEC turbulence class C)

Annual average wind speed at hub height V_{ave} 6.5 m/s

Reference wind speed V_{ref} 37.5 m/s

Mean flow inclination 8°

Hub height extreme wind speed V_{e50} 52.5 m/s

Electrical network conditions

Normal supply voltage and range 10.5 kV-35 kV

The accredited certification body is DNV Renewables Certification GmbH, Brooktorkei 18, 20457 Hamburg.
DNV Renewables Certification is the trading name of DNV's certification business in the renewable energy industry.

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

T05 0063-5965 Ver 10 - Approved- Exported from DMS: 2025-05-20 by ANROU

PUBLIC



TYPE CERTIFICATE – ANNEX 1

Certificate No.:
TC-DNVGL-SE-0074-02382-7

Page 3 of 8

Normal supply frequency and range	50 Hz
Voltage imbalance	<3 %
Maximum duration of electrical power network outages	Not dimensioning
Number of electrical network outages	50

Other environmental conditions

Design conditions in case of offshore WT	Not applicable
Standard temperature turbine (IEC standard temperature range)	
Operating temperature	-20°C to +45°C
Extreme temperature, stand still	-30°C to +50°C

Low Temperature turbine

(LT, turbine components and operating strategy are identical to the standard temperature turbine but additional heating elements are installed for low temperature usage)

Operating temperature	-30°C to +45°C
Extreme temperature, stand still	-40°C to +50°C

Relative humidity of the air	100 % (max 10 % of lifetime)
Air density	1.225 kg/m ³ *

* LT: The -30°C minimum operating temperature has been verified for loads and structural integrity by considering an air density of 1.325 kg/m³

Solar radiation	The turbine shall resist solar radiation (including UV) with 1000 W/m ² and 8000 MJ/m ² per year throughout the design lifetime
Description of lightning protection system	IEC 61400-24:2010, Protection Level 1
Earthquake model and parameters	Not applicable

The accredited certification body is DNV Renewables Certification GmbH, Brooktorkai 18, 20457 Hamburg.
DNV Renewables Certification is the trading name of DNV's certification business in the renewable energy industry.

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

Original Instruction: T05 0063-5965 VER 10

T05 0063-5965 Ver 10 - Approved- Exported from DMS: 2025-05-20 by ANROU

PUBLIC



TYPE CERTIFICATE – ANNEX 1

Certificate No.:
TC-DNVGL-SE-0074-02382-7

Page 4 of 8

Original Instruction: T05 0063-5965 VER 10

Major components

Blade

Type	54m Structural shell
Manufacturer	Vestas, TPI China, Aelon China
Material	Glass fibre and carbon fibre reinforced epoxy
Blade length	54 m
Number of blades	3
Drawing / Data sheet / Part no.	ID1 to ID3: 29182134 or 29182131 ID4 to ID6: 29182134

Blade bearing

Type	2 row 4-point contact ball bearing
Manufacturer	Rollix
Drawing / Data sheet / Part no.	13-1920-02-DD0-5

Type	2 row 4-point contact ball bearing
Manufacturer	Liebherr
Drawing / Data sheet / Part no.	648 VO 802-000

Type	2 row 4-point contact ball bearing
Manufacturer	TMB
Drawing / Data sheet / Part no.	B030.65.1920K

Pitch system

Type	One cylinder per blade
Manufacturer	LJM, Glual, Hine and Hengli
Controller type	Hydraulic
Motor / Actuator	Hydraulic

Main shaft

Type	Forged hollow trumpet shaft
Material	42CrMo4
Drawing / Data sheet / Part no.	29085836

Main bearing

Type	Two double row spherical roller bearing
Manufacturer	SKF
Drawing / Data sheet / Part no.	230/630 CA/HM2 W33 24188 ECA/HM2 W33

Type	Two double row spherical roller bearing
Manufacturer	KOYO
Drawing / Data sheet / Part no.	230/630 RHAW33T

The accredited certification body is DNV Renewables Certification GmbH, Brooktorkai 18, 20457 Hamburg.
DNV Renewables Certification is the trading name of DNV's certification business in the renewable energy industry.

