Energie Eolienne Solidaire
8 bis Rue Daniel Mayer 37100 TOURS
Tél : 02 52 32 19 20
contact@energies-solidaire.fr

VOLUME N°5

Etude de Dangers

CHAMP EOLIEN DES TERRES DE LA MADELEINE
COMMUNE DE CORMAINVILLE (28)



Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale

Juin 2026 | Version complétée

SOMMAIRE

I. PREAMBULE 8

I.1. Objectif de l'étude de dangers 8

I.2. Contexte législatif et réglementaire 8

I.3. Nomenclature des installations classées 9

II. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION 10

II.1. Renseignements administratifs 10

II.2. Localisation du site 11

II.3. Définition de l'aire d'étude 12

III. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION 14

III.1. Environnement humain 14

III.1.1. Zones d'habitat 14

III.1.2. Etablissements recevant du public (ERP) 16

III.1.3. Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et installations nucléaires de base 16

III.1.4. Autres activités 16

III.2. Environnement naturel 19

III.2.1. Contexte climatique 19

III.2.2. Risques naturels 20

III.3. Environnement matériel 25

III.3.1. Voies de communication 25

III.3.2. Réseaux publics et privés 28

III.3.3. Autres ouvrages publics 28

III.4. Synthèse des enjeux 33

IV. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION 36

IV.1. Caractéristiques de l'installation 36

IV.1.1. Caractéristiques générales d'un parc éolien 36

IV.1.2. Activité de l'installation 38

IV.1.3. Composition de l'installation 38

IV.2. Fonctionnement de l'installation 41

IV.2.1. Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur 41

IV.2.2. Sécurité de l'installation 48

IV.2.3. Opérations de maintenance de l'installation 51

IV.2.4. Stockage et flux de produits dangereux 56

IV.3. Fonctionnement des réseaux de l'installation 56

IV.3.1. Raccordement électrique 56

IV.3.2. Autres réseaux 61

V. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION 61

V.1. Potentiels de dangers liés aux produits 62

V.1.1. Inventaire des produits 62
V.1.2. Dangers des produits 62
V.2. Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation 63
V.3. Réduction des potentiels de dangers à la source 64
V.3.1. Principales actions préventives 64
V.3.2. Utilisation des meilleures techniques disponibles 65
VI. ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE 66
VI.1. Inventaire des accidents et incidents en France 66
VI.2. Inventaire des accidents et incidents à l'international 70
VI.3. Inventaire des accidents majeurs survenus sur les sites de l'exploitant 73
VI.4. Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience 73
VI.4.1. Analyse de l'évolution des accidents en France 73
VI.4.2. Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents 73
VI.5. Limites d'utilisation de l'accidentologie 74
VII. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES 75
VII.1. Objectif de l'analyse préliminaire des risques 75
VII.2. Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques 75
VII.3. Recensement des agressions externes potentielles 76
VII.3.1. Agression externes liées aux activités humaines 76
VII.3.2. Agressions externes liées aux phénomènes naturels 78
VII.4. Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques 78
VII.5. Effets dominos 82
VII.6. Mise en place des mesures de sécurité 83
VII.7. Conclusion de l'analyse préliminaire des risques 90
VIII. ETUDE DETAILLEE DES RISQUES 91
VIII.1. Rappel des définitions 91
VIII.1.1. Cinétique 91
VIII.1.2. Intensité 92
VIII.1.3. Gravité 93
VIII.1.4. Probabilité 94
VIII.2. Caractérisation des scénarios retenus 95
VIII.2.1. Effondrement de l'éolienne 95
VIII.2.2. Chute de glace 97
VIII.2.3. Chute d'éléments de l'éolienne 100
VIII.2.4. Projection de pales ou de fragments de pales 102
VIII.2.5. Projection de glace 105
VIII.3. Synthèse de l'étude détaillée des risques 108
VIII.3.1. Tableau de synthèse des scénarios étudiés 108
VIII.3.2. Synthèse de l'acceptabilité des risques 109
VIII.3.3. Cartographie des risques 110

IX. CONCLUSION 115

Annexe 1 – Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne 117

Terrains non bâtis 117
Voies de circulation 117
Logements 118
Etablissements recevant du public (ERP) 118
Zones d'activité 119

Annexe 2 – Tableau de l'accidentologie française 120

Annexe 3 – Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques 131

Scénarios relatifs aux risques liés à la glace (G01 et G02) 131
Scénarios relatifs aux risques d'incendie (I01 à I07) 131
Scénarios relatifs aux risques de fuites (F01 à F02) 132
Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments (C01 à C03) 133
Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales (P01 à P06) 133
Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E01 à E10) 134

Annexe 4 – Probabilité d'atteinte et Risque individuel 135

Annexe 5 – Type Certificate de l'éolienne V110 2.2 MW 136

Annexe 6 – Schema unifilaire simplifié 137

Annexe 7 – Glossaire 138

Annexe 8 – Bibliographie et références utilisées 142

Résumé non technique

Le présent résumé non technique s'appuie sur l'étude de dangers, rédigée sur la base du Guide technique élaboré conjointement par le Syndicat des Energies Renouvelables et France Energie Eolienne (SER-FEE) et l'INERIS, sur la demande de la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) du ministère de l'écologie.
L'étude de dangers a pour rôle d'identifier de manière exhaustive les potentiels dangers et les risques associés afin de déterminer et de mettre en œuvre les moyens pour en réduire les impacts et la probabilité.

<u>Définition du périmètre d'étude :</u>

Le « périmètre d'étude » est le périmètre autour du projet dans lequel seront étudiés plus particulièrement les potentiels de dangers et risques associés identifiés dans le cadre de cette étude. Il correspond à la plus grande distance d'effet des scénarios développés dans la suite de l'étude. Il s'agit de l'ensemble des points situés à une distance inférieure ou égale à 500 mètres à partir de l'axe central du mât de l'aérogénérateur. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection d'éléments de l'éolienne.

<u>Description de l'environnement de l'installation :</u>

Le parc éolien des Terres de la Madeleine, composé de 2 aérogénérateurs et d'un poste de livraison, est localisé sur la commune de Cormainville, dans le département de l'Eure-et-Loir (28), en région Centre-Val de Loire.

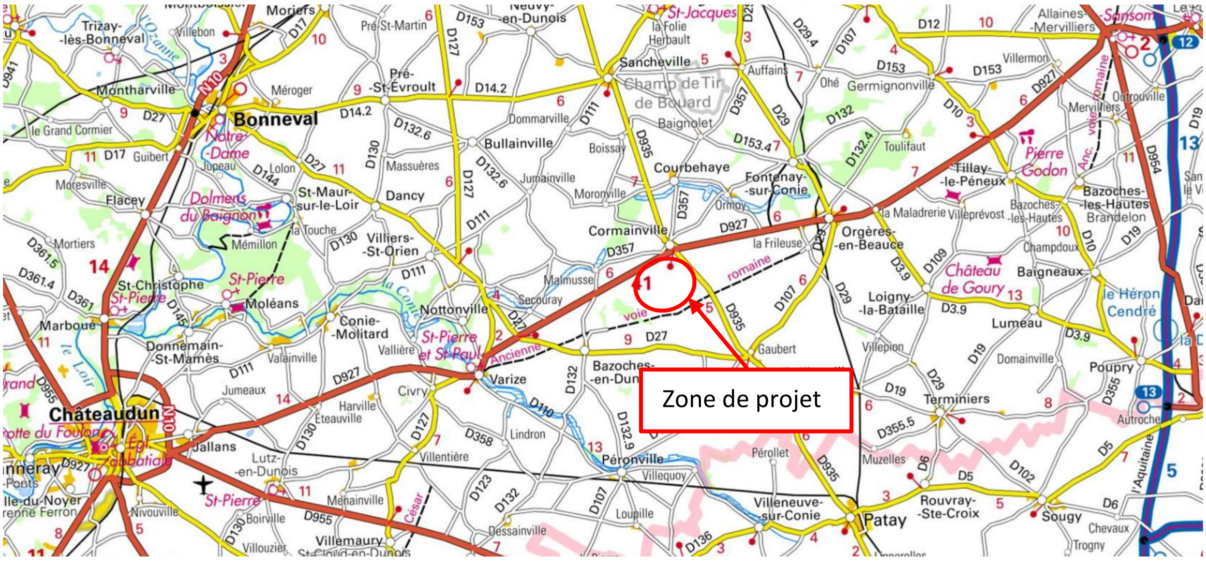


Figure 1 : Localisation générale du site de projet | Source : Géoportail

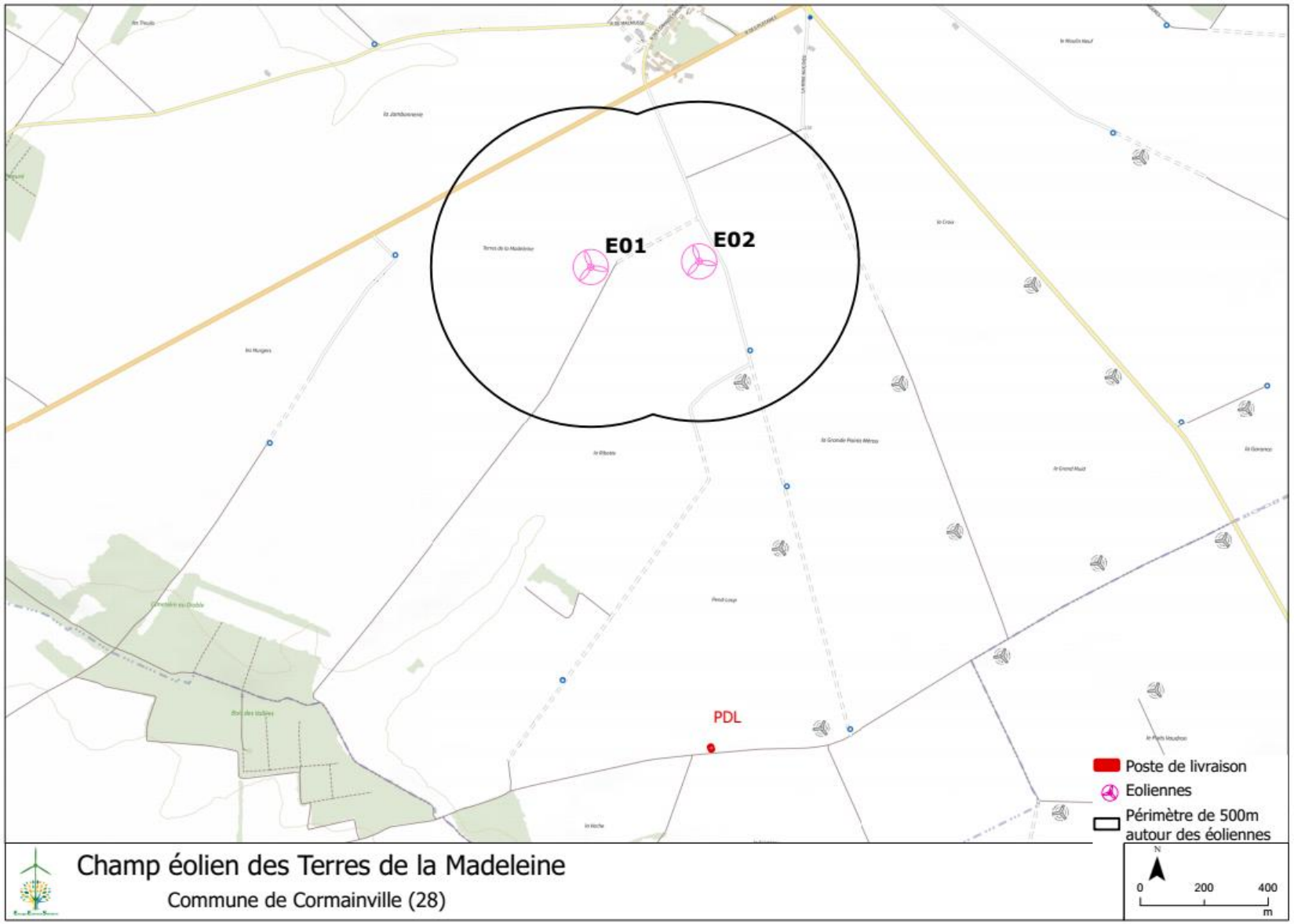


Figure 2 : Plan du projet et de son aire d'étude (500m) | Source : EES

Zones urbanisées : Le projet du champ éolien des Terres de la Madeleine se situe sur des terres agricoles en zone rurale. Les habitations les plus proches se situent au sud-ouest du bourg de Cormainville. Les mâts d'éoliennes sont situés à plus de 500 m de toute construction à usage d'habitation, de tout immeuble habité, ainsi que de toute zone constructible. L'éolienne la plus proche (E02) se situe à 560 m d'une habitation.

Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) : Selon la base de données Géorisques, la commune de l'aire d'étude compte 7 ICPE, qui sont 7 parcs éoliens localisés sur Cormainville.

Une éolienne de la ferme éolienne sur Pendloup est d'ailleurs localisée dans l'aire d'étude de 500 m autour des éoliennes du projet du Champ éolien des Terres de la Madeleine. Elle se situe à 409 m de E02 et 599 m de E01.

L'article 3 de l'arrêté du 10 décembre 2021 modifiant l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement précise qu'un mât doit être implanté à une distance minimale de 300 m d'une installation classée pour la protection de l'environnement, ce qui est bien le cas du présent projet. Aucun impact significatif n'est donc à attendre sur ces installations, les projets pourront cohabiter sans risque.

Zones touristiques : Aucune zone touristique n'est présente dans la zone d'étude de 500 mètres.

Voies de communication : L'aire d'étude de 500 m autour des éoliennes est traversée par une route départementale : la RD 927.
Selon le Règlement départemental de voirie publié par le Conseil départemental d'Eure-et-Loir, la RD 927 est une route départementale de catégorie 1, classée voie structurante, avec un trafic moyen journalier annuel (TMJA) supérieur à 2000 usagers par jour.

La RD 927 (catégorie C1) est située au nord de l'éolienne E01 à environ 415 m, et à 550 m au nord de l'éolienne E02.

Les usagers de la route départementale présents dans le périmètre de 500 m autour des éoliennes seront considérés comme des cibles potentiellement exposées aux phénomènes dangereux.

Réseaux publics et privés :

- Plusieurs lignes aériennes et souterraines à haute tension (HTA – 20.000V) gérées par Enedis sont présentes dans la zone du projet (la plus proche se situe à 73 m à l'est de l'éolienne E02). Ces ouvrages ne sont surplombés par aucune éolienne. Des mesures préventives seront mises en place lors de la construction et du démantèlement des éoliennes afin d'éviter tout risque d'accident (vérification des gabarits des engins, signalétique adéquate, etc.).

- Un réseau souterrain appartenant à Orange est recensé dans le périmètre de 500 m autour des éoliennes, au niveau de la RD 927. Au plus proche il passe à 422 m au nord de l'éolienne E01 et à 569 m au nord de l'éolienne E02 (cf. carte en pages suivantes). Lors d'un chantier de construction, la proximité de réseaux peut représenter un risque pour les personnes et les équipements, ainsi qu'un risque de dégradation par accident. Le cas échéant, des mesures adaptées sont à prévoir. Ainsi, une concertation avec le gestionnaire aura lieu pour permettre le passage de nos réseaux dans le respect du réseau existant et des mesures préventives seront mises en place lors de la construction et du démantèlement des éoliennes de ce projet afin de préserver ces réseaux (localisation précise du réseau et signalétique adaptée si nécessaire).

- L'implantation des éoliennes est compatible avec les périmètres de protection des captages d'alimentation en eau potable.

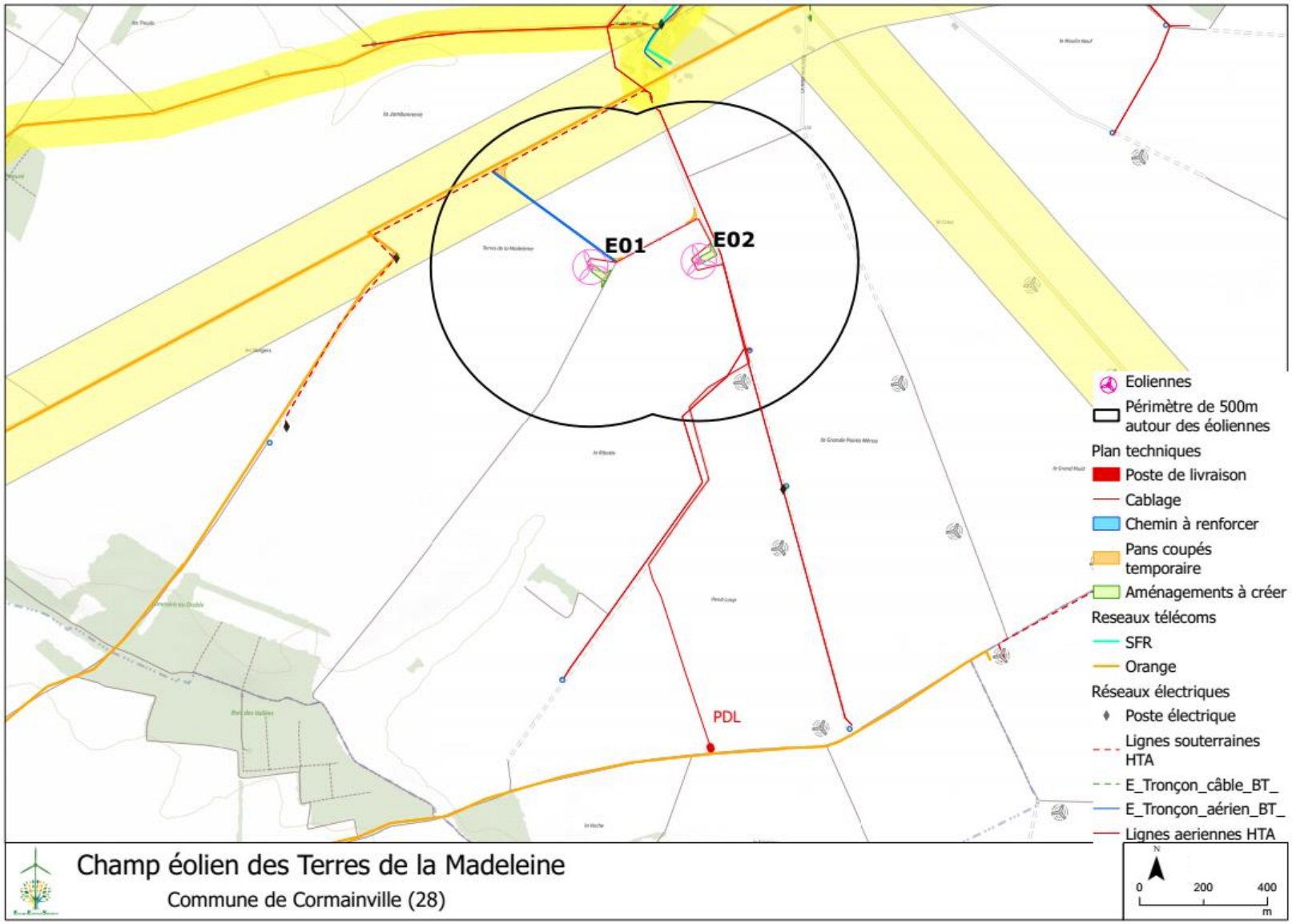


Figure 3 : Plan de l'installation et des réseaux | Source : EES

Risques naturels :

- *Le risque sismique* : La zone de projet se situe dans une zone où la sismicité est : « très faible ».

- *Les mouvements de terrain* : Aucun mouvement de terrain n'est observé dans le périmètre d'étude de 500 m autour des éoliennes.

- *L'aléa retrait-gonflement des argiles* : Le périmètre d'étude de 500 m autour des éoliennes n'est pas concerné par l'aléa « retrait gonflement des argiles ». Une étude géotechnique sera réalisée préalablement aux travaux de construction.

- *La foudre* : La zone d'étude est dans une région de France où le niveau kéraunique est très faible.

- *Le risque tempête* : Le phénomène pouvant avoir lieu sur la France entière, le risque n'est par conséquent jamais nul. Il est également très imprévisible. Les éoliennes seront conçues pour résister à ces événements exceptionnels.

- *Le risque incendie* : Le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM) d'Eure-et-Loir n'indique pas de risque particulier de feux de forêt. Au niveau de la zone de projet ou au voisinage, il n'y a pas de massifs boisés conséquents, mais uniquement des boisements relictuels, discontinus entre eux ce qui limite ce risque.

- *Le risque inondation* : L'aire d'étude de 500 m autour des éoliennes n'est pas concernée par un PPRi. De plus, la cartographie nationale du risque d'inondations par remontées de nappes au niveau de la zone d'étude indique que le périmètre d'étude de 500 m autour des éoliennes n'est pas exposé à ce risque. En effet, on ne retrouve pas l'existence de « Zones potentiellement sujettes au risque d'inondation de cave » ni de « Zones potentiellement sujettes au risque d'inondation de nappes » dans le périmètre étudié.

Description de l'installation :

Les 2 aérogénérateurs qui composent le Champ éolien des Terres de la Madeleine sont de type V110 – 2.2 MW.

Caractéristiques	Vestas V110 2,2 MW
Hauteur du mât (H)	81 m*
Diamètre du rotor	110 m
Longueur de pale (R)	55 m
Hauteur mât + pale	136 m*
Largeur à la base de la pale (LB)	1,874 m
Largeur à la base du mât (L)	4,45 m

** Le modèle V110 utilisé pour ce projet a habituellement un mât de 80 m pour une hauteur en bout de pale de 135 m. Ici, afin de protéger la faune volante, le choix a été fait de surélever la fondation d'un mètre au-dessus du terrain naturel.*

Ainsi, pour les calculs réalisés au sein de la partie VIII.ETUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES, chaque aérogénérateur a une hauteur de mât de 81 mètres au sens de la réglementation ICPE et un diamètre de rotor de 110 mètres, soit une hauteur totale en bout de pale de 136 mètres.

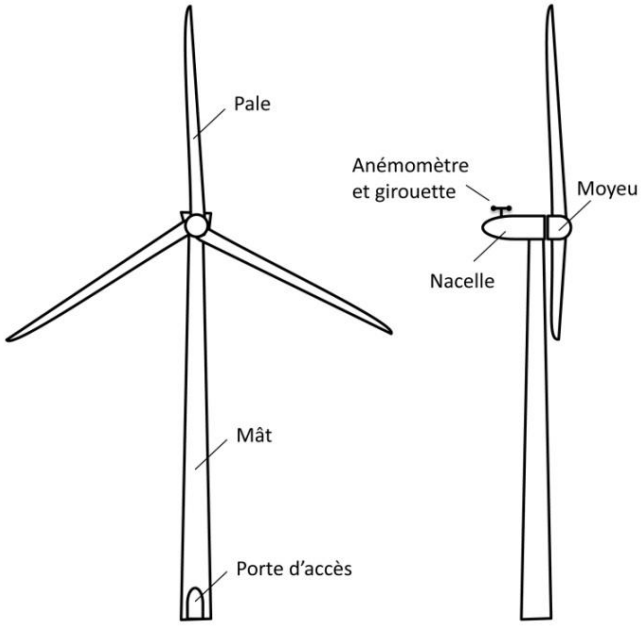


Figure 4 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

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

Numéro de l'éolienne	Coordonnées Lambert 93		Altitude du terrain (source : RGE Alti 1m)	Altitude en bout de pale (en mètres NGF)
	Longitude (X)	**Latitude (Y)**		
E01	595883	6781771	135	271
E02	596222	6781788	136	272
PDL	596259	6780266	134	/

Le raccordement électrique au réseau public de l'installation se fera en réseau enterré (20 kV) jusqu'au poste de livraison, localisé au sud de l'éolienne E02. Le réseau électrique externe relie les postes de livraison avec le poste source (réseau public de transport d'électricité). Ce réseau sera réalisé par le gestionnaire du réseau de distribution (généralement Enedis). Il sera lui aussi entièrement enterré.

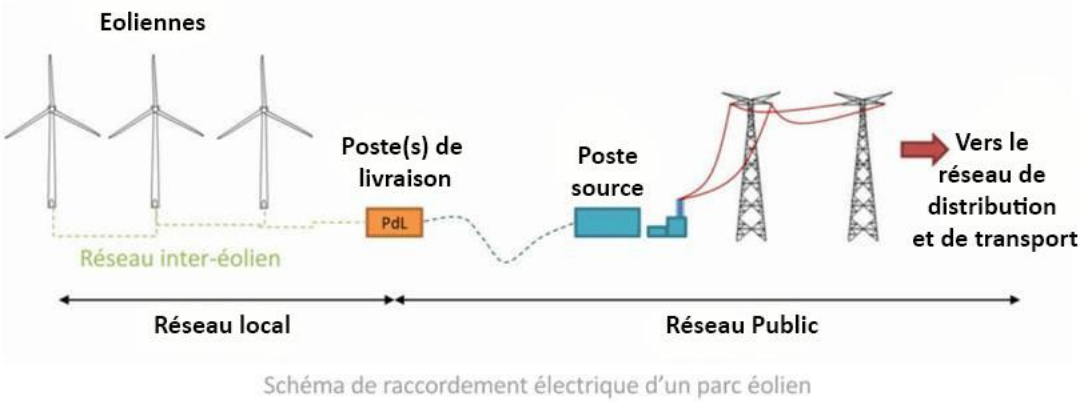


Figure 5 : Raccordement électrique des installations

A chaque moment de la vie du parc éolien, l'exploitant s'engage à veiller au respect de l'arrêté ministériel du 26 août 2011 modifié. En particulier, conformément à cet arrêté, le fonctionnement du parc éolien est entièrement automatisé et contrôlé à distance. Tous les paramètres de marche de l'aérogénérateur (conditions météorologiques, vitesse de rotation des pales, production électrique, etc.) sont transmis au centre de commande du parc éolien.

La maintenance des éoliennes sera assurée par l'exploitant du parc ou par un prestataire extérieur (constructeur de l'éolienne ou autre).

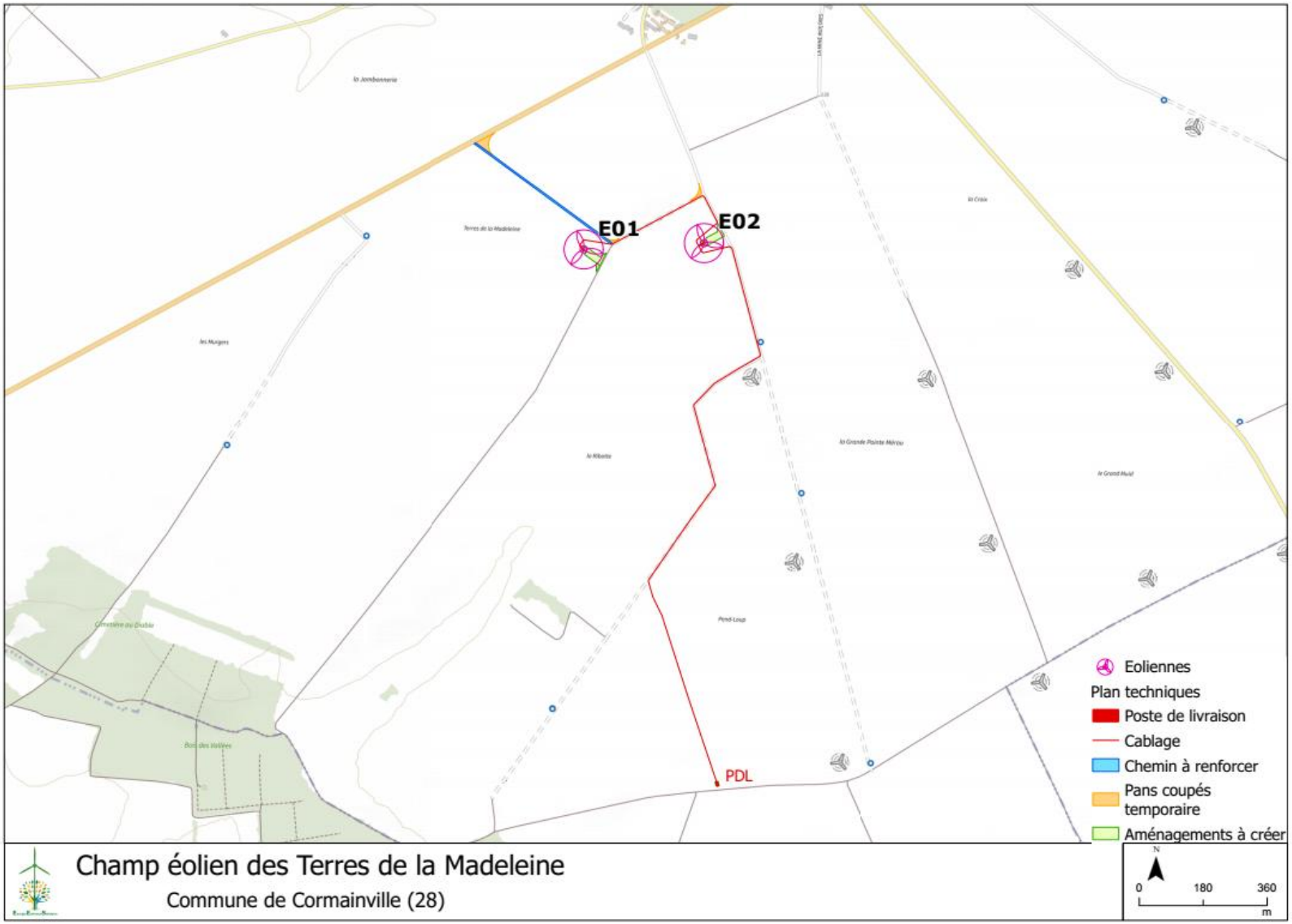


Figure 6 : Plan détaillé de l'installation | Source : EES

Présentation de la méthode d'analyse des risques :

La détermination du nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) permet d'identifier les enjeux à protéger dans la zone d'étude. La méthodologie de comptage est précisée en Annexe 1 du présent rapport. Elle se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers :

- Pour les terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts, friches, marais...) : 1 personne par tranche de 100 ha ;
- Pour les terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de circulation non structurantes, chemins agricoles, plateformes de stockage, vignes, jardins et zones horticoles, gares de triage...) : 1 personne par tranche de 10 hectares (base d'une largeur maximale de route de 10 mètres) ;
- Pour les 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 ;
- Pour les voies de circulation structurantes : on comptera 0,4 personne permanente par kilomètre exposé par tranche de 100 véhicules/jour (base d'une largeur maximale de route de 25 mètres) ;
- Pour les chemins de promenade, de randonnée : on comptera 2 personnes pour 1 km par tranche de 100 promeneurs/jour en moyenne.

La zone d'étude du projet du Champ Eolien des Terres de la Madeleine est constituée principalement de « terrains non aménagés et très peu fréquentés » et de « terrains aménagés mais peu fréquentés ».
La zone d'étude de E01 comporte également une portion de la RD 927, « voies de circulation structurantes », qui est prise en compte. La zone d'étude de E02 comporte également une éolienne existante de l'ensemble éolien de Cormainville, qui est prise en compte en considérant une fréquentation forfaitaire de deux personnes afin de tenir compte de la présence potentielle de travailleurs.
Dans la zone d'étude de 500 m autour des éoliennes il n'existe pas de logements, d'établissements recevant du public, de zones d'activités ou de tout autre terrain potentiellement fréquenté ou très fréquenté.

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. Afin de définir si le risque est acceptable ou non, il est nécessaire d'effectuer un calcul en fonction du niveau d'intensité (ratio entre la zone d'impact et la zone d'effet du phénomène étudié) ainsi que le niveau de gravité (en fonction du nombre de personnes exposés) associé à une probabilité d'occurrence (bibliographie).

Le tableau suivant récapitule, pour chaque événement redouté central retenu, les paramètres de risques : la cinétique, l'intensité, la gravité et la probabilité.

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale (136 m)	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes)[1]	Modérée
Chute d'éléments de l'éolienne	Zone de survol : 55m	Rapide	Exposition modérée	C	Modérée
Chute de glace	Zone de survol : 55m	Rapide	Exposition modérée	A	Modérée
Projection de pale ou de fragments de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes)[2]	Sérieux
Projection de glace	285 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	B	Modéré

[1] *Voir paragraphe VIII.2.1*
[2] *Voir paragraphe VIII.2.4*

Synthèse de l'acceptabilité des risques :

L'acceptabilité des accidents potentiels pour chacun des phénomènes dangereux étudiés est rappelée. Le positionnement des accidents potentiels est repris dans la matrice de criticité de synthèse ci-dessous afin de conclure à l'acceptabilité (ou non) du risque généré par le parc éolien des Terres de la Madeleine :

GRAVITÉ des Conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		Projection de pale			
Modéré		Effondrement	Chute d'éléments	Projection de glace	Chute de glace

Légende de la matrice

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

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- Aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice (risque important et non acceptable) ;
- Un accident figure en case jaune (risque faible mais acceptable) : Chute de glace. Pour cet accident, il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie VII.6 sont mises en place.

Description des principales mesures d'amélioration permettant la réduction des risques :

Des fonctions de sécurité pour prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace et prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace sont prévues.

Notamment, les éoliennes disposent d'un système d'arrêt automatique en cas de déduction ou détection de glace ou de gel sur les pales de l'éolienne.

