



PARC EOLIEN COTES ARMOR 1

10 Place de Catalogne - 75014 Paris
N° d'identification : 841 367 741 R.C.S Paris
Contact : y.el-hayani-taib@shell.com
06.45.71.53.17

13. ETUDE DE DANGERS ET SON RESUME NON TECHNIQUE (COMPLEMENTS)



Projet éolien de Carmoise-Tréhouët

Communes de Guerlédan et Saint-Connec

Communautés de Communes de Loudéac et de Pontivy

Département des Côtes-d'Armor, Région Bretagne

Avril 2022

**DOSSIER MIS A JOUR SUITE A LA DEMANDE DE COMPLEMENTS DU
19 AVRIL 2021**

Auteur : Youssef EL HAYANI, Chef de projet éolien, EOLFI

TABLE DES MATIERES

I.	RESUME NON TECHNIQUE	8
I.1	INTRODUCTION	8
I.2	PRESENTATION DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'INSTALLATION	9
I.3	ANALYSE DES RISQUES	11
I.4	ANALYSE DU RETOUR D'EXPERIENCE	11
I.5	ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES	13
I.6	ETUDE DETAILLEE DES RISQUES	14
I.7	SYNTHESE DE L'ACCEPTABILITE DES RISQUES	17
I.8	CONCLUSION	21
II.	PREAMBULE	22
II.1	OBJECTIF DE L'ETUDE DE DANGERS	22
II.2	CONTEXTE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE	22
II.3	NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSEES	23
III.	INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION.....	24
III.1	RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS	24
III.2	LOCALISATION DU SITE.....	25
III.3	DEFINITION DE L'AIRE D'ETUDE	27
IV.	DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION.....	28
IV.1	ENVIRONNEMENT HUMAIN.....	28
IV.1.1	<i>Zones urbanisées</i>	28
IV.1.2	<i>Etablissements recevant du public (ERP)</i>	28
IV.1.3	<i>Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et installations nucléaires de base.</i> 29	29
IV.1.4	<i>Autres activités</i>	29
IV.2	ENVIRONNEMENT NATUREL.....	30
IV.2.1	<i>Contexte climatique</i>	30
IV.2.2	<i>Risques naturels</i>	32
IV.3	ENVIRONNEMENT MATERIEL.....	40
IV.3.1	<i>Voies de communication</i>	40
IV.3.2	<i>Réseaux publics et privés</i>	40
IV.4	CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE.....	41
IV.5	SYNTHESE DES CIBLES	47
V.	DESCRIPTION DE L'INSTALLATION.....	48
V.1	CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION.....	48
V.1.1	<i>Caractéristiques générales d'un parc éolien</i>	48
V.1.2	<i>Activité de l'installation</i>	50
V.1.3	<i>Composition de l'installation</i>	50
V.2	FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION	51
V.2.1	<i>Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur</i>	51
V.2.2	<i>Sécurité de l'installation</i>	53
V.2.3	<i>Opérations de maintenance de l'installation</i>	55
V.2.4	<i>Stockage et flux de produits dangereux</i>	56
V.3	FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE L'INSTALLATION	56
V.3.1	<i>Raccordement électrique</i>	56
VI.	IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION	57
VI.1	POTENTIELS DE DANGERS LIES AUX PRODUITS	57
VI.2	POTENTIELS DE DANGERS LIES AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION.....	58
VI.3	REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS A LA SOURCE	59
VI.3.1	<i>Principales actions préventives</i>	59
VI.3.2	<i>Utilisation des meilleures techniques disponibles</i>	60

VII.	ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE	61
VII.1	INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS EN FRANCE.....	61
	INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS A L'INTERNATIONAL	63
VII.2	63
VII.3	SYNTHESE DES PHENOMENES DANGEREUX REDOUTES ISSUS DU RETOUR D'EXPERIENCE	65
	VII.3.1 <i>Analyse de l'évolution des accidents en France</i>	65
	VII.3.2 <i>Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents</i>	66
VII.4	LIMITES D'UTILISATION DE L'ACCIDENTOLOGIE.....	66
VIII.	ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES	67
VIII.1	OBJECTIF DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES	67
VIII.2	RECENSEMENT DES EVENEMENTS INITIATEURS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES.....	67
VIII.3	RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES.....	68
	VIII.3.1 <i>Agression externes liées aux activités humaines</i>	68
	VIII.3.2 <i>Agressions externes liées aux phénomènes naturels</i>	69
VIII.4	SCENARIOS ETUDIES DANS L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES	70
VIII.5	EFFETS DOMINOS	73
VIII.6	MISE EN PLACE DES MESURES DE SECURITE	74
VIII.7	CONCLUSION DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES	85
VIII.8	ARBRE PAILLONS.....	86
IX.	ETUDE DETAILLEE DES RISQUES	90
IX.1	RAPPEL DES DEFINITIONS	90
	IX.1.1 <i>Cinétique</i>	90
	IX.1.2 <i>Intensité</i>	90
	IX.1.3 <i>Gravité</i>	92
	IX.1.4 <i>Probabilité</i>	93
IX.2	CARACTERISATION DES SCENARIOS RETENUS	94
	IX.2.1 <i>Effondrement de l'éolienne</i>	94
	IX.2.2 <i>Chute de glace</i>	97
	IX.2.3 <i>Chute d'éléments de l'éolienne</i>	101
	IX.2.4 <i>Projection de pales ou de fragments de pales</i>	104
	IX.2.5 <i>Projection de glace</i>	108
IX.3	SYNTHESE DE L'ETUDE DETAILLEE DES RISQUES	111
	IX.3.1 <i>Tableaux de synthèse des scénarios étudiés</i>	111
	IX.3.2 <i>Synthèse de l'acceptabilité des risques</i>	112
	IX.3.3 <i>Cartographie des risques</i>	113
X.	CONCLUSION	115
ANNEXE 1 – METHODE DE COMPTAGE DES PERSONNES POUR LA DETERMINATION DE LA GRAVITE POTENTIELLE D'UN ACCIDENT A PROXIMITE D'UNE EOLIENNE.....		117
	TERRAINS NON BATIS	117
	VOIES DE CIRCULATION.....	117
	<i>Voies de circulation automobiles</i>	117
	<i>Voies ferroviaires</i>	118
	<i>Voies navigables</i>	118
	<i>Chemins et voies piétonnes</i>	118
	LOGEMENTS.....	118
	ETABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC (ERP)	118
	ZONES D'ACTIVITE	119
ANNEXE 2 – TABLEAU DE L'ACCIDENTOLOGIE FRANÇAISE		120
ANNEXE 3 – SCENARIOS GENERIQUES ISSUS DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES.....		137
	SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES LIES A LA GLACE (G01 ET G02).....	137
	<i>Scénario G01</i>	137

<i>Scénario G02</i>	137
SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES D'INCENDIE (I01 A I07)	137
SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES DE FUITES (F01 A F02)	138
<i>Scénario F01</i>	138
<i>Scénario F02</i>	139
SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES DE CHUTE D'ELEMENTS (C01 A C03)	139
SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES DE PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES (P01 A P06).....	139
<i>Scénario P01</i>	139
<i>Scénario P02</i>	139
<i>Scénarios P03</i>	139
SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES D'EFFONDREMENT DES EOLIENNES (E01 A E10)	140
ANNEXE 4 – PROBABILITE D'ATTEINTE ET RISQUE INDIVIDUEL.....	141
ANNEXE 5 – GLOSSAIRE	142
ANNEXE 6 – DESCRIPTION DES FONCTIONS DE SECURITE DES EOLIENNES ENERCON E115, GAMESA G114, NORDEX N117, VESTAS V110.....	146
1 – ENERCON E115 3.0 MW	146
2 – GAMESA G114 : 2,625 MW	151
3 – NORDEX N117 : 3,6 MW	157
4 – VESTAS V110 : 2,2 MW	162
ANNEXE 7 – BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES UTILISEES.....	171

TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma explicatif de l'EDD (Source : Guide technique INERIS).....	8
Figure 2 : Plan du projet éolien de Carmoise-Tréhouët (Rayon de 500m autour des éoliennes) (Source : PARC EOLIEN COTES ARMOR 1).....	9
Figure 3 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur.....	10
Figure 4 : Retour d'expérience sur le parc éolien Français entre 2000 et 2011	12
Figure 5 : Retour d'expériences sur le parc éolien français entre 2012 et juin 2020	12
Figure 6 : Evolutions conjointes des MW éoliens installés et du nombre d'incidents annuels en France entre 2001 et 2019	13
Figure 7 : Carte des risques projet éolien de Carmoise-Tréhouët (Source : PARC EOLIEN COTES ARMOR 1)	18
Figure 8 : Synthèse des risques pour l'éolienne E1	19
Figure 9 : Synthèse des risques pour l'éolienne E2	19
Figure 10 : Synthèse des risques pour l'éolienne E3	20
Figure 11 : Synthèse des risques pour l'éolienne E4	20
Figure 12 : Situation géographique du projet éolien (source : PARC EOLIEN COTES ARMOR 1)	25
Figure 13 : Situation géographique du site par rapport au département des Côtes-d'Armor (source : PARC EOLIEN COTES ARMOR 1)	25
Figure 14 : Localisation géographique des éoliennes du projet éolien de Carmoise-Tréhouët	26
Figure 15 : Définition du périmètre d'étude de danger du projet éolien de Carmoise-Tréhouët	27
Figure 16 : Localisation du mât de mesure (source : PARC EOLIEN COTES-ARMOR 1).....	31
Figure 17 : Fréquence et direction des vents (source : PARC EOLIEN 1)	31
Figure 18 : Températures mensuelles moyennes relevés sur site par le mât de mesure (source : Parc Eolien de Carmoise-Tréhouët)	32
Figure 19 : Sismicité de la France (source : MEDDTL, 2011).....	33
Figure 20 : Risque d'inondation au niveau de la zone d'étude (Source : BE Jacquel et Chatillon d'après données des Atlas des Zones Inondables)	34

Figure 21 : Carte de sensibilité aux remontées de nappes du secteur de projet – (Source : BE Jacquel et Chatillon d'après données BRGM)	35
Figure 22 : Carte des nombres de jours avec vent maximal supérieur à 100 km/h (normales 1981-2010)	36
Figure 23 : Densité de foudroiement en France par département (Source : SOULE, 2003)	36
Figure 24: Communes exposées au risque feux de forêts (Source : MEEDDM, 2010)	37
Figure 25 : Recensement des cavités souterraines connues (Source : BE Jacquel et Chatillon d'après données BRGM)	38
Figure 26 : Carte du risque de retrait-gonflement des argiles (Source : BE Jacquel et Chatillon d'après données BRGM)	39
Figure 27 : Cartographie de synthèse du périmètre d'étude du projet éolien de la Carmoise-Tréhouët (source : PARC EOLIEN COTES ARMOR 1)	42
Figure 28 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur	49
Figure 29 : Plan d'implantation du projet éolien de Carmoise-Tréhouët	50
Figure 30 : Raccordement électrique des installations	56
Figure 31 : Répartition par type d'accident en France entre 2000 et 2011	62
Figure 32 : Répartition par type d'accident en France entre 2012 et juin 2020 (Source : Base ARIA)	63
Figure 33 : Répartition par type d'accident en France entre 2012 et 2019	63
Figure 34 : Répartition des accidents sur les aérogénérateurs de 2000 à 2011	64
Figure 35 : Répartition des causes de rupture de pale	65
Figure 36 : Répartition des causes d'effondrement	65
Figure 37 : Répartition des causes d'incendie	65
Figure 38 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées	66

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Synthèse des cibles présentes dans le périmètre d'étude (Source : PARC EOLIEN COTES ARMOR 1) ...	9
Tableau 2 : Caractéristiques du modèle d'éolienne Vensys VE120 3 MW (Source : Vensys)	10
Tableau 3 : Grille de criticité du scénario redouté (source : arrêté du 29 septembre 2005)	15
Tableau 4 : Synthèse des risques et des paramètres associés pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët (Source : PARC EOLIEN COTES ARMOR 1)	16
Tableau 5 : Matrice d'acceptabilité des risques relatifs à chaque éolienne du projet de parc éolien de Carmoise-Tréhouët	17
Tableau 6 : Nomenclature ICPE pour l'éolien terrestre (source : décret n°2011-984 du 23 août 2011)	23
Tableau 7 : Référence administrative PARC EOLIEN COTES ARMOR 1	24
Tableau 8 : Référent du projet éolien de Carmoise-Tréhouët	24
Tableau 9 : Inventaires des inondations identifiées sur le département des Côtes-d'Armor (sources : prim.net, georisques.gouv)	33
Tableau 10 : Synthèse des cibles présentes dans le périmètre d'étude (Source : PARC EOLIEN COTES ARMOR 1)	47
Tableau 11: Coordonnées géographiques des éoliennes et postes de livraison	50
Tableau 12 : Synthèse du fonctionnement des aérogénérateurs selon le tableau type de l'INERIS/SER/FEE, 2012 (Source : Vensys)	52
Tableau 13 : Rubriques du manuel de sécurité relative à la maintenance d'un aérogénérateur Vensys	55
Tableau 14: Dangers liés aux installations	58
Tableau 15: Liste des agressions externes liées aux activités humaines (Source : INERIS/SER/FEE, 2012)	68
Tableau 16: Liste des agressions externes liées aux phénomènes naturels (Source : INERIS/SER/FEE, 2012)	69
Tableau 17: Analyse générique des risques (source : INERIS/SER/FEE, 2012)	73
Tableau 18: Ensemble des fonctions de sécurité (Source : Vensys)	84
Tableau 19 : Scénarios exclus (Source : INERIS/SER/FEE, 2012)	85
Tableau 20 : Degré d'exposition (source : INERIS/SER/FEE, 2012)	91
Tableau 21 : Critères permettant d'apprécier les conséquences de l'événement	92
Tableau 22 : Grille de criticité du scénario redouté (Source : arrêté du 29 septembre 2005)	93
Tableau 23 : Niveau d'intensité pour le scénario d'effondrement de l'éolienne	94
Tableau 24 : Niveau de gravité pour le scénario d'effondrement de l'éolienne	95
Tableau 25 : Fréquence d'effondrement d'une éolienne	95
Tableau 26 : Niveau de risque pour le scénario d'effondrement de l'éolienne	96