T05 0063-5965 Ver 10 - Approved- Exported from DMS: 2025-05-20 by ANROU

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

PUBLIC



TYPE CERTIFICATE – ANNEX 1

Certificate No.:
TC-DNVGL-SE-0074-02382-7

Page 5 of 8

Original Instruction: T05 0063-5965 VER 10

24188 RHAW33

Type	Two double row spherical roller bearing
Manufacturer	FAG
Drawing / Data sheet / Part no.	F-582558.PRL-WPO F-582559.PRL-WPO

Gearbox

Type	3 stage gearbox (1 planetary stage)
Manufacturer	Winergy
Gear ratio	1:112.2
Drawing / Data sheet / Part no.	PEAB 4440

Yaw system

Drive type	Electrical motor
Drive manufacturer	ABB or Lafert
Drawing / Data sheet / Part no.	29005012

Bearing type	Friction Bearing (PETP slide plate)
Bearing manufacturer	Vestas Wind System A/S
Drawing / Data sheet / Part no.	29011239.V01

Gear type	Planetary-/worm gear combination
Gear manufacturer	Bonfiglioli, Comer
Drawing / Data sheet / Part no.	29014048 (left) /29014049 (right)

Brake type	Friction brake, motor brake included in the drive unit
Brake manufacturer	ABB or Lafert
Drawing / Data sheet / Part no.	29005012

Generator

Type	DVSG 500/4M SP. (Asynchronous generator with wound rotor)
Manufacturer	Vestas
Rated power	2060 kW or 2260 kW
Rated frequency	50 Hz
Rated speed	1680 rpm
Rated voltage	690 VAC
Rated current	1573 A or 1713 A
Insulation class	H/H
Degree of protection	IP54
Drawing / Data sheet / Part no.	0007-0081.V09 (2060 kW) 0057-1280.V02 (2260kW)

Converter

The accredited certification body is DNV Renewables Certification GmbH, Brooktorkai 18, 20457 Hamburg.
DNV Renewables Certification is the trading name of DNV's certification business in the renewable energy industry.

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

T05 0063-5965 Ver 10 - Approved- Exported from DMS: 2025-05-20 by ANROU

PUBLIC



TYPE CERTIFICATE – ANNEX 1

Certificate No.:
TC-DNVGL-SE-0074-02382-7

Page 6 of 8

Type	Full quadrant IGBT
Manufacturer	Vestas Wind System A/S
Rated voltage	480 V
Nominal current (at 2.0 MW)	
Grid	240 A
Rotor	592 A
Nominal current (at 2.2 MW)	
Grid	256 A
Rotor	655 A
Degree of protection	IP 54

Transformer

Type	Dry type
Manufacturer	Siemens, SGB, JST
Rated voltage	HV side: 10.5-35.0 [kV] LV side: 690 [V] +/-2% & 480 [V] +/-2%

Tower

Type	Tubular steel
Manufacturer	Several, see manufacturing evaluation conformity statement
Number of sections	Please refer to annex 2
Length	Please refer to annex 2
Drawing / Data sheet / Part no.	Please refer to annex 2

Foundation loads

Please refer to annex 2

Manuals

O&M manual	See list of manuals 0068-9605.V01
Transport manual	See list of manuals 0068-9605.V01
Installation / Commissioning manual	See list of manuals 0068-9605.V01

Service lift (optional)

Not present

Crane (optional)

Not present

The accredited certification body is DNV Renewables Certification GmbH, Brooktorkai 18, 20457 Hamburg.
DNV Renewables Certification is the trading name of DNV's certification business in the renewable energy industry.

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

Original Instruction: T05 0063-5965 VER 10

T05 0063-5965 Ver 10 - Approved- Exported from DMS: 2025-05-20 by ANROU

PUBLIC



TYPE CERTIFICATE – ANNEX 2

Certificate No.:
TC-DNVGL-SE-0074-02382-7

Page 7 of 8

Original Instruction: T05 0063-5965 VER 10

Tower list

HH	Tower No.	Sections	Drawing	Foundation loads	ID
75	T2X302	3	0059-1124.V00	0065-7541.V01 0065-7546.V01*	ID2, ID5
80	T2X103	3	0043-5737.V00	0063-5617.V01 0063-5639.V01*	ID1, ID4
80	T2X203	3	0044-7632.V01	0063-5618.V02 0063-5640.V02*	ID3, ID6
80	T2X300	3	0056-9134.V00	0063-5619.V01 0063-5642.V01*	ID1, ID4
95	T2X122	4	0039-6458.V00	0063-5621.V01 0063-5643.V01*	ID1, ID4
95	T2X222	4	0044-7654.V01	0063-5628.V01 0063-5646.V01*	ID2, ID5
95	T2X320	4	0056-8544.V01	0063-5630.V01 0063-5648.V01*	ID1, ID4
95	T2X321	4	0056-9137.V01	0063-5631.V01 0063-5649.V01*	ID2, ID5
110	T2X330	4	0056-9139.V02	0063-5632.V01 0063-5650.V01*	ID2, ID5
120	T2X331	5	0056-9140.V02	0063-5633.V01 0063-5651.V01*	ID2, ID5
125	T2X133	5	0048-4332.V00	0063-5634.V01 0063-5652.V01*	ID2, ID5