Globalement, les éoliennes qui seront implantées sur le site seront équipées de systèmes de sécurité performants et modernes, qui répondent à l'ensemble des incidents potentiels identifiés dans l'analyse des risques :

- Système d'arrêt automatique en cas de déduction de glace sur les pales ;
- Système de capteur d'échauffement des pièces mécaniques ;
- Système d'arrêt d'urgence en cas de détection de survitesse ;
- Système de prévention des courts-circuits ;
- Système de protection contre la foudre ;
- Système de protection contre l'incendie ;
- Système de détection et de rétention des fuites ;
- Contrôle régulier de la stabilité de l'éolienne ;
- Système de prévention de la dégradation de l'état des équipements ;
- Système de prévention des risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort ;
- Maintenance préventive régulière sur l'ensemble des pièces mécaniques et électriques de l'éolienne.

Ces systèmes de sécurité sont adaptés aux risques et seront entretenus régulièrement.

Des études de sol seront réalisées avant les travaux afin d'adapter les fondations des éoliennes en fonction de la nature et des caractéristiques du terrain. Et l'implantation des éoliennes est suffisamment éloignée des zones fréquentées.

La certification dont bénéficient les éoliennes garantit que ces aérogénérateurs sont adaptés au régime de vent du site et qu'ils répondent à l'ensemble des exigences de la réglementation en matière de sécurité.

De plus, les prescriptions générales de l'arrêté du 26 aout 2011 modifié sont respectées.

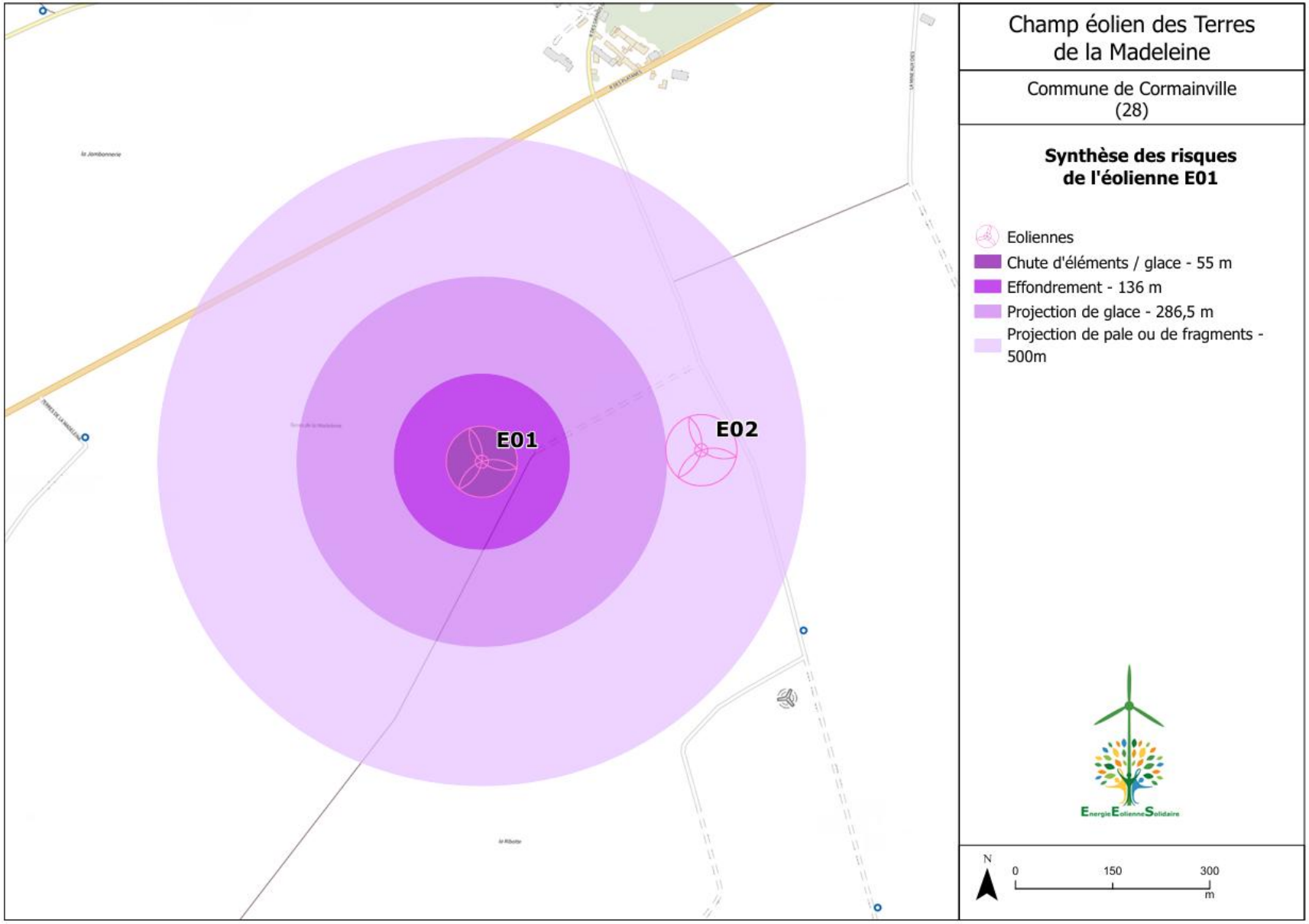
Ainsi, les mesures nécessaires pour maitriser les risques ont été mises en œuvre.

En conclusion, au vu des éléments présentés dans l'étude de dangers les risques associés à chaque évènement étudié sont jugés acceptables, quelle que soit l'éolienne considérée. Ainsi, le risque généré par le parc éolien des Terres de la Madeleine est acceptable.

Cartographies de synthèse :

Les cartes de synthèse ci-dessous font apparaître, pour chaque aérogénérateur, pour les scénarios 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.


E01
E02
Champ éolien des Terres de la Madeleine
Commune de Cormainville (28)
Synthèse des risques de l'éolienne E01
Eoliennes
Chute d'éléments / glace - 55 m
Effondrement - 136 m
Projection de glace - 286,5 m
Projection de pale ou de fragments - 500m
EnergieEolienneSolidaire
N
0
150
300
m

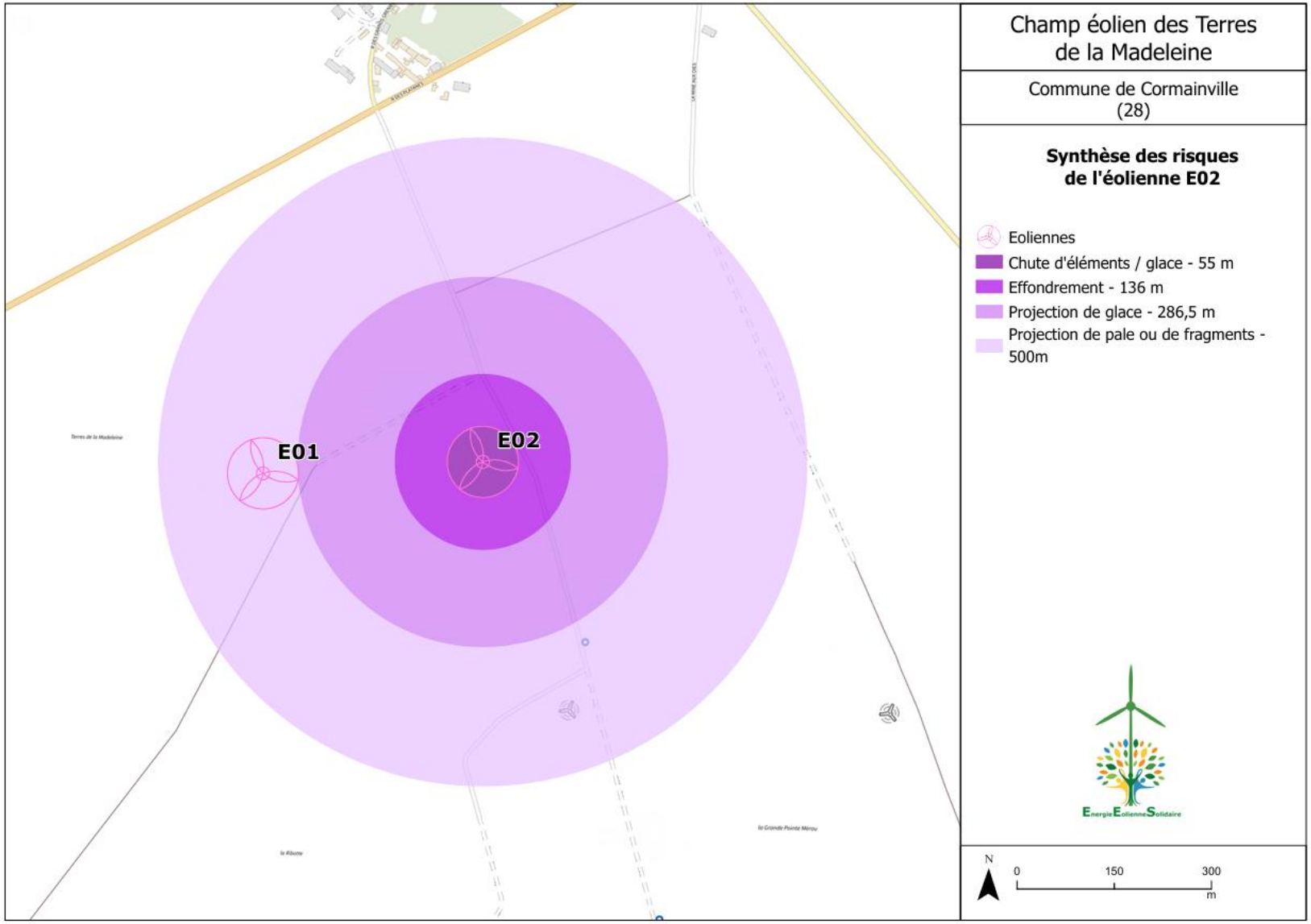


Figure 7 : Cartes de synthèse des risques des éoliennes du projet

I. PRÉAMBULE

I.1. OBJECTIF DE L'ÉTUDE DE DANGERS

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du champ éolien des Terres de la Madeleine, autant que technologiquement réalisable et économiquement acceptable, que leurs causes soient intrinsèques aux substances ou matières utilisées, liées aux procédés mis en œuvre ou dues à la proximité d'autres risques d'origine interne ou externe à l'installation.

Cette étude est proportionnée aux risques présentés par les éoliennes du champ éolien des Terres de la Madeleine. Le choix de la méthode d'analyse utilisée et la justification des mesures de prévention, de protection et d'intervention sont adaptés à la nature et la complexité des installations et de leurs risques.

Elle précise l'ensemble des mesures de maîtrise des risques mises en œuvre sur le champ éolien des Terres de la Madeleine, qui réduisent le risque à l'intérieur et à l'extérieur des éoliennes à un niveau jugé acceptable par l'exploitant.

Ainsi, cette étude permet une approche rationnelle et objective des risques encourus par les personnes ou l'environnement, en satisfaisant les principaux objectifs suivants :

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

I.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 classés soumises à autorisation [10] 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 par l'article R. 512-9 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 ;
- étude 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.

I.3. NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSÉES

Installation de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent :

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

A. – Nomenclature des installations classées			
N°	DÉSIGNATION DE LA RUBRIQUE	A, E, D, S, C (1)	RAYON (2)
2980	Installation terrestre de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs : 1. Comprenant au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m	A	6
	2. Comprenant uniquement des aérogénérateurs dont le mât a une hauteur inférieure à 50 m et au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur maximale supérieure ou égale à 12 m et pour une puissance totale installée : *a)* Supérieure ou égale à 20 MW *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 champ éolien des Terres de la Madeleine comprend au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m : cette installation est donc soumise à autorisation (A) au titre des installations classées pour la protection de l'environnement et doit présenter une étude de dangers au sein de sa demande d'autorisation d'exploiter.

Les 2 aérogénérateurs qui composent le champ éolien des Terres de la Madeleine sont de type V110 - 2.2 MW, et atteignent une hauteur hors sol maximale de 136 m en bout de pale.

II. INFORMATIONS GÉNÉRALES CONCERNANT L'INSTALLATION

II.1. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

La société Champ éolien des Terres de la Madeleine est la société pétitionnaire de la demande d'autorisation environnementale et d'exploitation du futur parc éolien des Terres de la Madeleine. Cette société de projet a été constituée spécifiquement pour le projet de parc éolien sur la commune de Cormainville et sera le maitre d'ouvrage du futur parc éolien.

Identité du demandeur	
Raison sociale de la société	Champ éolien des Terres de la Madeleine
Forme juridique	Société par Actions Simplifiée (SAS)
N° de Siret	981 338 734 00016
N° APE	3511Z / Production d'électricité
Adresse du siège social	50 rue du Mûrier 37540 SAINT CYR SUR LOIRE
Capital	1000,00 €
Activité	Production et vente d'électricité

La présente étude de dangers a été rédigée par Julie Rodriguez (Chef de projets EnR) ainsi que Margaux Peraudeau (Cartographe / Dessinatrice) de la société Energie Eolienne Solidaire.

II.2. LOCALISATION DU SITE

Le champ éolien des Terres de la Madeleine, composé de 2 aérogénérateurs et d'un poste de livraison, est localisé sur la commune de Cormainville, dans le département de l'Eure-et-Loir (28), en région Centre-Val de Loire.

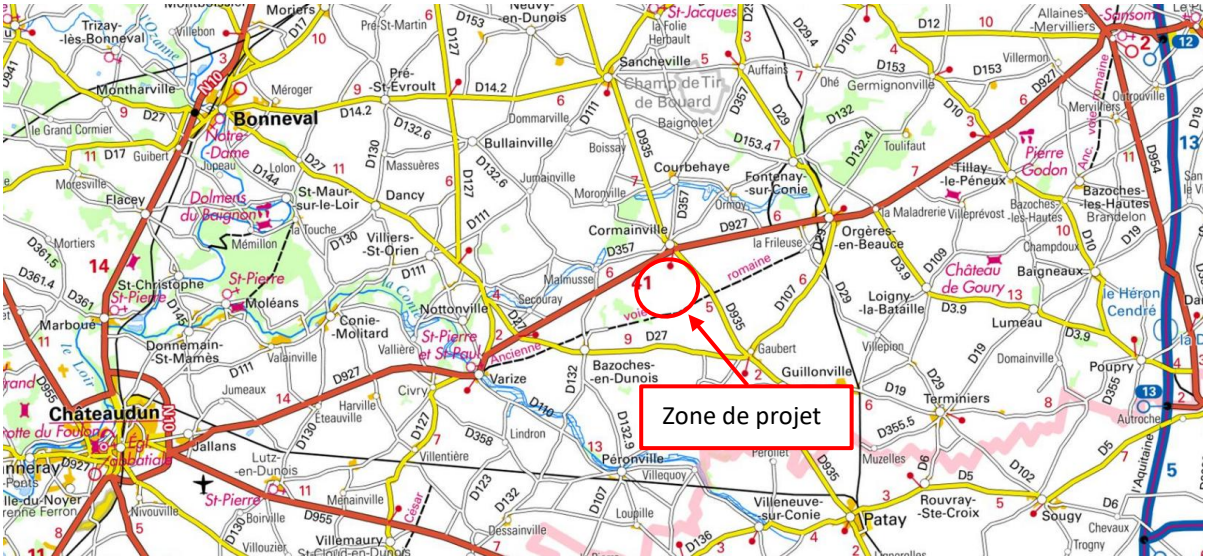


Figure 8 : Localisation générale du site de projet

Source : Géoportail

Figure 9 : Localisation de la Zone d'Implantation Potentielle (ZIP)
Source : EES

II.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 VIII.2.4.

La zone d'étude n'intègre pas les environs du poste de livraison, qui sera néanmoins représenté sur la carte. Les expertises réalisées dans le cadre de la présente étude ont en effet montré l'absence d'effet à l'extérieur du poste de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter.

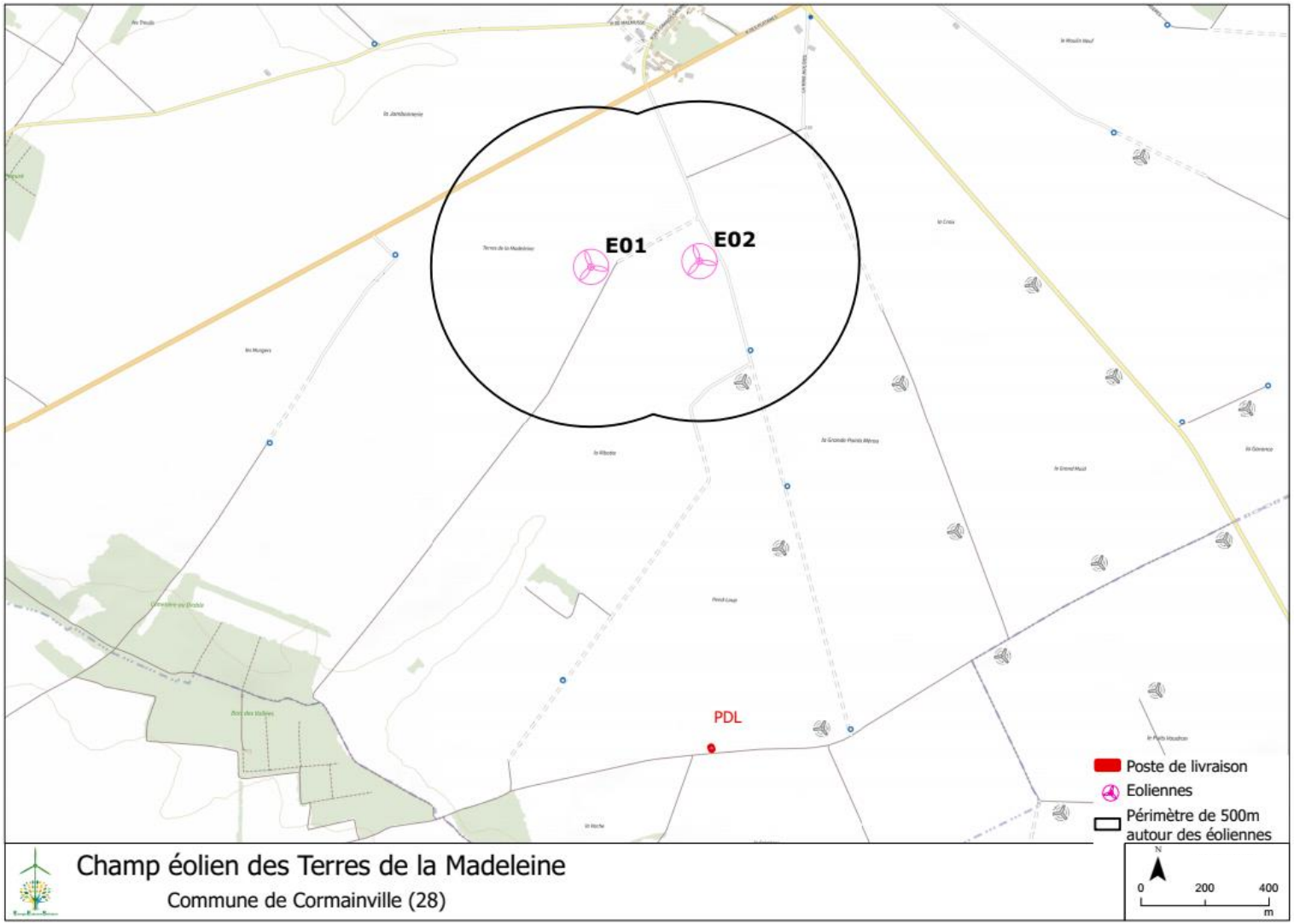


Figure 10 : Plan du projet et de son aire d'étude (500m)
Source : EES

III. 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 (agressions potentielles). Ce chapitre fait l'objet d'une description détaillée dans l'Etude d'Impact.

III.1. ENVIRONNEMENT HUMAIN

III.1.1. ZONES D'HABITAT

L'étude de dangers s'intéresse aux populations situées dans la zone sur laquelle porte l'étude, et à proximité.

Le périmètre d'étude regroupe les communes de Cormainville et Bazoches-en-Dunois :

- La commune de Cormainville comptait 232 habitants lors du recensement de la population réalisé par l'INSEE en 2018, soit une densité de 13,0 hab/km² ;

- La commune de Bazoches-en-Dunois comptait 260 habitants lors du recensement de la population réalisé par l'INSEE en 2018, soit une densité de 13,9 hab/km².

Ces deux communes présentent la même configuration d'aménagement des habitats, à savoir un centre-bourg concentrant la majeure partie de l'habitat mais aussi de nombreux hameaux de tailles variables.

Le projet du champ éolien des Terres de la Madeleine se situe sur des terres agricoles en zone rurale. Les habitations les plus proches se situent au sud-ouest du bourg de Cormainville. Les mâts d'éoliennes sont situés à plus de 500 m de toute construction à usage d'habitation, de tout immeuble habité, ainsi que de toute zone constructible. L'éolienne la plus proche (E02) se situe à 560 m d'une habitation.

Il est à noter qu'aucun bâtiment à usage agricole n'est situé dans le périmètre des 500m.

Ainsi, conformément à l'article 3 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié, l'installation est implantée de telle sorte que les aérogénérateurs soient situés à une distance minimale de 500 m de toute construction à usage d'habitation, de tout immeuble habité ou de toute zone destinée à l'habitation telle que définie dans les documents d'urbanisme opposables en vigueur.

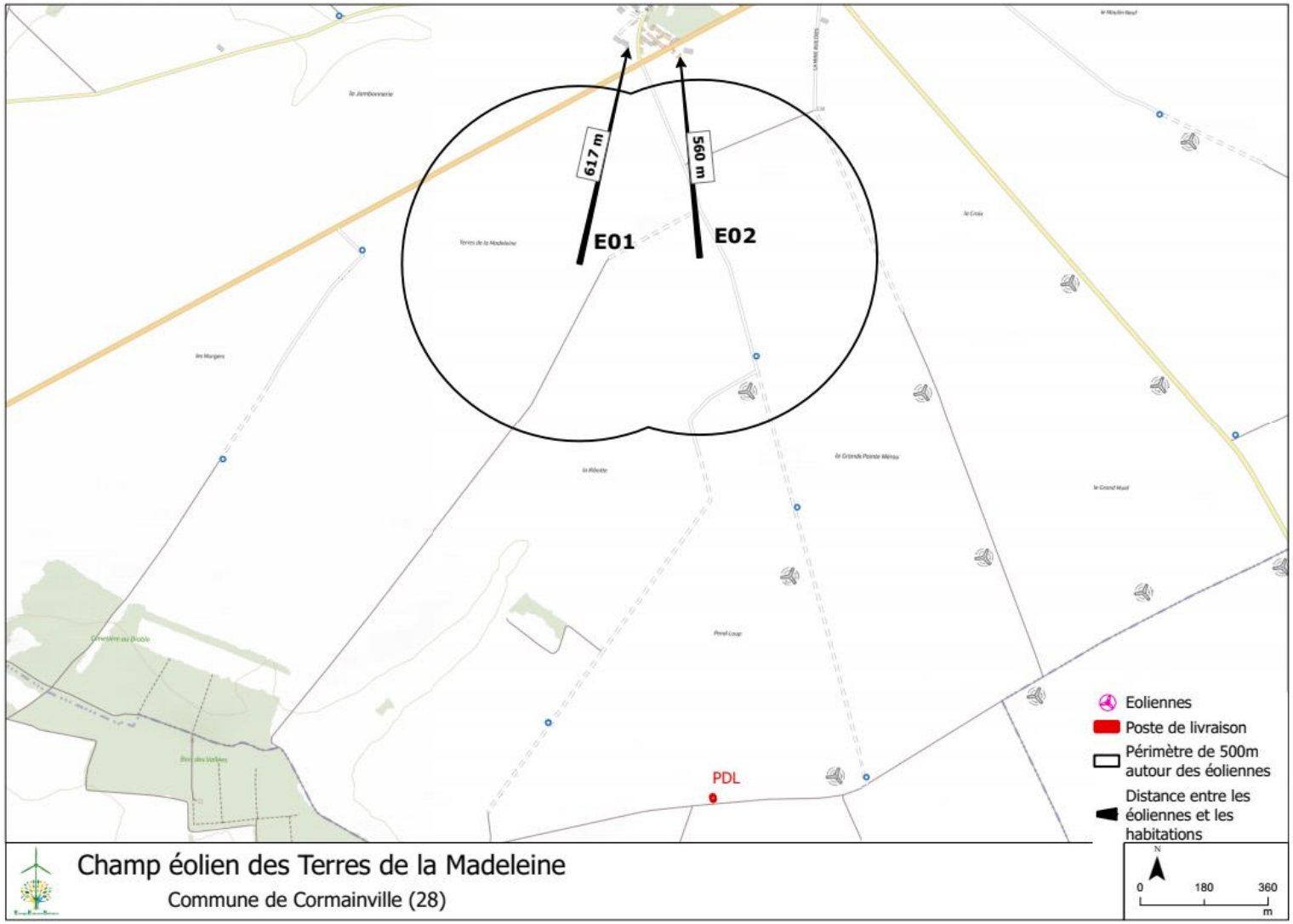


Figure 11 : Distance aux habitations
Source : EES

III.1.2. ETABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC (ERP)

D'après la liste des établissements disponible sur le site de la préfecture d'Eure-et-Loir, aucun ERP n'est recensé dans la zone d'étude.

III.1.3. INSTALLATIONS CLASSÉES POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (ICPE) ET INSTALLATIONS NUCLÉAIRES DE BASE

Le risque industriel en Eure-et-Loir est la combinaison de la probabilité de survenue d'un accident industriel sur le territoire du département et de ses conséquences négatives potentielles pour la santé humaine, l'environnement ou les biens, dont le patrimoine culturel et l'activité économique.

Aucune installation nucléaire de base n'est dénombrée dans le département.

Onze établissements de statut Seveso sont dénombrés dans le département : trois « Seveso seuil haut » et huit « Seveso seuil bas ».

Selon la base de données Géorisques, il n'existe pas d'établissement SEVESO dans les limites de l'aire d'étude de dangers de 500 m autour des éoliennes.

Une Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE) désigne toute exploitation industrielle ou agricole susceptible de créer des risques ou de provoquer des pollutions ou nuisances, notamment pour la sécurité et la santé des riverains est une installation classée.

Selon la base de données Géorisques, la commune de l'aire d'étude compte 7 ICPE, qui sont 7 parcs éoliens localisés sur Cormainville.

Une éolienne de la ferme éolienne sur Pendloup est d'ailleurs localisée dans l'aire d'étude de 500 m autour des éoliennes du projet du Champ éolien des Terres de la Madeleine. Elle se situe à 409 m de E02 et 599 m de E01 (cf. carte en page suivante).

L'article 3 de l'arrêté du 10 décembre 2021 modifiant l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement précise qu'un mât doit être implanté à une distance minimale de 300 m d'une installation classée pour la protection de l'environnement, ce qui est bien le cas du présent projet.

En outre, la société estime que la création des éoliennes du Champ Eolien des Terres de la Madeleine n'aura pas d'impact significatif sur les parcs éoliens déjà existants et localisés à proximité. En effet, la distance et le positionnement des éoliennes n'engendrera pas d'effet de sillage significatif et donc pas de pertes de production significatives aux parcs existants. De la même manière, aucun effet quant au bon fonctionnement des éoliennes de ces parcs n'est attendu (fatigue anormale des éoliennes, besoin de maintenance accrue ou autre).

Aucun impact significatif n'est donc à attendre sur ces installations, les projets pourront cohabiter sans risque.

III.1.4. AUTRES ACTIVITÉS

- **Autres activités industrielles :**

La Carte des Anciens Sites Industriels et Activités de Service (CASIAS) du BRGM a été consultée. Aucun établissement industriel ou artisanal en activité n'est localisé dans les limites de la zone d'étude de 500 mètres.

Les informations de l'administration concernant une pollution suspectée ou avérée (ex-BASOL) recensent les sites, ou anciens sites industriels, pollués ou potentiellement pollués appelant une action des pouvoirs publics, à titre préventif ou curatif, connus de l'État. Ce nouveau système d'information mis en place par le ministère chargé de l'environnement permet la cartographie de ces sites (ex-BASOL) à l'échelle de la parcelle cadastrale. Aucun site n'est référencé dans les limites de la zone d'étude de 500 mètres dans cette base de données.

- **Zone d'activités et de loisirs :**

Il n'existe pas de zone d'activités et aucune zone de loisirs dans la limite de la zone d'étude de 500 mètres.

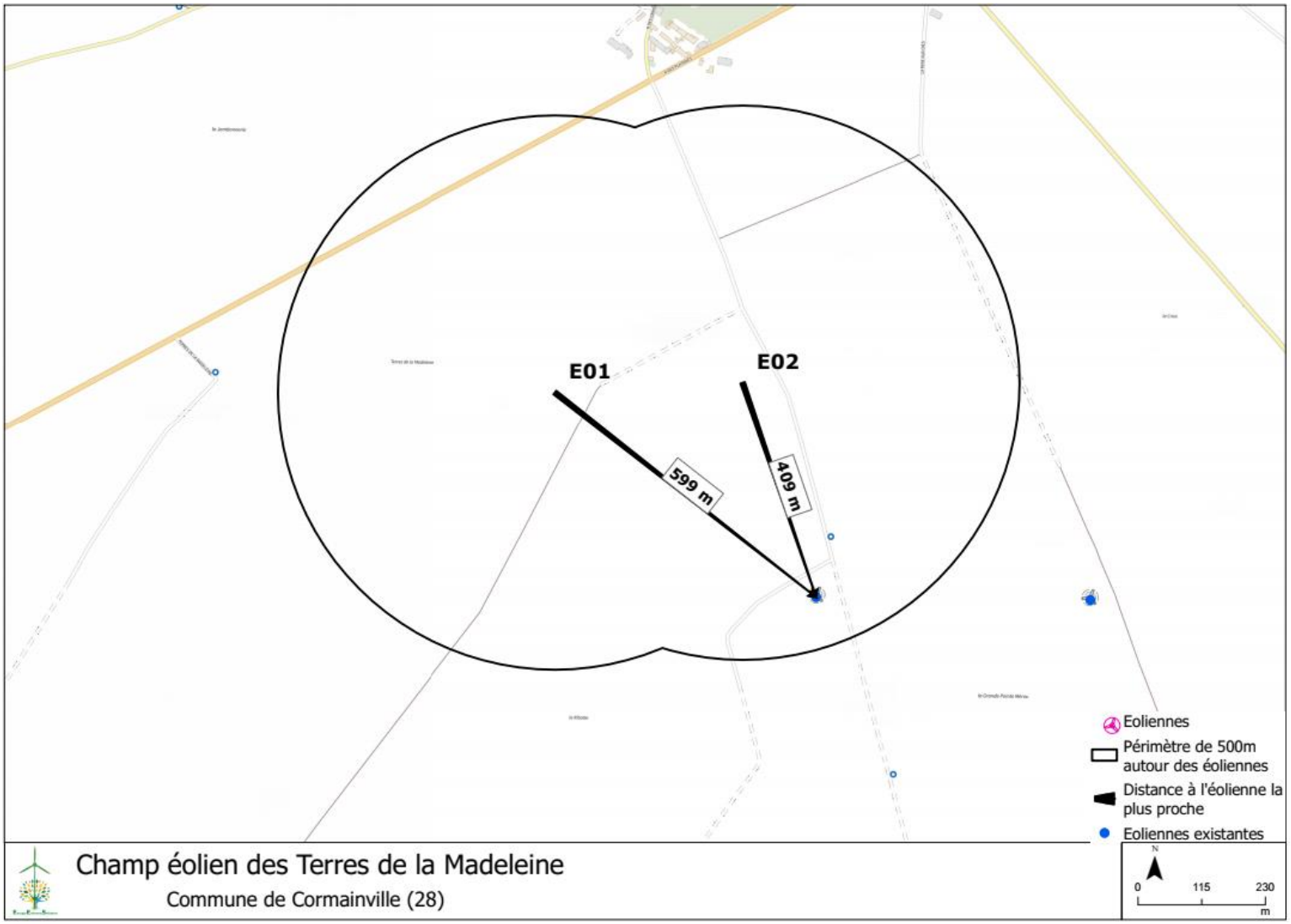


Figure 12 : Distances entre les éoliennes du projet et les éoliennes des parcs existants les plus proches
Source : EES

- **Zone touristique :**

Aucune zone touristique n'est présente dans la zone d'étude de 500 mètres.

- **Zone agricole :**

Le projet de champ éolien des Terres de la Madeleine est localisé sur une zone agricole.

Les agriculteurs présents dans le périmètre de 500 m autour des éoliennes seront considérés comme des cibles potentiellement exposées aux phénomènes dangereux associées aux installations techniques.

III.2. ENVIRONNEMENT NATUREL

III.2.1. CONTEXTE CLIMATIQUE

Le climat de la région Centre-Val de Loire est de type océanique dégradé. Il se caractérise par une influence océanique prépondérante, altérée par l'éloignement du littoral qui lui confère une légère influence continentale. Ainsi les hivers sont doux, les étés relativement frais, les pluies assez régulières mais en faibles quantités.

La station météorologique de Châteaudun (données 1981-2010), située à environ 20 km au sud-ouest de la zone de projet, indique :

- Une pluviométrie annuelle moyenne de 612 mm ;
- Une température moyenne de 15,8°C oscillant entre 7,9°C en février et 25,3°C en juillet.

La station météorologique d'Orléans-Bricy (données 1981-2010), située à environ 20 km au sud-est de la zone de projet, permet d'apporter des informations qui ne sont pas disponibles pour la station météorologique de Châteaudun :

- 17 jours d'orages en moyenne par an ;
- 54,8 jours de gelée en moyenne par an.