<i>Tableau 27 : Matrice d'acceptabilité du phénomène d'effondrement de l'éolienne</i>	97
<i>Tableau 28 : Niveau d'intensité pour le scénario d'effondrement de l'éolienne</i>	98
<i>Tableau 29 : Niveau de gravité pour le scénario d'effondrement de l'éolienne</i>	98
<i>Tableau 30 : Niveau de risque pour le scénario de chute de glace</i>	99
<i>Tableau 31 : Matrice d'acceptabilité du phénomène de chute de glace</i>	100
<i>Tableau 32 : Niveau d'intensité pour le scénario de chute d'éléments de l'éolienne</i>	101
<i>Tableau 33 : Niveau de gravité pour le scénario de chute d'éléments de l'éolienne</i>	102
<i>Tableau 34 : Niveau de risque pour le scénario de chute d'éléments de l'éolienne</i>	102
<i>Tableau 35 : Matrice d'acceptabilité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne</i>	103
<i>Tableau 36 : Niveau d'intensité pour le scénario de projection de pale ou de fragment de pale</i>	104
<i>Tableau 37 : Niveau de gravité pour le scénario de projection de pale ou de fragment de pale</i>	105
<i>Tableau 38 : Fréquences des événements de rupture de pales dans la littérature</i>	105
<i>Tableau 39 : Niveau de risque pour le scénario de projection de pale ou fragment de pale</i>	106
<i>Tableau 40 : Matrice d'acceptabilité du phénomène de projection de pale ou fragment de pale</i>	107
<i>Tableau 41 : Niveau d'intensité pour le scénario de projection de glace</i>	108
<i>Tableau 42 : Niveau de gravité pour le scénario de projection de glace</i>	109
<i>Tableau 43 : Niveau de risque pour le scénario de projection de glace</i>	110
<i>Tableau 44 : Matrice d'acceptabilité du phénomène de projection de morceaux de glace</i>	110
<i>Tableau 45 : Synthèse des risques et des paramètres associés pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët</i>	111
<i>Tableau 46 : Matrice d'acceptabilité générale pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët</i>	112
<i>Tableau 47 : Probabilité d'atteinte de chaque accident</i>	141
<i>Tableau 48 - Ensemble des Fonction de Sécurité (Source : Enercon)</i>	150
<i>Tableau 49 : Ensemble des fonctions de sécurité (Source : Siemens Gamesa)</i>	156
<i>Tableau 50 : Ensemble des fonctions de sécurité (Source : Nordex)</i>	161
<i>Tableau 51 : Ensemble des fonctions de sécurité (Source : Vestas)</i>	170

NB : Comme expliqué dans le dossier administratif de Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale (DDAE), la présente Etude de Danger et son Résumé Non Technique, sont réalisés avec le modèle d'éolienne VENSYS 120 ayant une puissance unitaire de 3,0 MW, à 90 mètres de hauteur de nacelle pour l'ensemble des éoliennes du projet.

Le seul changement par rapport au premier dossier correspond à un très léger décalage de l'éolienne E2, afin de respecter strictement la distance de 500 mètres aux habitations.

Après vérification par un géomètre, celle-ci était en effet de 499,47 m. Après décalage, elle est dorénavant de 500,73. Les postes de livraison 1 et 2 ont également été décalés pour respecter les distances aux limites séparatives.

Ces modifications très légères n'affectent aucunement l'ensemble des calculs et des conclusions de l'étude, qui sont conservés. La modification des coordonnées de l'éolienne E2 est indiquée en jaune surlignée dans les parties dédiées.

I. RESUME NON TECHNIQUE

L'étude de dangers a pour rôle d'identifier les enjeux, les potentiels de dangers et les risques associés afin de déterminer et de mettre en œuvre les moyens pour réduire les impacts et la probabilité.

I.1 INTRODUCTION

Le classement des éoliennes au titre d'Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE), fixe un cadre réglementaire permettant une prise en compte des dangers qu'elles peuvent représenter. Soumis au régime de l'autorisation, les conditions de fonctionnement du parc éolien doivent être étudiées de manière à évaluer les risques que son exploitation peut représenter sur l'homme.

A ce titre, ce chapitre présente le résumé non technique de l'étude de danger relative au projet éolien de Carmoise-Tréhouët.

Le graphique ci-dessous synthétise les différentes étapes et objectifs de l'étude de dangers :

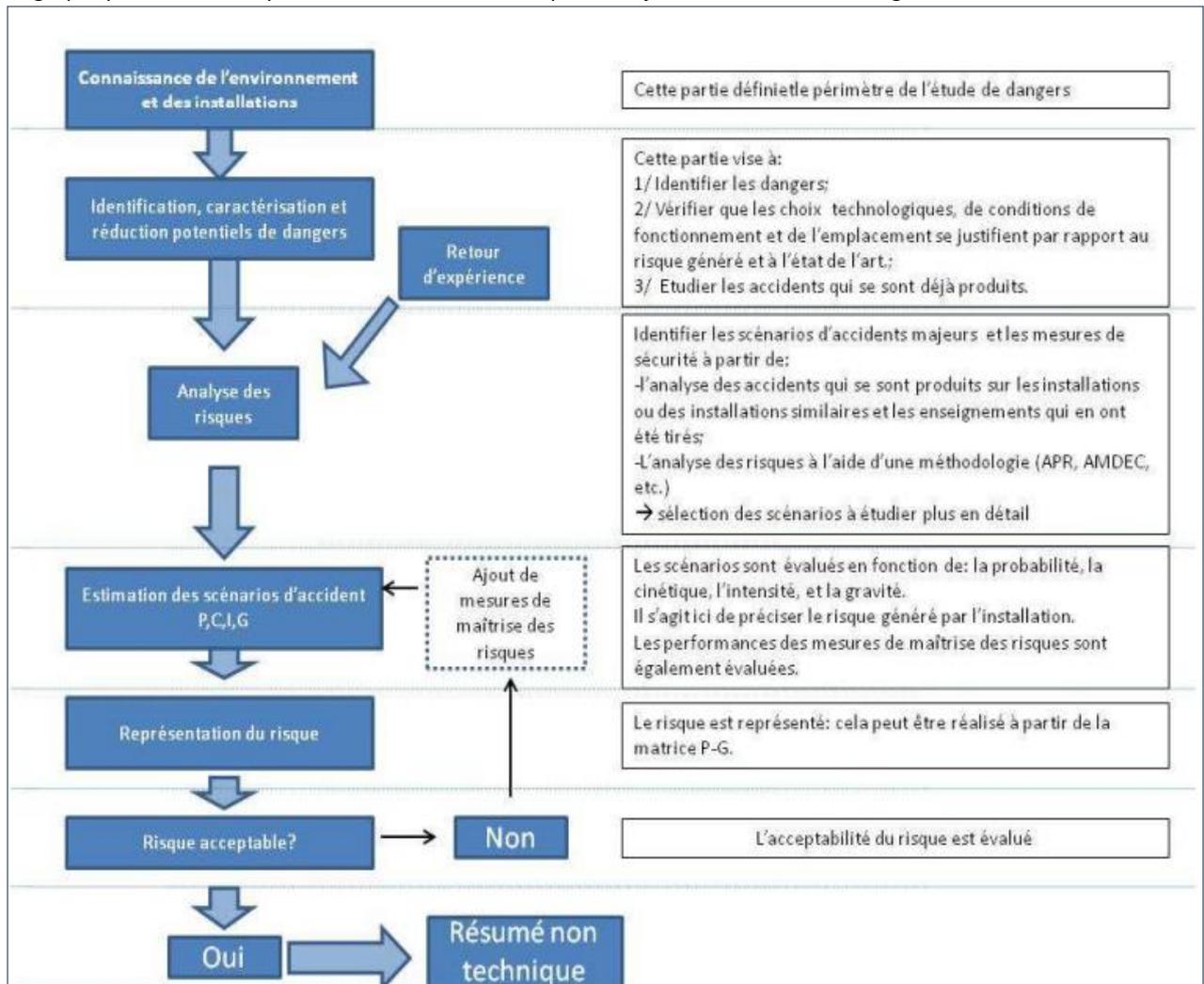


Figure 1 : Schéma explicatif de l'EDD (Source : Guide technique INERIS)

I.2 PRESENTATION DE L'ENVIRONNEMENT ET DE L'INSTALLATION

Le projet éolien de Carmoise-Tréhouët, est composé de 4 aérogénérateurs. Un aérogénérateur est localisé sur la commune de Saint-Connec et trois aérogénérateurs ainsi que trois postes de livraison sont localisés sur la commune de Guerlédan, dans le département des Côtes-d'Armor (22), en région Bretagne. La puissance maximale envisagée du parc est de 14,4 MW.

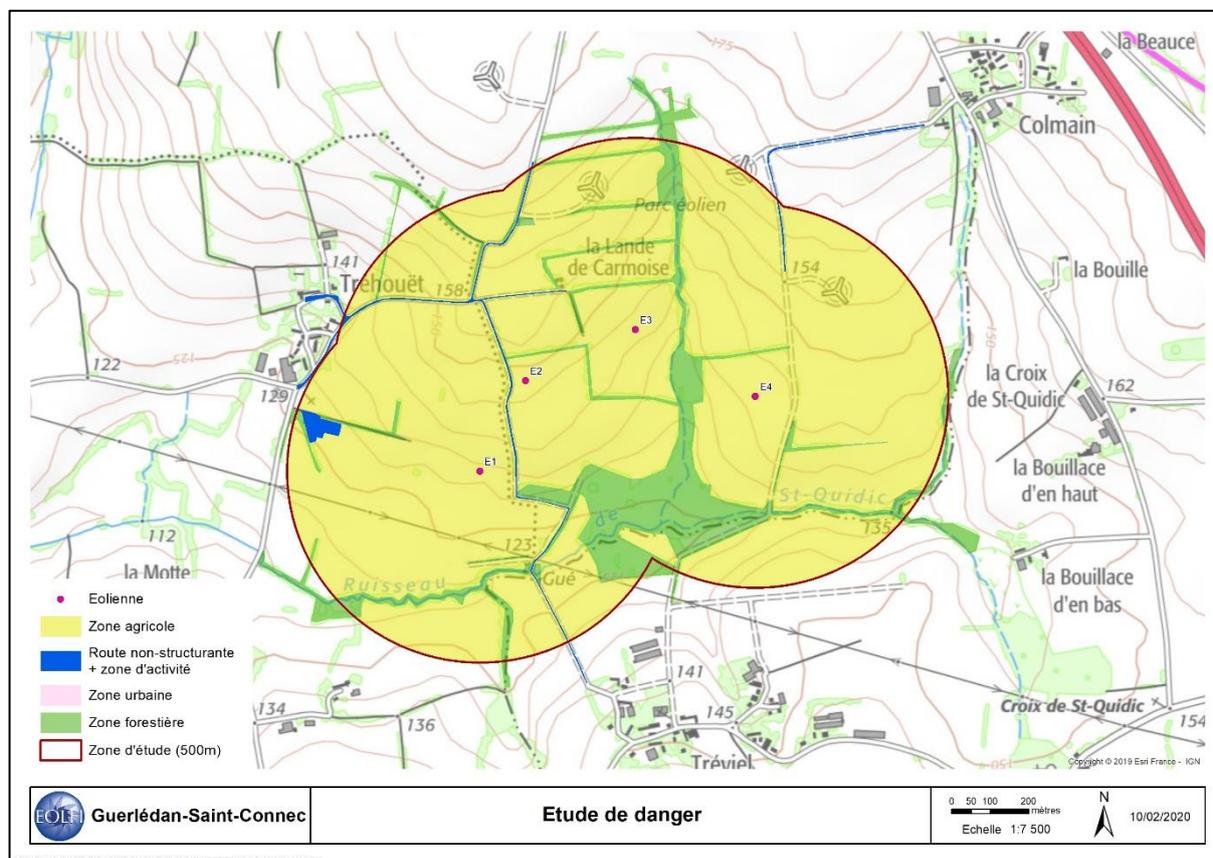


Figure 2 : Plan du projet éolien de Carmoise-Tréhouët (Rayon de 500m autour des éoliennes) (Source : PARC EOLIEN COTES ARMOR 1)

Dans le périmètre d'étude, 4 types de cibles ont été identifiés et sont présentés dans le tableau suivant.

Dénomination de la cible	Distance en (m) par rapport à la plus proche éolienne	Localisation par rapport à la plus proche éolienne
Terrain agricole	0	Les éoliennes sont implantées en terrains agricoles
Bois	60	Au Nord de l'éolienne E2
Route non structurante (+zone d'activité)	30	A l'ouest de l'éolienne E2

Tableau 1 : Synthèse des cibles présentes dans le périmètre d'étude (Source : PARC EOLIEN COTES ARMOR 1)

NB : Dans le comptage des enjeux humains, le hangar agricole situé à l'Ouest de l'éolienne E1 est une zone d'activité, mais celle-ci est intégrée dans la même catégorie que les routes non-structurantes. On considère en effet avec prudence que **2 personnes travaillent 12h par jour** sur cette surface de **1 hectare**, et que ces personnes sont présentes sur ce site pendant **1/10 de leurs temps de travail**, on calcul ainsi : **2*(12/24)*1*(1/10) = 1/10 de personne permanente par hectare**, ce qui est équivalent au nombre de personnes permanentes sur les routes non-structurantes.

Ces éoliennes de dernière génération sont composées d'un mât d'une hauteur maximale de 90 mètres pour les 4 aérogénérateurs. Ceux-ci sont surmontés d'une nacelle, et d'un rotor, constitué de 3 pales d'un rayon de 60 m. Le projet éolien de Carmoise-Tréhouët, implanté sur des terrains agricoles, est constitué d'un réseau électrique inter-éolien enterré reliant ainsi les éoliennes aux postes de livraison.