* Up to 3m above ground due to raised foundations

The accredited certification body is DNV Renewables Certification GmbH, Brooktorkai 18, 20457 Hamburg.
DNV Renewables Certification is the trading name of DNV's certification business in the renewable energy industry.

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

T05 0063-5965 Ver 10 - Approved- Exported from DMS: 2025-05-20 by ANROU

PUBLIC



TYPE CERTIFICATE – ANNEX 3

Certificate No.:
TC-DNVGL-SE-0074-02382-7

Page 8 of 8

Original Instruction: T05 0063-5965 VER 10

The certification is based on the following documents, in addition to the document(s) listed on the front page of this certificate:

DB-DNVGL-SE-0074-02383-4	Design Basis Conformity Statement, dated 2020-11-19
DE-DNVGL-SE-0074-02384-6	Design Evaluation Conformity Statement, dated 2025-05-12
TT-DNVGL-SE-0074-02385-5	Type Test Conformity Statement, dated 2020-11-19
ME-DNVGL-SE-0074-02386-7	Manufacturing Conformity Statement, dated 2025-05-12
TCM-DNVGL-SE-0074-02387-3	Type Characteristic Measurement Conformity Statement, dated 2020-11-19

The accredited certification body is DNV Renewables Certification GmbH, Brooktorkai 18, 20457 Hamburg.
DNV Renewables Certification is the trading name of DNV's certification business in the renewable energy industry.

VESTAS PROPRIETARY NOTICE

T05 0063-5965 Ver 10 - Approved- Exported from DMS: 2025-05-20 by ANROU

ANNEXE 2 : Attestation de conformité du projet aux règlements d'urbanisme

Airvault :

COMMUNAUTÉ DE COMMUNES
CŒUR DE BEAUCE

À Janville-en-Beauce, le 11/07/2025

ATTESTATION DE CONFORMITÉ DU PROJET « FERME ÉOLIENNE DU MOULIN NEUF »

AVEC LE DOCUMENT D'URBANISME EN VIGUEUR

Je soussigné, Benoît PELLEGRIN, Président de la Communauté de Communes Cœur de Beauce, atteste, conformément au 12° du I. de l'Article D.181-15-2 du Code de l'Environnement, que le projet éolien « Ferme éolienne du Moulin Neuf » porté par la société Volkswind France, localisé sur le territoire de la commune de Cormainville représentant l'implantation de 8 éoliennes et de 1 poste de livraison, est conforme au document d'urbanisme en vigueur, à savoir le Plan Local d'Urbanisme intercommunal de la Communauté de Communes Cœur de Beauce.



Monsieur Benoît PELLEGRIN
Président de la
Communauté de Communes
Cœur de Beauce

ANNEXE 3 : Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne

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 3), 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 8).

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.

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 véhicules/jour) sont déjà comptées dans la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés.

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.

Nombre de personnes exposées sur voies de communication structurantes en fonction du linéaire et du trafic											
		Linéaire de route compris dans la zone d'effet (en m)									
		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Trafic (en véhicules/jour)	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

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.

Voies navigables

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

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.

Logements

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

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 se rencontre peu en pratique.

Zone 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.

ANNEXE 4 : Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire 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 7.4 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 (« 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).

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

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.

Note : Si les enjeux principaux étaient principalement humains, il conviendrait d'évoquer les enjeux matériels, avec la présence éventuelle d'éléments internes au parc éolien (poste de livraisons, sous-stations), ou extérieurs sous le surplomb de la machine.

Scénario G02

La projection de glace depuis une éolienne en mouvement interviendra lors d'éventuels redémarrages 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.

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

Les éventuels incendies interviendront dans le cas où 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 regardés :

- 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'emballement 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'emballement 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.

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, ...).

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.

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.

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.

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.

Si l'éolienne est en fonctionnement la zone d'effet sera déterminée en fonction de l'étude balistique et du site. 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).

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.

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.

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.

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, études 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, ...

ANNEXE 5 : Probabilité 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 :

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

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

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 Evénements Redoutés Centraux (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.