La rose des vents disponible la plus proche de la zone de projet est celle de la station météorologique de Châteaudun. Elle permet d'obtenir les secteurs de vents dominants. Les vents dominants sur la zone de projet sont des vents du sud-ouest et du nord-est.

La vitesse du vent moyenné sur 10 min sur l'année est de 4,1 m/s au niveau du sol (source : Fiche Climatologique MeteoFrance – Châteaudun (28)).

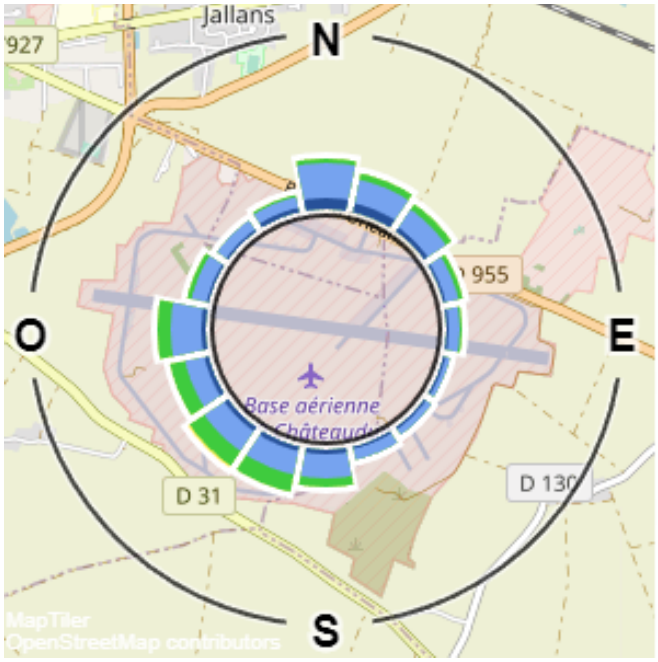


Figure 13 : Rose des vents pour la station météorologique de Châteaudun

Source : Windfinder

III.2.2. RISQUES NATURELS

- **Risque sismique :**

Le territoire national est divisé en 5 zones de sismicité (allant de 1 à 5), ce zonage est défini par le décret du 22 octobre 2010. Selon ce zonage, les communes de la zone de projet sont classées en sismicité 1 – risque très faible.

Le risque est donc très faible mais non nul.

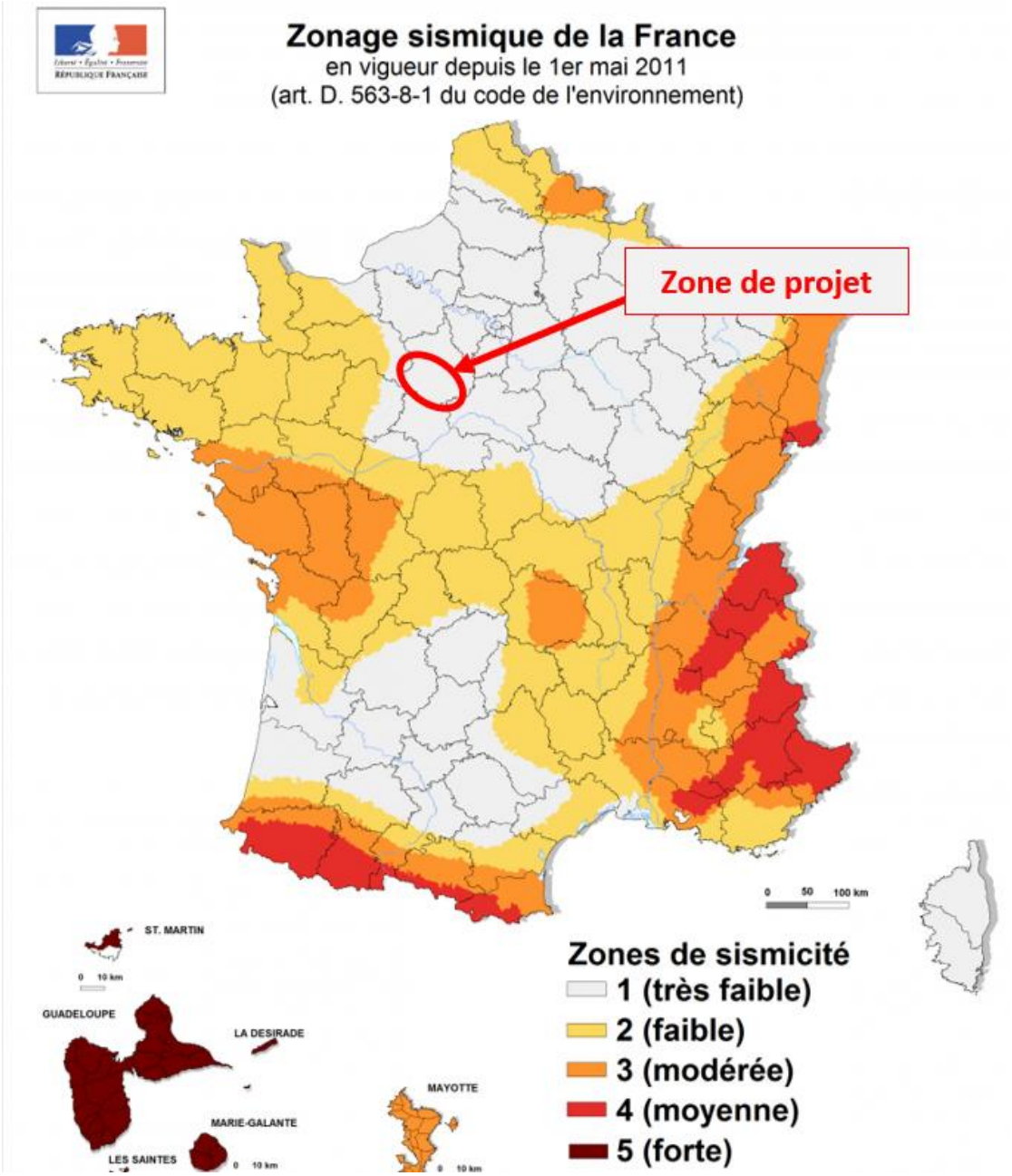


Figure 14 : Zonage sismique de la France

Source : BRGM

- **Risque de mouvement de terrain :**

Un mouvement de terrain est un déplacement plus ou moins brutal du sol ou du sous-sol, en fonction de la nature et de la disposition des couches géologiques. Il s'inscrit dans le cadre des processus généraux d'érosion mais peut être favorisé, voire provoqué, par certaines activités anthropiques.

Aucun mouvement de terrain n'est observé dans le périmètre d'étude de 500 m autour des éoliennes.

- **Aléa retrait-gonflement des argiles :**

Les horizons superficiels du sous-sol peuvent se dessécher sous l'effet de certaines conditions météorologiques. L'argile perd alors son eau en se rétractant. Lorsque ce phénomène se produit sous le niveau des fondations, cela peut générer des tassements et entrainer des fissures.

Le risque de retrait/gonflement des argiles est gradué selon une échelle d'exposition variant de l'aléa faible à fort. D'après la carte éditée par le BRGM (cf. carte en page suivante), le périmètre d'étude de 500 m autour des éoliennes n'est pas concerné par une exposition à l'aléa « retrait gonflement des argiles ».

Il est toutefois à mentionner qu'une étude géotechnique sera réalisée préalablement aux travaux de construction afin de vérifier et prendre en compte l'existence de toute contrainte.

- **Risque foudre :**

Les orages sont des phénomènes atmosphériques reconnaissables par la présence d'un éclair et de coups de tonnerre. La probabilité de foudroiement devient alors plus forte.

La densité de foudroiement dans les communes d'Eure-et-Loir est d'environ 0.6 nsg/km²/an. C'est l'une des valeurs les plus faibles parmi tous les départements français. En effet, l'Eure-et-Loir se classe 78ème sur 96 à l'échelle nationale.

Le risque est donc très faible mais non nul.

- **Risque de tempêtes / cyclones :**

Lorsque les vents dépassent les 89km/h (48 nœuds, degré 10 de l'échelle de Beaufort), on parle de tempête. Elles concernent la France entière et pas seulement la façade Atlantique. L'essentiel des tempêtes ont lieu en automne et en hiver. La rafale de vent maximale mesurée dans le secteur est de 144 km/h à Châteaudun, en 1999 (Source : infoclimat.fr).

Le phénomène pouvant avoir lieu sur la France entière, le risque n'est jamais nul. Il est également très imprévisible.

Les éoliennes seront conçues pour résister à ces événements exceptionnels.

- **Risque d'incendies de forêt et de cultures :**

Le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM) d'Eure-et-Loir n'indique pas de risque particulier de feux de forêt. Au niveau de la zone de projet ou au voisinage, il n'y a pas de massifs boisés conséquents, mais uniquement des boisements relictuels, discontinus entre eux ce qui limite ce risque.



Figure 15 : Aléa retrait-gonflement des argiles
Source : Géorisques

- **Risque d'inondation :**

Le département ne présente pas de risque particulier à l'inondation, néanmoins 4 rivières sont soumises à de plus forte crues en période hivernales :

- L'Huisne
- Le Loir
- L'Eure
- L'Avre.

La zone d'étude se situe à environ 13 km à l'est du Loir. La commune de Cormainville n'est pas soumise au risque inondation. Ainsi, le périmètre d'étude de 500m autour des éoliennes n'est pas concerné par un PPRi en vigueur (Source : https://www.eure-et-loir.gouv.fr/Politiques-publiques/Risques-naturels-et-technologiques/Risques-inondation/PPR-Inondation-approuves).

La cartographie nationale du risque d'inondations par remontées de nappes au niveau de la zone d'étude indique que le périmètre d'étude de 500m autour des éoliennes n'est pas exposé à ce risque. En effet, on ne retrouve pas l'existence de « Zones potentiellement sujettes au risque d'inondation de cave » ni de « Zones potentiellement sujettes au risque d'inondation de nappes » dans le périmètre étudié.

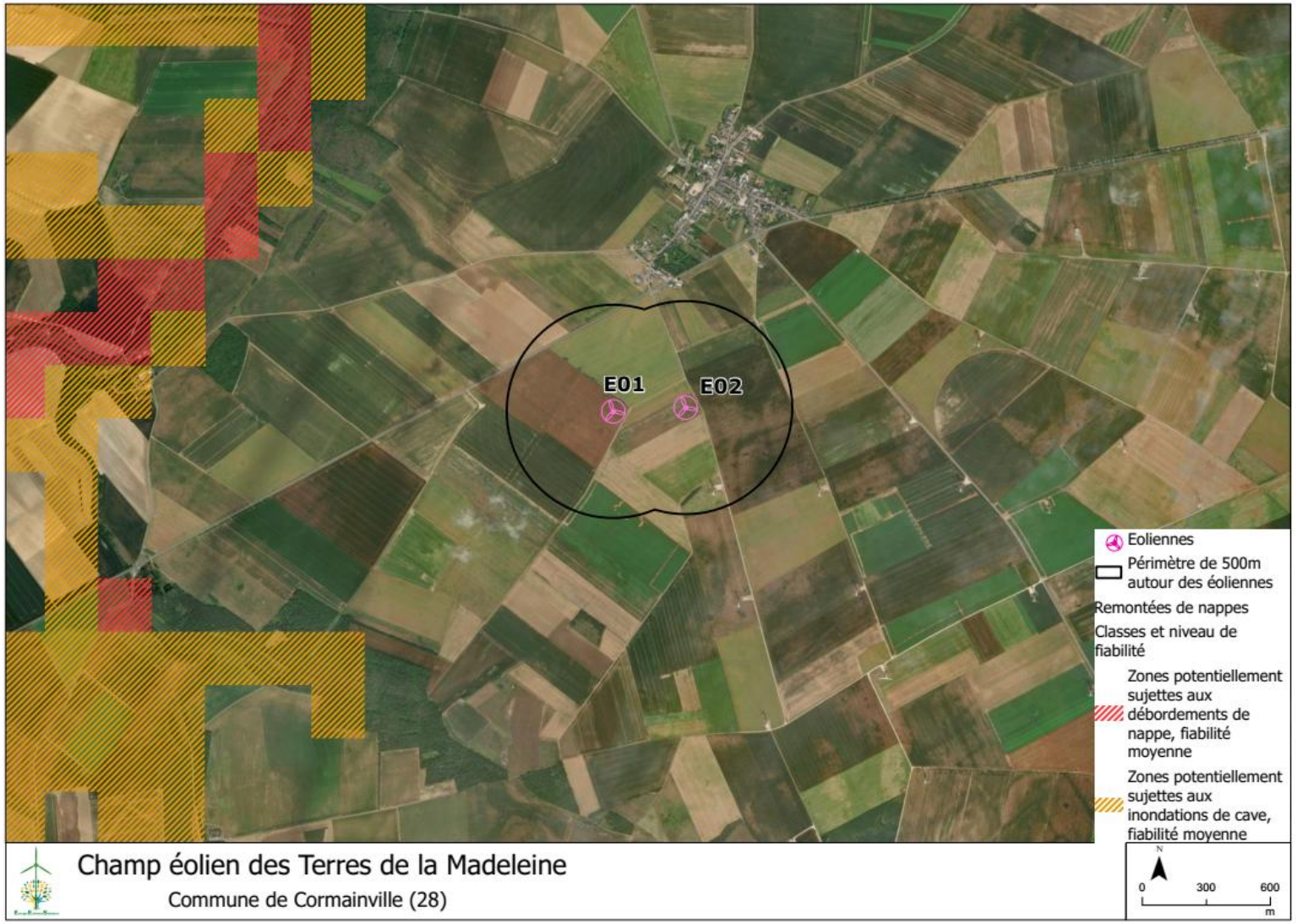


Figure 16 : Risque inondation par remontée de nappes
Source : Géorisques

III.3. ENVIRONNEMENT MATÉRIEL

III.3.1. VOIES DE COMMUNICATION

- **Transport routier :**

L'aire d'étude de 500 m autour des éoliennes est traversée par une route départementale : la RD 927.

Selon le Règlement départemental de voirie publié par le Conseil départemental d'Eure-et-Loir, la RD 927 est une route départementale de catégorie 1, classée voie structurante, avec un trafic moyen journalier annuel (TMJA) supérieur à 2000 usagers par jour.

La RD 927 (catégorie C1) est située au nord de l'éolienne E01 à environ 415 m, et à 550 m au nord de l'éolienne E02.

L'emplacement des éoliennes respecte donc les distances de retrait indiquées dans l'article 31 du règlement départemental de voirie du conseil départemental d'Eure-et-Loir en vigueur lors de la phase de développement du projet. En effet, la distance minimale d'implantation à respecter pour les routes de catégories C1 et C2 est égale à la hauteur totale de l'éolienne (mât + pales soit 136 m) entre le bord de la chaussée et la base de l'éolienne. Pour les routes de catégories C3 et C4, un retrait de 55 m suffit.

En outre, il est à souligner que le règlement de voirie départementale du conseil départemental d'Eure-et-Loir a été mis à jour au cours des derniers mois de développement du projet, à savoir en octobre 2025. Le projet du Champ éolien des Terres de la Madeleine respecte également le nouveau règlement de voirie, qui stipule, à l'article 7 des dispositions particulières des occupants du domaine public routier départemental d'Eure -et-loir (Annexe 9) que : « *Une distance minimale de recul par rapport au Domaine Public Routier Départemental équivalente à la hauteur de l'ensemble éolien (longueur de pâle ajoutée à celle du mât) doit être respectée.* ». En effet, les 2 éoliennes du Champ éolien des Terres de la Madeleine sont bien localisées à plus de 136 m (longueur mât + pales) des routes départementales les plus proches.

ARTICLE 7 : ÉOLIENNES

Article L211-2 du Code de l'énergie
Arrêtés du 26 août 2011 modifiés relatifs aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation ou à déclaration au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement

Les créations ou modifications d'accès, la réalisation de travaux en bord de route peut faire l'objet d'une convention d'aménagement routier. Celle-ci précise les conditions techniques administratives et financières.
Les câbles en pleine terre qui ne sont plus utilisés (repowering) devront être enlevés.
Une distance minimale de recul par rapport au Domaine Public Routier Départemental équivalente à la hauteur de l'ensemble éolien (longueur de pâle ajoutée à celle du mât) doit être respectée.

Figure 17 : Extrait du règlement départemental de voirie du conseil départemental d'Eure-et-Loir en vigueur, version octobre 2025

Les usagers des routes départementales présents dans le périmètre de 500 m autour des éoliennes seront considérés comme des cibles potentiellement exposées aux phénomènes dangereux associées aux installations techniques.

- **Transport ferroviaire :**

Réseau Ferré de France (RFF) indique que « *les lignes de chemin de fer doivent être traitées comme des habitations* ». Il n'existe pas de voie ferrée dans l'aire d'étude de 500 mètres. La voie ferrée en fonctionnement la plus proche est située à environ 6,7 km à l'est, sur la commune d'Orgères-en-Beauce.

Les voies ferrées sont suffisamment éloignées du parc pour qu'un sinistre y survenant puisse entraîner des conséquences sur son intégrité.

- **Transport fluvial :**

Il n'existe pas de cours d'eau considérés par l'Etablissement public « Voies navigables de France (VNF) » comme une voie navigable ou dédiée au transport dans l'aire d'étude de 500 mètres.

- **Transport aérien :**

Aucun aérodrome ou base ULM n'est présent au sein du périmètre d'étude. Les éoliennes sont implantées de manières à ne pas perturber de manière significative le fonctionnement des radars et des aides à la navigation aérienne.

Compte tenu de la hauteur hors sol des éoliennes, un balisage diurne et nocturne devra être installé.



Figure 18 : Voies de communication dans le périmètre d'étude
Source : EES

III.3.2. RÉSEAUX PUBLICS ET PRIVÉS

- **Transport d'électricité :**

D'après le gestionnaire du Réseau de Transport d'Electricité (RTE), aucune ligne aérienne de transport d'électricité n'est recensée dans le périmètre d'étude de 500 m autour des éoliennes. La plus proche, la liaison 90kV n°1 Dambron – Orgères-en-Beauce, se situe à environ 3 km à l'est de la zone d'étude.

Plusieurs lignes aériennes et souterraines à haute tension (HTA – 20.000V) gérées par Enedis sont présentes dans la zone du projet (la plus proche se situe à 73 m à l'est de l'éolienne E02 : cf. carte en page suivante). Ces ouvrages ne sont surplombés par aucune éolienne. Des mesures préventives seront mises en place lors de la construction et du démantèlement des éoliennes afin d'éviter tout risque d'accident (vérification des gabarits des engins, signalétique adéquate, etc.).

- **Réseaux de télécommunication :**

Un réseau souterrain appartenant à Orange est recensé dans le périmètre de 500 m autour des éoliennes, au niveau de la RD 927. Au plus proche il passe à 422 m au nord de l'éolienne E01 et à 569 m au nord de l'éolienne E02 (cf. carte en pages suivantes).

Lors d'un chantier de construction, la proximité de réseaux peut représenter un risque pour les personnes et les équipements, ainsi qu'un risque de dégradation par accident. Le cas échéant, des mesures adaptées sont à prévoir. Ainsi, une concertation avec le gestionnaire aura lieu pour permettre le passage de nos réseaux dans le respect du réseau existant et des mesures préventives seront mises en place lors de la construction et du démantèlement des éoliennes de ce projet afin de préserver ces réseaux (localisation précise du réseau et signalétique adaptée si nécessaire).

- **Réseaux d'assainissement :**

Le périmètre d'étude de 500 m autour des éoliennes n'est pas concerné par un réseau d'assainissement.

- **Réseaux d'alimentation en eau potable :**

La consultation de l'ARS a permis d'identifier 3 captages d'alimentation en eau potable localisés sur le territoire de la commune de Guillonville. Les points de captage, ainsi que les périmètres de protection associés, sont tous situés en dehors de l'aire d'étude de 500 m autour des éoliennes.

L'implantation des éoliennes est donc compatible avec les périmètres de protection des captages d'alimentation en eau potable.

- **Canalisation de transport :**

La zone d'étude n'est pas concernée par des canalisations de transport de matières dangereuses (gaz, produits chimiques, hydrocarbures, etc.).

III.3.3. AUTRES OUVRAGES PUBLICS

Aucun autre ouvrage public (exemple : barrages, digues, château d'eau, bassins de rétention, etc.) n'est présent dans l'aire d'étude de 500 m autour des éoliennes.

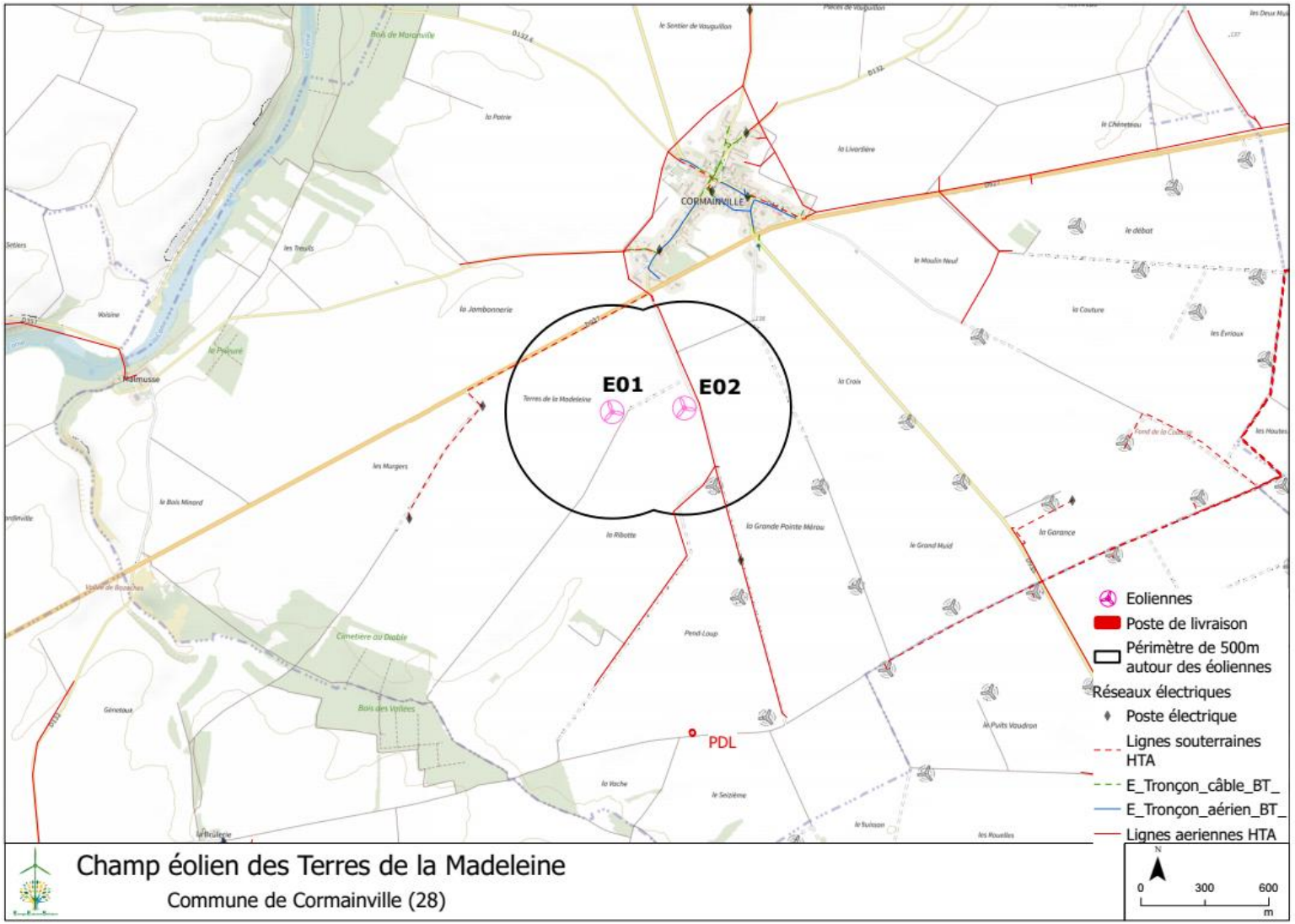


Figure 19 : Réseaux de distribution d'électricité dans le périmètre d'étude
Source : EES

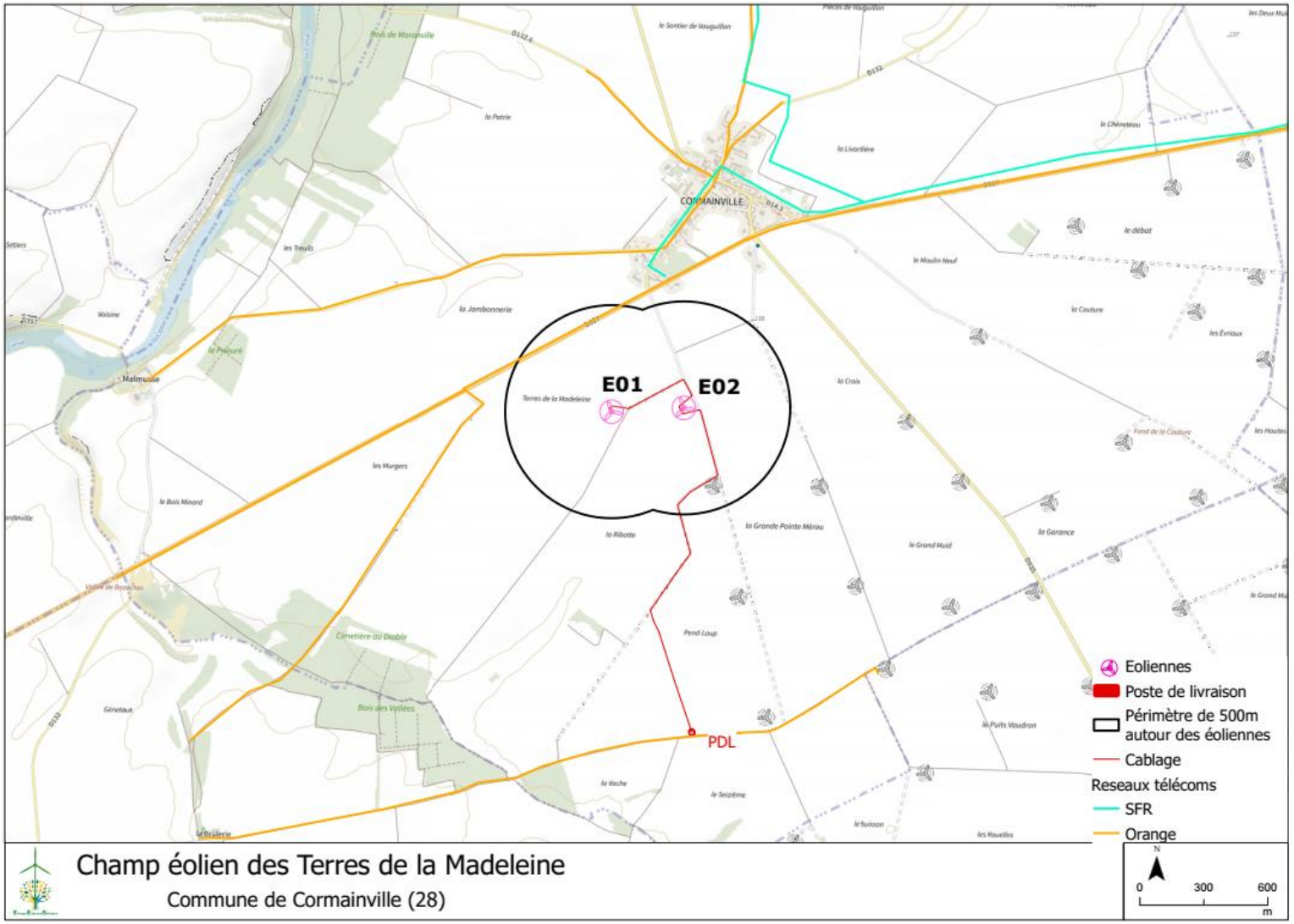


Figure 20 : Réseaux de télécommunication dans le périmètre d'étude
Source : EES

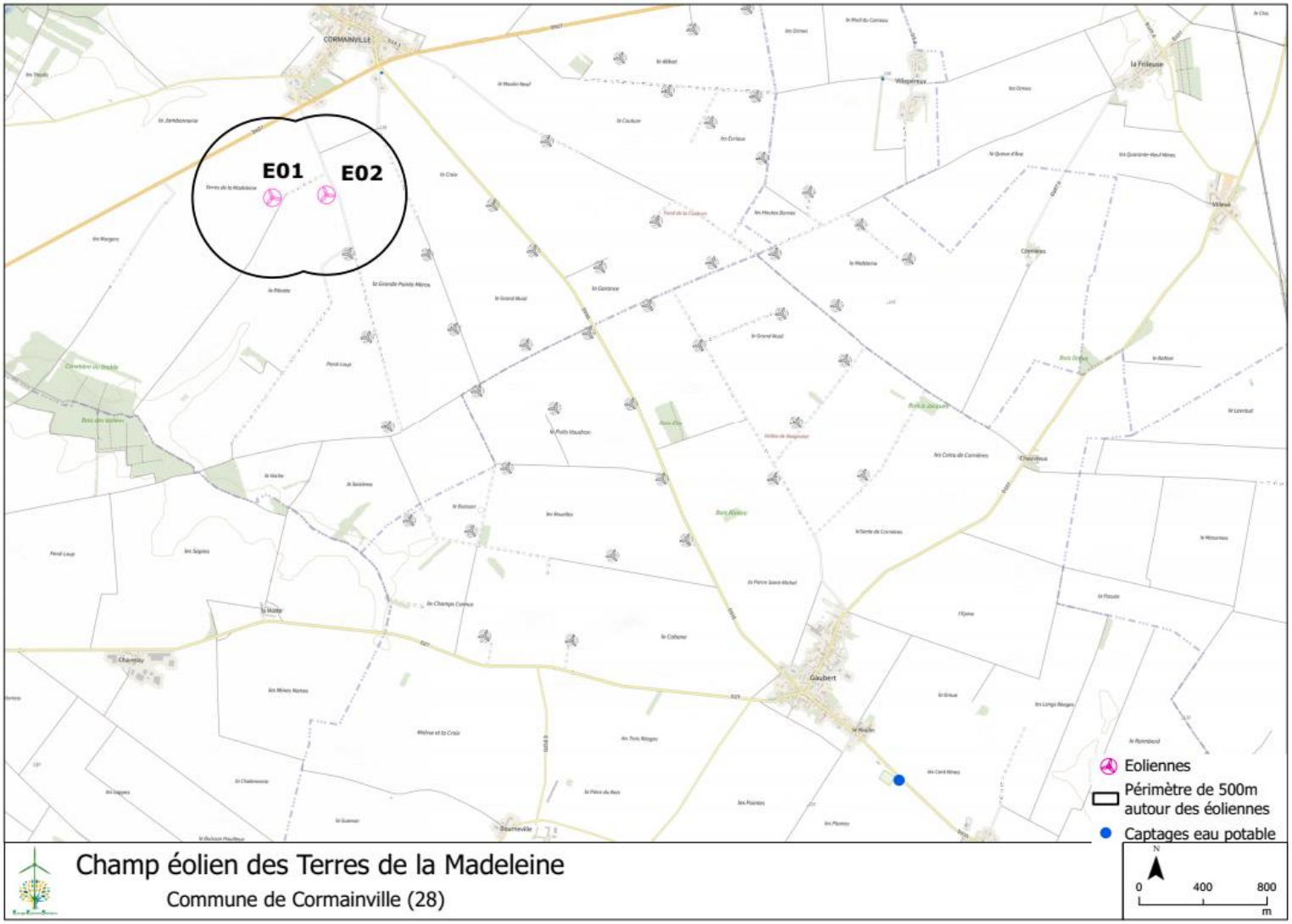


Figure 21 : Captages les plus proches du périmètre d'étude
Source : ARS du Centre - 2012