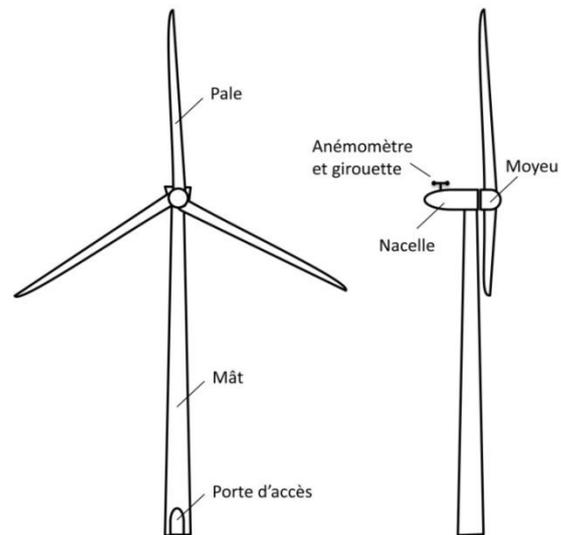


Figure 3 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

La description technique de l'aérogénérateur retenu pour cette étude de danger est la suivante :

Modèle d'éolienne	Vensys VE 120 3.0
Puissance (MW)	3,0
Hauteur moyeu (m)	90
Longueur de pale (m)	60
Hauteur totale en bout de pale (m)	150
Largeur du mât à la base (m)	4,3
Largeur de la pale à la base (m)	2,4

Tableau 2 : Caractéristiques du modèle d'éolienne Vensys VE120 3 MW (Source : Vensys)

I.3 ANALYSE DES RISQUES

Le Syndicat des Energies Renouvelables (SER) et l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS) et France Energie Eolienne (FEE), ont établis conjointement une méthodologie d'analyse permettant d'appréhender les dangers liés à ces installations, dénommée « Analyse Préliminaire des Risques » (APR). Elle a pour objectif principal d'identifier les scénarios d'accidents majeurs ainsi que les mesures de sécurité les empêchant de se produire, ou permettant d'en limiter les effets. Cet objectif est atteint, par l'identification de tous les scénarios d'accidents potentiels pour une installation, basée sur un questionnement des causes et leurs conséquences possibles, ainsi que sur le retour d'expérience disponible. Au préalable, il convient d'identifier la nature des cibles présentes dans la zone d'effet de chaque scénario, pour chaque éolienne.

I.4 ANALYSE DU RETOUR D'EXPERIENCE

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

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

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

Les retours d'expérience de la filière éolienne française et internationale permettent d'identifier les principaux accidents suivants :

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

Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et 2011

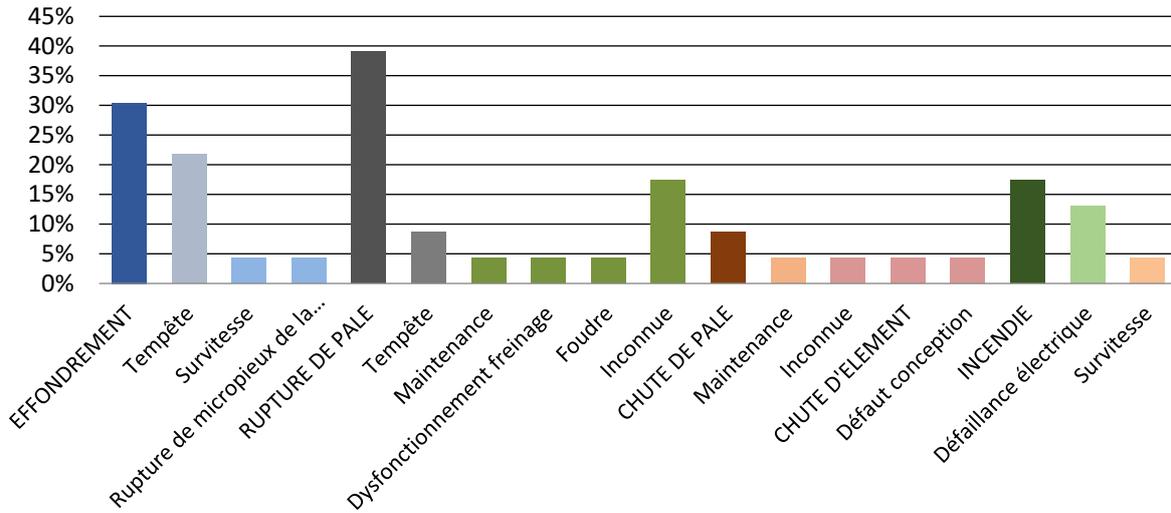


Figure 4 : Retour d'expérience sur le parc éolien Français entre 2000 et 2011

La base de données ARIA du Ministère du Développement Durable permet de recenser les incidents survenus depuis l'année 2012. Ces accidents sont listés précisément dans l'annexe n°2. Sur le même principe que le graphique précédent, le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2012 et 2020.

Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre janvier 2012 et juin 2020

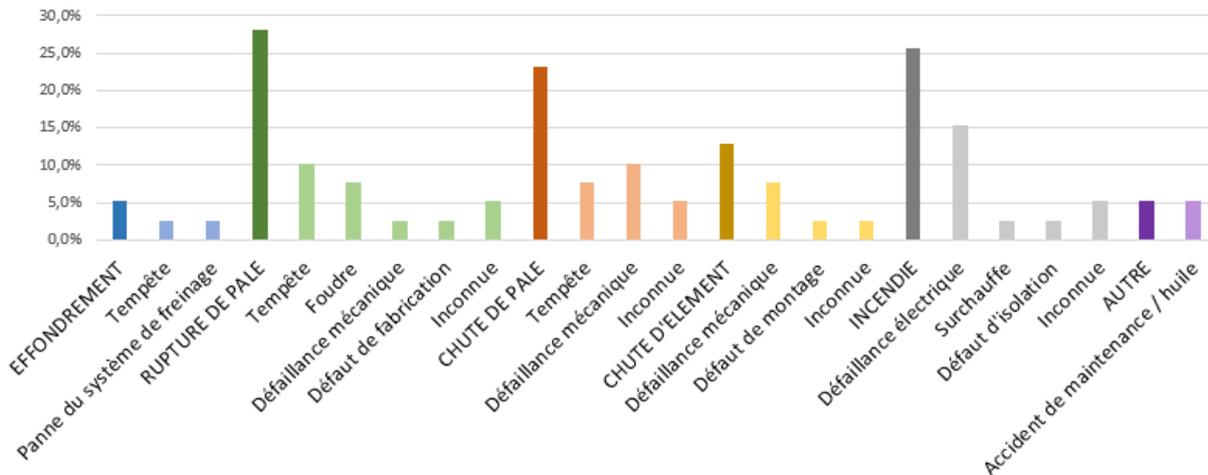


Figure 5 : Retour d'expériences sur le parc éolien français entre 2012 et juin 2020

(Source : Base de données gouvernemental ARIA)

Même si la répartition des incidents en termes de pourcentage est différente que sur la période 2000-2011, les principaux accidents restent toujours l'effondrement, la rupture et la chute de pale, la chute d'élément et l'incendie. L'analyse de risques effectuée reste donc en adéquation directe avec les principaux incidents relevés sur la période 2012-2020.

Par ailleurs, la comparaison de l'évolution des phénomènes dangereux recensés et du nombre d'éoliennes installées (figure ci-dessous) entre 2005 et 2011 montre que même si le nombre d'éoliennes installées augmente de façon importante, le nombre d'accidents est relativement constant. Cette tendance se justifie par un parc éolien assez récent, qui utilise majoritairement des éoliennes de nouvelles génération, équipées de technologies plus fiables et plus sûres. En revanche à partir de 2012, le nombre d'accidents augmente. L'augmentation des accidents à partir de cette année est expliquée par la durée de vie des parcs éoliens et aussi par leur nombre croissant (un doublement de 2013 à 2019).

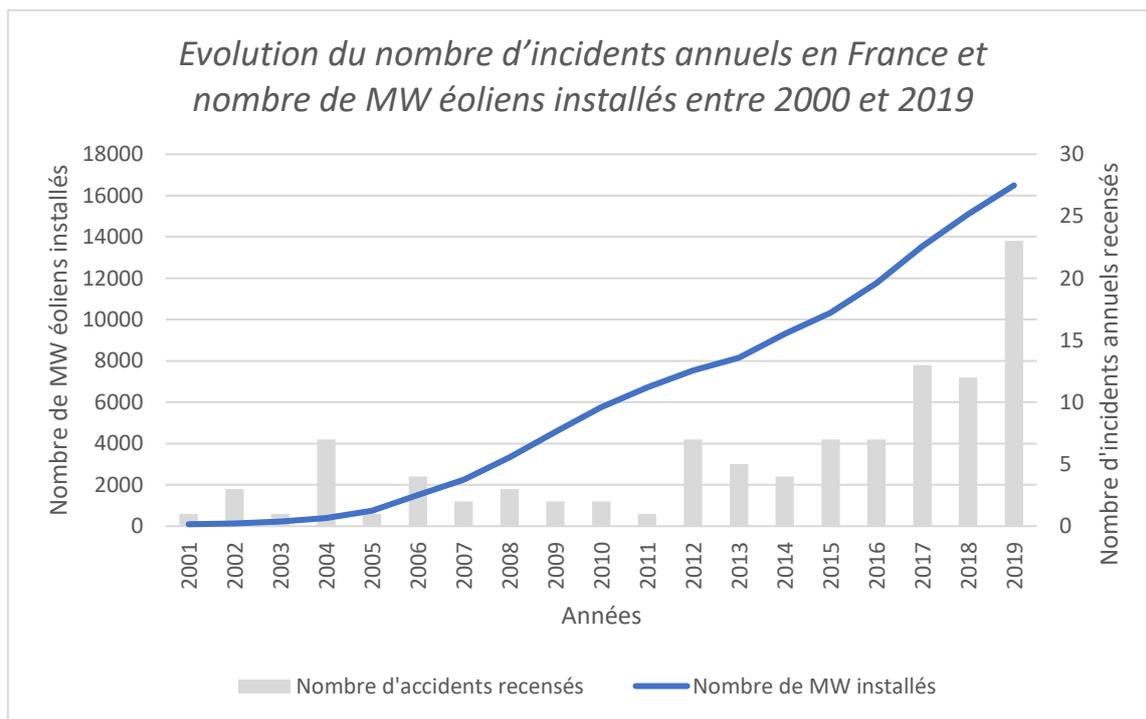


Figure 6 : Evolutions conjointes des MW éoliens installés et du nombre d'incidents annuels en France entre 2001 et 2019

1.5 ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

Une analyse préliminaire des risques sous forme d'un tableau générique est réalisée permettant d'identifier de manière représentative les scénarios d'accident pouvant potentiellement se produire :

- Scénarios relatifs aux risques liés à la glace ;
- Scénarios relatifs aux risques d'incendie ;
- Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments ;
- Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales ;
- Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes.

L'analyse est réalisée de la manière suivante :

- Une description des causes et de leur séquençage ;
- 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.

Dans le cas du projet éolien de Carmoise-Tréhouët, l'APR ne retient pas les risques naturels et les actes de malveillance, jugés respectivement faibles et limités au regard de la localisation du site. Seuls les cinq scénarios suivants sont importants et ont nécessité une étude détaillée des risques :

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

1.6 ETUDE DETAILLEE DES RISQUES

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

Pour chaque scénario, plusieurs paramètres sont alors examinés :

- **L'intensité** : Prend en compte le degré d'exposition 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. Deux valeurs de référence ont été retenues :
 - Supérieur à 5% d'exposition : seuil d'exposition très forte
 - Compris entre 1 et 5% d'exposition ; seuil d'exposition forte
 - En dessous de 1% : seuil d'exposition modérée
- **La gravité** : Déterminée en fonction du nombre équivalent de personnes permanentes dans chacune des zones d'effet
- **La probabilité** : Déterminée en fonction de la bibliographie, du retour d'expérience et des définitions qualitatives de l'arrêté du 29 Septembre 2005.

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

Niveaux	Echelle qualitative	Echelle quantitative (probabilité annuelle)
A	<p style="text-align: center;"><i>Courant</i></p> <p>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>	$P > 10^{-2}$
B	<p style="text-align: center;"><i>Probable</i></p> <p>S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations.</p>	$10^{-3} < P \leq 10^{-2}$
C	<p style="text-align: center;"><i>Improbable</i></p> <p>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.</p>	$10^{-4} < P \leq 10^{-3}$
D	<p style="text-align: center;"><i>Rare</i></p> <p>S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité.</p>	$10^{-5} < P \leq 10^{-4}$
E	<p style="text-align: center;"><i>Extrêmement rare</i></p> <p>Possible mais non rencontré au niveau mondial. N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles.</p>	$P \leq 10^{-5}$

Tableau 3 : Grille de criticité du scénario redouté (source : arrêté du 29 septembre 2005)

Ainsi, le tableau suivant récapitule, pour chaque événement retenu, les paramètres de risques, la zone d'effet, la cinétique, l'intensité, la probabilité et la gravité.

E1 à E4					
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 (150 m)	Rapide	Exposition modérée	D (rare) (pour des éoliennes récentes) ¹	Modérée
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol (60m)	Rapide	Exposition modérée	C (improbable)	Modérée
Chute de glace	Zone de survol (60m)	Rapide	Exposition modérée	A (courante)	Modérée
Projection de pale ou de fragment de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (rare) (pour des éoliennes récentes) ²	Modérée
Projection de glace	315 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	B (probable)	Modérée

Tableau 4 : Synthèse des risques et des paramètres associés pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët (Source : PARC EOLIEN COTES ARMOR 1)

¹ Voir paragraphe IX.2.1

² Voir paragraphe IX.2.4

I.7 SYNTHÈSE DE L'ACCEPTABILITÉ DES RISQUES

En s'appuyant sur les résultats précédents, la dernière étape de l'étude détaillée des risques consiste à déterminer l'acceptabilité des accidents potentiels pour chacun des phénomènes dangereux étudiés.

Les résultats obtenus lors de l'étude de dangers sont résumés dans cette matrice d'acceptabilité :

GRAVITÉ des Conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux	/	/	/	/	/
Catastrophique	/	/	/	/	/
Important	/	/	/	/	/
Sérieux	/	/	/	/	/
Modéré	/	Effondrement de l'éolienne E1 à E4 Projection de pale ou de fragment de pale E1 à E4	Chute d'éléments de l'éolienne E1 à E4	Projection de morceaux de glace E1 à E4	Chute de glace E1 à E4

Tableau 5 : Matrice d'acceptabilité des risques relatifs à chaque éolienne du projet de parc éolien de Carmoise-Tréhouët

Légende de la matrice :

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

Au regard des matrices complétées, aucun événement accidentel redouté n'est situé dans les cases rouges, ce qui signifie qu'il n'existe aucun risque important et jugé inacceptable pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët.