ANNEXE 6 : 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 : Evénement 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.

Evénement initiateur : Evénement, 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.

Evénement redouté central : Evénement 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 les arrêtés du 22 juin 2020 et du 10 décembre 2021, 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, une génératrice, un rotor constitué d'un moyeu et de 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*

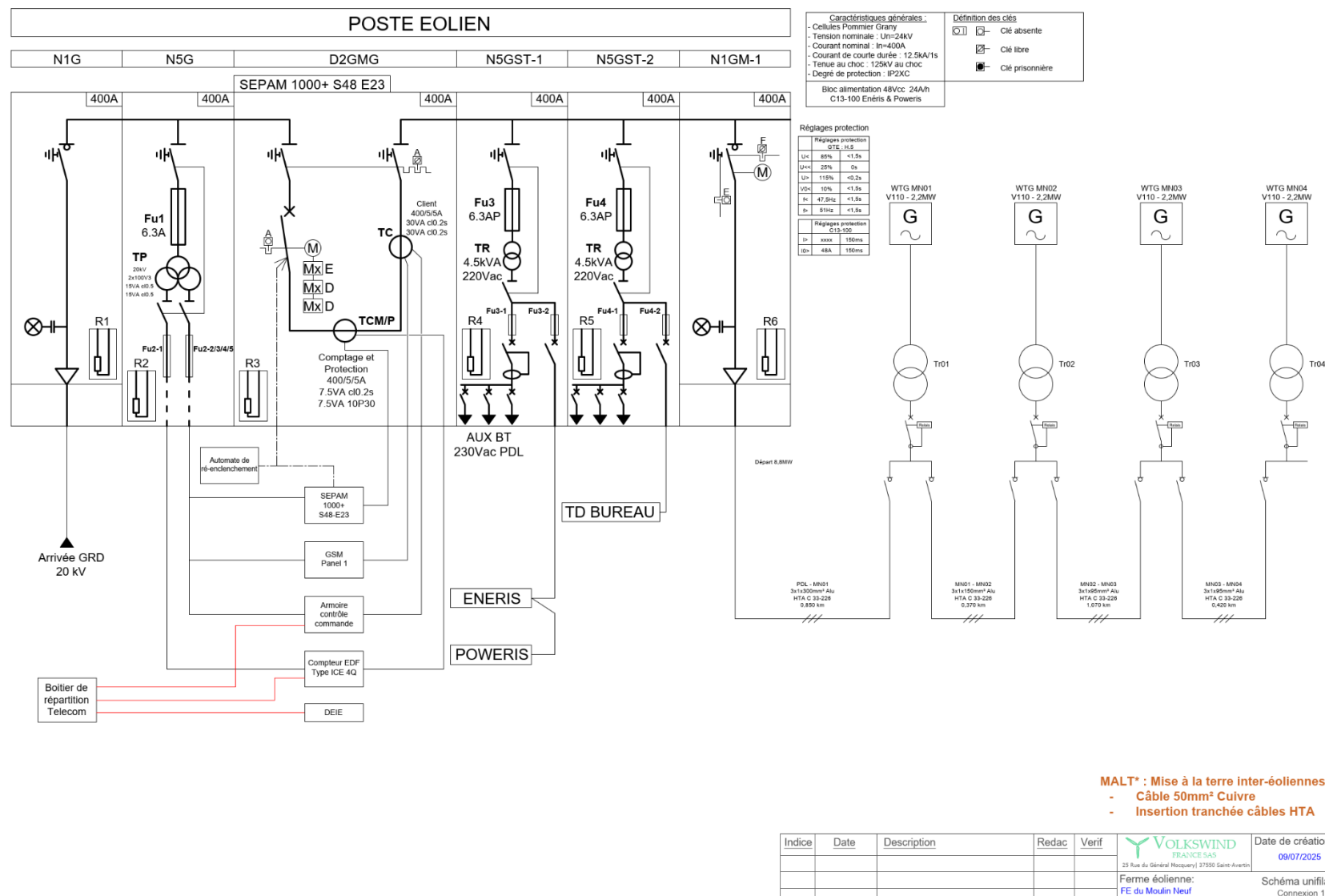
APR : Analyse Préliminaire des Risques

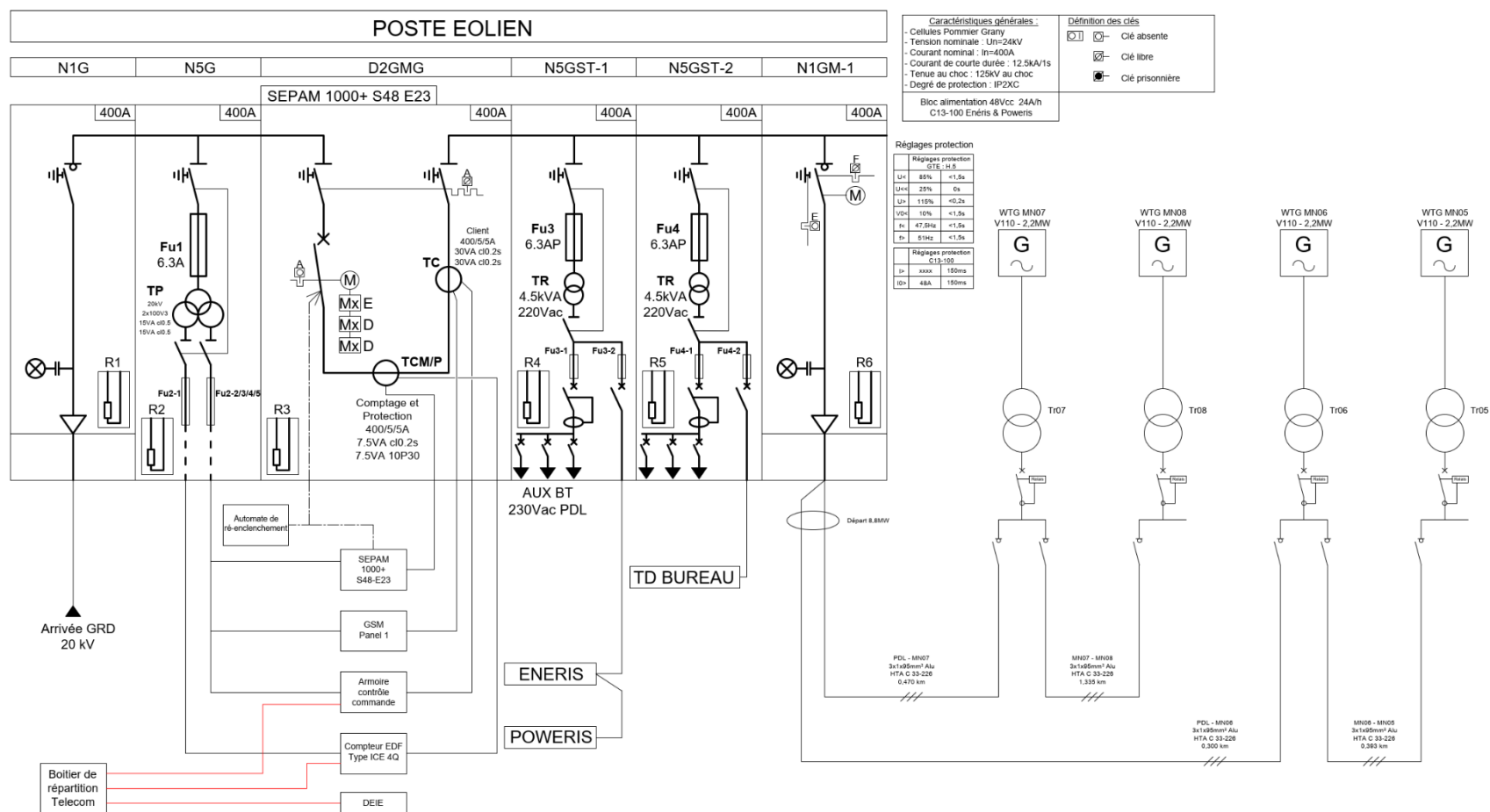
ERP : Etablissement Recevant du Public

ANNEXE 7 : Bibliographie et références utilisées

- [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 les arrêtés du 22 juin 2020 et du 10 décembre 2021, 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 Gütsch : 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., Leteurtrois 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

ANNEXE 8 : Schémas unifilaires





MALT* : Mise à la terre inter-éoliennes

- Câble 50mm² Cuivre
- Insertion tranchée câbles HTA

Indice	Date	Description	Redac	Verif		Date de création :
						09/07/2025

VOLKSWIND
FRANCE SAS
23 Rue du Général Miquoy 37350 Saint-Avertin

Ferme éolienne:
FE du Moulin Neuf
8 x V110 - 2.2 MW

Schéma unifilaire
Connexion 2
8.8 MW