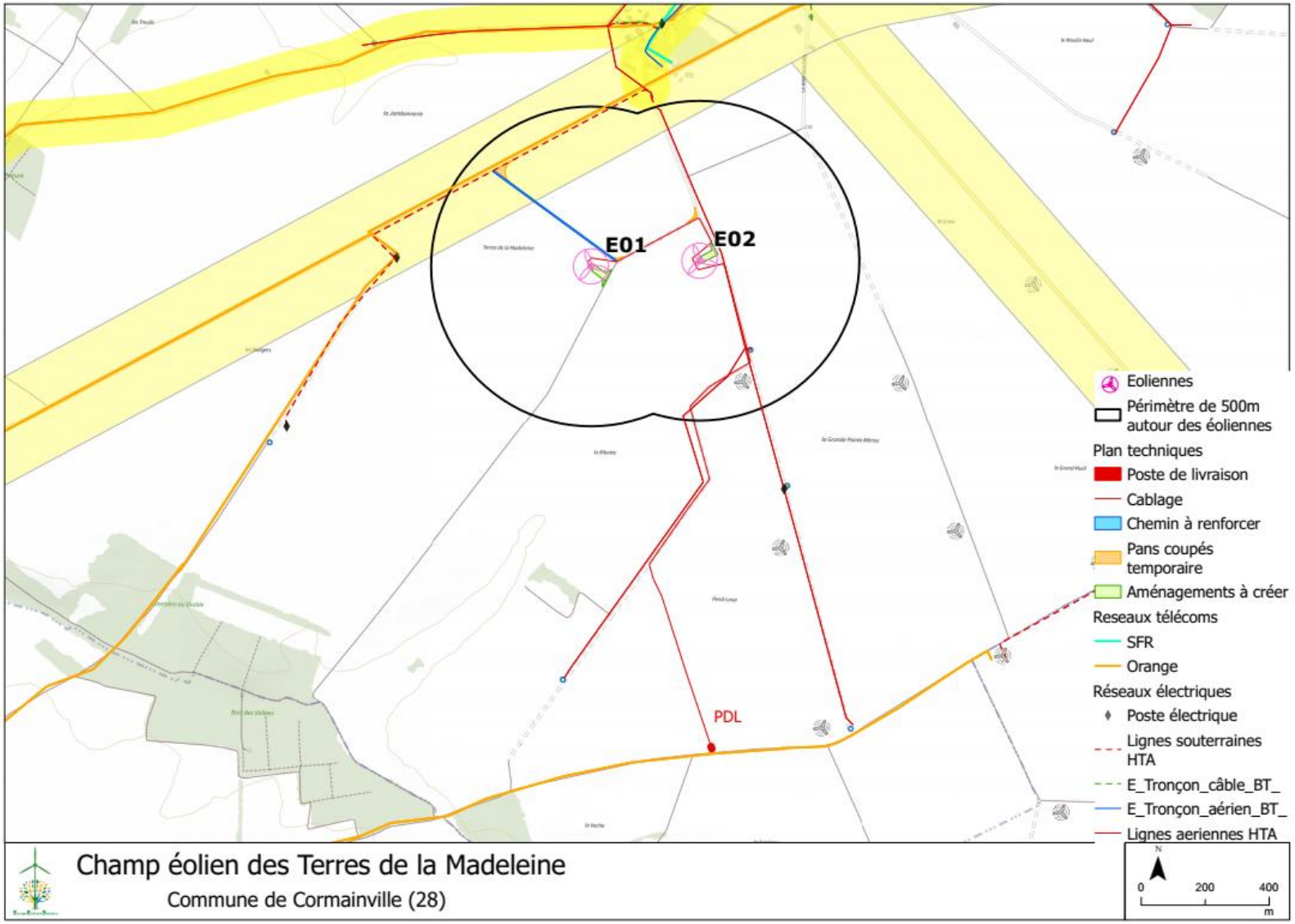


Figure 22 : Plan de l'installation et des réseaux | Source : EES

III.4. SYNTHÈSE DES ENJEUX

La détermination du nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) permet d'identifier les enjeux à protéger dans la zone d'étude. La méthodologie de comptage est précisée en Annexe 1 du présent rapport. Elle se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers :

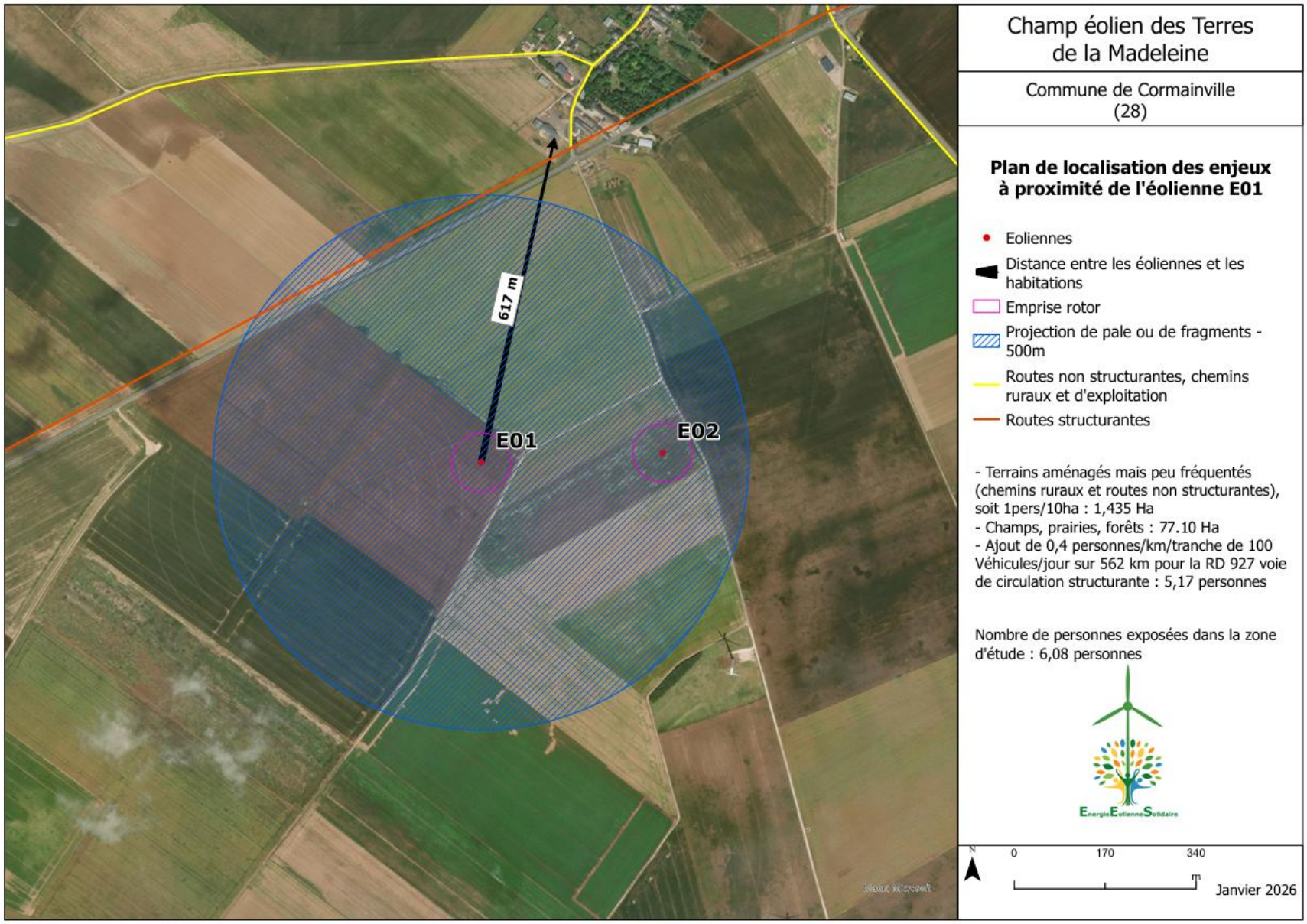
- Pour les terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts, friches, marais, etc.) : 1 personne par tranche de 100 ha ;
- Pour les terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de circulation non structurantes, chemins agricoles, plateformes de stockage, vignes, jardins et zones horticoles, gares de triage, etc.) : 1 personne par tranche de 10 hectares (base d'une largeur maximale de route de 10 mètres) ;
- Pour les 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 ;
- Pour les voies de circulation structurantes : on comptera 0,4 personne permanente par kilomètre exposé par tranche de 100 véhicules/jour (base d'une largeur maximale de route de 25 mètres) ;
- Pour les chemins de promenade, de randonnée : on comptera 2 personnes pour 1 km par tranche de 100 promeneurs/jour en moyenne.

La zone d'étude du projet du Champ Eolien des Terres de la Madeleine est constituée principalement de « terrains non aménagés et très peu fréquentés » et de « terrains aménagés mais peu fréquentés ».
La zone d'étude de E01 comporte également une portion de la RD 927, « voies de circulation structurantes », qui est prise en compte. La zone d'étude de E02 comporte également une éolienne existante de l'ensemble éolien de Cormainville, qui est prise en compte en considérant une fréquentation forfaitaire de deux personnes afin de tenir compte de la présence potentielle de travailleurs.
Dans la zone d'étude de 500 m autour des éoliennes il n'existe pas de logements, d'établissements recevant du public, de zones d'activités ou de tout autre terrain potentiellement fréquenté ou très fréquenté.

Le tableau ci-après présente le nombre de personnes permanentes ou équivalent-personnes permanentes présentes dans la zone d'étude (cercle de rayon R = 500 m autour de chaque éolienne dont la surface est définie par Surface = πR^2) :

Eolienne	Surface de la zone d'étude (cercle de rayon 500m)	Type de terrains	Nombre équivalent personnes permanentes
E01	78.54 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés + Champs, prairies, forêts +portion de 562 mètres de long de la RD 927	6,08
E02	78.54 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés + Champs, prairies, forêts+ 2 personnes au sein de l'éolienne présente dans le périmètre	2,92

Les plans ci-après présentent les enjeux à protéger dans la zone d'étude pour chaque aérogénérateur :
- Le nombre de personnes exposées par secteur ;
- La localisation des biens, infrastructures, autres établissements.


617 m
E01
E02
Champ éolien des Terres de la Madeleine
Commune de Cormainville (28)
Plan de localisation des enjeux à proximité de l'éolienne E01
Eoliennes
Distance entre les éoliennes et les habitations
Emprise rotor
Projection de pale ou de fragments - 500m
Routes non structurantes, chemins ruraux et d'exploitation
Routes structurantes
- Terrains aménagés mais peu fréquentés (chemins ruraux et routes non structurantes), soit 1pers/10ha : 1,435 Ha
- Champs, prairies, forêts : 77.10 Ha
- Ajout de 0,4 personnes/km/tranche de 100 Véhicules/jour sur 562 km pour la RD 927 voie de circulation structurante : 5,17 personnes
Nombre de personnes exposées dans la zone d'étude : 6,08 personnes
N
0
170
340
m
Janvier 2026

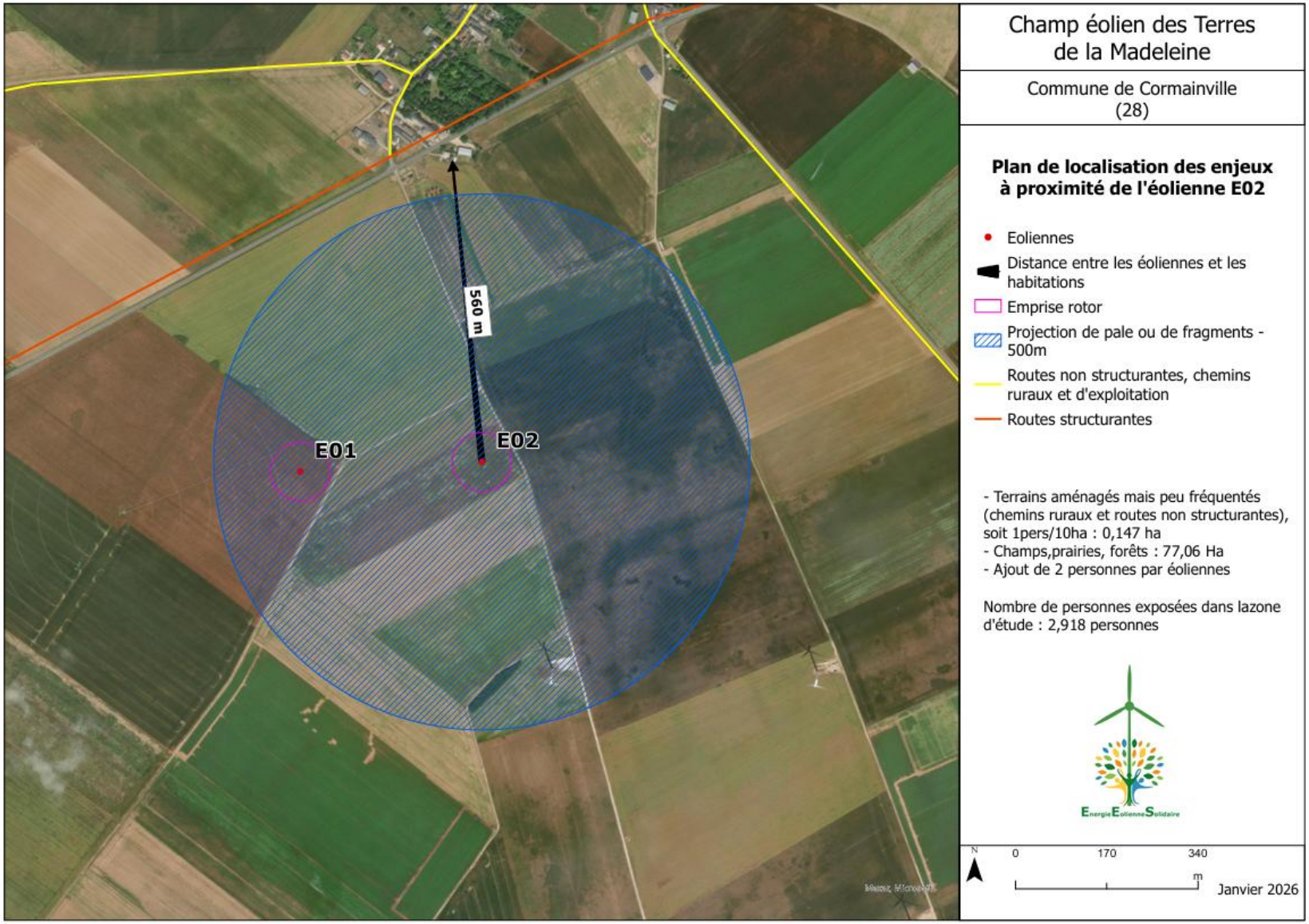


Figure 23 : Plan des enjeux autour des éoliennes du projet - Source : EES

IV. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

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

IV.1. CARACTÉRISTIQUES DE L'INSTALLATION

IV.1.1. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES D'UN PARC ÉOLIEN

Un parc éolien est une centrale de production d'électricité à partir de l'énergie du vent. Il est composé de plusieurs aérogénérateurs et de leurs annexes (cf. schéma du raccordement électrique au paragraphe IV.3.1) :

- Plusieurs éoliennes fixées sur une fondation adaptée, accompagnée d'une aire stabilisée appelée « plateforme » ou « aire de grutage » ;
- Un réseau de câbles électriques et télécom enterrés permettant d'évacuer l'électricité produite par chaque éolienne vers le ou les poste(s) de livraison électrique et la communication entre les éoliennes et l'exploitant (appelé « réseau inter-éolien ») ;
- Un ou plusieurs poste(s) de livraison électrique, concentrant l'électricité des éoliennes et organisant son évacuation vers le réseau public d'électricité au travers du poste source local (point d'injection de l'électricité sur le réseau public) ;
- Un réseau de câbles enterrés permettant d'évacuer l'électricité regroupée au(x) poste(s) de livraison vers le poste source (appelé « réseau externe » et appartenant le plus souvent au gestionnaire du réseau de distribution d'électricité) ;
- Un réseau de chemins d'accès ;
- Une installation de stockage électrique (batteries etc.) le cas échéant ;
- Éventuellement des éléments annexes type mât de mesure de vent, aire d'accueil du public, aire de stationnement, etc.

❖ **Eléments constitutifs d'un aérogénérateur**

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

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

- **Le rotor** qui est composé de trois pales construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu.
- **Le mât** est généralement en acier, en béton ou des deux (mâts hybrides). Il est composé de plusieurs segments en fonction du modèle. Dans la plupart des éoliennes, il abrite le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique.
- **La nacelle** abrite plusieurs éléments fonctionnels :
    - le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique ;
    - le multiplicateur (certaines technologies n'en utilisent pas) ;
    - le système de freinage mécanique ;
    - le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent pour une production optimale d'énergie ;
    - les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette),
    - le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique,
    - Dans certaines éoliennes, le transformateur se trouve dans la nacelle.

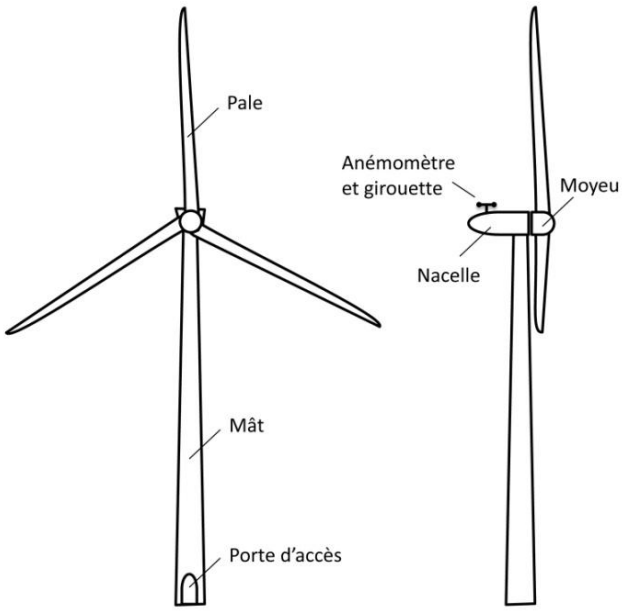


Figure 24 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

❖ **Emprise au sol**

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

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

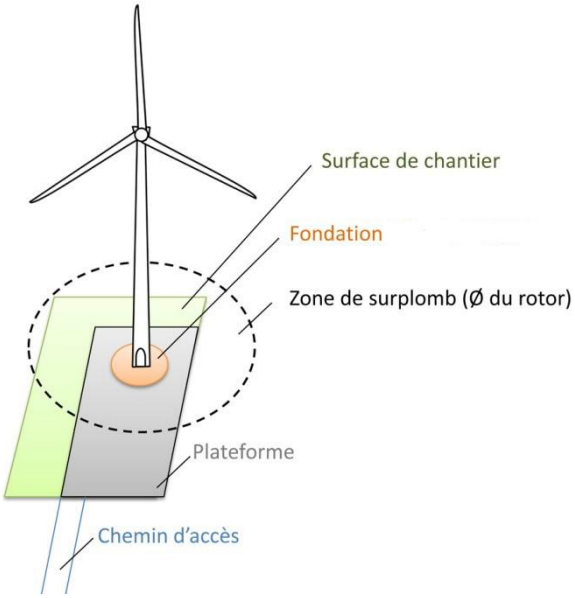


Figure 25 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne

❖ **Chemins d'accès**

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

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

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

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

❖ **Autres installations**

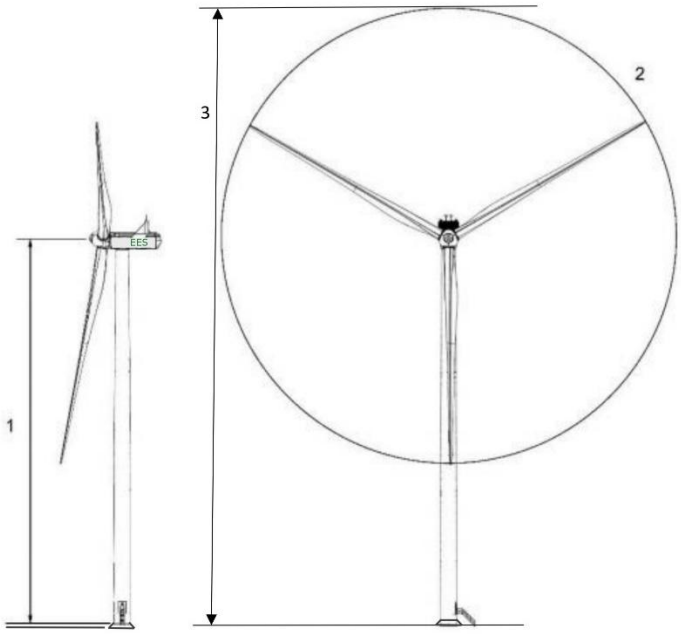
Aucune autre installation n'est prévue pour ce projet (parking, etc.).

IV.1.2. ACTIVITÉ DE L'INSTALLATION

L'activité principale du champ éolien des Terres de la Madeleine est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent. Cette installation est soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

IV.1.3. COMPOSITION DE L'INSTALLATION

Le parc éolien des Terres de la Madeleine est composé de 2 aérogénérateurs et de 1 poste de livraison. Les 2 aérogénérateurs qui composent le Champ éolien des Terres de la Madeleine sont de type V110 2.2 MW.



1 Hauteur du mât : 80 m + 1m de surélévation de la fondation par rapport au terrain naturel
2 Diamètre du rotor : 110 m | 3 Hauteur en bout de pale : 136 m

Figure 26 : Schéma d'élévation d'une éolienne Vestas V110
Source : Vestas

Caractéristiques	Vestas V110 2,2 MW
Hauteur du mât (H)	81 m*
Diamètre du rotor	110 m
Longueur de pale (R)	55 m
Hauteur mât + pale	136 m*
Largeur à la base de la pale (LB)	1,874 m
Largeur à la base du mât (L)	4,45 m

** Le modèle V110 utilisé pour ce projet a habituellement un mât de 80 m pour une hauteur en bout de pale de 135 m. Ici, afin de protéger la faune volante, le choix a été fait de surélever la fondation d'un mètre au-dessus du terrain naturel.*

Ainsi, pour les calculs réalisés au sein de la partie VIII.ETUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES, chaque aérogénérateur a une hauteur de mât de 81 mètres au sens de la réglementation ICPE et un diamètre de rotor de 110 mètres, soit une hauteur totale en bout de pale de 136 mètres.

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

Numéro de l'éolienne	Coordonnées Lambert 93		Altitude du terrain (source : RGE Alti 1m)	Altitude en bout de pale (en mètres NGF)
	Longitude (X)	**Latitude (Y)**		
E01	595883	6781771	135	271
E02	596222	6781788	136	272
PDL	596259	6780266	134	/

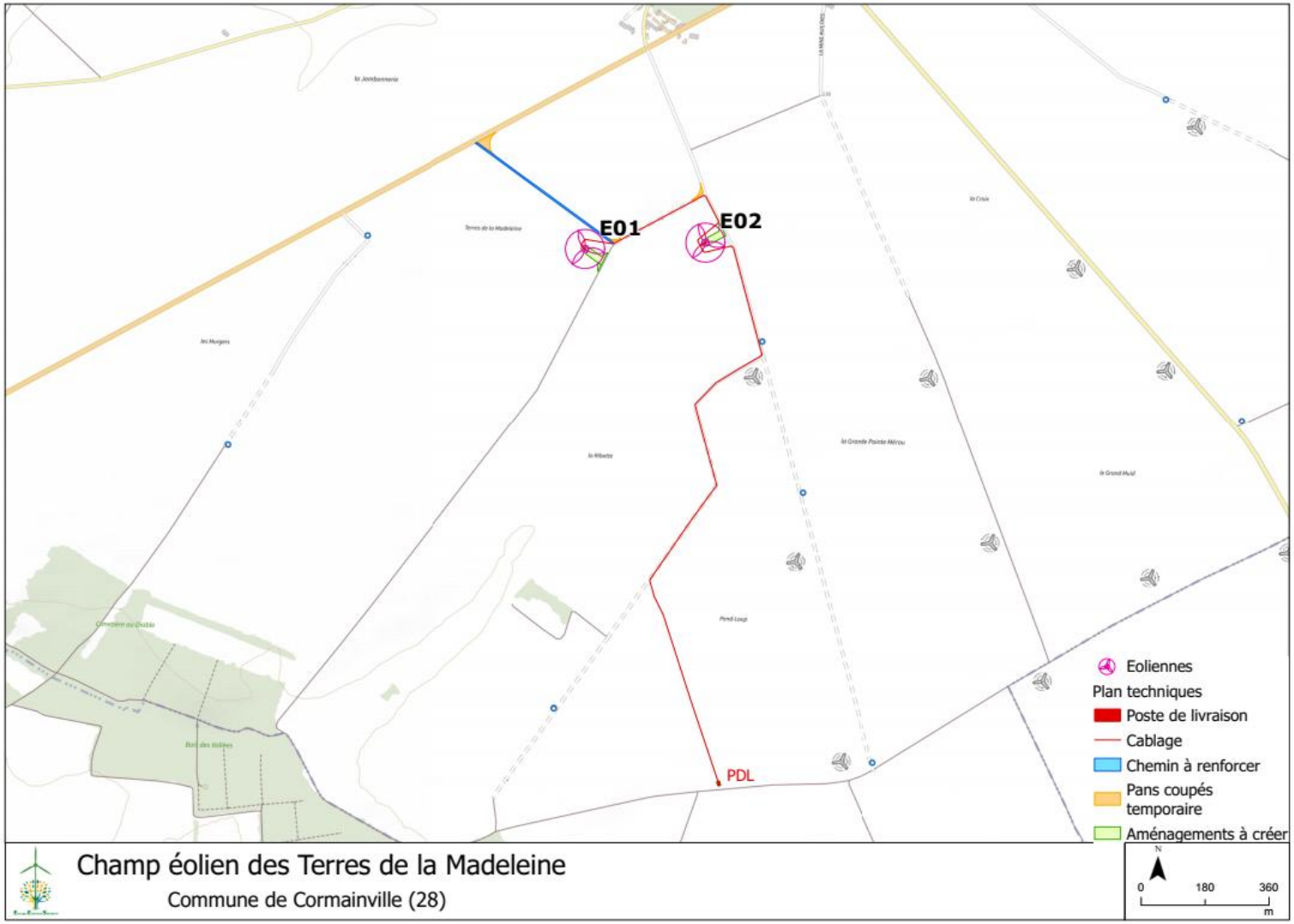


Figure 27 : Plan détaillé de l'installation
Source : EES

IV.2. FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

IV.2.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN AÉROGÉNÉRATEUR

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

Les pales se mettent en mouvement lorsque **l'anémomètre** (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 10 km/h, et c'est seulement à partir de 12 km/h que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor et l'arbre dit « lent » transmettent alors l'énergie mécanique à basse vitesse (entre 5 et 20 tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit « rapide » tourne environ 100 fois plus vite que l'arbre lent. Certaines éoliennes 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 45-50 km/h à hauteur de nacelle, l'éolienne fournit sa puissance maximale. Cette puissance est dite « nominale ». Pour un aérogénérateur de 3 MW par exemple, la production électrique horaire atteint 3 000 kWh dès que le vent atteint environ 45-50 km/h. L'électricité produite par la génératrice correspond à un courant alternatif de fréquence 50 Hz avec une tension de 400 à 690 V. La tension est ensuite élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur placé dans chaque éolienne pour être ensuite injectée dans le réseau électrique public.

Lorsque la mesure de vent, indiquée par l'anémomètre, atteint des vitesses de plus de 100 km/h (variable selon le type d'éoliennes), l'éolienne cesse de fonctionner pour des raisons de sécurité. Deux systèmes de freinage permettront d'assurer la sécurité de l'éolienne :

- le premier par la mise en drapeau des pales, c'est-à-dire un freinage aérodynamique : les pales prennent alors une orientation parallèle au vent ;
- le second par un frein mécanique sur l'arbre de transmission à l'intérieur de la nacelle. Ce frein mécanique n'est activé que par un arrêt d'urgence.

Découpage fonctionnel de l'installation :

❖ Fondations

Fonction	Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol
Description	Le massif de fondation est composé de béton armé et conçu pour répondre aux prescriptions de l'Eurocode 2. Les fondations ont entre 3 et 5 mètres d'épaisseur pour un diamètre de l'ordre d'une vingtaine de mètres. Ceci représente une masse de béton d'environ 1 000 tonnes. Un insert métallique disposé au centre du massif sert de fixation pour la base de la tour. Il répond aux prescriptions de l'Eurocode 3. 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.

❖ Tour / mât

Fonction	Supporter la nacelle et le rotor
Description	La tour des éoliennes (également appelée mât) est constituée de plusieurs sections tubulaires en acier, de plusieurs dizaines de millimètres d'épaisseur et de forme tronconique, qui sont assemblées entre elles par brides. Fixée par une bride à l'insert disposé dans le massif de fondation, la tour est autoportante. 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 a avant tout une fonction de support de la nacelle mais elle permet également le cheminement des câbles électriques de puissance et de contrôle et abrite : • Une échelle d'accès à la nacelle ; • Un élévateur de personnes ; • Une armoire de contrôle et des armoires de batteries d'accumulateurs (en point bas) ; • Les cellules de protection électriques.
Tension dans les câbles présents dans la tour	Jusqu'à 20 000 V

❖ Nacelle

Fonctions	• Supporter le rotor • Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité
Description	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. Le système de refroidissement Vestas CoolerTop™ assure le refroidissement des principaux éléments de l'éolienne et sert également de support pour les balisages lumineux et les capteurs de vent (voir la photo ci-après). Ces capteurs à ultrasons mesurent en permanence la vitesse et la direction du vent. Une sonde de température extérieure est placée sous la nacelle et reliée au contrôle commande. La nacelle n'est pas fixée de façon rigide à la tour. La partie intermédiaire entre la tour et la nacelle constitue le système d'orientation, appelé « yaw system », permettant à la nacelle de s'orienter face au vent, c'est-à-dire de positionner le rotor dans la direction du vent (l'orientation du rotor est forcée). Le système d'orientation est constitué de plusieurs dispositifs motoréducteurs solidaires de la nacelle, dont les arbres de sortie comportent un pignon s'engrenant sur une couronne dentée solidaire de la tour. Ces dispositifs permettent la rotation de la nacelle et son maintien en position face au vent. La vitesse maximum d'orientation de la nacelle est de moins de 0,45 degrés par seconde, soit environ une quinzaine de minutes pour faire un tour complet. Afin d'éviter une torsion excessive des câbles électriques reliant la génératrice au réseau public, il existe un dispositif de contrôle de rotation de la nacelle. Celle-ci peut faire 3 à 5 tours de part et d'autre d'une position moyenne. Au-delà, un dispositif automatique provoque l'arrêt de l'éolienne, le retour de la nacelle à sa position dite « zéro », puis la turbine redémarre.
Tension dans les armoires électriques	Entre 0 et 1 200 V

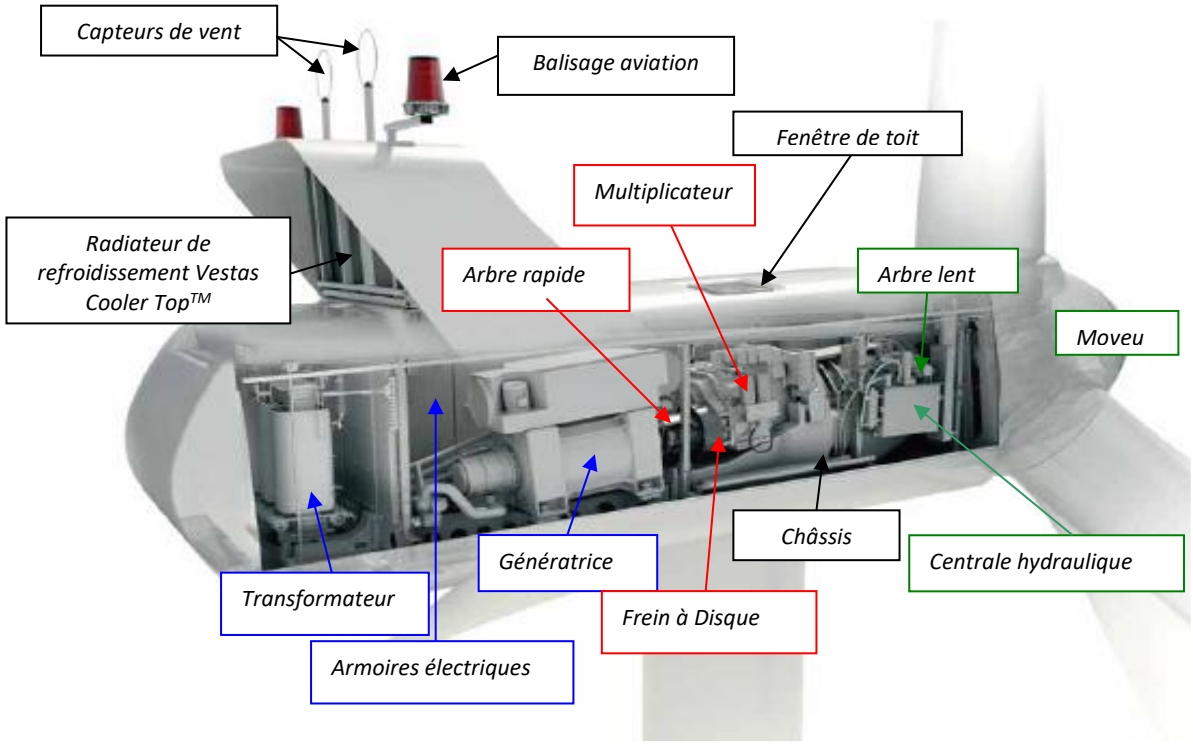


Figure 28 : Composants de la nacelle (Source : VESTAS)

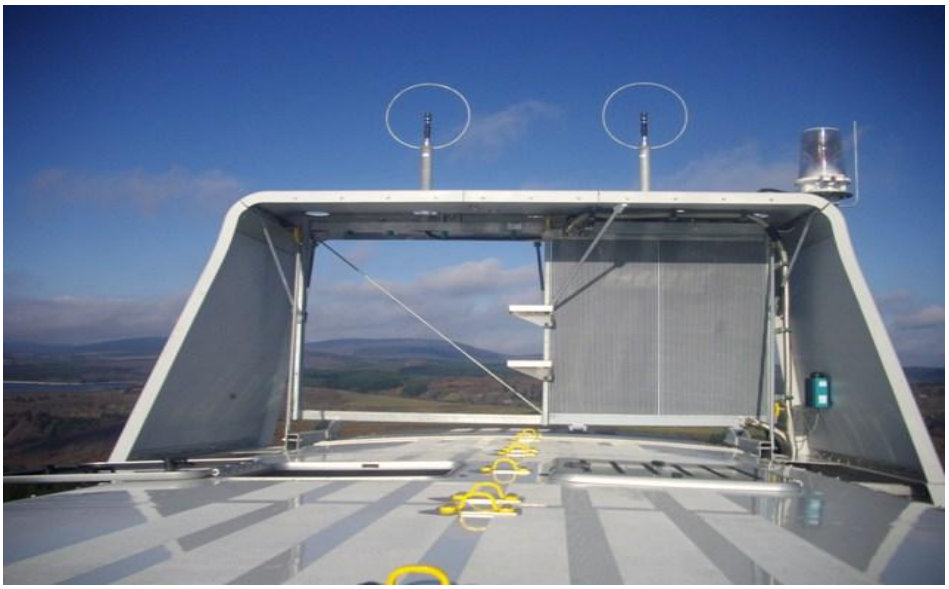


Figure 29 : Photo du Vestas CoolerTop™ (Source : VESTAS)