La carte de synthèse des risques ci-après présente pour chaque scénario :



Figure 7 : Carte des risques projet éolien de Carmoise-Tréhouët (Source : PARC EOLIEN COTES ARMOR 1)

Cartographies de synthèse par éolienne :

Les cartes de synthèse ci-dessous sont proposées pour chaque aérogénérateur. Elles font apparaître les enjeux de l'étude détaillée des risques, l'intensité des différents phénomènes dangereux identifiés dans leurs zones d'effets, le nombre de personnes permanentes exposées et l'acceptabilité.

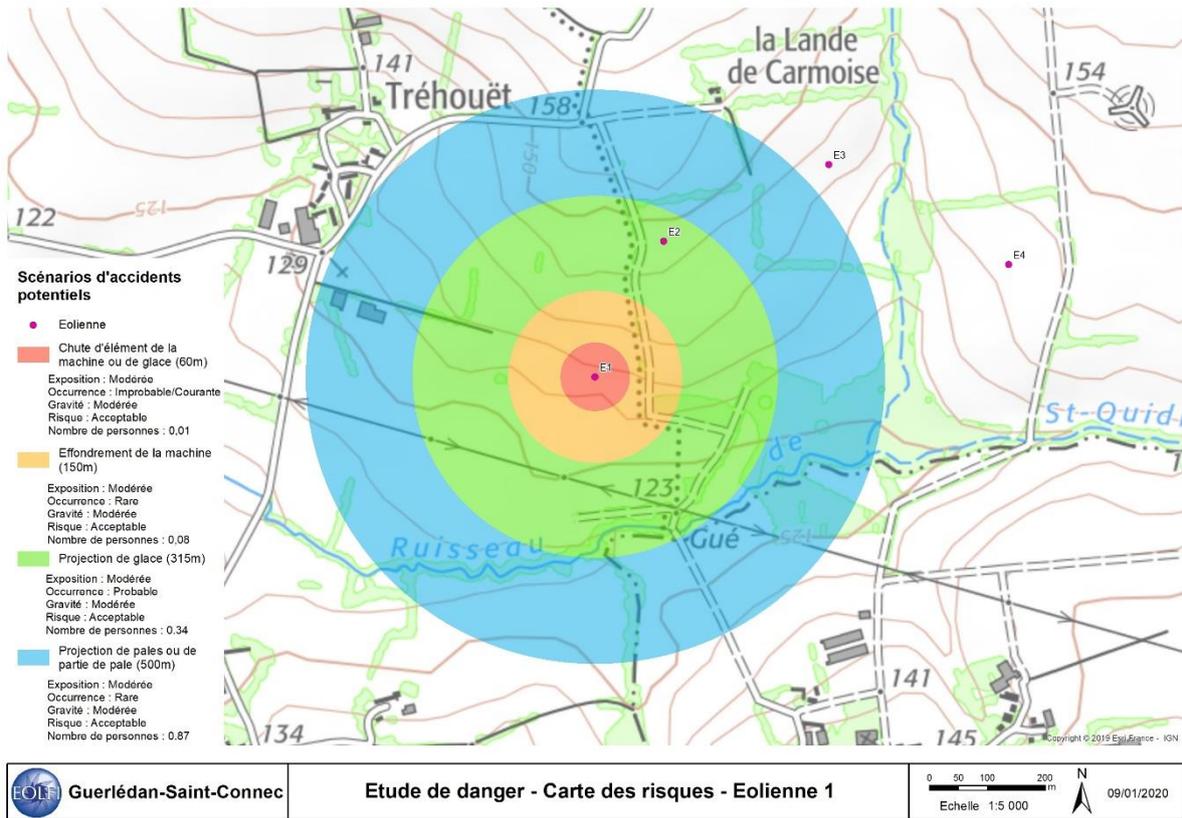


Figure 8 : Synthèse des risques pour l'éolienne E1

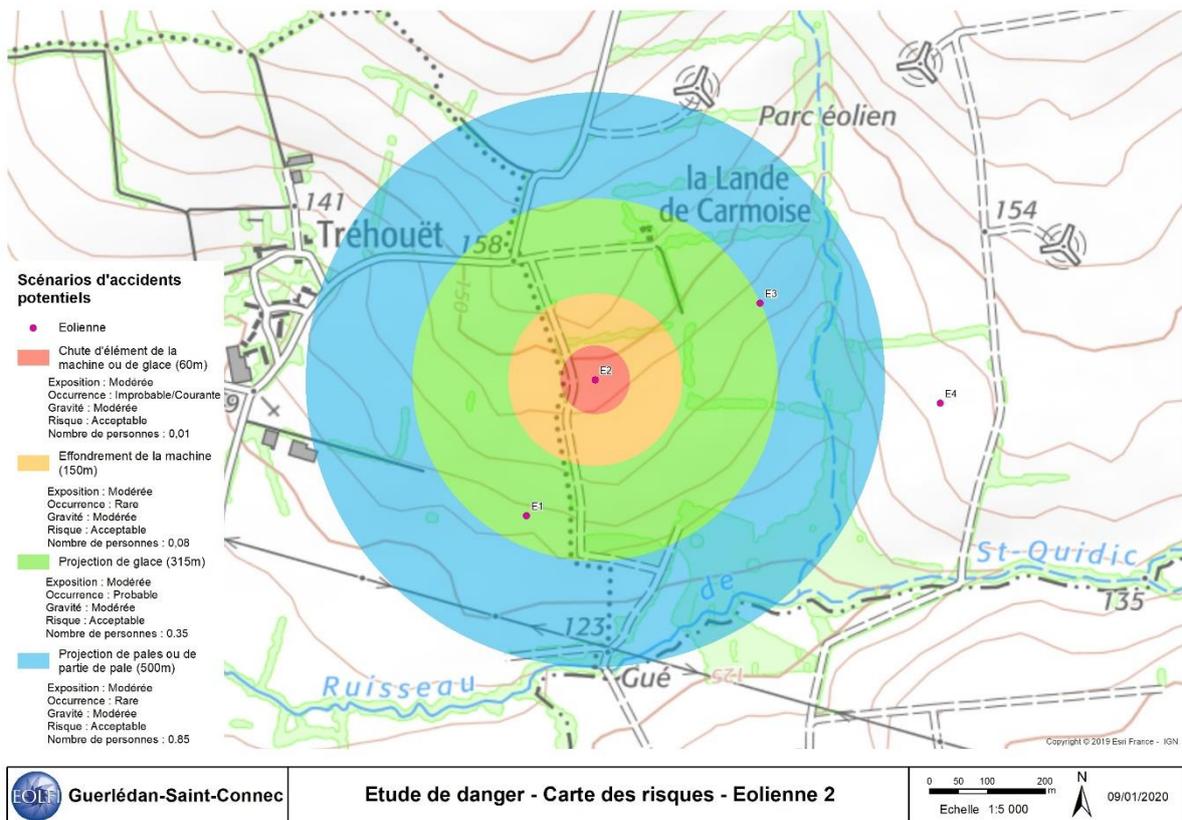


Figure 9 : Synthèse des risques pour l'éolienne E2

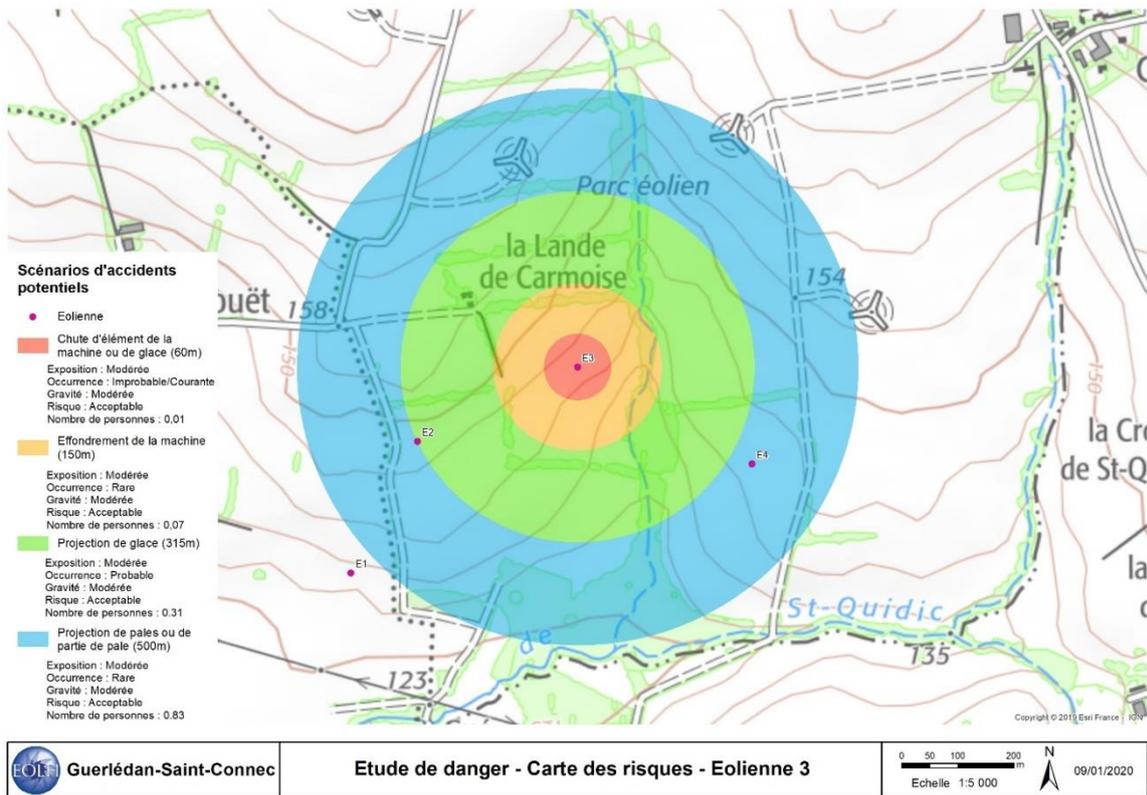


Figure 10 : Synthèse des risques pour l'éolienne E3

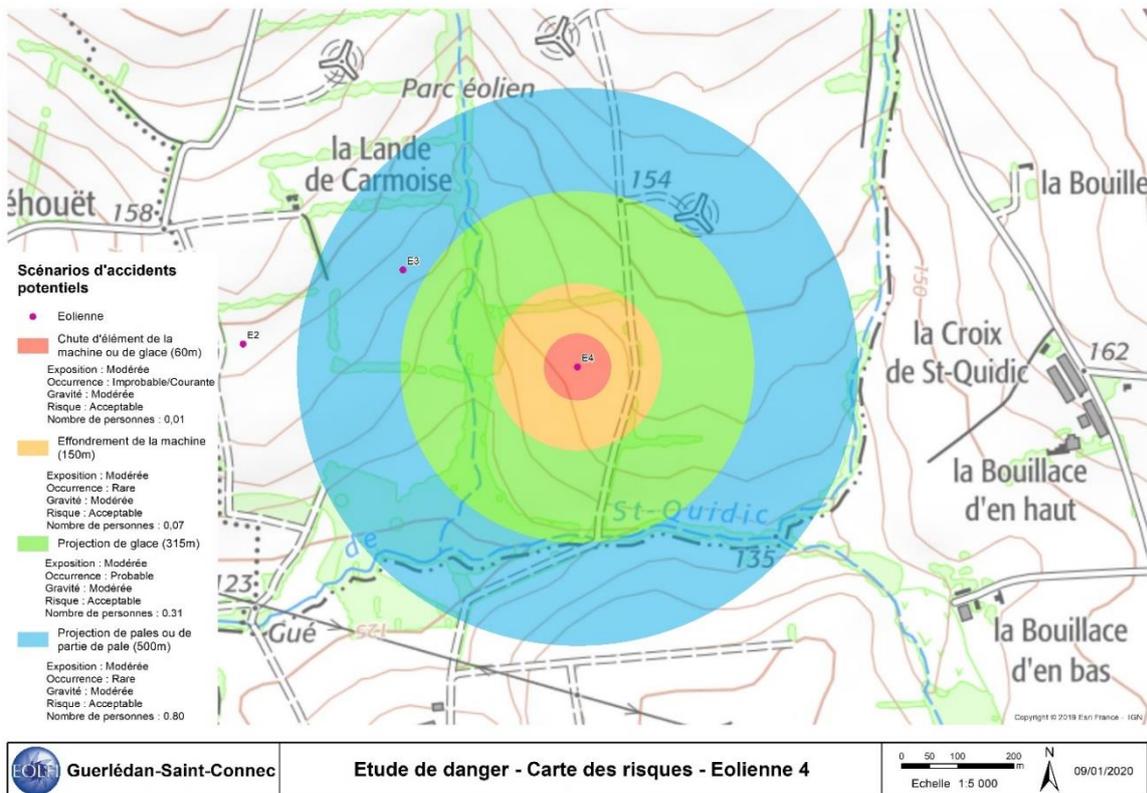


Figure 11 : Synthèse des risques pour l'éolienne E4

I.8 CONCLUSION

Cette étude de dangers a pour objectif de répondre aux exigences du classement des éoliennes à la nomenclature ICPE. Ce document est réalisé par la société PARC EOLIEN COTES ARMOR 1 grâce au document générique produit par le groupe de travail SER - FEE - INERIS.

Les principaux accidents majeurs identifiés pour le projet éolien de la Carmoise-Tréhouët sont ceux retenus par le guide de l'étude de danger réalisé par l'INERIS/SER/FEE à savoir :

- Le bris de pale,
- L'effondrement de l'éolienne,
- La chute d'éléments,
- La chute de glace,
- Projection de glace.

La probabilité d'atteinte d'un enjeu par un projectile est variable en fonction du scénario :

- [D] pour l'effondrement de l'éolienne ;
- [C] pour la chute d'éléments ;
- [A] pour la chute de glace ;
- [D] pour la projection d'un fragment de pale ;
- [B] pour la projection de glace.

Dans la zone de surplomb des éoliennes (Rayon de 60 m), là où s'observe les phénomènes de chute de glace et d'éléments, l'enjeu humain est défini à un maximum de 0,01 personne. Cette zone représente une gravité modérée pour le phénomène de chute de glace et pour celui de chute d'éléments. Au vu de la probabilité d'occurrence de ces phénomènes, l'enjeu est jugé **acceptable** pour ces 2 scénarios.