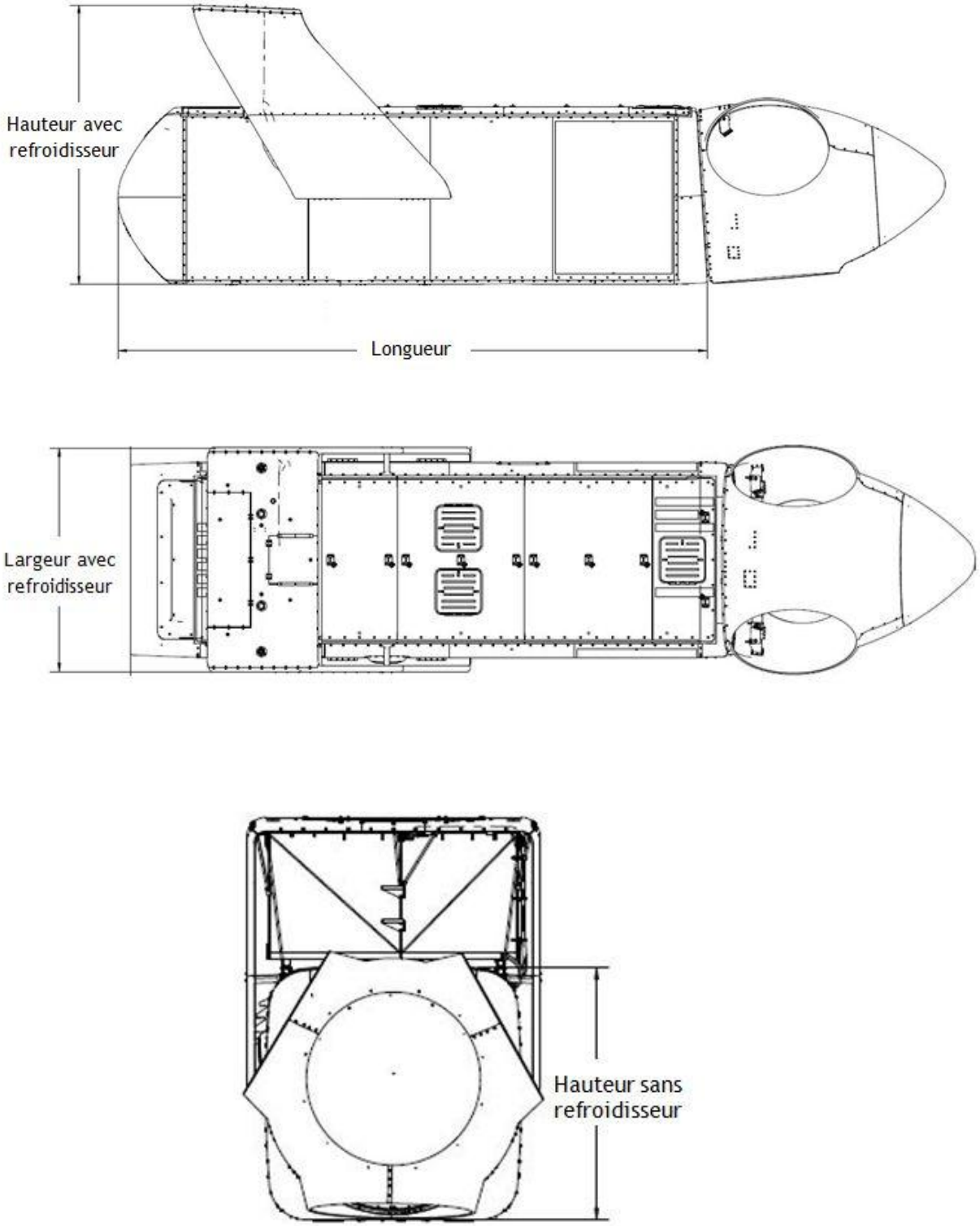


Figure 30 : Schémas des vues de la nacelle

Source : VESTAS

❖ Rotor

Fonction	Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice
Description	Les rotors Vestas sont composés de trois pales fixées au moyeu via des couronnes à deux rangées de billes et double contact radial. La rotation du rotor permet de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Elle est transmise à la génératrice via le multiplicateur. 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). Ce système comprend également la présence d'accumulateurs hydropneumatiques disposés au plus près des vérins. Ces accumulateurs permettent, même en cas de perte du système de contrôle, de perte d'alimentation électrique ou de défaillance du système hydraulique, de ramener les pales en drapeau. Chaque pale est indépendante et équipée de son propre pitch system afin de garantir un calage continu, même en cas de dysfonctionnement du contrôle commande. Plusieurs notions caractérisent les pales : • La longueur, fonction de la puissance désirée ; • La corde (largeur maximale), fonction du couple nécessaire au démarrage et de celui désiré en fonctionnement ; • Les matériaux, fonction de la résistance souhaitée. La géométrie de la pale est légèrement vrillée autour de son axe longitudinal pour un meilleur rendement.

❖ Multiplicateur (Gearbox)

Fonction	Multiplier la vitesse de rotation issue de l'arbre lent
Description	Le rotor est directement relié à un arbre de transmission appelé « arbre lent ». Cet arbre, qui tourne à la vitesse du rotor est connecté au multiplicateur. Le multiplicateur (gearbox) permet de multiplier la vitesse de rotation d'un facteur compris entre 100 et 120 selon les modèles, afin que la vitesse de sortie (« arbre rapide ») soit d'environ 1 450-1 550 tours par minute. Le dispositif de transmission entre l'arbre rapide et la génératrice (coupling) est un dispositif flexible, réalisé en matériau composite afin de compenser les défauts d'alignement mais surtout afin de constituer une zone de moindre résistance et de pouvoir rompre en cas de blocage d'un des deux équipements. 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.

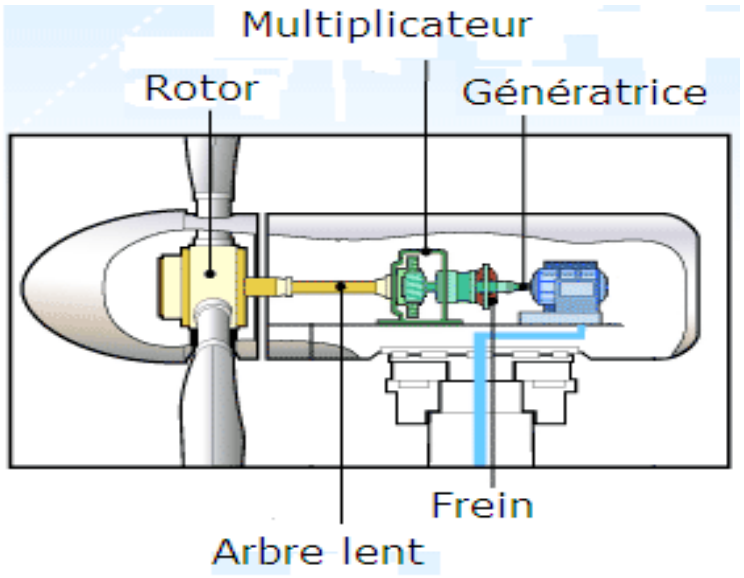


Figure 31 : Schéma simplifié de la chaine cinématique

❖ Générateur et transformateur

Fonction	• Produire de l'énergie électrique à partir d'énergie mécanique • Elever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau
Description	Les éoliennes sont équipées d'un système générateur/transformateur fonctionnant à vitesse variable (et donc à puissance mécanique fluctuante). Le générateur est ici de type asynchrone délivrant un courant alternatif sous 750 V pour 3,45 MW ou 800 V pour 4 MW à vitesse nominale. Un système de conversion appelé « Grid Streamer™ Converter » permet d'assurer la régulation du fonctionnement du générateur et la qualité du courant produit. Il permet d'alimenter le transformateur élévateur de tension en courant alternatif 50 Hz sous 650 V pour 3,45 MW ou 720 V pour 4 MW. Cette tension est élevée jusqu'à 20 000V par un transformateur sec, puis régulée par des dispositifs électroniques de façon à pouvoir être compatible avec le réseau public. Le transformateur est localisé dans une pièce fermée à l'arrière de la nacelle. Un câble relie ensuite la nacelle et les cellules de protection du réseau, disposées dans une armoire en partie basse de la tour. Il s'agit de cellules à isolation gazeuse (SF_6) qui permettent une séparation électrique de l'éolienne par rapport aux autres machines du champ éolien en cas d'anomalie (court-circuit, surtension, défaut d'isolement, …). Le refroidissement du générateur et du dispositif de conversion est effectué par une boucle d'eau.

❖ Connexion au réseau électrique public

Fonction	Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public
Description	Les éoliennes d'un même champ éolien sont ensuite raccordées au réseau électrique de distribution (ERDF 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(s) de livraison sont assurées par des câbles souterrains.
Tension dans les câbles souterrains	20 000 V
Tensions dans le poste de livraison	20 000 V

IV.2.2. SÉCURITÉ DE L'INSTALLATION

IV.2.2.1. GESTION DES RISQUES

Un parc éolien est sujet, que ce soit durant les travaux de construction/déconstruction ou en phase d'exploitation, à la réalisation d'un certain nombre d'opérations dont certaines sont considérées comme « dangereuses ».

Il peut s'agir de travaux de grandes hauteurs sur des installations électriques ou au voisinage d'organes sous tension, d'équipements sous pressions, etc.

Par ailleurs, certains organes doivent faire l'objet de contrôles périodiques obligatoires, réalisés par des organismes extérieurs et agréés, comme le contrôle des moyens de protection contre le feu, les élévateurs de personnes et/ou moyens de levage, etc.

A chaque moment de la vie du parc éolien, l'exploitant s'engage à veiller au respect de l'arrêté ministériel du 26 août 2011 modifié, ainsi qu'à la sécurité des personnels intervenants quel qu'ils soient (interne à l'exploitant ou sous-traitant).

❖ **Gestion organisationnelle des risques**

En phase chantier, et lorsque plusieurs entreprises interviennent sur le site, l'exploitant mettra en œuvre une coordination SPS (sécurité protection de la santé).

Le coordonnateur SPS élabore alors un PGC (Plan général de coordination), établi sous la responsabilité du maître d'ouvrage. Ce document est un outil de prévention qui définit les mesures destinées à prévenir les risques découlant des interventions successives ou simultanées sur le chantier.

Il est complété par les PPSPS (Plan particulier de sécurité et de protection de la santé) rédigés par chacune des entreprises intervenantes. Dans ce cadre, l'entreprise intervenante devra apporter la preuve, sous contrôle de l'exploitant, de la bonne certification des employés intervenant sur le parc et fournir les justificatifs adéquates (permis feu, travail en hauteur, habilitations électriques, etc.).

Ensuite, en phase d'exploitation, un plan de prévention prendra le relai. Pour réduire les risques, une coordination générale des mesures de prévention avant et pendant l'exécution d'une opération, entre l'entreprise utilisatrice (l'exploitant) et les entreprises extérieures sera mise en œuvre. Cette coordination a pour objet de prévenir les risques liés à l'interférence entre les activités, les installations et les matériels des différentes entreprises présentes sur un même lieu de travail. Le responsable de l'entreprise utilisatrice doit assurer cette coordination générale des mesures de prévention qu'il prend et de celles que prennent l'ensemble des responsables des entreprises extérieures intervenant dans son établissement et sont tracées dans le plan de prévention. Là encore, ce plan de prévention sera réalisé par une entreprise spécialisée et indépendante (bureau de contrôle agréé).

Une attention particulière sera apportée par l'exploitant aux situations de sous-traitance. Ainsi, il sera demandé à chaque intervenant extérieur de déclarer spécifiquement les cas de sous-traitance.

❖ **Consignes de sécurité**

Conformément à l'arrêté ICPE, des panneaux d'affichage à destination des tiers sont affichés sur les chemins d'accès aux installations et le poste de raccordement indiquant les risques existants à proximité des installations (risques d'électrocution, de chute de glace le cas échéant, etc.) mais aussi les consignes de sécurité à suivre en cas de situation anormale et l'interdiction de pénétrer dans l'aérogénérateur.

Les consignes de sécurité à destination des entreprises intervenantes dans les installations seront également disposées en pieds (intérieur) de chaque mât et dans le poste de livraison. Ces consignes, éventuellement accompagnées d'une traduction en anglais le cas échéant, reprendront le numéro de chaque éolienne du site, le descriptif de la localisation sur le site à donner aux secours en cas de nécessité, et les procédures d'alerte, numéros à contacter en cas de besoin (secours, centre de télésurveillance, de l'exploitant, etc.).

Enfin, un plan de secours sera spécifiquement réalisé en coordination avec le SDIS concerné au plus tard au moment de la mise en service industriel du parc.

IV.2.2.2. MOYENS DE PROTECTION ET D'INTERVENTION

❖ **Respect de l'arrêté ministériel relatif aux éoliennes**

L'installation 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'aux principales normes et certifications applicables à l'installation.

En particulier :

- L'éloignement de 500 mètres de toute construction à usage d'habitation, de tout immeuble habité ou de toute zone destinée à l'habitation telle que définie dans les documents d'urbanisme opposables ;
- L'éloignement de 300 mètres d'une installation nucléaire de base ;
- L'éloignement de 250 mètres de tout immeuble à destination de bureaux ;
- L'implantation de façon à ne pas perturber de manière significative le fonctionnement des radars et des aides à la navigation utilisés dans le cadre des missions de sécurité de la navigation aérienne et de sécurité météorologique des personnes et des biens ;
- La présence d'une voie d'accès carrossable entretenue permettant l'intervention des services d'incendie et de secours ;
- Le respect, à l'intérieur des aérogénérateurs, des normes suivantes : norme NF EN 61 400-1 (version de juin 2006) ou CEI 61 400-1 (version de 2005) ou toute norme équivalente en vigueur dans l'Union européenne ;
- Le respect, à l'extérieur des aérogénérateurs, des normes suivantes : norme IEC 61 400-24 (version de juin 2010), normes NF C15-100 (version compilée de 2008), NF C 13-100 (version de 2001) et NF C 13-200 (version de 2009) ;
- Le balisage de l'installation conformément aux dispositions prises en application du code des transports et du code de l'aviation civile ;

- L'impossibilité pour des tiers non autorisés de pénétrer à l'intérieur de chaque aérogénérateur, du poste de transformation, de raccordement ou de livraison ;
- L'affichage visible des prescriptions à observer par les tiers sur un panneau sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, sur le poste de livraison et, le cas échéant, sur le poste de raccordement ;
- La réalisation d'essais d'arrêt permettant de s'assurer du fonctionnement correct de l'ensemble des équipements avant la mise en service industrielle des aérogénérateurs ;
- L'interdiction d'entreposage à l'intérieur de l'aérogénérateur de matériaux combustibles ou inflammables.

La description détaillée des différents systèmes de sécurité de l'installation sera effectuée au stade de l'analyse préliminaire des risques, dans la partie VII.6 de l'étude de dangers.

❖ **Respect des principales normes applicables à l'installation**

La liste des codes et standards appliqués pour la construction des éoliennes, 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.

- 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.
- 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 IEC62305-3.
- Les éoliennes répondent aux réglementations qui concernent les ondes électromagnétiques, notamment la Directive 2014/30/UE du 26 février 2014.
- Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air. Le traitement anticorrosion des éoliennes répond à la norme ISO 12944.

Les divers types d'éoliennes font l'objet d'évaluations de conformité (tant lors de la conception que lors de la construction). La norme IEC61400-22 / NF EN 61400-22 Avril 2011 intitulée « essais de conformité et certification » définit les règles et procédures d'un système de certification des éoliennes comprenant la certification de type et la certification des projets d'éoliennes installées sur terre ou en mer. Ce système spécifie les règles relatives aux procédures et à la gestion de mise en œuvre de l'évaluation de la conformité d'une éolienne et des parcs éoliens, avec les normes spécifiques et autres exigences techniques en matière de sécurité, de fiabilité, de performance, d'essais et d'interaction avec les réseaux électriques.

Les éoliennes font l'objet de certifications de type (certifications CE) par un organisme agréé et de déclarations de conformité aux standards et directives applicables. Les « Type Certificate » des éoliennes sont joints en Annexe 5.

❖ **Moyens d'intervention**

- Internes :

Les éoliennes disposent de plusieurs capteurs qui permettent de surveiller et de détecter le cas échéant des situations anormales (détecteur incendie et/ou de température, survitesse, etc.). Les informations remontent vers le centre de télésurveillance qui peut agir en conséquence. Des mises à l'arrêt automatiques existent également pour certains types de risques.

Par ailleurs, des extincteurs adaptés aux risques incendie sont disposés à plusieurs endroits dans chaque éoliennes (en pied et haut de mât) et à l'intérieur du poste de livraison.

- Externes :

Les moyens d'intervention externes reposent sur les services de secours traditionnels (sapeur pompiers, SAMU, etc.). Dans la plupart des cas d'incendie, en l'absence de personnels engagés dans l'éolienne, les services de secours mettront en place un périmètre de sauvegarde autour de l'éolienne.

Pour les autres cas, certaines interventions seront réservées au GRIMP (Groupement Régional d'Intervention en Milieu Périlleux). Un plan de secours sera spécifiquement réalisé en coordination avec le SDIS concerné au plus tard au moment de la mise en service industriel du parc.

IV.2.3. OPÉRATIONS DE MAINTENANCE DE L'INSTALLATION

❖ <u>Conduite du système</u>

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

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

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

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

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

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 sur ce dispositif « commande locale », ce qui interdit toute action pilotée à distance.

Toute intervention dans le rotor n'est réalisée qu'après le blocage mécanique de celui-ci.

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

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 et habilités aux postes de travail et aux 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.

❖ Entretien préventif du matériel

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.

	Composants	Opérations
Inspection après 3 mois de fonctionnement	Etat général	Vérification de la propreté de l'intérieur de l'éolienne Vérification qu'aucun matériau combustible ou inflammable n'est entreposé dans l'éolienne (tous les 6 mois)
	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 Inspection visuelle des pales, de l'extérieur et de l'intérieur (si Vestas en charge) Vérification des boulons de chaque pale* 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	Inspection visuelle de la tour* Vérification de l'état du béton à l'intérieur et à l'extérieur de la tour Vérification des boulons entre la partie fondation et la tour, entre les sections de la tour et sur l'échelle* Vérification des brides et des cordons de soudure Vérification des plateformes Vérification du câble principal
	Bras de couple	Vérification boulons

		Vérification et serrage de la connexion à la terre
	Système d'inclinaison des pales (Pitch System)	Vérification des boulons du cylindre principal et du bras de manivelle Vérification des boulons de l'arbre terminal et des roulements
	Multiplicateur	Vérification du niveau 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 liquide 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
	Cooler Top™ (si présent)	Vérification boulons
	Système hydraulique	Vérification d'absence de fuites dans la nacelle, l'arbre principal et les pompes
	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 Vérification du système antichute

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

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

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 Vérification des joints d'étanchéité Vérification des bruits anormaux Remplissage du distributeur de graisse
	Système de transfert de courant foudre Moyeu / nacelle	Vérification du câble connectant les bandes anti-foudres Vérification des amortisseurs d'usure Vérification des bandes anti-foudre
	Système d'inclinaison des pales (Pitch System)	Vérification du bon fonctionnement du système d'inclinaison des pales Vérification de la pression des accumulateurs Vérification de la tension des fixations des accumulateurs Vérification des boulons Vérification des pistons des vérins hydrauliques
	Arbre principal	Vérification et lubrification des roulements principaux tous les 5 ans Vérification de l'ajustement des capteurs RPM Lubrification des boulons de blocage du rotor
	Bras de couple	Vérification des boulons entre le bras de couple et le bâti tous les 4 ans
	Multiplicateur	Vérification et remplacement (si nécessaire) des filtres à air Remplacement des filtres à air tous les 10 ans Remplacement du système de détection de particules tous les 10 ans Vérification des flexibles de drainage. Replacement si nécessaire. Remplacement des flexibles de drainage tous les 10 ans Remplacement des tuyaux tous les 7 ans Inspection des boulons du système d'accouplement entre le multiplicateur et l'arbre principal tous les 4 ans Extraction d'un échantillon d'huile pour analyse
	Système de freinage	Vérification du câblage des capteurs d'usure et de chaleur Remplacement des plaquettes de freins tous les 7 ans
	Générateur	Vérification du bruit des roulements Vérification du système de graissage automatique Vérification su système de refroidissement
	Système de refroidissement par eau	Remplacement du liquide de refroidissement tous les 5 ans

Système hydraulique	Vérification des niveaux d'huile et remplacement si nécessaire Extraction d'un échantillon d'huile pour analyse Changement d'huile selon les rapports d'analyse Remplacement des filtres (tous les ans, tous les 2 ans ou tous les 4 ans, selon le filtre) Remplacement des filtres (tous les ans, tous les 2 ans ou tous les 4 ans, selon le filtre) Contrôle des flux et de la pression Vérification de la pression dans le système de frein
Cooler Top™ (si present)	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

❖ <u>Contrôles réglementaires périodiques</u>

Les contrôles réglementaires concernent les installations électriques, le serrage des brides de mât, 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, etc.). Ces opérations sont faites à la demande, dès détection du dysfonctionnement, de façon à rendre l'équipement à nouveau opérationnel.

❖ Prise en compte du retour d'expérience

Chaque incident ou défaillance est remonté systématiquement via un rapport détaillé dans une base de données des accidents d'exploitation dédiée à la filière éolienne (IRIS : *Information - Réactivité - Implication – Sécurité*). Toutes ces informations seront utilisées dans le cadre d'un processus d'amélioration continue.

IV.2.4. STOCKAGE ET FLUX DE PRODUITS DANGEREUX

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié, aucun matériel inflammable ou combustible ne sera stocké dans les éoliennes du Champ éolien des Terres de la Madeleine.

IV.3. FONCTIONNEMENT DES RÉSEAUX DE L'INSTALLATION

IV.3.1. RACCORDEMENT ÉLECTRIQUE

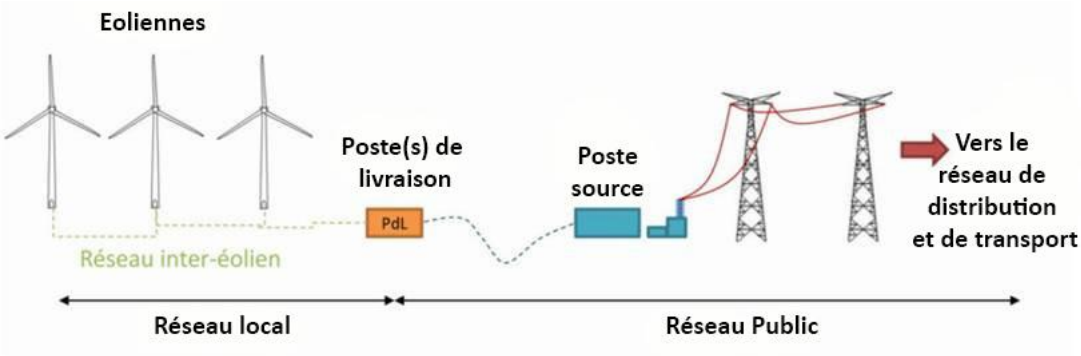


Figure 32 : Raccordement électrique des installations

Les caractéristiques des réseaux électriques et télécom respecteront les normes en vigueur.

❖ **Réseau inter-éolien**

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur[3] de l'éolienne, au point de raccordement avec le réseau public (PDL). 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 d'environ 80 cm en plein champ.

Tronçon		Tension	Longueur de câble du tronçon (en ml)
E01	E02	20 kV	600
E02	PDL	20 kV	1834
		Total (ml)	2434

Figure 33 : Répartition des câbles du réseau inter-éolien
Source : EES

Le schéma unifilaire simplifié qui illustre ce tableau est disponible en Annexe 6.

Des exemples de coupes type des câbles du réseau inter-éolien sont schématisés ci-dessous :

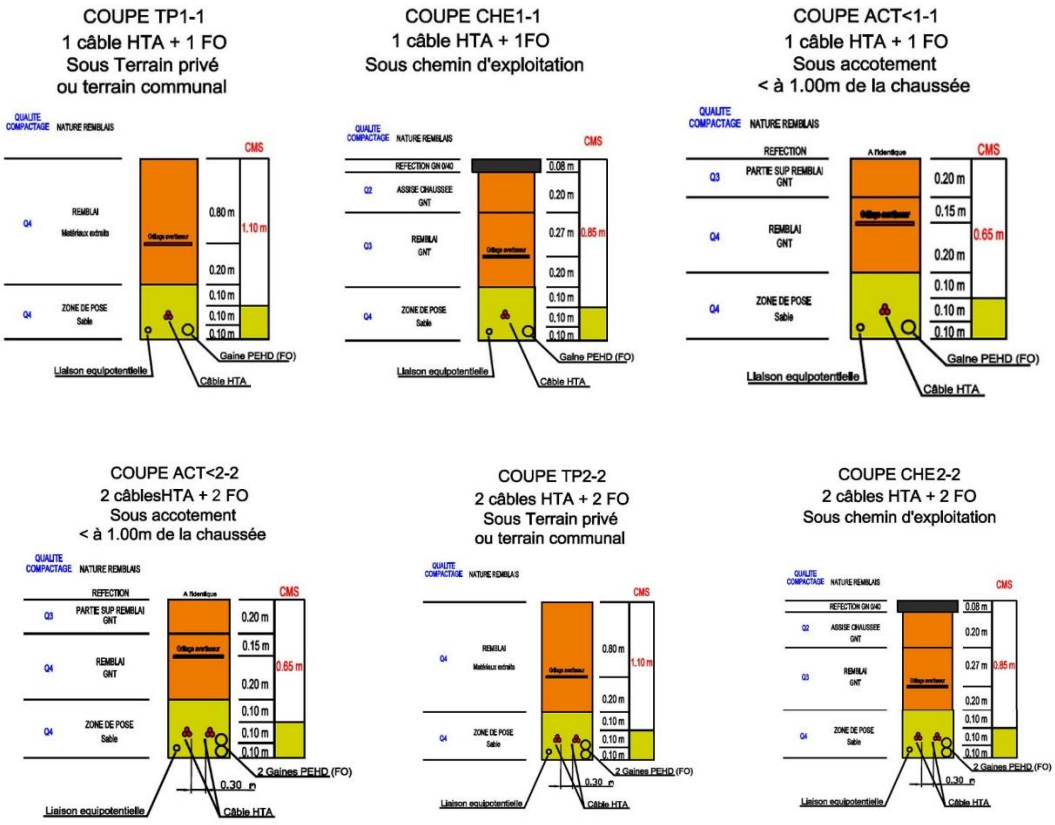


Figure 34 : Exemples de coupes types des câbles du réseau inter-éolien

[3] *Généralement intégré à la nacelle ou au mât de la machine*

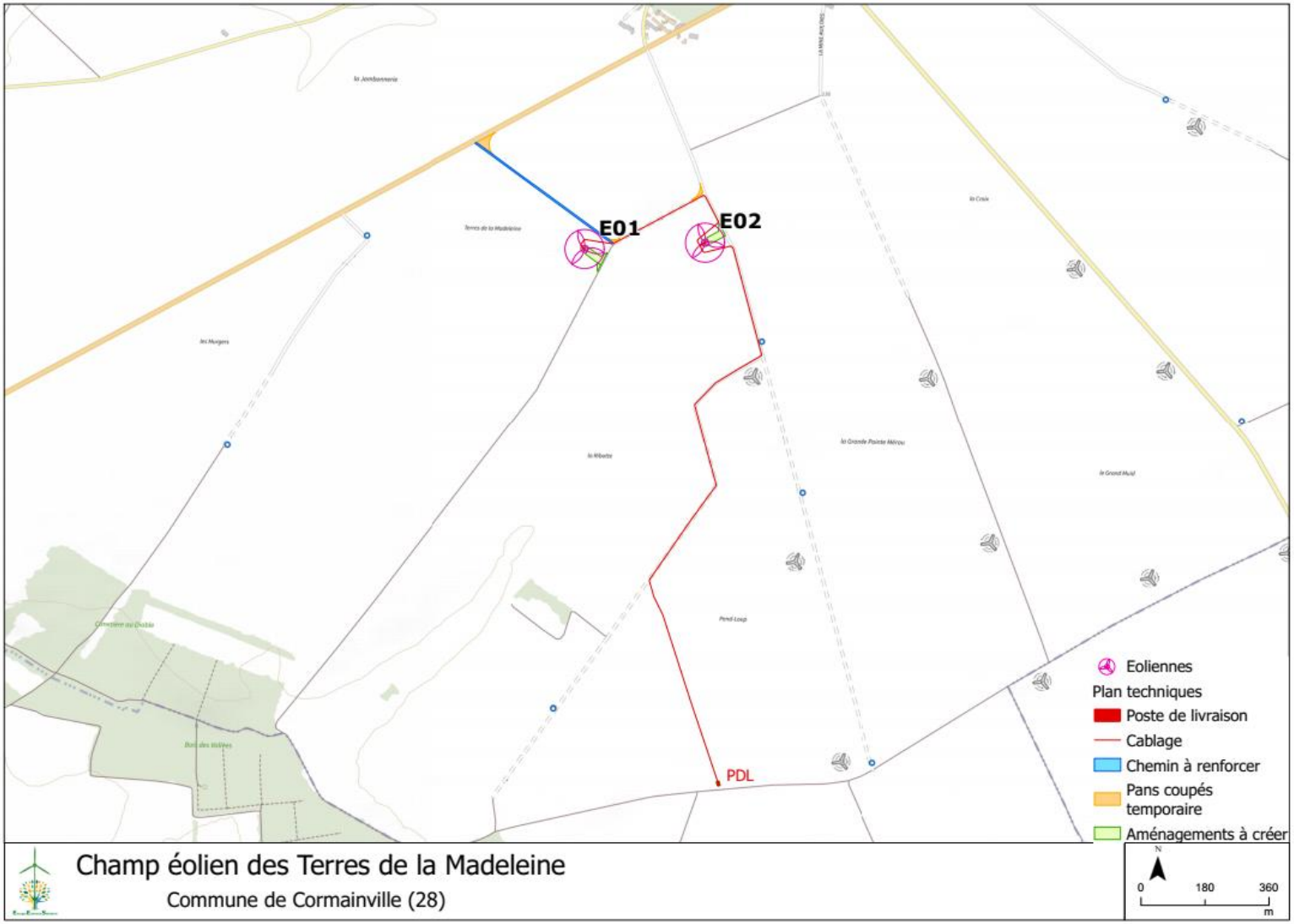


Figure 35 : Plan du réseau inter-éolien
Source : EES

❖ **Poste de livraison**

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

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

Pour ce projet, un poste de livraison simple (PDL) sera nécessaire. Ce PDL sera positionné sur la parcelle ZM36, au sud des deux éoliennes, le long d'un chemin de desserte existant. Il mesure 2,5 m de large pour 9 m de long (**hors bardage**) et est entouré d'une plateforme d'environ 3 m de part et d'autre.

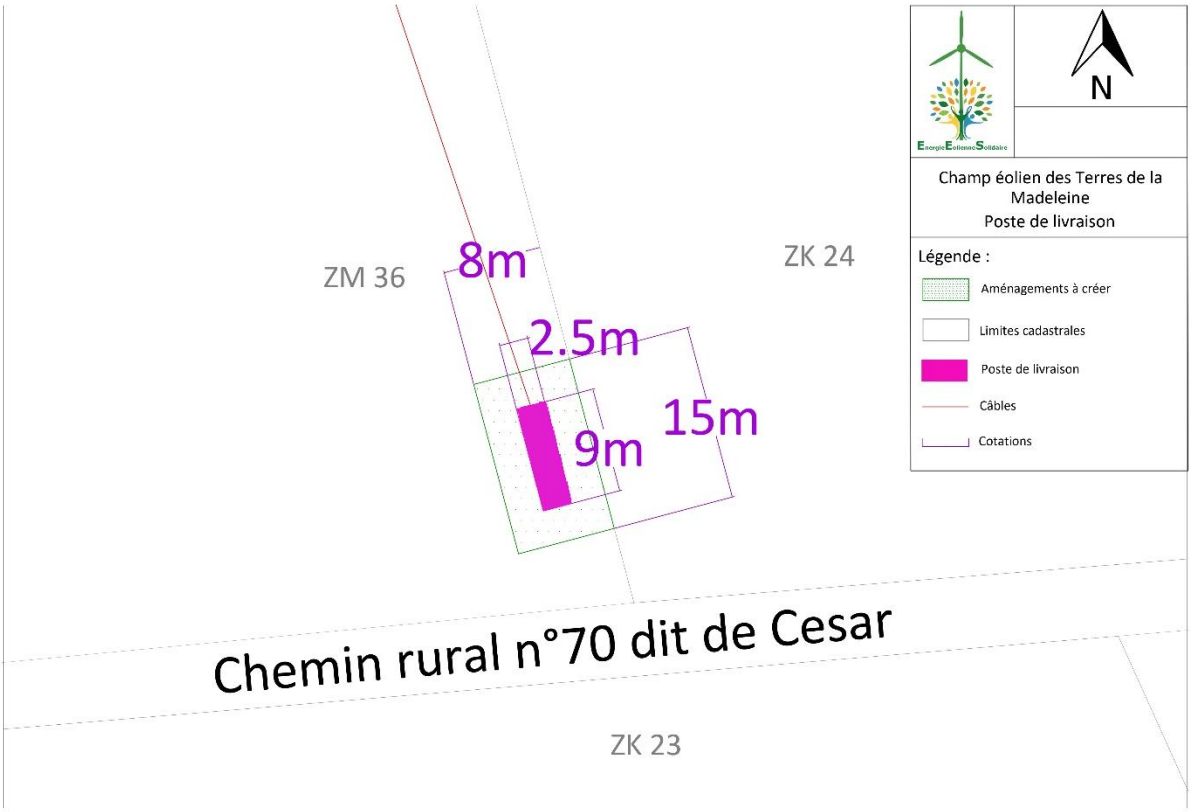
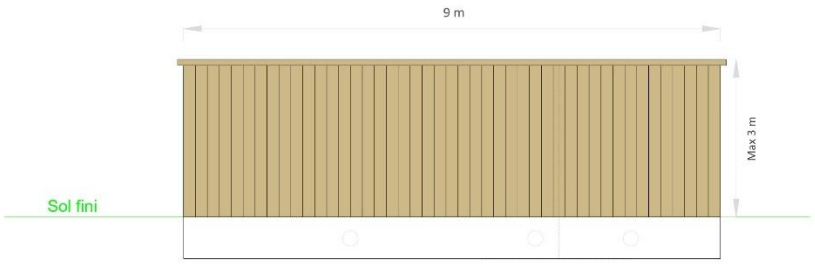


Figure 36 : Zoom sur l'emplacement du PDL

Source : EES



Les cotations sont données hors bardage.