Dans la zone d'effondrement de la machine (Rayon de 150 m) l'enjeu humain est évalué à un maximum de 0,08 personne, ce qui représente une gravité modérée. La probabilité d'occurrence étant faible (probabilité D), le niveau de risque est donc jugé **acceptable** pour ce scénario.

Dans la zone de projection de glace (Rayon de 315 m), l'enjeu humain est défini à 0,35 personne maximum, avec une gravité modérée. Le niveau de risque est donc jugé **acceptable**.

Dans la zone de projection de pale ou fragment de pale (Rayon de 500 m), l'enjeu humain est défini à 0,87 personne maximum. La probabilité d'occurrence de ce phénomène est faible et l'exposition est modérée. Le niveau de risque est donc jugé **acceptable**.

Cette étude de dangers permet de conclure que le site du projet éolien de Carmoise-Tréhouët présente un niveau de risque acceptable.

A noter que des fonctions de sécurité (de type prévention, protection et intervention) seront également mises en place. En particulier, la maintenance, la surveillance des installations, la formation du personnel ainsi que les procédures de sécurité, d'entretien et de travail sont des éléments essentiels de la sécurité et du bon fonctionnement d'un parc éolien.

II. PREAMBULE

II.1 OBJECTIF DE L'ÉTUDE DE DANGERS

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par la société Parc Eolien COTES ARMOR 1 pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du projet de parc éolien de Carmoise-Tréhouët, 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 projet de Carmoise-Tréhouët. 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 projet éolien de Carmoise-Tréhouët, 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.

II.2 CONTEXTE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE

Les objectifs et le contenu de l'étude de dangers sont définis dans la partie du Code de l'environnement relative aux installations classées. Selon l'article L. 512-1, l'étude de dangers expose les risques que peut présenter l'installation pour les intérêts visés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation.

L'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation [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.

II.3 NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSEES

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

A. – Nomenclature des installations classées			
N°	DÉSIGNATION DE LA RUBRIQUE	A, E, D, S, C (1)	RAYON (2)
2980	Installation terrestre de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs :		
	1. Comprenant au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m.....	A	6
	2. Comprenant uniquement des aérogénérateurs dont le mât a une hauteur inférieure à 50 m et au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur maximale supérieure ou égale à 12 m et pour une puissance totale installée :		
	a) Supérieure ou égale à 20 MW.....	A	6
	b) Inférieure à 20 MW.....	D	
(1) A : autorisation, E : enregistrement, D : déclaration, S : servitude d'utilité publique, C : soumis au contrôle périodique prévu par l'article L. 512-11 du code de l'environnement. (2) Rayon d'affichage en kilomètres.			

Tableau 6 : Nomenclature ICPE pour l'éolien terrestre (source : décret n°2011-984 du 23 août 2011)

Le projet éolien de Carmoise-Tréhouët comprend 4 aérogénérateurs 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 environnementale.

III. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

III.1 RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

Le demandeur est la société PARC EOLIEN COTES ARMOR 1.

Raison sociale	PARC EOLIEN COTES ARMOR 1
Siège social	10 place de Catalogne 75014 Paris
Forme juridique	Société par actions simplifiée à associé unique
N° SIRET	841 367 741 R.C.S Paris
Code NAF	3511Z / Production d'électricité

Tableau 7 : Référence administrative PARC EOLIEN COTES ARMOR 1

Nom	EL HAYANI
Prénom	Youssef
Nationalité	Française
Qualité	Chef de projet développement éolien

Tableau 8 : Réfèrent du projet éolien de Carmoise-Tréhouët

La société PARC ÉOLIEN COTES ARMOR 1 est dédiée au développement, à la construction et à l'exploitation du projet éolien de Carmoise-Tréhouët sur la commune de Guerlédan et Saint-Connec, dans le département des Côtes-d'Armor (22). L'actionnaire unique de cette entité juridique est la société EOLFI SAS, qui appartient au « Groupe EOLFI », considérée ci-après comme la maison mère et dont les capacités techniques et financières sont spécifiquement détaillées dans le Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale (DDAE).

Chiffres clés du groupe EOLFI :

- **Près de 80 experts** dans le monde, dont 72 en France
- Plus de **15 ans d'expérience** dans la production d'énergie renouvelable et le développement de projets
- Des bureaux à Paris, Marseille, Lorient, Montpellier, Taipei et Edimbourg
- Membre de : France Energie Eolienne, Syndicat des Energies Renouvelables, Pôle Mer Méditerranée, Cluster Maritime Français, Capenergies, OFAEnR, Taiwan Wind Energy Association, Taiwan Wind Turbine Industry Association
- Environ **700 MW de projets éoliens en cours de développement** en France
- Environ 250 MW de projets photovoltaïques en cours de développement
- Environ 5 GW de projets éoliens en mer en cours de développement en France dont un projet pilote éolien flottant offshore de 24 MW au large des îles de Groix et Belle-Ile, lauréat en 2016 à l'Appel à Projets lancé par l'Etat français
- 2 GW de projets éoliens en mer en cours de développement à Taiwan
- **759 MW de projets éoliens mis en service** en France et aux Etats-Unis
- 145 MW de projets solaires mis en service en France
- De 2006 à 2018, gestionnaire et/ou conseiller d'un portefeuille d'actifs représentant une valeur globale d'environ un milliard d'euros, à travers sa filiale société de gestion EAM.

III.2 LOCALISATION DU SITE

Le projet éolien de Carmoise-Tréhouët, composé de 4 aérogénérateurs, est localisé sur les Communes de Guerlédan et Saint-Connec, dans le département des Côtes-d’Armor (22), en région Bretagne (voir Figure 12).

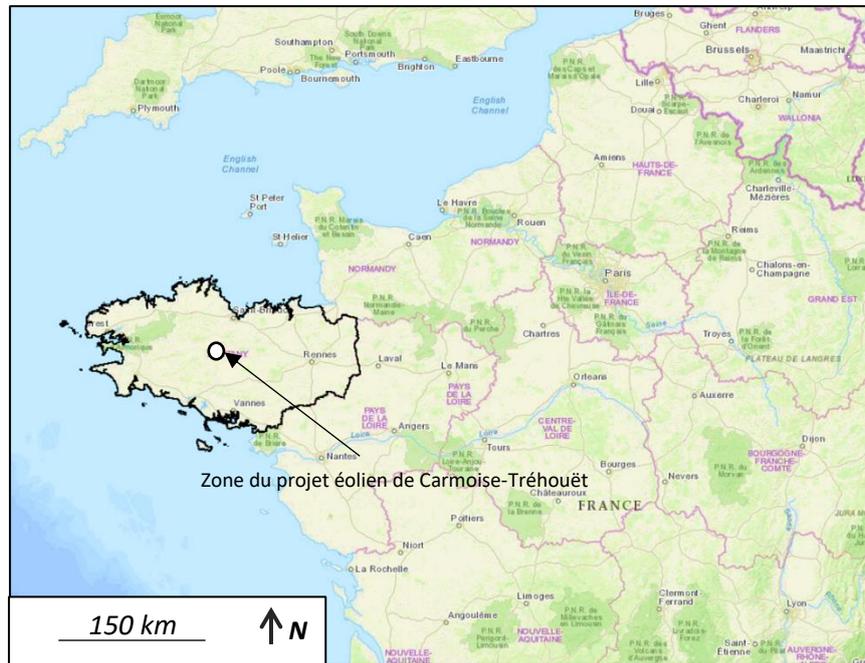


Figure 12 : Situation géographique du projet éolien (source : PARC EOLIEN COTES ARMOR 1)

Le projet est situé en plein cœur de la Bretagne, au Sud du département des Côtes-d’Armor, à 12 km de Loudéac. (voir figure 13).

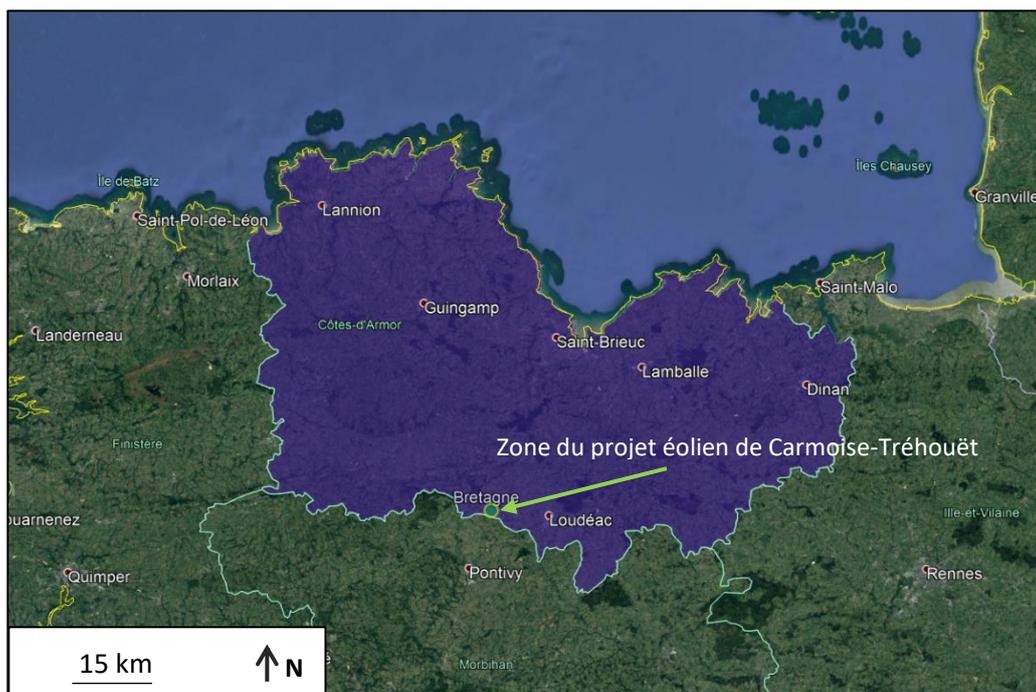


Figure 13 : Situation géographique du site par rapport au département des Côtes-d’Armor (source : PARC EOLIEN COTES ARMOR 1)

Localisation géographique des éoliennes du projet éolien de Carmoise-Tréhouët :

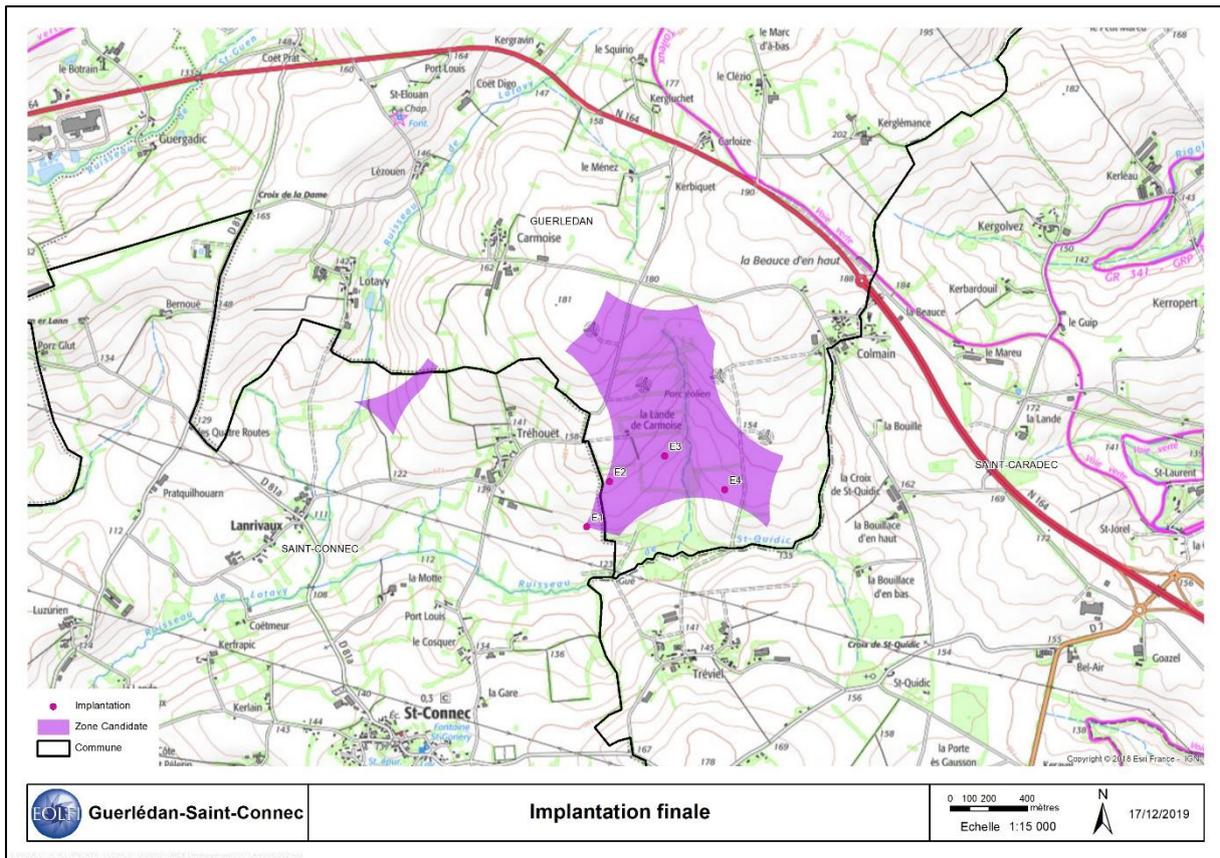


Figure 14 : Localisation géographique des éoliennes du projet éolien de Carmoise-Tréhouët

III.3 DEFINITION DE L'AIRE D'ETUDE

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

Chaque aire d'étude correspond à l'ensemble des points situés à une distance inférieure ou égale à 500 m à partir de l'emprise du mât de l'aérogénérateur (cf. figure 15 **Error! Reference source not found.**). Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection, telle que définie au paragraphe IX.2.4.

Les expertises réalisées dans le cadre de la présente étude ont montré l'absence d'effet à l'extérieur du poste de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant les affecter.

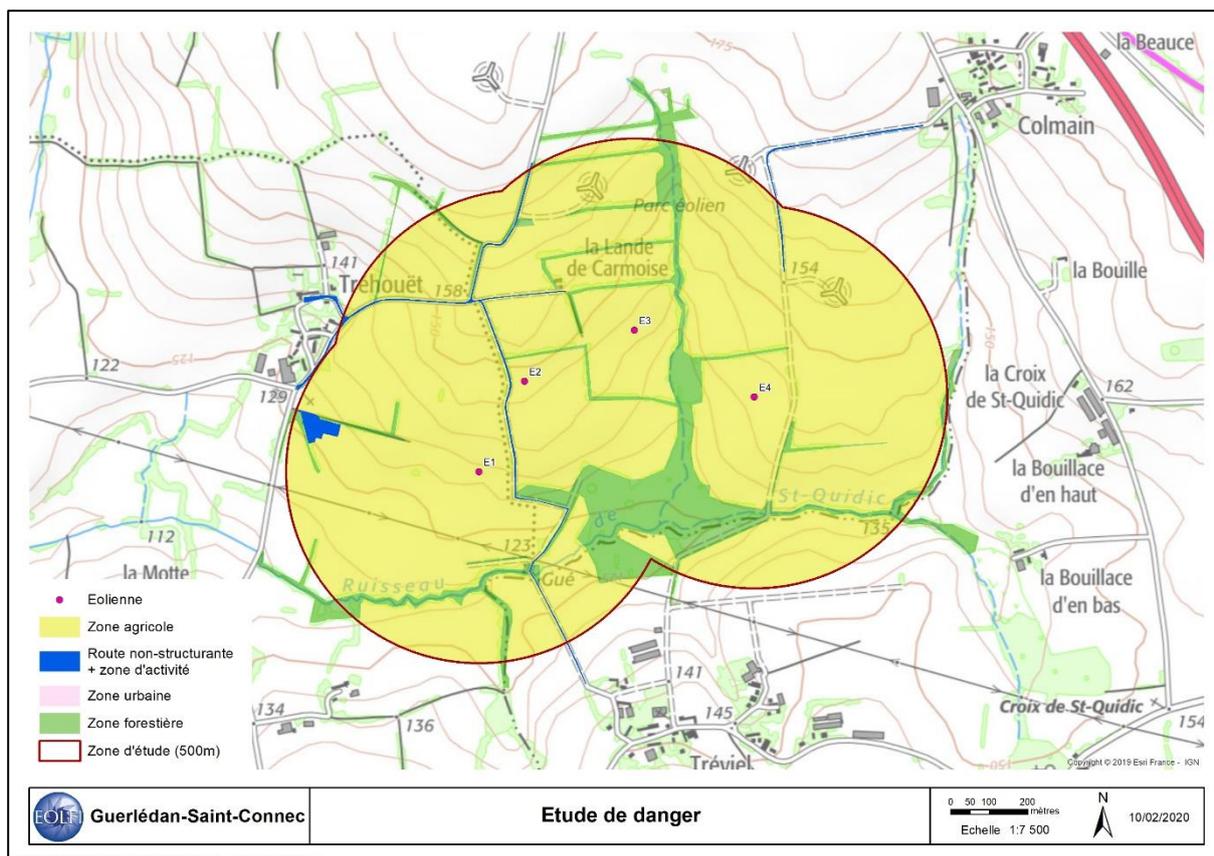


Figure 15 : Définition du périmètre d'étude de danger du projet éolien de Carmoise-Tréhouët

IV. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

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

IV.1 ENVIRONNEMENT HUMAIN

L'aménagement d'un parc éolien est un projet ayant un impact sur l'environnement humain, c'est pourquoi il est important de s'intéresser aux populations situées près de la zone d'étude et qui seront directement concernées par ce projet d'un point de vue socio-économique.

La commune de Guerlédan (nouvelle commune née de la fusion entre les anciennes communes de Mûr-de-Bretagne et Saint-Guen) comportait **2508 habitants** en 2017. La commune de Saint-Connec, sur laquelle l'implantation d'une éolienne est prévue, compte **262 habitants**. La commune de Saint-Caradec, comptant **1154 habitants** en 2017, est voisine de la zone d'implantation potentielle et comporte donc une partie de la zone d'étude de dangers. (Source : *Insee 2019*).

IV.1.1 ZONES URBANISEES

- **Distance aux habitations les plus proches**

Suite aux prescriptions du Grenelle de l'environnement ainsi que l'Arrêté du 26 août 2011 soumettant les parcs éoliens à la réglementation ICPE, la distance minimum à respecter est une distance de recul de 500 mètres aux zones destinées à l'habitation.

Pour ce projet l'habitation la plus proche se trouve à plus de **500 mètres**. Cette contrainte est donc respectée.

- **Compatibilité de la zone avec l'accueil d'éoliennes**

La zone d'implantation potentielle est située en grande partie sur la commune de Guerlédan au niveau de la **Lande de Carmoise**, et s'étend au Sud-Ouest jusqu'à sur la commune de Saint-Connec, au Sud-Est du hameau de **Tréhouët**. Guerlédan et Saint-Connec font respectivement partie des communautés de communes de Loudéac et de Pontivy. Le territoire de Saint-Guen (commune de Guerlédan) est soumise au **PLUi de la CIDERAL** qui autorise l'implantation d'éoliennes en zone agricole, où est située la totalité des éoliennes prévues. Un nouveau projet de PLUi de la communauté de communes de Loudéac est prévu pour la fin de l'année 2020, celui-ci autorisera a priori l'implantation d'éoliennes en zone agricole.

En attendant l'aboutissement du projet de PLUi de la communauté de communes de Pontivy (qui autorisera a priori l'implantation d'éoliennes en zone agricole), la commune de Saint-Connec est soumise au **RNU qui autorise l'implantation d'éoliennes** à plus de 500 mètres des habitations.

Le développement de l'éolien est donc compatible au sein de la zone d'implantation potentielle.

IV.1.2 ETABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC (ERP)

Aucun établissement recevant du public n'est à recenser dans le périmètre d'étude. Cependant Guerlédan, l'une des communes d'accueil du projet de Parc Eolien de Carmoise-Tréhouët, comprend des ERP compris dans les catégories suivantes :

- Alimentation : Boulangeries, épicerie, grande surface et restaurants
- Services à la population : Banques, bureau de poste, garages, gendarmerie, agence, agence Pôle Emploi, complexes sportifs et salons de coiffure
- Enseignement : Ecole maternelle, élémentaires et collèges
- Fonctions médicales : Médecin généraliste, kinésithérapeute, dentiste, pharmacie, service ambulancier, maison de retraite et infirmiers
- Autres : Camping, chambres d'hôtes, gîtes et hôtels

Source : INSEE 2018

IV.1.3 INSTALLATIONS CLASSEES POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (ICPE) ET INSTALLATIONS NUCLEAIRES DE BASE.

L'étude de dangers doit lister les établissements SEVESO et les installations nucléaires de base (INB) présents dans les limites de la zone d'étude :

- Distance par rapport aux éoliennes
- Régime de classement au titre des ICPE
- Principaux accidents potentiels liés à cette installation

• Etablissement ICPE – hors éolien

De même que pour les ERP, la zone de l'étude de dangers du projet éolien de Carmoise-Tréhouët (500 mètres autour des éoliennes) ne contient pas d'installation classée pour la protection de l'environnement, hors éolien. 31 établissements classés ICPE (hors éolien) sont localisés sur les communes d'accueil du projet, 25 sur Guerlédan et 6 sur Saint-Connec. Le site le plus proche appartient à M. Jean-Yves Le Bihan et est situé à 50 mètres à l'Ouest de la zone d'étude, au hameau de Tréhouët sur la commune de Guerlédan (Source : BE Jacquel et Chatillon).

• Etablissement ICPE éolien

Le Parc Eolien de Carmoise-Tréhouët sera une extension du Parc Eolien de la Lande de Carmoise, composé de 4 machines construites et en exploitation, appartenant à P & T Technologies. 3 d'entre elles se trouvent dans la zone d'étude de danger, la plus proche étant construite à 341 mètres à l'Est de l'implantation prévue de l'éolienne E4.

• Etablissements SEVESO

Aucun établissement classé SEVESO n'intègre l'aire de l'étude de dangers. Le plus proche appartient à la société ITM Logistique Alimentaire International et est classé « Seuil Bas » ; il est situé à 8 km au Sud-Ouest de la zone d'étude, sur la commune Neulliac (source : installationsclassees.developpement-durable.gouv).

• Installation nucléaire de base

Aucun établissement nucléaire n'intègre les différentes aires d'étude du projet, le plus proche étant l'Ancienne Centrale Nucléaire de Brennilis, située à 73 km à l'Ouest de la zone d'étude (Source : ASN).

IV.1.4 AUTRES ACTIVITES

La commune de Saint-Connec accueillait **28 établissements actifs** au 31 décembre 2015. Parmi ceux-ci :

- 18 concernent l'agriculture, la sylviculture et la pêche,
- 3 la construction, 3 le commerce l'hébergement et la restauration,
- 1 exerce une activité immobilière,
- 1 administration publique, d'enseignement, de santé, ou d'action sociale,
- enfin 2 dans d'autres activités et services.

La commune de Mûr-de-Bretagne accueillait **221 établissements actifs** au 31 décembre 2015. Parmi ceux-ci :

- 3 exercent dans les domaines de l'extraction, de l'Energie, de la gestion de l'eau et des déchets et la dépollution,
- 8 dans la fabrication d'aliments, de boisson ou de produits à la base du tabac,
- 5 dans la fabrication de produits industriels divers,
- 18 concernent l'agriculture, la sylviculture et la pêche,
- 15 la construction,
- 44 le commerce, les transports, l'hébergement et la restauration,
- 6 sont spécialisés dans l'information et la communication,
- 18 dans les activités financières, d'assurances, et d'immobilier,
- 22 dans les sciences et techniques, services administratifs et de la santé

- 33 administrations publiques, d’enseignement, de santé, ou d’action sociale,
- enfin 25 dans d’autres activités et services.

La commune de Saint-Guen accueillait **45 établissements actifs** au 31 décembre 2015. Parmi ceux-ci :

- 21 concernent l’agriculture, la sylviculture et la pêche,
- 1 l’extraction, l’énergie, la gestion de l’eau et des déchets et la dépollution
- 2 la fabrication de produits industriels divers
- 3 exercent dans le domaine de la construction
- 6 dans le commerce, les transports, l’hébergement et la restauration,
- 5 dans les activités d’assurances, financières, et immobilières
- 3 dans les sciences et techniques, services administratifs et de la santé
- 2 administrations publiques, d’enseignement, de santé, ou d’action sociale,
- Enfin, 2 dans d’autres activités et services

Source : Connaissance Locale de l’Appareil Productif (CLAP), INSEE 2017

La surface agricole représente 87 % de la zone d’étude. L’activité principale dans l’aire d’étude est donc l’agriculture.

Le périmètre d’étude comprend une route non-structurante reliant Tréhouët et Tréviel. Elle est située non-loin de la Route Nationale N164 (au Nord-Est) et de la route départementale D81 (à l’Ouest).

IV.2 ENVIRONNEMENT NATUREL

IV.2.1 CONTEXTE CLIMATIQUE

L’étude de dangers doit préciser l’ensemble des informations nécessaires à l’appréciation des conditions climatiques et météorologiques du site :

- Températures (moyennes mensuelles, maximales et minimales, nombre de jours de gel, etc.)
- Précipitations (pluviométrie, nombre de jours de neige, nombre de jours de grêle, nombre de jours de brouillard, etc.)
- Vent (intensité, fréquence et direction des vents – rose des vents)

Le projet éolien de la Carmoise-Tréhouët se situe dans le département des Côtes-d’Armor, **dont le climat est de type océanique**. On y observe généralement de faibles amplitudes thermiques entre la température minimale et maximale. Cependant les intersaisons y sont très changeantes notamment près des côtes de la Manche où l’on peut y observer orage, neige, tempête, fortes pluies, etc. Les précipitations sont assez importantes, notamment durant les mois hivernaux.

Le projet se situe à environ 28 km à l’Est de la station météorologique de Rostrenen. Sauf indication contraire, les valeurs mentionnées dans les paragraphes suivants correspondent aux relevés de cette station pour la période 1971-2000.

- **Vent**

D’après les données satellites issues du site *WindNavigator*, la zone d’implantation potentielle intègre une zone correctement ventée. **Les vitesses de vent sont estimées, à 80 m d’altitude, à 6,7 m/s**. A noter que ce gisement éolien identifié a été réalisé avec une incertitude d’environ 0.5 m/s et une précision de 200 m (source : *WindNavigator - https://dashboards.awstruepower.com/*). **La pose d’un mât de mesure a été nécessaire pour confirmer le potentiel éolien.**

Les caractéristiques suivantes ont été évaluées à l'aide d'un mât de mesures de vent installé sur la commune de Guerlédan le 26/04/2018 au sud-ouest du lieu-dit « La Lande de Carmoise».

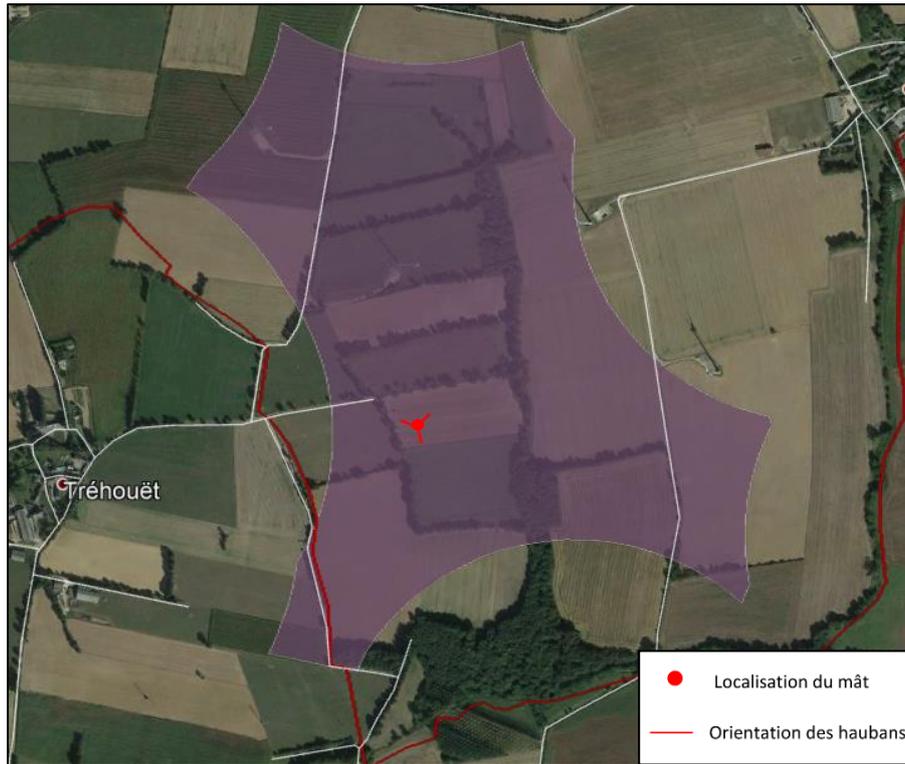


Figure 16 : Localisation du mât de mesure (source : PARC EOLIEN COTES-ARMOR 1)

Les résultats montrent :

- Un vent dominant d'orientation **Nord-Est**,
- Vitesse moyenne mesurée à 75 m : **5,4 m/s**,
- Vitesse maximale mesurée à 75 m : **23,8 m/s**.