L'emplacement des portes est donné à titre indicatif et peut être sujet à modification.

Bardage couleur bois naturel

JIGRID
30 Allée des Tilleuls
04200 SISTERON
contact@jigrid.com

Facade Est PDL

Champ Eolien des Terres de la Madeleine SAS

Les cotations sont données hors bardage.

L'emplacement des portes est donné à titre indicatif et peut être sujet à modification.



RAL 6003

Bardage couleur bois naturel

JIGRID
30 Allée des Tilleuls
04200 SISTERON
contact@jigrid.com

Facade Ouest PDL

Champ Eolien des Terres de la Madeleine SAS

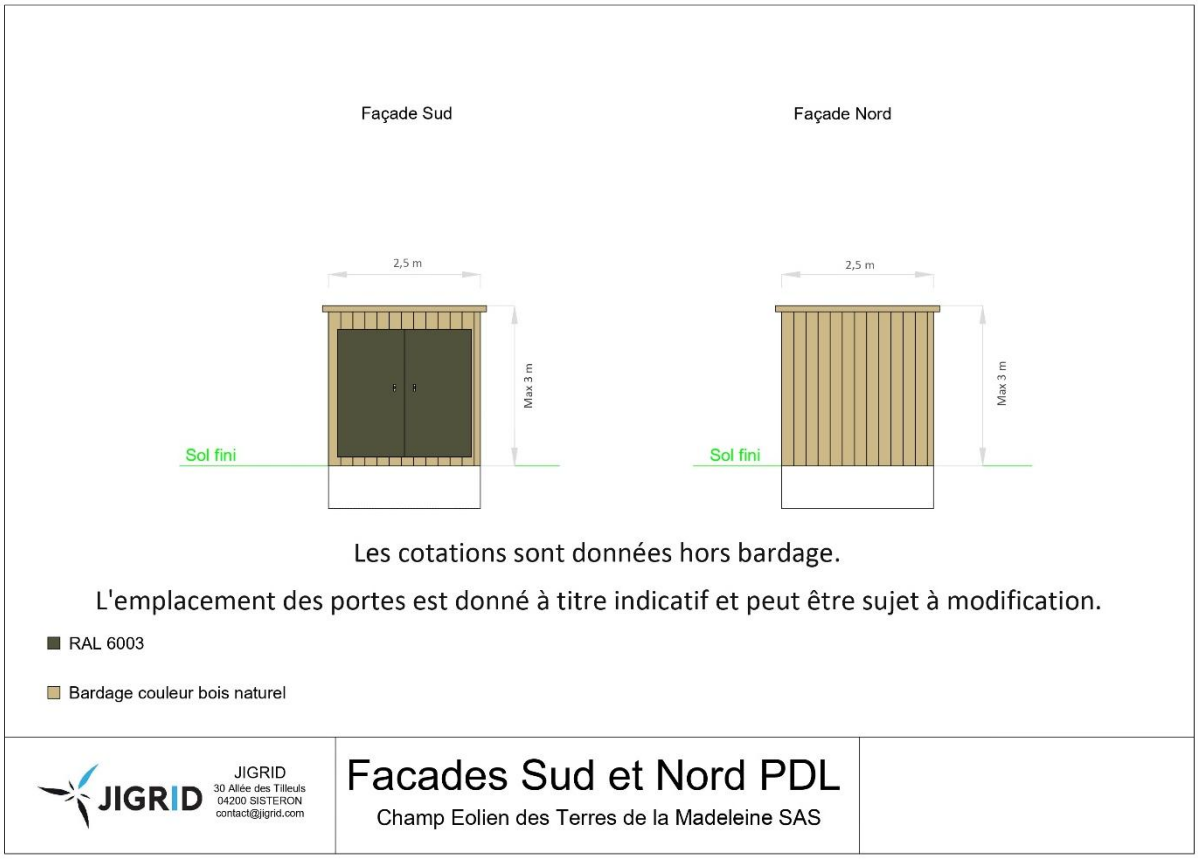


Figure 37 : Plans de façade du PDL
Source : Jigrid

❖ **Réseau électrique externe**

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

IV.3.2. AUTRES RÉSEAUX

Le Champ éolien des Terres de la Madeleine ne nécessite aucun réseau d'alimentation en eau potable, ni aucun réseau d'assainissement. De même, les éoliennes ne sont reliées à aucun réseau de gaz.

V. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION

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

Il est réalisé notamment sur la base des Fiches de Données de Sécurité (FDS) des produits, de la nature et des caractéristiques techniques des éoliennes, et des procédures d'exploitation.

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.

V.1. POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX PRODUITS

La génération électrique à partir de l'énergie du vent ne consomme pas de matières premières et ne génère pas d'émission atmosphérique ni d'effluent dangereux pour l'environnement.

Le bon fonctionnement de l'éolienne nécessite néanmoins la présence de produits dans l'éolienne, tels que graisses et huiles de transmission, huiles hydrauliques pour systèmes de freinage, etc. Une fois usagés, ces produits sont traités en tant que déchets industriels spéciaux.

Les activités de maintenance utilisent également des produits : solvants, dégraissants, nettoyants, et produisent des déchets industriels spéciaux (chiffons souillés, etc.) ou banals (pièces usagées non souillées, cartons d'emballage, etc.).

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011 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.

V.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 des turbines Vestas sont :

- L'huile hydraulique (circuit haute pression) dont la quantité présente est de l'ordre de 250 litres ;
- L'huile de lubrification du multiplicateur dont la quantité présente est de l'ordre de 1 200 litres ;
- L'eau glycolée (mélange d'eau et d'éthylène glycol), qui est utilisée comme liquide de refroidissement, dont le volume total de la boucle est d'environ 400 litres ;
- Les graisses pour les roulements et systèmes d'entrainements ;
- L'hexafluorure de soufre (SF_6), qui est le gaz utilisé comme milieu isolant pour les cellules de protection électrique. La quantité présente varie entre 1,5 kg et 2,2 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).

V.1.2. DANGERS DES PRODUITS

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

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

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

Le SF_6 est pour sa part ininflammable.

❖ **Toxicité pour l'Homme**

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

❖ **Dangerosité pour l'environnement**

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

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

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

V.2. POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

Les dangers liés au fonctionnement du Champ éolien des Terres de la Madeleine sont de cinq types :

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

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant :

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

V.3. RÉDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS À LA SOURCE

V.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.

❖ **Choix de l'emplacement des installations**

Les éoliennes sont implantées à plus de 500 m de toute habitation. L'habitation la plus proche est située à 560 m d'une éolienne (E02).

De plus, les éoliennes ont été implantées de manière à respecter les préconisations du règlement départemental de voirie publié par le Conseil départemental d'Eure-et-Loir. Celui-ci indique une distance d'éloignement égale à la hauteur totale de l'éolienne (soit 136 m au maximum). L'éolienne la plus proche de la RD 927 (E01) est située à 415 m.

Enfin, les éoliennes sont compatibles avec les réseaux existants au niveau de la zone de projet.

❖ **Choix des caractéristiques des éoliennes**

Les aérogénérateurs choisis sont de type Vestas V110 – 2.2MW. Ces aérogénérateurs atteignent une hauteur hors sol maximale de 136 m en bout de pale. Le diamètre de rotor est de 110 m. La vitesse de rotation de ces aérogénérateurs est d'environ 11 tours/min. Le parc éolien sera équipé d'un balisage aéronautique conforme à la règlementation en vigueur.

❖ **Substitution des produits par des produits moins dangereux et réduction des quantités**

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.

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

❖ **Substitution des équipements**

Les dangers des équipements sont principalement dus au caractère mobile de ceux-ci (pièces en rotation) et à leur situation (à plusieurs dizaines de mètres au-dessus du sol). Ceci peut entrainer des chutes ou projection de pièces au sol.

Un autre danger est lié à la présence d'installations électriques avec des tensions élevées (jusqu'à 35 000 volts dans un aérogénérateur Vestas), dont le dysfonctionnement peut être à l'origine d'incendies.

Les équipements qui constituent à ce jour l'éolienne sont tous indispensables à son fonctionnement. Il n'est donc pas possible à priori de les substituer.

Depuis les débuts du développement de l'éolien, des évolutions technologiques ont permis de mettre en place des équipements plus performants en termes d'optimisation des rendements et de diminution des risques :

- Remplacement de pales métalliques par des pales en matériaux composites, plus légères et moins sujettes aux phénomènes de fatigue ;
- Dispositif d'orientation des pales permettant de fonctionner par vent faible et de diminuer les contraintes par vent fort ;
- Dispositif aérodynamique d'arrêt en cas de survitesse ;
- Dispositifs de surveillance des dysfonctionnements électriques (détecteur d'arcs notamment).

Ces évolutions se poursuivent toujours afin d'améliorer la sécurité.

V.3.2. UTILISATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

L'Union Européenne a adopté un ensemble de règles communes au sein de 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.

Pour l'essentiel, la directive IPPC vise à minimiser la pollution émanant de différentes sources industrielles dans toute l'Union Européenne. Les exploitants des installations industrielles relevant de l'annexe I de la directive IPPC doivent obtenir des autorités des Etats-membres une autorisation environnementale avant leur mise en service.

Les installations éoliennes, ne consommant pas de matières premières et ne rejetant aucune émission dans l'atmosphère, ne sont pas soumises à cette directive[4].

[4] Plus d'informations sur http://www.installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr/Pour-en-savoir-plus-sur-la.html

VI. ANALYSE DES RETOURS D'EXPÉRIENCE

Il y a encore peu de temps, il n'existait aucune base de données officielle recensant l'accidentologie dans la filière éolienne en France. Cette base de données a été mise en place par l'intermédiaire du SER (Syndicat des Energies Renouvelables) et de FEE (France Energie Eolienne) sur demande du ministère de tutelle. Cette base a été initiée en septembre 2021 et constitue un nouvel outil dédié à la prévention et à la gestion des accidents d'exploitation sur les parcs éoliens. Il s'agit de la base de données IRIS, *pour Information - Réactivité - Implication – Sécurité*. Cette base ne produira pleinement ses effets que dans quelques années, lorsqu'elle sera enrichie par les exploitants de parcs.

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 VIII pour l'analyse détaillée des risques.

VI.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 projet du champ éolien des Terres de la Madeleine. 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.

La filière éolienne française dispose aujourd'hui d'un retour d'expérience consistant des accidents et incidents. Ils sont pour la quasi-totalité recensés au sein de la base de données ARIA, mise à jour tous les 6 mois environ par le Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles (BARPI) du Ministère pour la transition écologique. La base de données ARIA, très complète, permet de connaître l'ensemble des éléments suivants :

- Temporalité et localisation de l'évènement ;
- Nature et description de l'accident ;
- Nature des impacts ;
- Causes profondes de l'accident suite aux analyses approfondies.

Les informations recensées dans la base de données ARIA ont été complétées par certains évènements :

- Base de données ARIA du Ministère du Développement Durable ;
- Site Internet de l'association « Vent de Colère » ;
- Site Internet de l'association « Fédération Environnement Durable » ;
- Articles de presse divers.

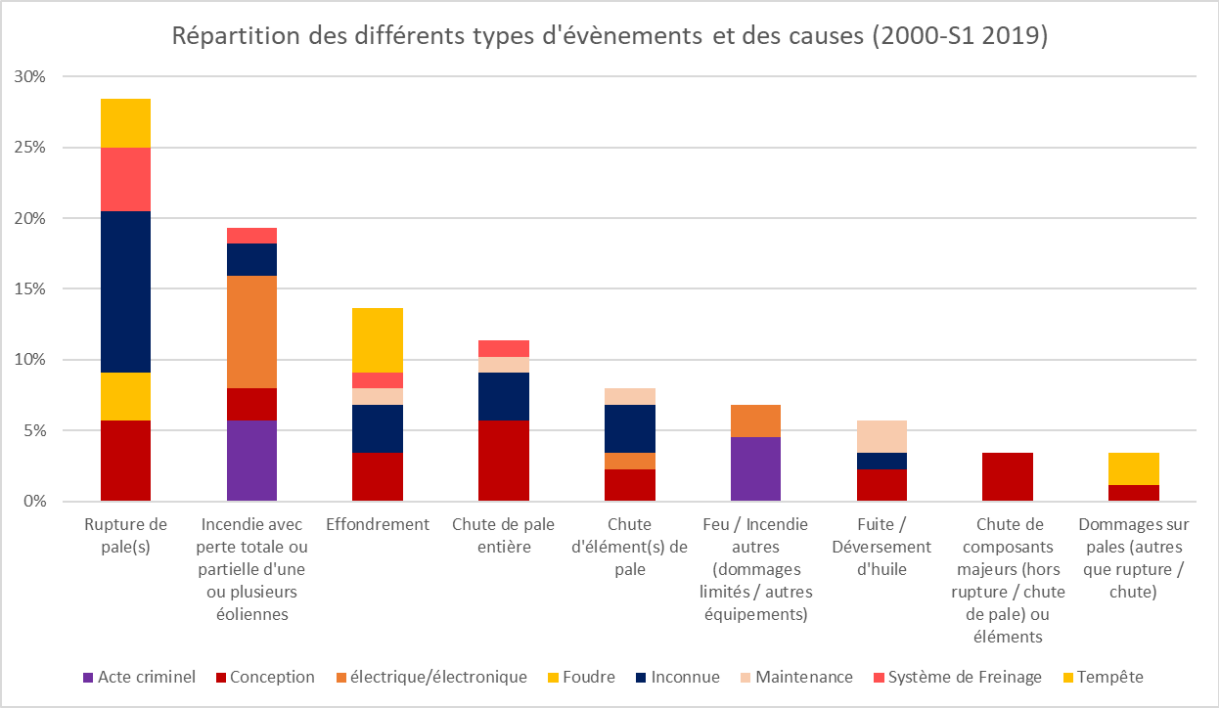
Dans le cadre de ce recensement, il n'a pas été réalisé d'enquête exhaustive directe auprès des exploitants de parcs éoliens français. Cette démarche pourrait augmenter le nombre d'incidents recensés, mais cela concernerait essentiellement les incidents les moins graves.

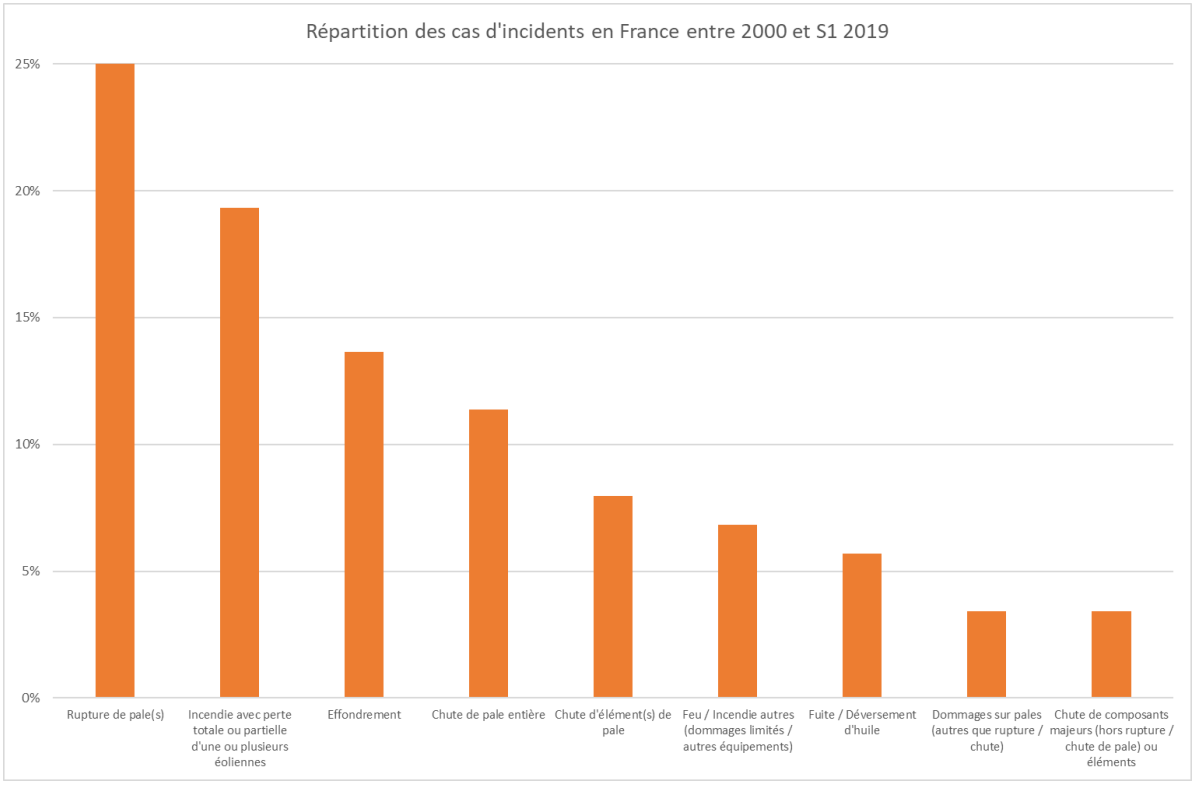
Dans l'état actuel, la base de données ARIA apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis les années 2000. L'ensemble de ces sources permet d'arriver à un inventaire aussi complet que possible des incidents survenus en France. Un total de 37 incidents a pu être recensé entre 2000 et début 2012 (voir tableau détaillé en Annexe 2). Ce tableau de travail a été validé par les membres du groupe de travail précédemment mentionné. Un total de 88 incidents (hors accident du travail et presqu'incidents) est recensé entre 2000 et début 2019.

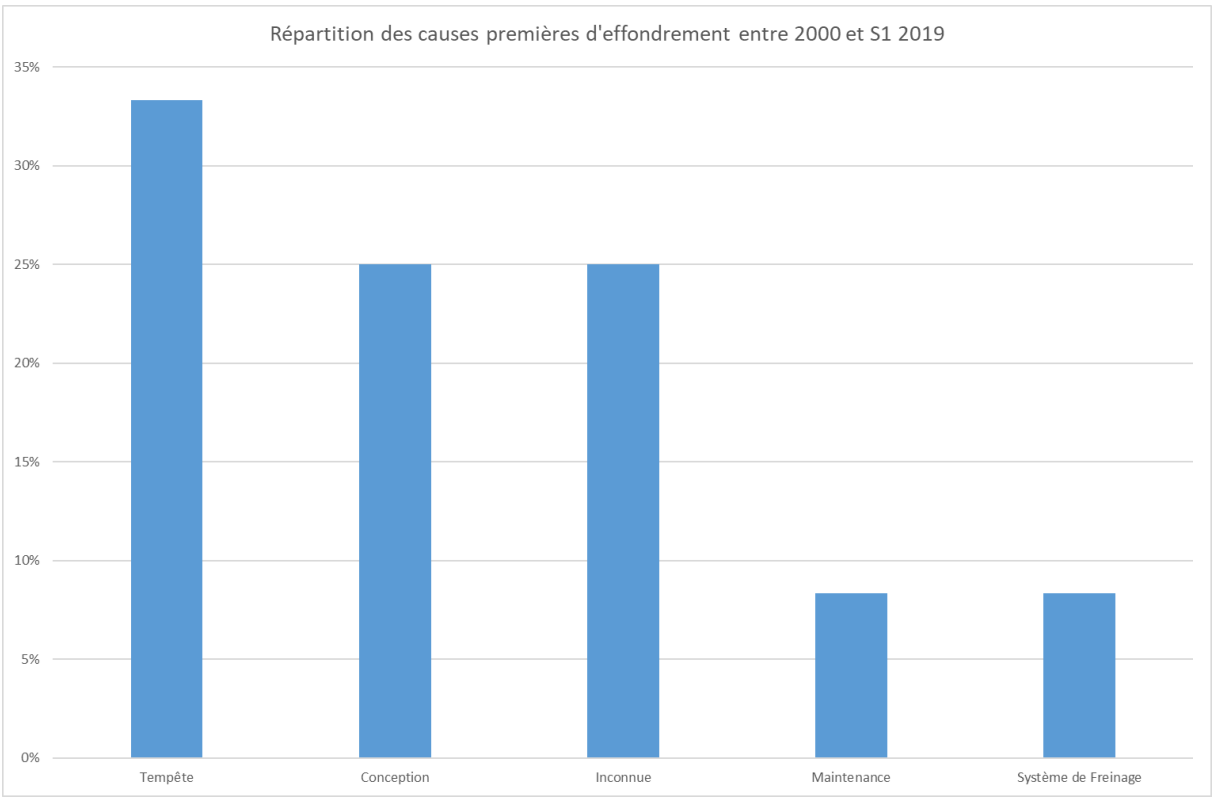
Il apparaît dans ce recensement que les aérogénérateurs accidentés sont principalement des modèles anciens, ne bénéficiant généralement pas des dernières avancées technologiques.

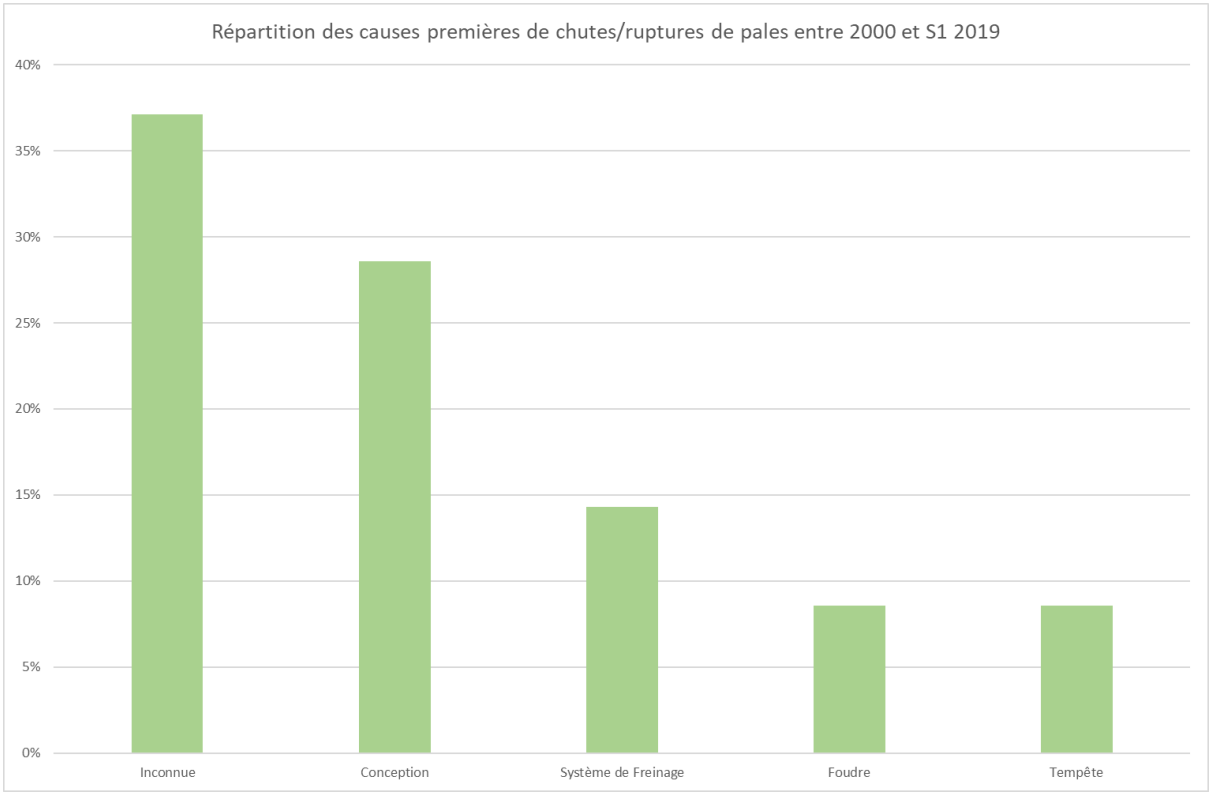
Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et le premier semestre 2019. Cette synthèse exclut les accidents du travail (maintenance, chantier de construction, etc.) et les événements qui n'ont pas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

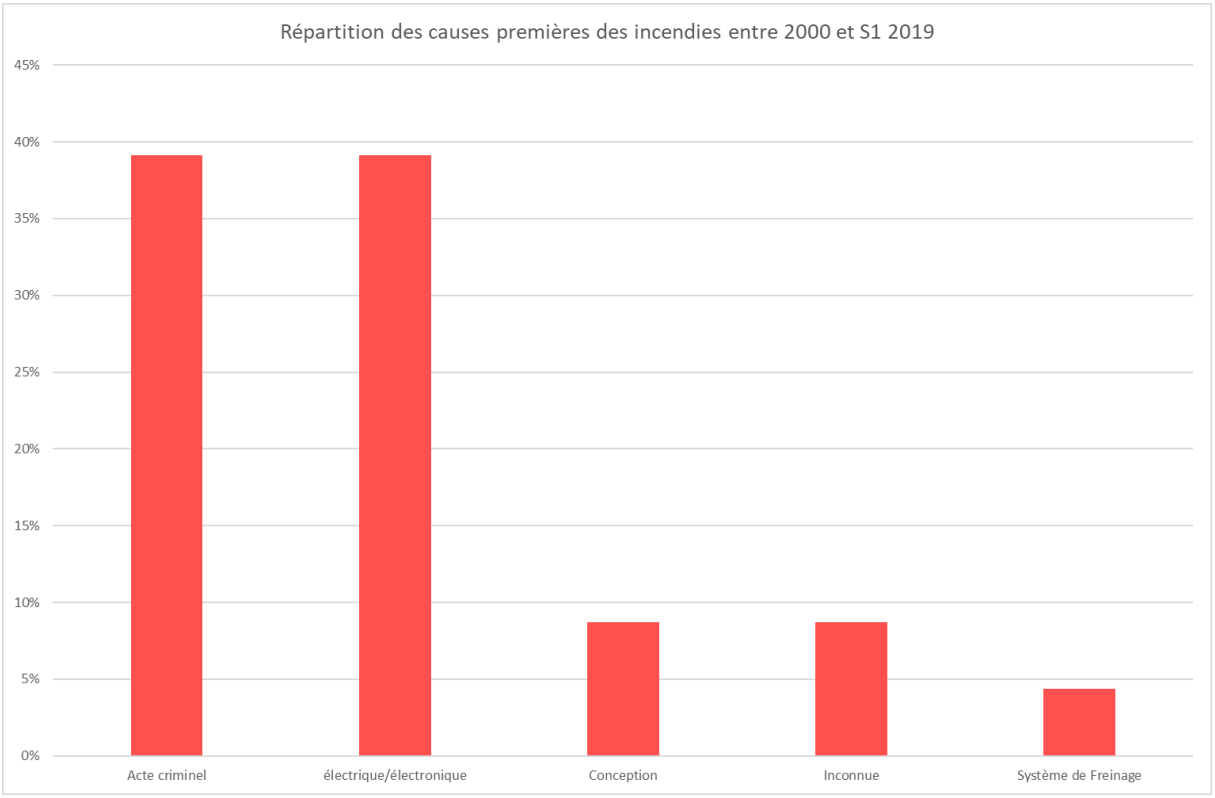
- La répartition des événements effondrement, rupture de pale, chute de pale, chute d'éléments et incendie, par rapport à la totalité des accidents observés en France. Elles sont représentées par des histogrammes de couleur foncée ;
- La répartition des causes premières pour chacun des événements décrits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




Répartition des cas d'incidents en France entre 2000 et S1 2019
25%
20%
15%
10%
5%
0%
Rupture de pale(s)
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes
Effondrement
Chute de pale entière
Chute d'élément(s) de pale
Feu / Incendie autres (dommages limités / autres équipements)
Fuite / Déversement d'huile
Dommages sur pales (autres que rupture / chute)
Chute de composants majeurs (hors rupture / chute de pale) ou éléments


Répartition des causes premières d'effondrement entre 2000 et S1 2019
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
Tempête
Conception
Inconnue
Maintenance
Système de Freinage





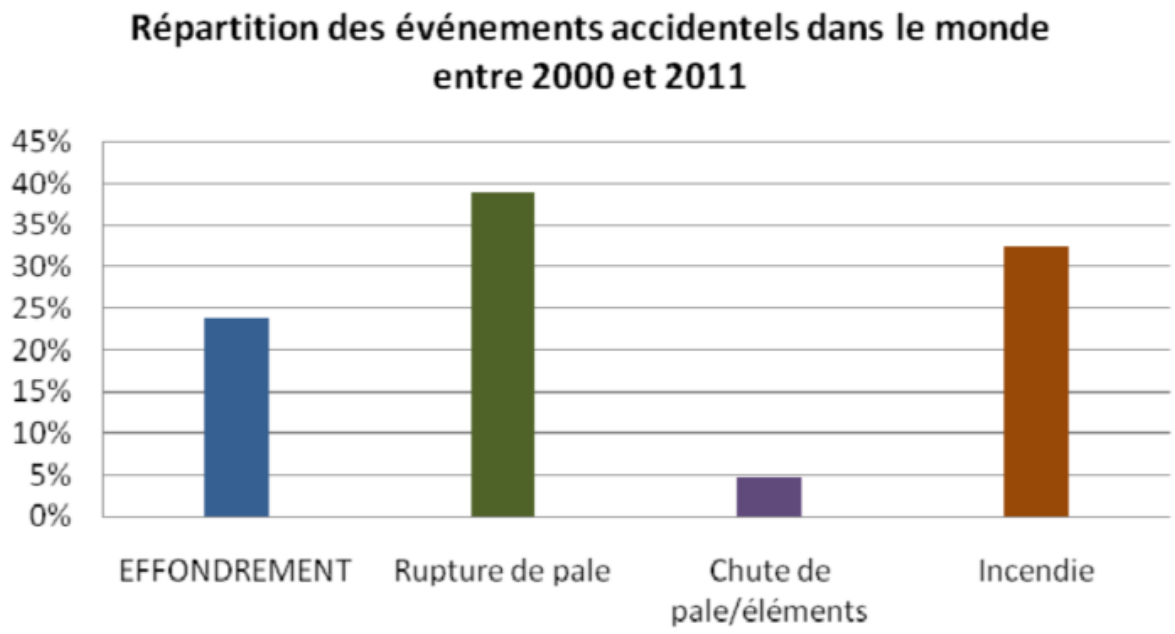
Par ordre d'importance, les accidents les plus recensés sont les ruptures de pale, les incendies (nombreux cas criminels), les effondrements, les chutes de pale et les chutes des autres éléments de l'éolienne. La principale cause de ces accidents est liée à la conception des machines, régulièrement mise en cause en cas de tempête.

VI.2. INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS À L'INTERNATIONAL

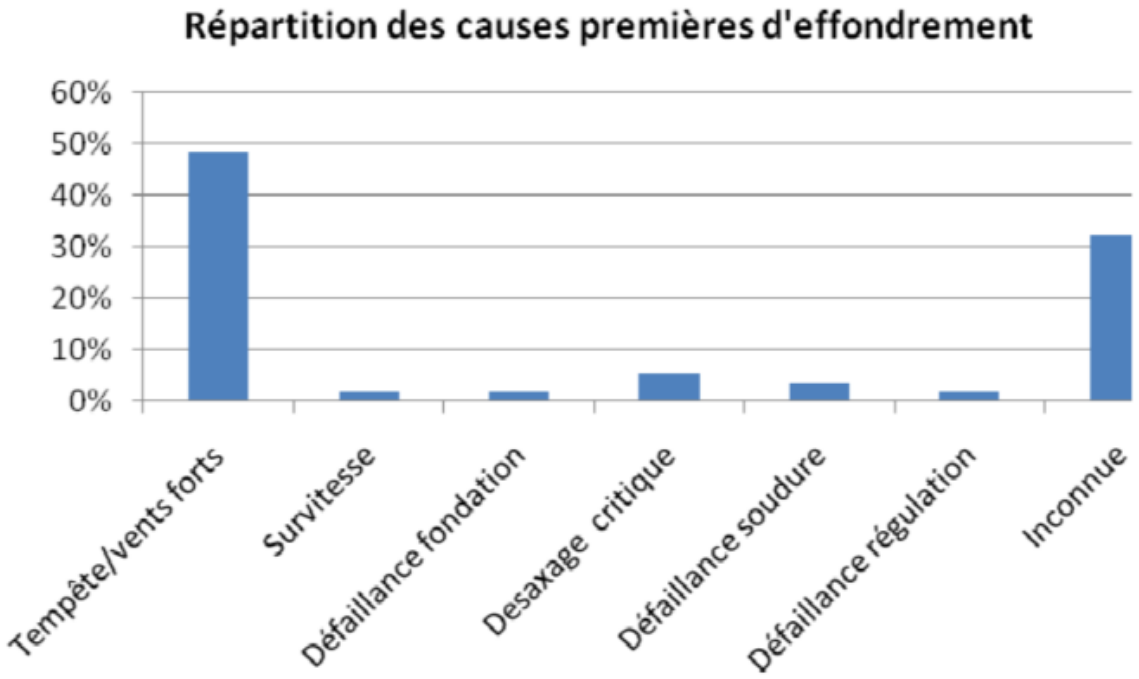
Un inventaire des incidents et accidents à l'international a également été réalisé. Il se base lui aussi sur le retour d'expérience de la filière éolienne fin 2010.