Il est à noter que les moyeux des éoliennes installées s'élèveront à 90 mètres au-dessus du sol. **Les vitesses de vent à cette hauteur seront donc supérieures à celles données par le mât.**

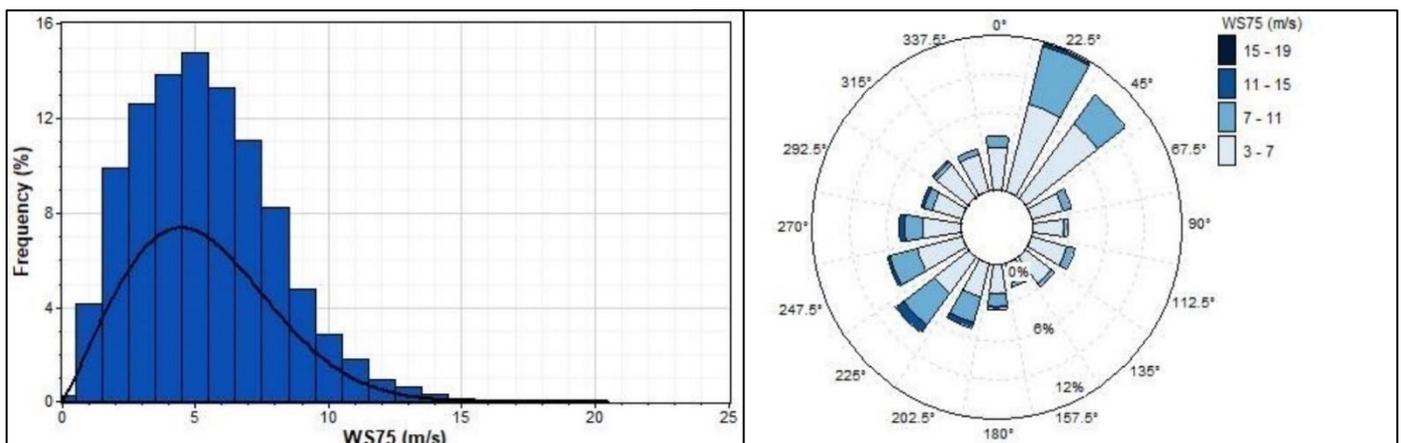


Figure 17 : Fréquence et direction des vents (source : PARC EOLIEN 1)

Ces caractéristiques confirment les données et permettent d'établir avec certitude le potentiel éolien sur cette zone.

- **Précipitations**

D’après les relevés météorologiques, le nombre de jours de pluie sur l’année s’élève à 149,9 en moyenne (jours ou les précipitations - neige incluse – sont au-delà de 1mm) pour une **pluviométrie annuelle moyenne de l’ordre de 1079 mm**, dont plus 130 mm en décembre et janvier.

- **Température**

Les températures annuelles moyennes observées à la station de référence sont de **6,9°C (minimale) et 13,7°C (maximale)**. On retrouve ici la marque du climat océanique avec une **faible amplitude thermique** (4,8 à 16,8°C entre janvier et juillet en moyenne). **Le nombre annuel de jours de gel, c’est à dire le nombre de jours au cours desquels la température descend au-dessous de 0°C, est ici de 27,2** (Les installations éoliennes sont aujourd’hui équipées d’un **système de détection de glace sur les pales permettant de stopper le rotor et d’éviter les risques de projection**). Le nombre annuel de jours de chaleur, c’est-à-dire le nombre de jours au cours desquels la température dépasse 25°C, est ici de 14,2. Le mât de mesure a permis de déterminer la moyenne des températures mensuelle sur le site du projet.

Ces caractéristiques climatologiques ne présentent pas d’inconvénients à l’implantation d’un parc éolien.

IV.2.2 RISQUES NATURELS

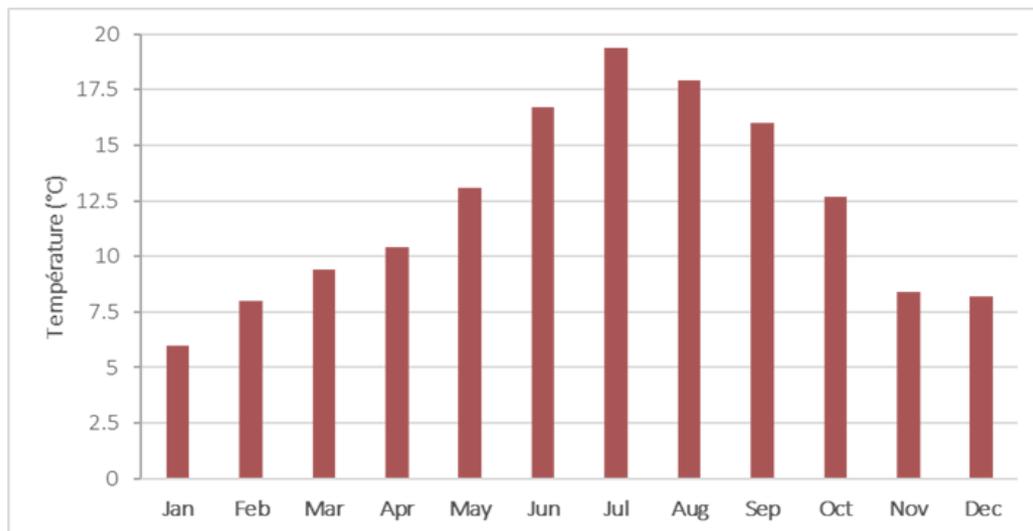


Figure 18 : Températures mensuelles moyennes relevés sur site par le mât de mesure (source : Parc Eolien de Carmoise-Tréhouët)

- **Sismicité**

Un séisme est une fracturation brutale des roches en profondeur créant des failles dans le sol et parfois en surface, et se traduisant par des vibrations du sol transmises aux bâtiments. Les dégâts observés sont fonction de l’amplitude, de la durée et de la fréquence des vibrations. **Le séisme est le risque naturel majeur qui cause le plus de dégâts.**

Depuis le 22 octobre 2010, la France dispose d’un nouveau zonage sismique divisant le territoire national en cinq zones de sismicité croissante en fonction de la probabilité d’occurrence des séismes (source : planseisme.fr).

L’actuel zonage sismique classe les communes d’accueil du projet en zone de sismicité 2 (faible).

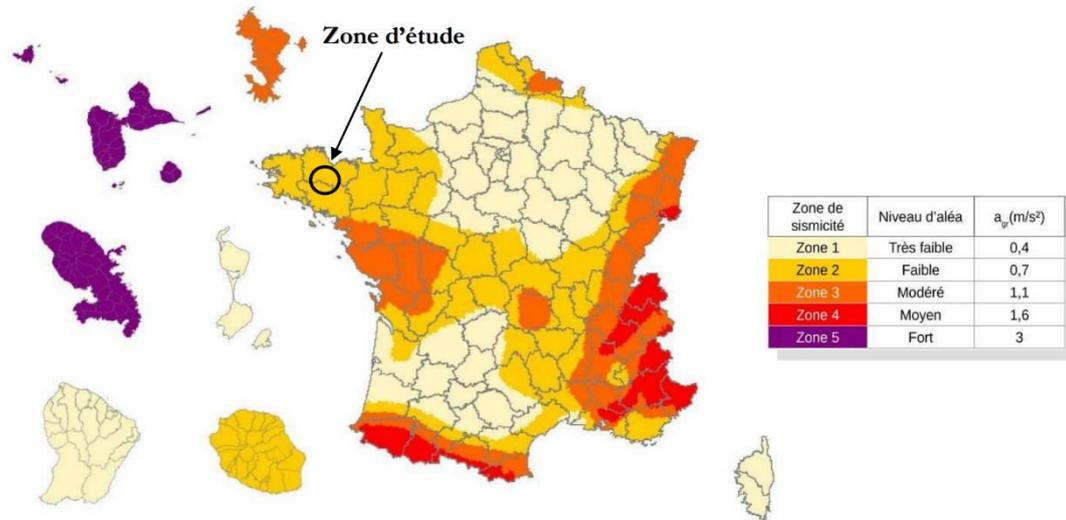


Figure 19 : Sismicité de la France (source : MEDDTL, 2011)

L'aléa séisme sur la zone du projet de Carmoise-Tréhouët est donc jugé comme faible.

- **Inondations**

Une inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau.

On distingue trois types d'inondations :

- La montée lente des eaux par débordement d'un cours d'eau ou remontée de la nappe phréatique ;
- La formation rapide de crues torrentielles consécutives à des averses violentes ;
- Le ruissellement pluvial renforcé par l'imperméabilisation des sols et les pratiques culturales limitant l'infiltration des précipitations.

3 événements historiques d'inondations faisant l'objet d'arrêtés sont identifiés sur les communes ces 30 dernières années. Ils sont listés dans le tableau suivant :

Commune	Type de catastrophe	Date de début	Date de fin	Date d'Arrêté	Parution au Journal Officiel
Guerlédan et Saint-Connec	Inondations et coulées de boue	08/06/1993	09/06/1993	28/09/1993	10/10/1993
	Inondations, coulées de boue, glissements et chocs mécaniques liés à l'action des vagues	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999
Saint-Connec	Inondations et coulées de boue	16/08/1997	16/08/1997	12/03/1998	28/03/1998

Tableau 9 : Inventaires des inondations identifiées sur le département des Côtes-d'Armor (sources : prim.net, georisques.gouv)

Bien que la présence de Zones Inondables (ZI) de l'Oust et ses affluents (Atlas des zones Inondables des Côtes-d'Armor, 2006) soit identifiée, **les communes d'accueil du projet n'intègrent aucun Territoire à Risque d'Inondation (TRI) ou Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) relatif aux inondations.**

○ Inondations par débordement de cours d'eau

Le DDRM des Côtes d'Armor identifie un risque de débordement lent de cours d'eau sur les communes concernées par l'étude : Guerlédan, Saint-Connec, et Saint-Caradec. Mais la zone d'implantation potentielle du projet n'est pas concernée par lesdites Zones Inondables, comme le montre la carte en figure 21.

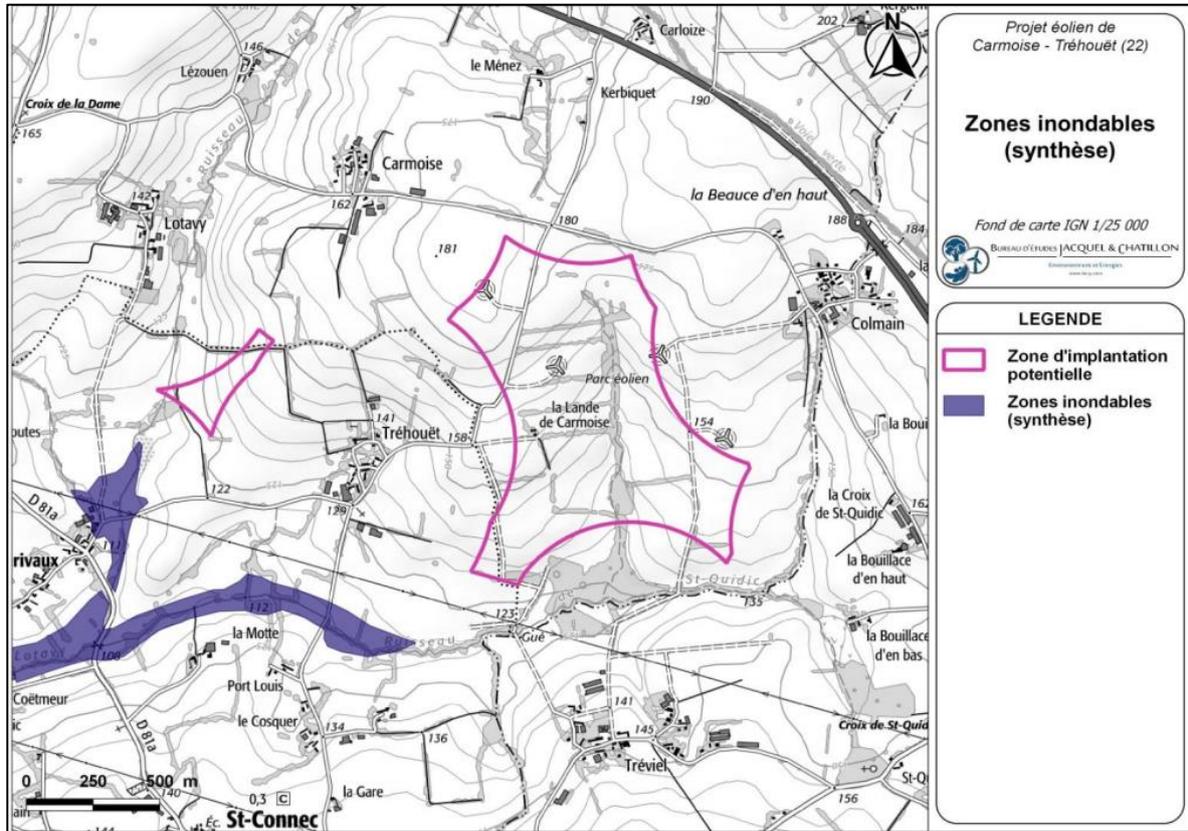


Figure 20 : Risque d'inondation au niveau de la zone d'étude (Source : BE Jacquel et Chatillon d'après données des Atlas des Zones Inondables)

La zone d'étude de dangers n'est donc pas concernée par le risque d'inondation par débordement de cours d'eau.