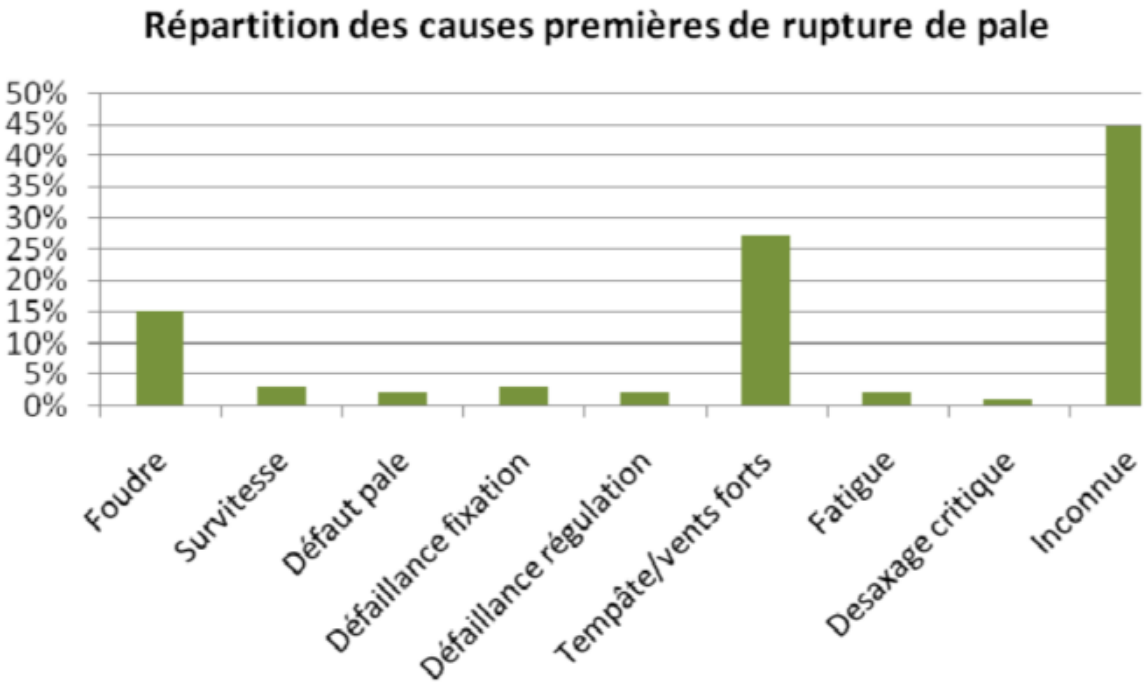
La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur les 994 accidents décrits dans la base de données au moment de sa consultation par le groupe de travail précédemment mentionné, seuls 236 sont considérés comme des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

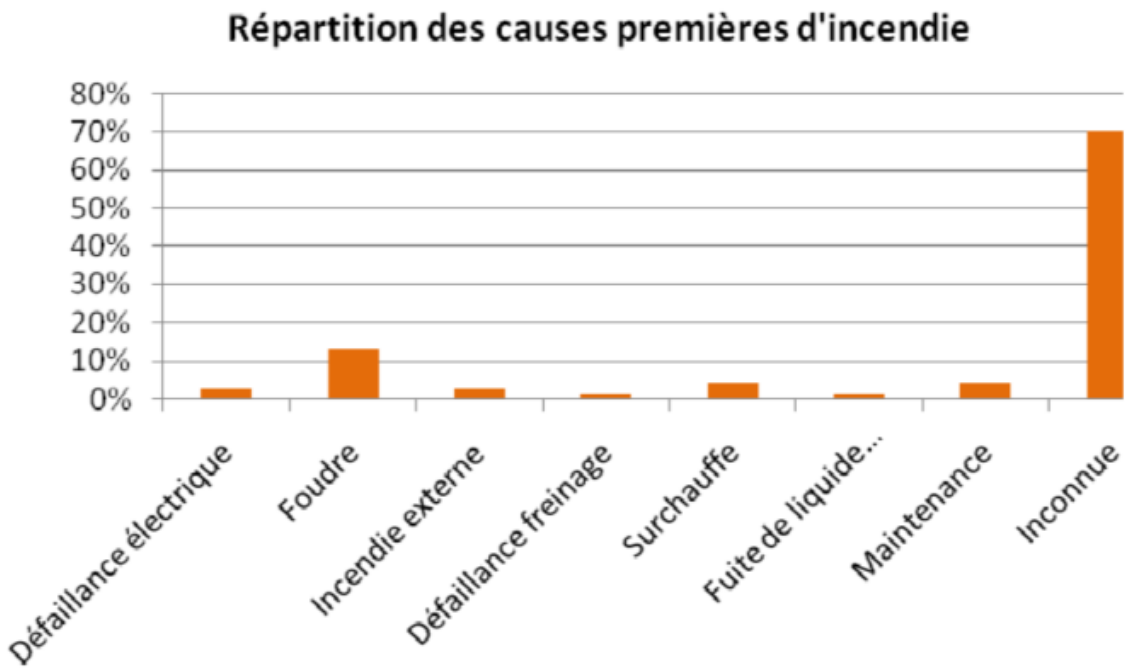
Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels par rapport à la totalité des accidents analysés.



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


Répartition des causes premières d'effondrement
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0%
Tempête/vents forts
Survitesse
Défaillance fondation
Desaxage critique
Défaillance soudure
Défaillance régulation
Inconnue


Répartition des causes premières de rupture de pale
50%
45%
40%
35%
30%
25%
20%
15%
10%
5%
0%
Foudre
Survitesse
Défaut pale
Défaillance fixation
Défaillance régulation
Tempâte/vents forts
Fatigue
Desaxage critique
Inconnue



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.

VI.3. INVENTAIRE DES ACCIDENTS MAJEURS SURVENUS SUR LES SITES DE L'EXPLOITANT

Il n'existe pas d'historique d'accident sur des parcs éoliens de la société puisque la société n'a pas mis en service de parcs à ce jour.

VI.4. SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTÉS ISSUS DU RETOUR D'EXPÉRIENCE

VI.4.1. ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DES ACCIDENTS EN FRANCE

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

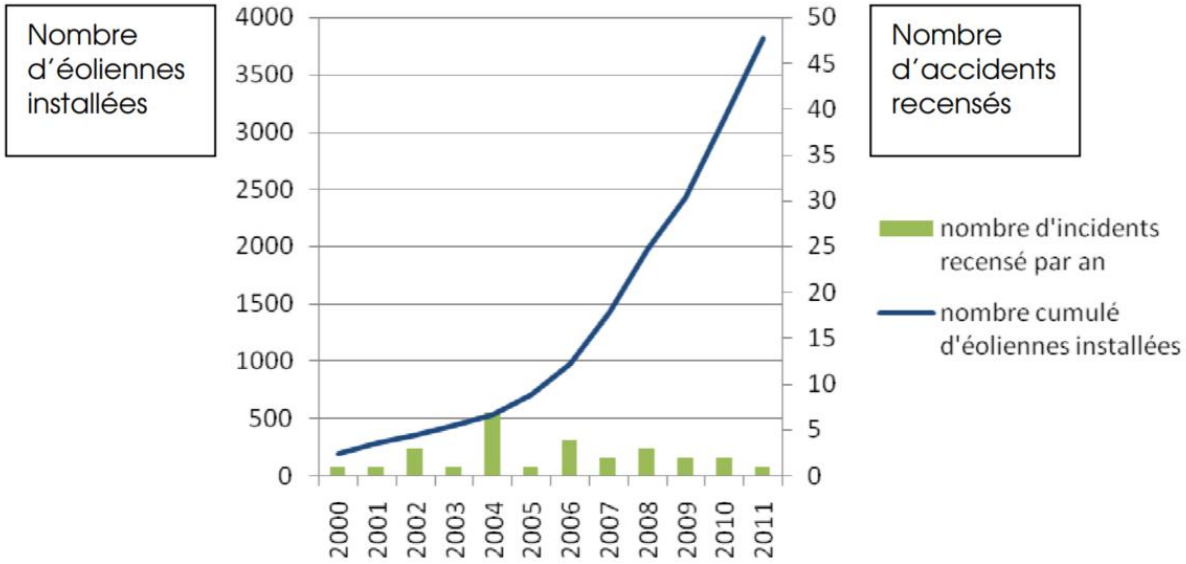


Figure 38 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées
On note bien l'essor de la filière française à partir de 2005, alors que le nombre d'accident reste relativement constant

VI.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.

VI.5. LIMITES D'UTILISATION DE L'ACCIDENTOLOGIE

Ces retours d'expérience doivent être pris avec précaution. Ils comportent notamment les biais suivants :

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

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

VII. ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

VII.1. OBJECTIF DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

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

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

VII.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 suraccident 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.

VII.3. RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES

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

Traditionnellement, deux types d'agressions externes sont identifiés :

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

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

VII.3.1. AGRESSION EXTERNES LIÉES AUX ACTIVITÉS HUMAINES

Le tableau en page suivante 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) seront recensées ici, à l'exception de la présence des aérodromes qui sera reportée lorsque ceux-ci sont implantés dans un rayon de 2 km et des autres aérogénérateurs qui seront reportés dans un rayon de 500 mètres.

Infrastructure	Fonction	Evénement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Distance par rapport au mât des éoliennes	
					E1	E2
Voies de circulation	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	415 m RD 927	550 m RD 927
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2 km	>2 km	
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	> 200 m	
Aérogénérateurs	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	E1	E2
					599 m Ferme éolienne sur Pendloup N° 28_0004C_02	409 m Ferme éolienne sur Pendloup N° 28_0004C_02
Ligne HTA	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	3 m	Les éoliennes sont toutes situées à plus de 70 m des lignes HTA.	

VII.3.2. AGRESSIONS EXTERNES LIÉES AUX PHÉNOMÈNES NATURELS

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

Agression externe	Intensité
Séisme	Risque « très faible » de sismicité.
Vents et tempête	Rafale de vent maximale mesurée dans le secteur : 144 km/h (Châteaudun, 1999). L'emplacement n'est pas compris dans une zone affectée par des cyclones tropicaux.
Foudre	Le niveau kéraunique en Eure-et-Loir est inférieur à 25 jours/an. Respect de la norme IEC 61 400-24 (Juin 2010) ou EN 62 305 – 3 (Décembre 2006).
Glissement de sols/ affaissement miniers	La zone d'étude n'est pas concernée par le risque mouvement de terrain ou l'aléa retrait gonflement des argiles.

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

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

VII.4. SCÉNARIOS ÉTUDIÉS DANS L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

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 préliminaire de la zone d'effets attendue de ces événements.

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

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

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

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

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur Fuite transformateur	Ecoulement hors de la nacelle et le long du mât, puis sur le sol avec infiltration	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Ecoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
C01	Défaut de fixation	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	1
C02	Défaillance fixation anémomètre	Chute anémomètre	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
C3	Défaut fixation nacelle – pivot central – mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop 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 (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	2
E01	Effets dominos autres installations	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2

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

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
				Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)		

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 3 du présent guide.

VII.5. EFFETS DOMINOS

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

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

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

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

Dans le cadre des études de dangers éoliennes, il est proposé de limiter l'évaluation de la probabilité d'impact d'un élément de l'aérogénérateur sur une autre installation ICPE que lorsque celle-ci se situe dans un rayon de 100 mètres. Il n'existe aucune autre ICPE située dans un rayon de 100 mètres autour des aérogénérateurs. De ce fait, aucune évaluation de la probabilité d'impact d'un élément de l'aérogénérateur sur une autre installation ICPE n'est à réaliser.

VII.6. MISE EN PLACE DES MESURES DE SÉCURITÉ

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les fonctions de sécurité identifiées et mise en œuvre sur les éoliennes du Champ éolien des Terres de la Madeleine. 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. [5]
- **Numéro de la fonction de sécurité** : ce numéro vise à simplifier la lecture de l'étude de dangers en permettant des renvois à l'analyse de risque par exemple.
- **Mesures de sécurité** : cette ligne permet d'identifier les mesures assurant la fonction concernée. Dans le cas de systèmes instrumentés de sécurité, tous les éléments de la chaîne de sécurité sont présentés (détection + traitement de l'information + action).
- **Description** : cette ligne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires.
- **Indépendance** (« oui » ou « non ») : cette caractéristique décrit le niveau d'indépendance d'une mesure de maîtrise des risques vis-à-vis des autres systèmes de sécurité et des scénarios d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner « oui ») ou non (renseigner « non »).
- **Temps de réponse** (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité (de l'équipement).
- **Efficacité** (100% ou 0%) : l'efficacité mesure la capacité d'une mesure de maîtrise des risques à remplir la fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation.
- **Test (fréquence)** : dans ce champ sont rappelés les tests/essais qui seront réalisés sur les mesures de maîtrise des risques. Conformément à la réglementation, un essai d'arrêt, d'arrêt d'urgence et d'arrêt à partir d'une situation de survitesse seront réalisés avant la mise en service de l'aérogénérateur. Dans tous les cas, les tests effectués sur les mesures de maîtrise des risques seront tenus à la disposition de l'inspection des installations classées pendant l'exploitation de l'installation.
- **Maintenance (fréquence)** : ce critère porte sur la périodicité des contrôles qui permettront de vérifier la performance de la mesure de maîtrise des risques dans le temps. Pour rappel, la réglementation demande qu'à minima un contrôle tous les ans soit réalisé sur la performance des mesures de sécurité permettant de mettre à l'arrêt, à l'arrêt d'urgence et à l'arrêt à partir d'une situation de survitesse et sur tous les systèmes instrumentés de sécurité.

[5] *Définition complémentaire dans le glossaire*

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 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) ou via l'apparition d'un « balourd » du rotor. 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	Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement		

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

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
Mesures de sécurité	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.

Fonction de sécurité	**Prévenir la survitesse**	**N° de la fonction de sécurité**	**4**
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage		
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	Temps de détection < 1 minute L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011.		
Efficacité	100 %		
Tests	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procédure d'arrêt en cas de survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011.		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 (notamment de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence.) Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	**Prévenir les courts-circuits**	**N° de la fonction de sécurité**	**5**
Mesures de sécurité	Détecteur d'arc avec coupure électrique (salle transformateur et armoires électriques).		
Description	Outre les protections traditionnelles contre les surintensités et les surtensions, les armoires électriques disposées dans les nacelles Vestas (qui abritent les divers jeux de barres), sont équipées de détecteurs d'arc électrique. Ce système de capteurs photosensibles a pour objectif de détecter toute formation d'un arc électrique (caractéristique d'un début d'amorçage) qui pourrait conduire à des phénomènes de fusion de conducteurs et de début d'incendie. Le fonctionnement de ces détecteurs commande le déclenchement de la cellule HT située en pied de mât, conduisant ainsi à la mise hors tension de la machine. La remise sous tension puis le recouplage de la machine ne peuvent être faits qu'après inspection visuelle des éléments HT de la nacelle, puis du réarmement du détecteur d'arc et de l'acquittement manuel du défaut.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	50 millisecondes Le couplage du système de détection d'arc électrique avec le système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant.		
Efficacité	100 %		
Tests	Test des détecteurs d'arc à la mise en service puis tous les ans.		

Maintenance	Les installations électriques font l'objet d'un contrôle avant la mise en service industrielle du parc éolien, puis annuellement conformément à l'article 17 de l'arrêté du 26 août 2011. Ce contrôle donne lieu à un rapport, dit rapport de vérification annuel, réalisé par un organisme agréé. Des vérifications de tous les équipements électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrés dans le manuel de maintenance préventive Vestas.

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

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	Capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne pouvant permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de la machine. Système de détection incendie relié à une alarme transmise à un poste de contrôle Intervention des services de secours		
Description	Détecteurs de fumée qui lors de leur déclenchement conduisent à la mise en arrêt de la machine et au découplage du réseau électrique. De manière concomitante, un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance. L'éolienne est également équipée d'extincteurs qui peuvent être utilisés par les personnels d'intervention (cas d'un incendie se produisant en période de maintenance)		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	< 1 minute pour les détecteurs et l'enclenchement de l'alarme L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur. Le temps d'intervention des services de secours est quant à lui dépendant de la zone géographique.		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Le matériel incendie (type extincteurs) est contrôlé périodiquement par le fabriquant du matériel ou un organisme extérieur. Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.		

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	Détecteurs de niveau d'huiles Procédure d'urgence Kit antipollution		
Description	Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. 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, etc.) et produits chimiques (acides, bases, solvants, etc.) ; – 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	Dépendant du débit de fuite		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Inspection des niveaux d'huile plusieurs fois par an		

Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	N° de la fonction de sécurité	9
Mesures de sécurité	Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.) Procédures qualités		
Description	La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi la nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	NA		
Maintenance	Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du pitch system, couronne du Yam Gear, boulons de fixation de la nacelle…) sont vérifiés au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011.		

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

Fonction de sécurité	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	Inspection et suivi des données mesurées par les capteurs et sondes présents dans les éoliennes.		
Description	Toutes les pièces de l'éolienne sont protégées contre la corrosion et les autres influences néfastes de l'environnement au moyen d'un revêtement adapté. Des contrôles visuels sont réalisés lors des opérations de maintenance. Les données mesurées par les capteurs et les sondes présents dans l'éolienne sont suivies, enregistrées et traitées afin de détecter les éventuelles dégradations des équipements. Lorsqu'elle s'avère nécessaire, une inspection de l'équipement potentiellement dégradé est réalisée.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	NA		
Maintenance	NA		

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. Détection et prévention des vents forts et tempêtes Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pâles) par le système de conduite		
Description	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale pour laquelle elle a été conçue.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	< 1 min		
Efficacité	100 %. NB : En fonction de l'intensité attendue des vents, d'autres dispositifs de diminution de la prise au vent de l'éolienne peuvent être envisagés.		
Tests	Pitch system testé tous les ans lors des maintenances préventives		
Maintenance	Tous les ans		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de cyclones dans les zones cycloniques	N° de la fonction de sécurité	13
Mesures de sécurité	NA		
Description			
Indépendance			
Temps de réponse			
Efficacité			
Tests			
Maintenance			

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

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.

VII.7. CONCLUSION DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

Dans le cadre de l'analyse préliminaire des risques génériques des parcs éoliens, quatre catégories de scénarios sont à priori exclues de l'étude détaillée, en raison de leur faible intensité :

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m^2 n'est pas atteinte. Dans le cas d'un incendie au niveau du mât les effets sont également mineurs et l'arrêté du 26 Août 2011 encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques. Néanmoins, il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.
Incendie du poste de livraison ou du transformateur	En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistants du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 août 2011 [9] et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200)
Chute et projection de glace dans les cas particuliers où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C	Lorsqu'un aérogénérateur est implanté sur un site où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C, il peut être considéré que le risque de chute ou de projection de glace est nul. Des éléments de preuves doivent être apportés pour identifier les implantations où de telles conditions climatiques sont applicables.
Infiltration d'huile dans le sol	En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs. Ce scénario peut ne pas être détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques sauf en cas d'implantation dans un périmètre de protection rapprochée d'une nappe phréatique.

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

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

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

VIII. 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.

VIII.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 toxique.

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

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

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

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

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

VIII.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.

VIII.1.2. INTENSITÉ

L'intensité des effets des phénomènes dangereux est définie par rapport à des valeurs de référence exprimées sous forme de seuils d'effets toxiques, d'effets de surpression, d'effets thermiques et d'effets liés à l'impact d'un projectile, pour les hommes et les structures (article 9 de l'arrêté du 29 septembre 2005 [13]).
On constate que les scénarios retenus au terme de l'analyse préliminaire des risques pour les parcs éoliens sont des scénarios de projection (de glace ou de toute ou partie de pale), de chute d'éléments (glace ou toute ou partie de pale) ou d'effondrement de machine.

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

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

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

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

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

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

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

VIII.1.3. GRAVITÉ

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

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

La détermination du nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) présentes dans chacune des zones d'effet est effectuée à l'aide de la méthode présentée en annexe 1. Cette méthode 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.

Ainsi, pour chaque phénomène dangereux identifié, il conviendra de comptabiliser l'ensemble des personnes présentes dans la zone d'effet correspondante. Dans chaque zone couverte par les effets d'un phénomène dangereux issu de l'analyse de risque, on identifiera les ensembles homogènes (ERP, zones habitées, zones industrielles, commerces, voies de circulation, terrains non bâtis, etc.) et on en déterminera la surface (pour les terrains non bâtis, les zones d'habitat) et/ou la longueur (pour les voies de circulation).

La zone d'étude du projet du Champ Eolien des Terres de la Madeleine est constituée principalement de « terrains non aménagés et très peu fréquentés » et de « terrains aménagés mais peu fréquentés ».
La zone d'étude de E01 comporte également une portion de la RD 927, « voies de circulation structurantes », qui est prise en compte. La zone d'étude de E02 comporte également une éolienne existante de l'ensemble éolien de Cormainville, qui est prise en compte en considérant une fréquentation forfaitaire de deux personnes afin de tenir compte de la présence potentielle de travailleurs.
Dans la zone d'étude de 500 m autour des éoliennes il n'existe pas de logements, d'établissements recevant du public, de zones d'activités ou de tout autre terrain potentiellement fréquenté ou très fréquenté.

VIII.1.4. PROBABILITÉ

L'annexe I de l'arrêté du 29 septembre 2005 définit les classes de probabilité qui doivent être utilisée dans les études de dangers pour caractériser les scénarios d'accident majeur :

Niveaux	Echelle qualitative	Echelle quantitative (probabilité annuelle)
A	***Courant*** Se produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie des installations, malgré d'éventuelles mesures correctives.	$P > 10^{-2}$
B	***Probable*** S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations.	$10^{-3} < P \leq 10^{-2}$
C	***Improbable*** 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 :

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

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

$P_{orientation}$ = probabilité que l'éolienne soit orientée de manière à projeter un élément lors d'une défaillance dans la direction d'un point 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)

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

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

VIII.2. CARACTÉRISATION DES SCÉNARIOS RETENUS

VIII.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 136 m en prenant les caractéristiques de hauteur de mât et de longueur de pale des éoliennes projetées pour le Champ Eolien des Terres de la Madeleine.

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 de l'éolienne dans le cas du Champ Eolien des Terres de la Madeleine. R est la longueur de pale (R = 55m), H la hauteur du mât (H = 81m), LB est la largeur à la base de la pale (LB = 1,874m) et L la largeur du mât (L = 4,45m).

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)			
Zone d'impact en m²	*Zone d'effet du phénomène étudié en m²*	*Degré d'exposition du phénomène étudié en %*	*Intensité*
$Z_I = (H) \times L + 3*R*LB/2$ La zone d'impact est de 515,055 m².	$Z_E = \pi \times (H+R)^2$ La zone d'effet est de 58 107 m².	$d = Z_I/Z_E$ 0,89% (< 1 %)	Exposition modérée

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 VIII.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène d'effondrement, dans le rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne :

- Plus de 1000 personnes exposées → « Désastreux » ;
- Entre 100 et 1000 personnes exposées → « Catastrophique » ;
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Important » ;
- Moins de 10 personnes exposées → « Sérieux » ;
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré ».

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

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)		
Eolienne	*Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)*	*Gravité*
E01	0,06822	Modérée
E02	0,07489	Modérée

Rappel : La méthode de comptage des enjeux humains dans chaque secteur est présentée en annexe 1. Elle se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers.

❖ **Probabilité**

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

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

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

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C ». En effet, il a été recensé seulement 7 événements pour 15 667 années d'expérience[6], 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 : « *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.

[6] 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.

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

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

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

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

❖ **Acceptabilité**

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

Effondrement de l'éolienne **(dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)**		
Eolienne	*Gravité*	*Niveau de risque*
E01	Modérée	Acceptable
E02	Modérée	Acceptable

Ainsi, pour le Champ Eolien des Terres de la Madeleine, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

VIII.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 concerné par moins d'un jour de formation de glace par an. Certains secteurs du territoire comme les zones côtières affichent des moyennes variant entre 2 et 7 jours de formation de glace par an.

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

❖ **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 mât de l'éolienne. Pour le parc éolien Terres de la Madeleine, la zone d'effet à 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 du parc éolien des Terres de la Madeleine. Z_I est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, R est la longueur de pale (R = 55 m), SG est la surface du morceau de glace majorant (SG = 1 m²).

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)			
Zone d'impact en m²	*Zone d'effet du phénomène étudié en m²*	*Degré d'exposition du phénomène étudié en %*	*Intensité*
$Z_I = SG$ La zone d'impact est de 1 m².	$Z_E = \pi \times R^2$ La zone d'effet est de 9503,3 m².	$d = Z_I/Z_E$ 0,0105 % (< 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 VIII.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute de glace, dans la zone de survol de l'éolienne :

- Plus de 1000 personnes exposées → « Désastreux » ;
- Entre 100 et 1000 personnes exposées → « Catastrophique » ;
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Important » ;
- Moins de 10 personnes exposées → « Sérieux » ;
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré ».

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

Chute de glace **(dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)**		
Eolienne	*Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)*	*Gravité*
E01	0,00950	Modérée
E02	0,00950	Modérée

❖ **Probabilité**

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

❖ **Acceptabilité**

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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	*Gravité*	*Niveau de risque*
E01	Modérée	Acceptable
E02	Modérée	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien des Terres de la Madeleine, 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, 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.

VIII.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 détaillé des risques pour représenter toutes les chutes d'éléments.

Le risque de chute d'élément 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 (55 m).

❖ **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 des Terres de la Madeleine. d est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R la longueur de pale (R = 55m) et LB la largeur de la base de la pale (LB = 1,874m).

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)			
Zone d'impact en m²	*Zone d'effet du phénomène étudié en m²*	*Degré d'exposition du phénomène étudié en %*	*Intensité*
$Z_I = R*LB/2$ La zone d'impact est de 51,535 *m².*	$Z_E = \pi \times R^2$ La zone d'effet est de 9503,3 *m².*	$d = Z_I/Z_E$ 0,54 % (< 1 %)	Exposition modérée

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 VIII.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 :

- Plus de 1000 personnes exposées → « Désastreux » ;
- Entre 100 et 1000 personnes exposées → « Catastrophique » ;
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Important » ;
- Moins de 10 personnes exposées → « Sérieux » ;
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré ».

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

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	*Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)*	*Gravité*
E01	0,00950	Modérée
E02	0,00950	Modérée

❖ **Probabilité**

Peu d'élément 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 x 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**

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

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	*Gravité*	*Niveau de risque*
E01	Modérée	Acceptable
E02	Modérée	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien des Terres de la Madeleine, le phénomène de chute d'éléments des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

VIII.2.4. PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES

❖ **Zone d'effet**

Dans l'accidentologie française rappelée en Annexe 2, la distance maximale relevée et vérifiée par le groupe de travail précédemment mentionné pour une projection de fragment de pale est de 380 mètres par rapport au mât de l'éolienne. On constate que les autres données disponibles dans cette accidentologie montrent des distances d'effet inférieures.

L'accidentologie éolienne mondiale manque de fiabilité car la source la plus importante (en termes statistiques) est une base de données tenue par une association écossaise majoritairement opposée à l'énergie éolienne [3].

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] (cf. Annexe 8).

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 pales ou de fragments de pales dans le cas du parc éolien des Terres de la Madeleine. d est le degré d'exposition, ZI la zone d'impact, ZE la zone d'effet, R la longueur de pale (R= 55m) et LB la largeur de la base de la pale (LB= 1,874m).

Il faut noter que la projection peut concerner uniquement des fragments et non la pale entière.

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
Zone d'impact en m²	*Zone d'effet du phénomène étudié en m²*	*Degré d'exposition du phénomène étudié en %*	*Intensité*
$Z_I = R * LB/2$ La zone d'impact est de 51,5 *m².*	$Z_E = \pi \times r^2$ *avec r=500m* La zone d'effet est de 785 398 *m².*	$d = Z_I/Z_E$ *0,007%* *(< 1 %)*	Exposition modérée

❖ **Gravité**

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe VIII.1.3., il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection, dans la zone de 500 m autour de l'éolienne :

- Plus de 1000 personnes exposées → « Désastreux » ;
- Entre 100 et 1000 personnes exposées → « Catastrophique » ;
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Important » ;
- Moins de 10 personnes exposées → « Sérieux » ;
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré ».

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

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*
E01	6,08	Sérieux
E02	2,91	Sérieux

Rappel : La zone d'étude de E01 comporte également une portion de route structurante qui est prise en compte en comptabilisant 0,4 personnes/kilomètre par tranche de 100 véhicules/jour en moyenne. La zone d'étude de E2 comporte également une éolienne qui est prise en compte en comptabilisant 2 personnes ajoutées par éolienne présentes dans les 500 m.

❖ **Probabilité**

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

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

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

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

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

Néanmoins, les dispositions constructives des éoliennes ayant fortement évolué, le niveau de fiabilité est aujourd'hui bien meilleur. Des mesures de maîtrise des risques supplémentaires ont été mises en place notamment :

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

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

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

❖ **Acceptabilité**

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

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	*Gravité*	*Niveau de risque*
E01	Sérieux	Acceptable
E02	Sérieux	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien des Terres de la Madeleine, le phénomène de projection de tout ou partie de pale des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

VIII.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] (cf. Annexe 8) propose une distance d'effet fonction de la hauteur et du diamètre de l'éolienne, dans les cas où le nombre de jours de glace est important et où l'éolienne n'est pas équipée de système d'arrêt des éoliennes en cas de givre ou de glace :

Distance d'effet = 1,5 x (hauteur de moyeu + diamètre de rotor)

Cette distance de projection est jugée conservative dans des études postérieures [17] (cf. Annexe 8). 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.

Ainsi, pour le parc éolien des Terres de la Madeleine, la distance d'effet est de 286,5 m.

❖ **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 des Terres de la Madeleine. d est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R la longueur de pale (R= 55m), H la hauteur au moyeu (H=81), et SG la surface majorante d'un morceau de glace. Le rayon de zone d'effet (RPG) est égal à 286,5 m.

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R_{PG} = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)			
Zone d'impact en m²	*Zone d'effet du phénomène étudié en m²*	*Degré d'exposition du phénomène étudié en %*	*Intensité*
Z_I= SG La zone d'impact est de *1 m².*	$ZE = \pi \times [1,5*(H+2*R)]^2$ La zone d'effet est de 257 868 *m².*	$d = Z_I/Z_E$ *0,00039 %* *(< 1 %)*	Exposition modérée

❖ **Gravité**

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe VIII.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] (cf. Annexe 8) qu'en cas de projection, les morceaux de glace se cassent en petits fragments dès qu'ils se détachent de la pale. La possibilité de l'impact de glace sur des personnes abritées par un bâtiment ou un véhicule est donc négligeable, et ces personnes ne doivent pas être comptabilisées pour le calcul de la gravité.

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

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R_{PG} = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)		
Eolienne	*Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)*	*Gravité*
E01	0,2820	Modéré
E02	0,3017	Modéré

❖ **Probabilité**

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

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

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

❖ **Acceptabilité**

Le risque de projection de glace pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un niveau de gravité « modéré ». Cela correspond pour cet événement à un nombre équivalent de personnes permanentes inférieures à 1 dans la zone d'effet.

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

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R_{PG} = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)			
Eolienne	*Gravité*	*Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage*	*Niveau de risque*
E01	Modéré	Oui	Acceptable
E02	Modéré	Oui	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien des Terres de la Madeleine, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes.

VIII.3. SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

VIII.3.1. TABLEAU DE SYNTHÈSE DES SCÉNARIOS ÉTUDIÉS

Le tableau suivant récapitule, pour chaque événement redouté central retenu, les paramètres de risques : la cinétique, l'intensité, la gravité et la probabilité. Le tableau regroupe les éoliennes qui ont le même profil de risque.

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale (136 m)	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes)[7]	Modérée
Chute d'éléments de l'éolienne	Zone de survol : 55m	Rapide	Exposition modérée	C	Modérée
Chute de glace	Zone de survol : 55m	Rapide	Exposition modérée	A	Modérée
Projection de pale ou de fragments de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes)[8]	Sérieux
Projection de glace	286,5 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	B	Modéré

[7] *Voir paragraphe VIII.2.1*
[8] *Voir paragraphe VIII.2.4*

VIII.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.

Le positionnement des accidents potentiels est repris dans la matrice de criticité de synthèse ci-dessous afin de conclure à l'acceptabilité (ou non) du risque généré par le parc éolien des Terres de la Madeleine :

Conséquence	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		Projection de pale			
Modéré		Effondrement	Chute d'éléments	Projection de glace	Chute de glace

Légende de la matrice

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

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

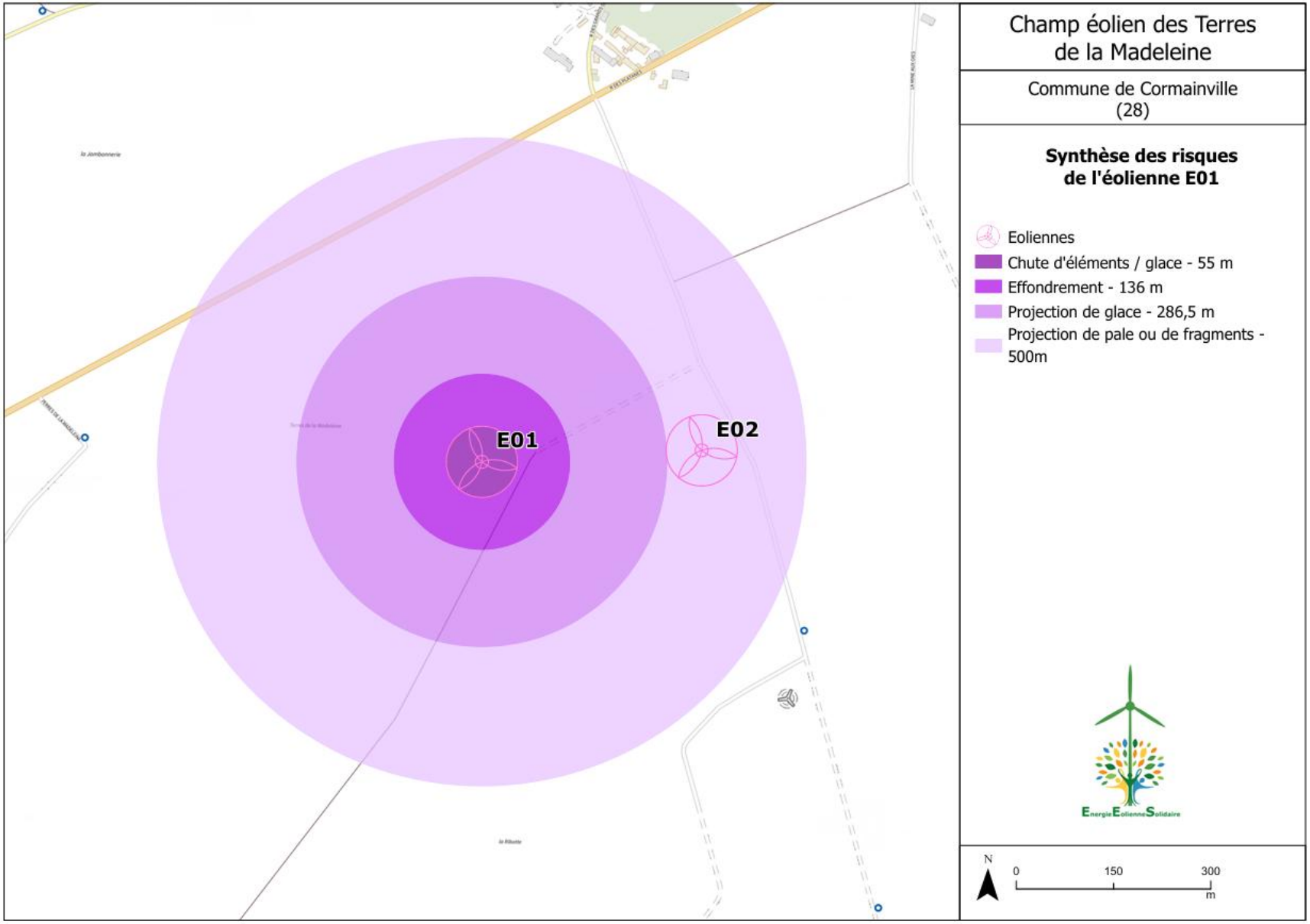
- Aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice (risque important et non acceptable) ;
- Un accident figure en case jaune (risque faible mais acceptable) : Chute de glace. Pour cet accident, il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie VII.6 sont mises en place.

Ainsi, le risque généré par le parc éolien des Terres de la Madeleine est acceptable.

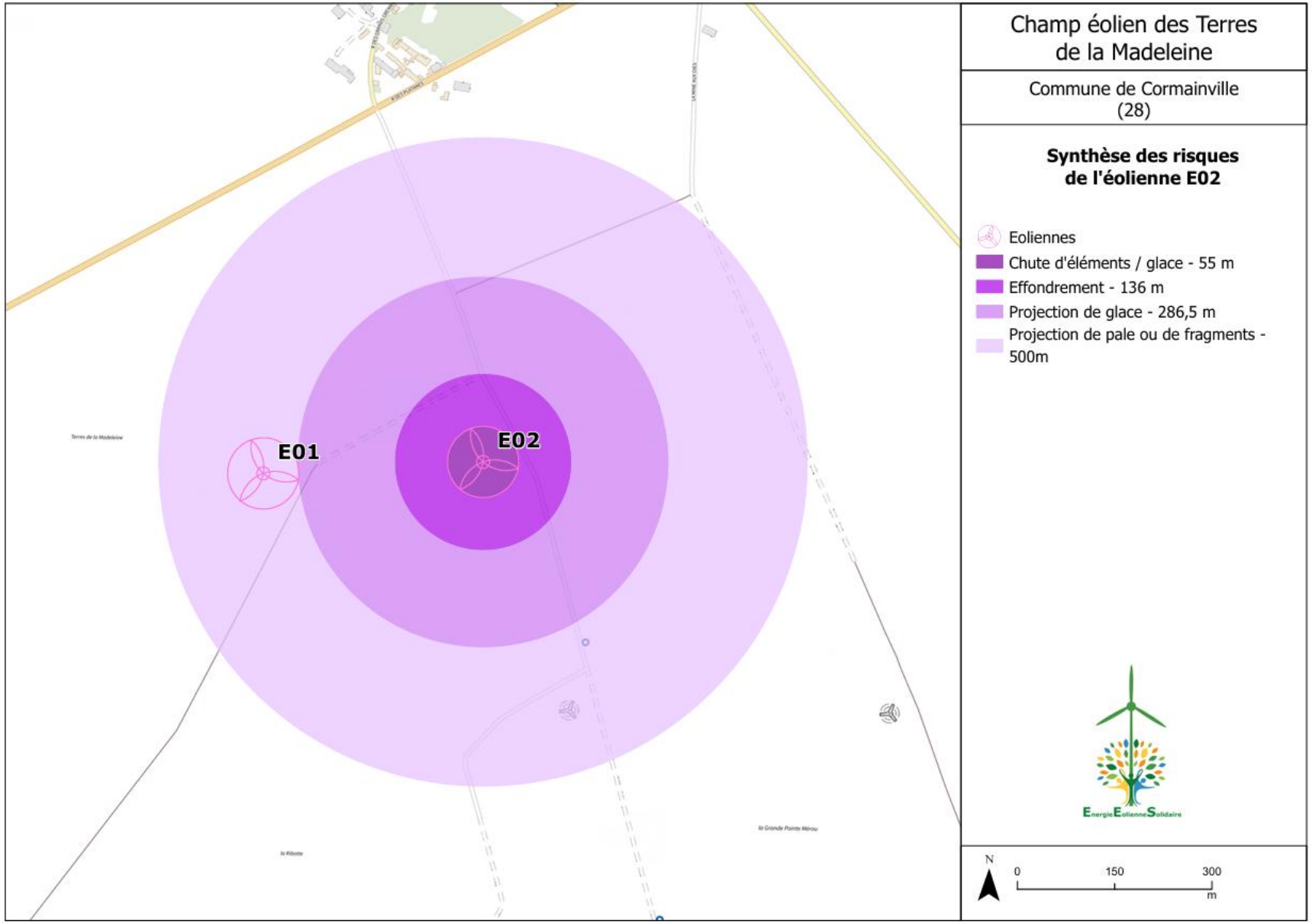
VIII.3.3. CARTOGRAPHIE DES RISQUES

Les cartes de synthèse ci-dessous font apparaître, pour chaque aérogénérateur, pour les scénarios 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.


E01
E02
Champ éolien des Terres de la Madeleine
Commune de Cormainville (28)
Synthèse des risques de l'éolienne E01
Eoliennes
Chute d'éléments / glace - 55 m
Effondrement - 136 m
Projection de glace - 286,5 m
Projection de pale ou de fragments - 500m
EnergieEolienneSolidaire
N
0
150
300
m

E01	Chute d'éléments / Glace	Effondrement	Projection de glace	Projection de pale
Exposition	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée
Probabilité	C/A	D	B	D
Gravité	Modérée	Modérée	Modérée	Sérieux
Risque	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
Nombre de personnes exposées	0,0095	0,0682	0,282	6,08


E01
E02
Champ éolien des Terres de la Madeleine
Commune de Cormainville (28)
Synthèse des risques de l'éolienne E02
Eoliennes
Chute d'éléments / glace - 55 m
Effondrement - 136 m
Projection de glace - 286,5 m
Projection de pale ou de fragments - 500m
EnergieEolienneSolidaire
N
0
150
300
m

E02	Chute d'éléments / Glace	Effondrement	Projection de glace	Projection de pale
Exposition	Modérée	Modérée	Modérée	Modérée
Probabilité	C/A	D	B	D
Gravité	Modérée	Modérée	Modérée	Sérieux
Risque	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
Nombre de personnes exposées	0,0095	0,0749	0,3017	2,91

Figure 39 : Cartes de synthèse des risques des éoliennes du projet

IX. CONCLUSION

Le présent document constitue l'étude de dangers du projet du Champ éolien des Terres de la Madeleine. Les installations projetées sont des installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent (éoliennes) regroupant 2 aérogénérateurs dont le mât a une hauteur supérieure à 50 mètres, ainsi qu'un poste de livraison. L'étude de dangers a pour objectif de répondre aux exigences ICPE. Elle décrit l'environnement du site ainsi que l'installation et son fonctionnement.

La présence humaine dans le périmètre d'étude est identifiée et quantifiée. En effet, la zone d'étude du projet du Champ Eolien des Terres de la Madeleine est constituée principalement de « terrains non aménagés et très peu fréquentés » et de « terrains aménagés mais peu fréquentés ».
La zone d'étude de E01 comporte également une portion de la RD 927, « voies de circulation structurantes », qui est prise en compte. La zone d'étude de E02 comporte également une éolienne existante de l'ensemble éolien de Cormainville, qui est prise en compte en considérant une fréquentation forfaitaire de deux personnes afin de tenir compte de la présence potentielle de travailleurs.

Les 5 accidents majeurs pris en compte dans l'étude sont les suivants :

- Effondrement de l'éolienne ;
- Chute de glace ;
- Chute d'élément de l'éolienne ;
- Projection de pale ;
- Projection de glace.

Afin de définir si le risque est acceptable ou non, il est nécessaire d'effectuer un calcul en fonction du niveau d'intensité (ratio entre la zone d'impact et la zone d'effet du phénomène étudié) ainsi que le niveau de gravité (en fonction du nombre de personnes exposés) associé à une probabilité d'occurrence (bibliographie).

Le résultat de l'étude peut être synthétisé au sein de la matrice suivante :

Conséquence	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		Projection de pale			
Modéré		Effondrement	Chute d'élément	Projection de glace	Chute de glace

Légende de la matrice

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

Pour le champ éolien des Terres de la Madeleine, le niveau de gravité va de sérieux à modéré.

Le risque projection de pale a une gravité jugée sérieux, mais sa probabilité d'occurrence étant rare (classe D), le risque est très faible, donc acceptable.

Le risque projection de glace a une gravité jugée modéré. Sa probabilité d'occurrence étant qualifiée de probable (classe B), le risque est jugé très faible et reste acceptable.

Le risque d'effondrement a une gravité jugée modérée. Sa probabilité d'occurrence étant qualifiée de rare (classe D), le risque est jugé très faible et donc acceptable.

Le risque de chute d'éléments a également une gravité jugée modérée. Sa probabilité d'occurrence est qualifiée d'improbable (classe C), le risque est donc jugé très faible et donc acceptable.

Enfin, le risque chute de glace a une gravité modérée, aussi, bien que sa probabilité d'occurrence soit qualifiée de courante (classe A), le risque est jugé faible et reste acceptable.

Ainsi, il apparait au regard de la matrice :

- Qu'aucun accident n'apparait dans les cases rouges de la matrice (risque non acceptable) ;
- Qu'un accident apparait dans les cases jaunes de la matrice (risque faible mais acceptable) : le risque de Chute de glace.

Pour rappel, des fonctions de sécurité pour prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace et prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace sont prévues (voir partie VII.6 MISE EN PLACE DES MESURES DE SÉCURITÉ).

L'implantation des éoliennes est suffisamment éloignée des zones fréquentées. De plus, les prescriptions générales de l'arrêté du 26 aout 2011 sont respectées. Enfin, les systèmes de sécurité des générateurs sont adaptés aux risques et entretenus régulièrement. Ainsi, les mesures nécessaires pour maitriser les risques ont été mises en œuvre.

En conclusion, au vu des éléments présentés dans l'étude de dangers, les risques associés à chaque évènement étudié sont jugés acceptables, quelle que soit l'éolienne considérée.

ANNEXE 1 – 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 III.4), de comptabiliser les enjeux humains présents dans les ensembles homogènes (terrains non bâtis, voies de circulation, zones habitées, ERP, zones industrielles, commerces...) situés dans l'aire d'étude de l'éolienne considérée.

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

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 véhicule/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 × 0,5 × 20 000/100 = 40 personnes.

Nombre de personnes exposées sur voies de communication structurantes en fonction du linéaire et du trafic

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

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 ne se rencontreront peu en pratique.

Zones d'activité

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

ANNEXE 2 – TABLEAU DE L'ACCIDENTOLOGIE FRANÇAISE

Le tableau ci-dessous a été établi par le groupe de travail constitué pour la réalisation du guide technique élaboré conjointement par le Syndicat des Energies Renouvelables et France Energie Eolienne (SER-FEE) et l'INERIS. Il recense l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne entre 2000 et fin 2011. L'analyse de ces données est présentée dans la partie VI. de l'étude de dangers.

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Effondrement	Novembre 2000	Port la Nouvelle	Aude	0,5	1993	Non	Le mât d'une éolienne s'est plié lors d'une tempête suite à la perte d'une pale (coupure courant prolongée pendant 4 jours suite à la tempête)	Tempête avec foudre répétée	Rapport du CGM Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2001	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts)	?	Site Vent de Colère	Information peu précise
Effondrement	01/02/2002	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris d'hélice et mât plié	Tempête	Rapport du CGM Site Vent du Bocage	-
Maintenance	01/07/2002	Port la Nouvelle – Sigean	Aude	0,66	2000	Oui	Grave électrisation avec brûlures d'un technicien	Lors de mesures pour cartériser la partie haute d'un transformateur 690V/20kV en tension. Le mètre utilisé par la victime, déroulé sur 1,46m, s'est soudainement plié et est entré dans la zone du transformateur, créant un arc électrique.	Rapport du CGM	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	28/12/2002	Névian - Grande Garrigue	Aude	0,85	2002	Oui	Effondrement d'une éolienne suite au dysfonctionnement du système de freinage	Tempête + dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Site Vent de Colère Article de presse (Midi Libre)	-
Rupture de pale	25/02/2002	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pale en bois (avec inserts) sur une éolienne bipale	Tempête	Article de presse (La Dépêche du 26/03/2003)	Information peu précise

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	05/11/2003	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts) sur trois éoliennes. Morceaux de pales disséminés sur 100 m.	Dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Article de presse (Midi Libre du 15/11/2003)	-
Effondrement	01/01/2004	Le Portel – Boulogne sur Mer	Pas de Calais	0,75	2002	Non	Cassure d'une pale, chute du mât et destruction totale. Une pale tombe sur la plage et les deux autres dérivent sur 8 km.	Tempête	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (Windpower Monthly May 2004, La Voix du Nord du 02/01/2004)	-
Effondrement	20/03/2004	Loon Plage – Port de Dunkerque	Nord	0,3	1996	Non	Couchage du mât d'une des 9 éoliennes suite à l'arrachement de la fondation	Rupture de 3 des 4 micropieux de la fondation, erreur de calcul (facteur de 10)	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (La Voix du Nord du 20/03/2004 et du 21/03/2004)	-
Rupture de pale	22/06/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50 m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	-
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5m à 50m, mat intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	Incident identique à celui s'étant produit 15 jours auparavant
Rupture de pale	2004	Escales-Conilhac	Aude	0,75	2003	Non	Bris de trois pales		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale + incendie	22/12/2004	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne (survitesse de plus de 60 tr/min)	Survitesse due à une maintenance en cours, problème de régulation, et dysfonctionnement du système de freinage	Base de données ARIA Article de presse (La Tribune du 30/12/2004) Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2005	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris de pale		Site Vent de Colère	Information peu précise

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	08/10/2006	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2004	Non	Chute d'une pale de 20 m pesant 3 tonnes	Allongement des pales et retrait de sécurité (débridage), pas de REX suite aux précédents accidents sur le même parc	Site FED Articles de presse (Ouest France) Journal FR3	-
Incendie	18/11/2006	Roquetaillade	Aude	0,66	2001	Oui	Acte de malveillance : explosion de bonbonne de gaz au pied de 2 éoliennes. L'une d'entre elles a mis le feu en pieds de mat qui s'est propagé jusqu'à la nacelle.	Malveillance / incendie criminel	Communiqués de presse exploitant Articles de presse (La Dépêche, Midi Libre)	-
Effondrement	03/12/2006	Bondues	Nord	0,08	1993	Non	Sectionnement du mât puis effondrement d'une éolienne dans une zone industrielle	Tempête (vents mesurés à 137Kmh)	Article de presse (La Voix du Nord)	-
Rupture de pale	31/12/2006	Ally	Haute-Loire	1,5	2005	Oui	Chute de pale lors d'un chantier de maintenance visant à remplacer les rotors	Accident faisant suite à une opération de maintenance	Site Vent de Colère	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident pendant la phase chantier)
Rupture de pale	03/2007	Clitourps	Manche	0,66	2005	Oui	Rupture d'un morceau de pale de 4 m et éjection à environ 80 m de distance dans un champ	Cause pas éclaircie	Site FED Interne exploitant	-
Chute d'élément	11/10/2007	Plouvien	Finistère	1,3	2007	Non	Chute d'un élément de la nacelle (trappe de visite de 50 cm de diamètre)	Défaut au niveau des charnières de la trappe de visite. Correctif appliqué et rétrofit des boulons de charnières effectué sur toutes les machines en exploitation.	Article de presse (Le Télégramme)	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Emballement	03/2008	Dinéault	Finistère	0,3	2002	Non	Emballement de l'éolienne mais pas de bris de pale	Tempête + système de freinage hors service (boulon manquant)	Base de données ARIA	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (événement unique et sans répercussion potentielle sur les personnes)
Collision avion	04/2008	Plouguin	Finistère	2	2004	Non	Léger choc entre l'aile d'un bimoteur Beechcraftch (liaison Ouessant-Brest) et une pale d'éolienne à l'arrêt. Perte d'une pièce de protection au bout d'aile. Mise à l'arrêt de la machine pour inspection.	Mauvaise météo, conditions de vol difficiles (sous le plafond des 1000m imposé par le survol de la zone) et faute de pilotage (altitude trop basse)	Articles de presse (Le Télégramme, Le Post)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident aéronautique)
Rupture de pale	19/07/2008	Erize-la-Brûlée - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale et projection de morceaux de pale suite à un coup de foudre	Foudre + défaut de pale	Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain 22/07/2008)	-
Incendie	28/08/2008	Vauvillers	Somme	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Problème au niveau d'éléments électroniques	Dépêche AFP 28/08/2008	-
Rupture de pale	26/12/2008	Raival - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale		Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain)	-
Maintenance	26/01/2009	Clastres	Aisne	2,75	2004	Oui	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance	Accident électrique (explosion d'un convertisseur)	Base de données ARIA	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Rupture de pale	08/06/2009	Bolléne	Vaucluse	2,3	2009	Oui	Bout de pale d'une éolienne ouvert	Coup de foudre sur la pale	Interne exploitant	Non utilisable dans les chutes ou les projections (la pale est restée accrochée)

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Incendie	21/10/2009	Froidfond - Espinassière	Vendée	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit dans transformateur sec embarqué en nacelle ?	Article de presse (Ouest-France) Communiqué de presse exploitant Site FED	-
Incendie	30/10/2009	Freyssenet	Ardèche	2	2005	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit faisant suite à une opération de maintenance (problème sur une armoire électrique)	Base de données ARIA Site FED Article de presse (Le Dauphiné)	-
Maintenance	20/04/2010	Toufflers	Nord	0,15	1993	Non	Décès d'un technicien au cours d'une opération de maintenance	Crise cardiaque	Article de presse (La Voix du Nord 20/04/2010)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	30/05/2010	Port la Nouvelle	Aude	0,2	1991	Non	Effondrement d'une éolienne	Le rotor avait été endommagé par l'effet d'une survitesse. La dernière pale (entière) a pris le vent créant un balourd. Le sommet de la tour a plié et est venu buter contre la base entrainant la chute de l'ensemble.	Interne exploitant	-
Incendie	19/09/2010	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Emballement de deux éoliennes et incendie des nacelles.	Maintenance en cours, problème de régulation, freinage impossible, évacuation du personnel, survitesse de +/- 60 tr/min	Articles de presse Communiqué de presse SER-FEE	-
Maintenance	15/12/2010	Pouillé-les-Côteaux	Loire Atlantique	2,3	2010	Oui	Chute de 3 m d'un technicien de maintenance à l'intérieur de l'éolienne. L'homme de 22 ans a été secouru par le GRIMP de Nantes. Aucune fracture ni blessure grave.		Interne SER-FEE	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Transport	31/05/2011	Mesvres	Saône-et-Loire	-	-	-	Collision entre un train régional et un convoi exceptionnel transportant une pale d'éolienne, au niveau d'un passage à niveau Aucun blessé		Article de presse (Le Bien Public 01/06/2011)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident de transport hors site éolien)
Rupture de pale	14/12/2011	Non communiqué	Non communiqué	2,5	2003	Oui	Pale endommagée par la foudre. Fragments retrouvés par l'exploitant agricole à une distance n'excédant pas 300 m.	Foudre	Interne exploitant	Information peu précise sur la distance d'effet
Incendie	03/01/2012	Non communiqué	Non communiqué	2,3	2006	Oui	Départ de feu en pied de tour. Acte de vandalisme : la porte de l'éolienne a été découpée pour y introduire des pneus et de l'huile que l'on a essayé d'incendier. Le feu ne s'est pas propagé, dégâts très limités et restreints au pied de la tour.	Malveillance / incendie criminel	Interne exploitant	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'incendie)
Rupture de pale	05/01/2012	Widehem	Pas-de-Calais	0,75	2000	Non	Bris de pales, dont des fragments ont été projetés jusqu'à 380 m. Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne).	Tempête + panne d'électricité	Article de presse (La Voix du Nord 06/01/2012) Vidéo Dailymotion Interne exploitant	-
Rupture de pale	15/05/2012	Chemin d'Ablis	Eure-et-Loir	2	2008	Oui	Chute d'une pale de 9 tonnes et rupture du roulement raccordant la pale au hub	Traces de corrosion dans les trous d'alésage traversant une des bagues du roulement	Articles de presse (le Figaro 22/05/2012) et ARIA (n°42919)	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Effondrement de la tour	30/05/2012	Non communiqué	Aude	0,2	1991	Non	Effondrement de la tour en treillis de 30 m de haut	Rafales de vent à 130 km/h observées durant la nuit	ARIA (n°43110)	-
Projection d'un élément de la pale	01/11/2012	Non communiqué	Cantal	2,5	2011	Oui	Projection d'un élément de 400 g constitutif d'une pale d'éolienne à 70 m du mât		ARIA (n°43120)	-
Incendie	05/11/2012	Non communiqué	Aude	0,66	-	-	Projections incandescentes enflamment 80 m² de garrigue environnante	Câbles électriques non résistants au feu à l'intérieur du mât	ARIA (n°43228)	-
Incendie	17/03/2013		Marne		2011	Oui	Feu dans la nacelle d'une éolienne. Une des pales tombe au sol, une autre menace de tomber.	Défaillance électrique	ARIA (n°43630)	L'exploitant et la société chargée de la maintenance étudient la possibilité d'installer des détecteurs de fumées dans les éoliennes.
Incendie	09/01/2014		Champagne-Ardenne	2,5	-	-	Feu se déclarant vers 18 h au niveau de la partie moteur d'une éolienne.	Incident électrique	ARIA (n°44831)	-
Rupture de pale	20/01/2014		Aude				Chute de pale liées à la rupture d'une pièce à la base de la pale	Usure prématurée	ARIA (n°44870)	Changement du design des pièces

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	14/11/2014	Sources de la Loire	Ardèche				Chute d'une pale un jour d'orage ou les vents atteignent 130km/h		ARIA (n°45960)	
Projection d'un élément de la pale	05/12/2014		Aude				Lors d'une inspection, des techniciens de maintenance constatent le détachement de l'extrémité d'une pale	Défaillance matérielle ou à un décollage sur les plaques en fibre de verre	ARIA (n°46030)	
Incendie	24/08/2015		Eure-et-Loir		2007		Le moteur d'une éolienne a pris feu		Article de presse (la république du centre 24/08/2015)	
Chute d'élément	10/11/2015	Ménil-la-Horgne	Meuse	10.5	2007		Chute des trois pales et du rotor d'une éolienne		Article de presse (France 3 Lorraine 14/11/2015 et L'est républicain 13/11/2015)	
Rupture de pale	07/02/2016	Conilhac-Corbières	Aude				Chute de l'aérofrein d'une des pales	Rupture du point d'attache du système mécanique de commande de l'aérofrein	ARIA (n°47675)	
Chute de pale et projection de pale	08/02/2016	Dineault	Finistère	0,3 MW	1999		Une pale chute au sol, un autre se déchire et est retrouvé à 40m du pied du mât		ARIA (n°47680)	

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute de pale	07/03/2016	Calanhel	Côtes-d'Armor	0,80 MW			Rupture et chute de la pale à 5m du mât.	Rupture du système d'orientation	ARIA (n°47763)	
Chute de pale	18/01/2017	Nurlu	Somme				Décrochage et chute d'une partie de pale		Article de presse (France 3 Picardie 19/01/2017)	
Incendie	06/06/2017	Allonnes	Eure-et-Loir				Incendie du moteur de l'éolienne		Article de presse (L'écho républicain, 06/06/2017)	
Chute de pale	03/08/2017	Parc de l'Osière, commune de Priez	Aisne				Rupture d'une partie de la pale d'éolienne		Article de presse (L'ardennais, 10/08/2017, l'Union 10/08/2017)	
Effondrement de l'éolienne	01/01/2018	Parc éolien de Bouin	Vendée	2,4 MW	2003		Effondrement de l'éolienne	Tempête	Presse	
Chute d'une pale d'éolienne	04/01/2018	Parc éolien de Rampont	Meuse	2 MW	2008		Chute d'une pale d'éolienne	Episode venteux	Base de données ARIA (n°50905 – 04/01/2018)	Les morceaux les plus éloignés sont ramassés à 200 m

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute de l'aérofrein d'une pale d'éolienne	06/02/2018	Parc éolien de Conilhac-Corbières	Aude	2,3 MW	2014		L'aérofrein d'une pale d'éolienne a chuté au sol	Défaut sur l'électronique de puissance	Base de données ARIA (n°51122 – 06/02/2018)	
Incendie	01/06/2018	Parc éolien de Marsanne	Drôme	2 MW	2008		Incendie	Incendie criminel	Communiqué de presse (RES, 01/06/2018)	
Incendie	05/06/2018	Parc éolien du Causse d'Aumelas	Hérault	1,45 MW	2013	Non	Incendie de la nacelle et chute d'éléments au sol	Incendie électrique	Base de données ARIA (n°51681 – 05/06/2018)	
Incendie	03/08/2018	Parc des Monts de l'Ain	Ain	2,05 MW	2017		Incendie	Incendie criminel	France 3 Auvergne-Rhône-Alpes (03/08/2018)	
Effondrement de l'éolienne	07/11/2018	Parc éolien de la Vallée du Moulin, commune de Guigneville	Loiret	3 MW	2010		Effondrement de l'éolienne	Effondrement de l'éolienne	Article de presse (FranceInfo Centre Val de Loire, 07/11/2018)	
Effondrement d'une éolienne	23/01/2019	Parc éolien de Boutavent	Oise	1,2 MW	2011		Mât de l'éolienne plié en 2 probablement dû à un problème sur le générateur	Effondrement de l'éolienne	France 3 Hauts-de-France	Débris retrouvés dans un rayon de 300 m autour de l'éolienne

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute d'une pale	30/01/2019	Parc éolien de Roquetaillade	Aude		2001	Non	La pale d'un aérogénérateur a chuté au sol.	Défaillance matérielle	Ladepeche.fr (19/02/2019)	Incidents similaires déjà produits sur ce parc éolien
Chute d'un fragment de pale	17/01/2019	Parc éolien du Bambesch	Moselle	2	2007		Bris et projection de plusieurs morceaux de pale		Le Républicain Lorrain (30/01/2019)	
Rupture de pale	27/02/2017	Parc éolien de Levoncourt	Meuse	2	2011		La pointe d'une pale d'éolienne s'est rompue pendant un orage	Rafale de vent	Base de données ARIA (N° 49359)	

ANNEXE 3 – 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 VII.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 précédemment cité (« G » pour les scénarios concernant la glace, « I » pour ceux concernant l'incendie, « F » pour ceux concernant les fuites, « C » pour ceux concernant la chute d'éléments de l'éolienne, « P » pour ceux concernant les risques de projection, « E » pour ceux concernant les risques d'effondrement).

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 seront principalement humains, il conviendra 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 redémarrage de la machine encore « glacée », ou en cas de formation de glace sur le rotor en mouvement simultanément à une défaillance des systèmes de détection de givre et de balourd.

Aux faibles vitesses de vents (vitesse de démarrage ou « cut in »), les projections resteront limitées au surplomb de l'éolienne. A vitesse de rotation nominale, les éventuelles projections seront susceptibles d'atteindre des distances supérieures au surplomb de la machine.

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

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

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

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

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

L'incendie peut aussi être provoqué par l'échauffement des pièces mécaniques en cas d'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, entrainant 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 dangers 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 dangers. 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.

Evénement 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

L'emballement de l'éolienne constitue un facteur aggravant en cas de projection de tout ou partie d'une pale. Cet emballement 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, emballement 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, étude de sol, contrôle technique de construction ;
- Non-respect des instructions de montage et/ou de maintenance : Formation du personnel intervenant ;
- Causes externes dues à l'environnement : séisme, …

ANNEXE 4 – PROBABILITE D'ATTEINTE ET RISQUE INDIVIDUEL

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

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

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

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

$P_{orientation}$ = probabilité que l'éolienne soit orientée de manière à projeter un élément lors d'une défaillance dans la direction d'un point 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)

$P_{présence}$ = 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	$5*10^{-2}$	$5\ 10^{-2}$ (A)
Chute d'éléments	10^{-3}	$1,8*10^{-2}$	$1,8\ 10^{-5}$ (D)
Projection de tout ou partie de pale	10^{-4}	10^{-2}	10^{-6} (E)
Projection de morceaux de glace	10^{-2}	$1,8*10^{-6}$	$1,8\ 10^{-8}$ (E)

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

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

ANNEXE 5 – TYPE CERTIFICATE DE L'EOLIENNE V110 2.2 MW

PUBLIC

2026-04-10 08:37 UTC - j.vandewalle@energies-eolidaire.fr - Julia VANDEWALLE

Certificate No.:	Issued:	Valid until:
TC-DNVGL-SE-0074-02382-7	2025-05-12	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

DAkkS Deutsche Akkreditierungsstelle D-ZE-22290-01-00

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

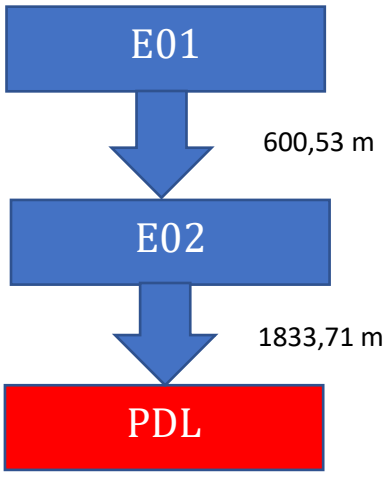
The accredited certification body is DNV Renewables Certification GmbH, Brooktorkai 18, 20457 Hamburg.
DNV Renewables Certification is the trading name of DNV's certification business in the renewable energy industry.

T05 0063-5965 Ver 10 - Approved- Exported from DMS: 2026-01-28 by SOMDA

ANNEXE 6 – SCHEMA UNIFILAIRE SIMPLIFIE

Schéma unifilaire simplifié

Champ éolien des Terres de la Madeleine



ANNEXE 7 – 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 mises 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 : Événement, 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 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement :

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

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

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

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

SER : Syndicat des Energies Renouvelables

FEE : France Energie Eolienne (branche éolienne du SER)

INERIS : Institut National de l'EnviRonnement Industriel et des RisqueS

EDD : Etude de dangers

APR : Analyse Préliminaire des Risques

ERP : Etablissement Recevant du Public.

ANNEXE 8 – 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 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 etal.

[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