○ Inondations par remontée de nappes phréatiques

Le BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) fournit une carte de remontée des nappes. La zone d'implantation potentielle de l'éolienne se trouvant sur un point « haut » du relief, elle ne se trouvera pas exposée à un risque d'inondation important, bien que des « zones potentiellement sujettes aux inondations de cave » soient localement signalées (voir carte ci-dessous).

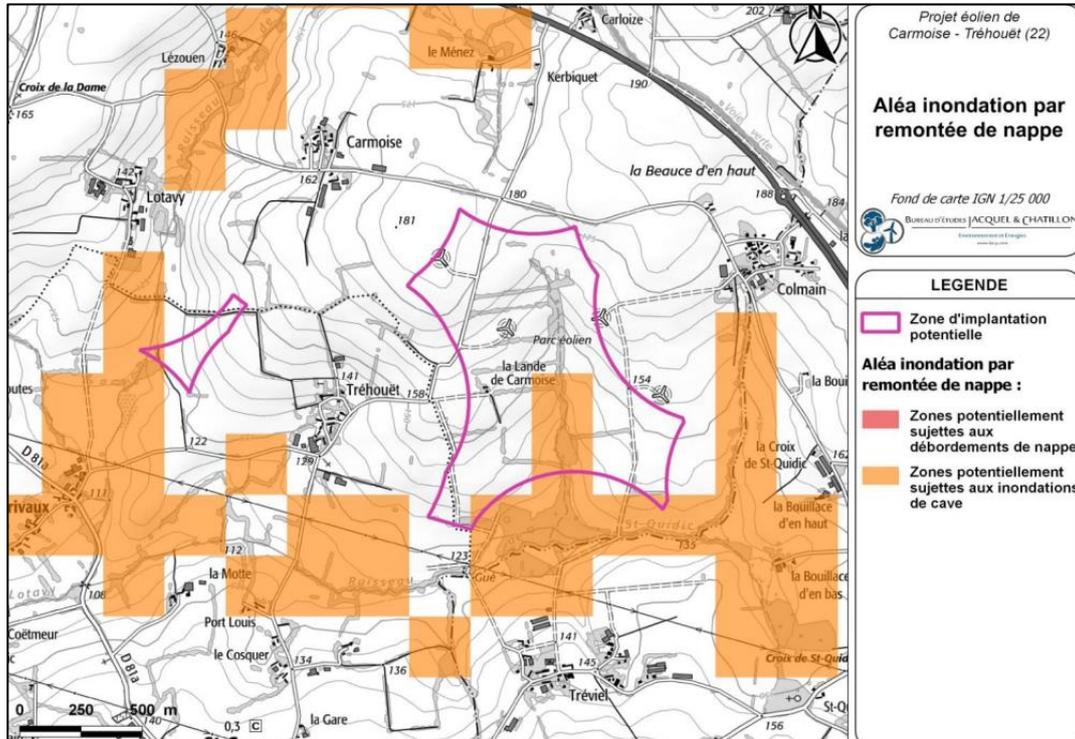


Figure 21 : Carte de sensibilité aux remontées de nappes du secteur de projet – (Source : BE Jacquel et Chatillon d'après données BRGM)

La zone d'étude de dangers n'est donc pas concernée par le risque d'inondation par remontée de nappe.

• Tempêtes

L'atmosphère est un mélange de divers gaz dont la vapeur d'eau, répartie en couches concentriques autour de la Terre. Trois paramètres principaux caractérisent l'état de l'atmosphère :

- **La pression** : les zones de basses pressions sont appelées **dépansions** celles où les pressions sont élevées, **anticyclones** ;
- **La température** ;
- **Le taux d'humidité** : une tempête correspond à l'évolution d'une perturbation atmosphérique ou dépression où se confrontent deux masses d'air aux caractéristiques bien distinctes (température – humidité).

Cette confrontation engendre un gradient de pression très élevé, à l'origine de vents violents et/ou de précipitations intenses. On parle de tempêtes pour des vents moyens supérieurs à 89 km/h (degré 10 de l'échelle de Beaufort qui en comporte 12). Les tempêtes d'hiver sont fréquentes en Europe, car les océans sont encore chauds et l'air polaire déjà froid. Venant de l'Atlantique, elles traversent généralement la France en trois jours, du Sud-Ouest au Nord-Est, leur vitesse de déplacement étant de l'ordre de 50 km/h, ce sont en moyenne, chaque année, quinze tempêtes qui affectent nos côtes, dont une à deux peuvent être qualifiées de « fortes » selon les critères utilisés par Météo-France. Bien que le risque de tempête intéresse plus spécialement le quart Nord-Ouest du territoire métropolitain et la façade atlantique dans sa totalité, les tempêtes survenues en décembre 1999 ont souligné qu'**aucune partie du territoire n'est à l'abri du phénomène**.

Les données départementales moyennes indiquent **21,2 jours par an avec vent maximal dépassant les 100 km/h** sur à la station Météo-France de Ploumanac'h, la plus proche de la zone de projet.

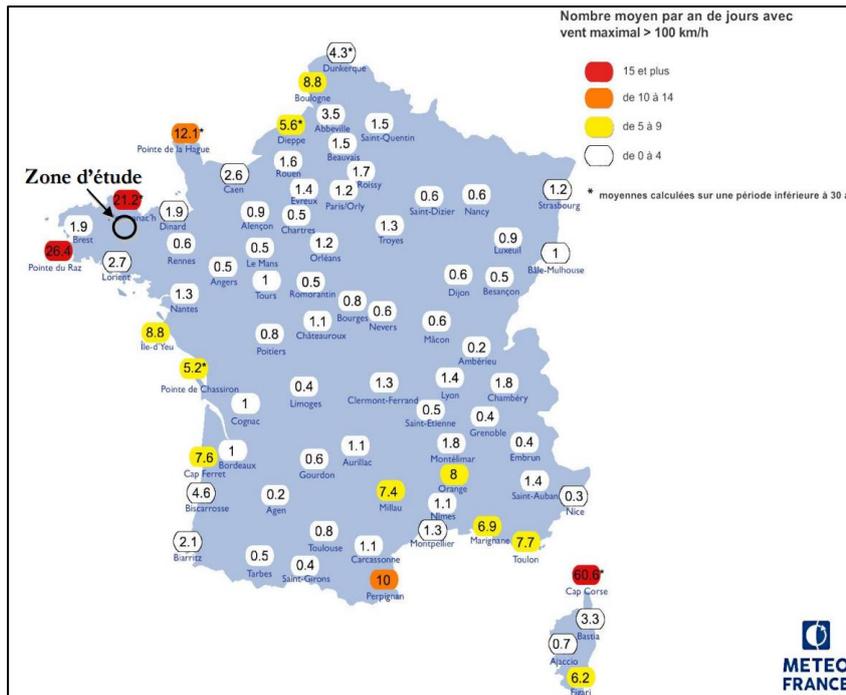


Figure 22 : Carte des nombres de jours avec vent maximal supérieur à 100 km/h (normales 1981-2010)

A partir de l'ensemble de ces données il est possible de conclure que la visibilité, dans ce secteur soumis à climat océanique à légère influence continentale, pourra être altérée près de 150 jours par an tout ou partie de la journée.

La zone d'étude est soumise à un risque de tempête modéré

- Risque kéraunique

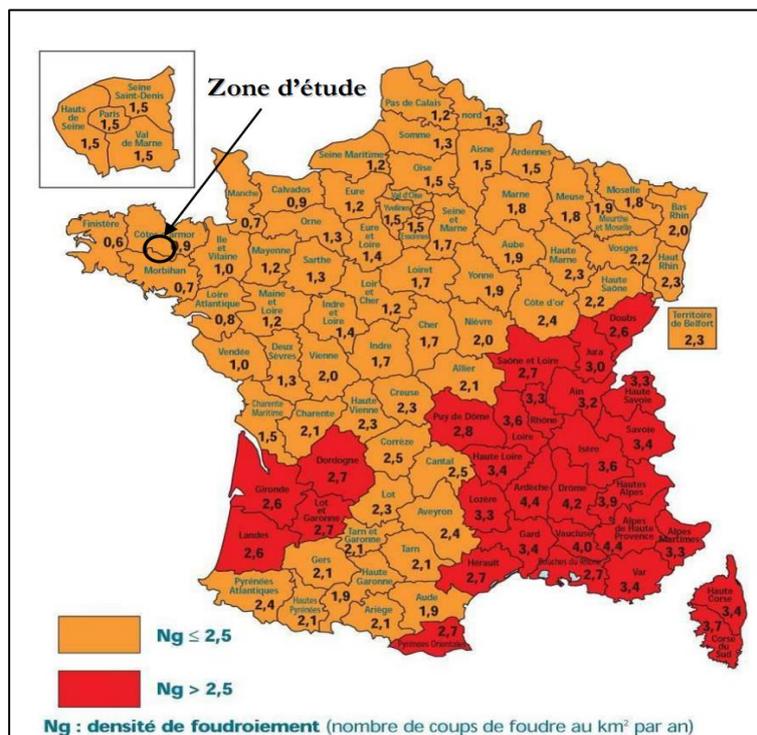


Figure 23 : Densité de foudroiement en France par département (Source : SOULE, 2003)

Il est souvent fait référence au niveau kéraunique pour juger de l'activité orageuse d'un secteur. Le niveau kéraunique correspond ainsi au nombre de jours par an où l'on entend gronder le tonnerre. Il s'agit par conséquent d'un indicatif subjectif, peu fiable, et sujet à trop d'approximations pour pouvoir déterminer l'ampleur réelle des orages. Aussi, pour juger de manière plus efficace de l'activité orageuse dans un département, un indicateur précis a été développé ; il s'agit de l'indice Ng. Le sigle Ng correspond à la densité de foudroiement pour chaque département, c'est-à-dire au nombre d'impacts de foudre par an et par km². La Carte en figure 24, développée par la société SOULE, détaille ces risques liés aux impacts de foudre sur l'ensemble du territoire français. Les départements représentés en rouge sur la carte sont ceux dont la densité de foudroiement est supérieure à 2.5 Ng et qui requièrent donc, selon les prescriptions de la norme NF C 15-100, l'installation obligatoire de parafoudres sur les constructions. On peut donc constater que le département des Côtes-d'Armor, où se situe le projet, n'est pas concerné par ces risques de foudroiement élevés (avec un niveau 0,9 Ng). On compte par ailleurs une moyenne de 8,3 jours d'orage/an au niveau de la station météorologique de Saint-Brieuc à environ 34 km.

La zone d'étude n'est pas concernée par un risque de foudroiement élevé

- **Incendie**

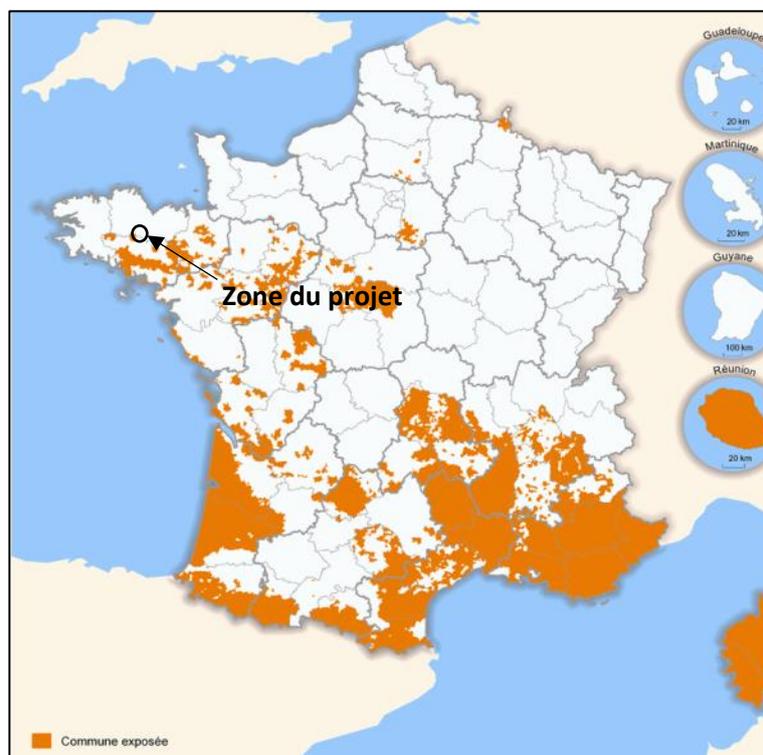


Figure 24: Communes exposées au risque feux de forêts (Source : MEEDDM, 2010)

Les feux de forêts sont des incendies qui se déclarent et se propagent sur une surface d'au moins un hectare de forêt, de lande, de maquis, ou de garrigue.

Pour se déclencher et progresser, le feu a besoin des trois conditions suivantes :

- **Une source de chaleur** (flamme, étincelle) : très souvent l'homme est à l'origine des feux de forêts par imprudence (travaux agricoles et forestiers, cigarettes, barbecue, dépôts d'ordures...), accident ou malveillance ;
- **Un apport d'oxygène** : le vent active la combustion ;
- **Un combustible** (végétation) : le risque de feu est lié à différents paramètres : sécheresse, état d'entretien de la forêt, composition des différentes strates de végétation, essences forestières constituant les peuplements, relief, etc.

Le risque d'incendie apparaît donc comme étant faible.

- **Mouvements de terrain et aléa retrait-gonflement des argiles**

Les mouvements de terrain regroupent un ensemble de déplacements, plus ou moins brutaux, du sol ou du sous-sol, d'origine naturelle ou anthropique. Les volumes en jeux sont compris entre quelques mètres cubes et quelques millions de mètres cubes. Les déplacements peuvent être lents (quelques millimètres par an) ou très rapides (quelques centaines de mètres par jour).

- Relatif à la présence de cavités

Bien que recensé comme présentant des risques liés aux mouvements de terrain par affaissement/effondrement et par tassement différentiel, **le secteur d'implantation potentielle n'est concerné par aucun Plan de Prévention des Risques liés aux mouvements de terrain ou aux cavités souterraines**. Les cavités et les mouvements de terrain les plus proches du projet sont présentés sur la carte suivante, on notera qu'aucun n'est recensé sur la zone d'implantation potentielle

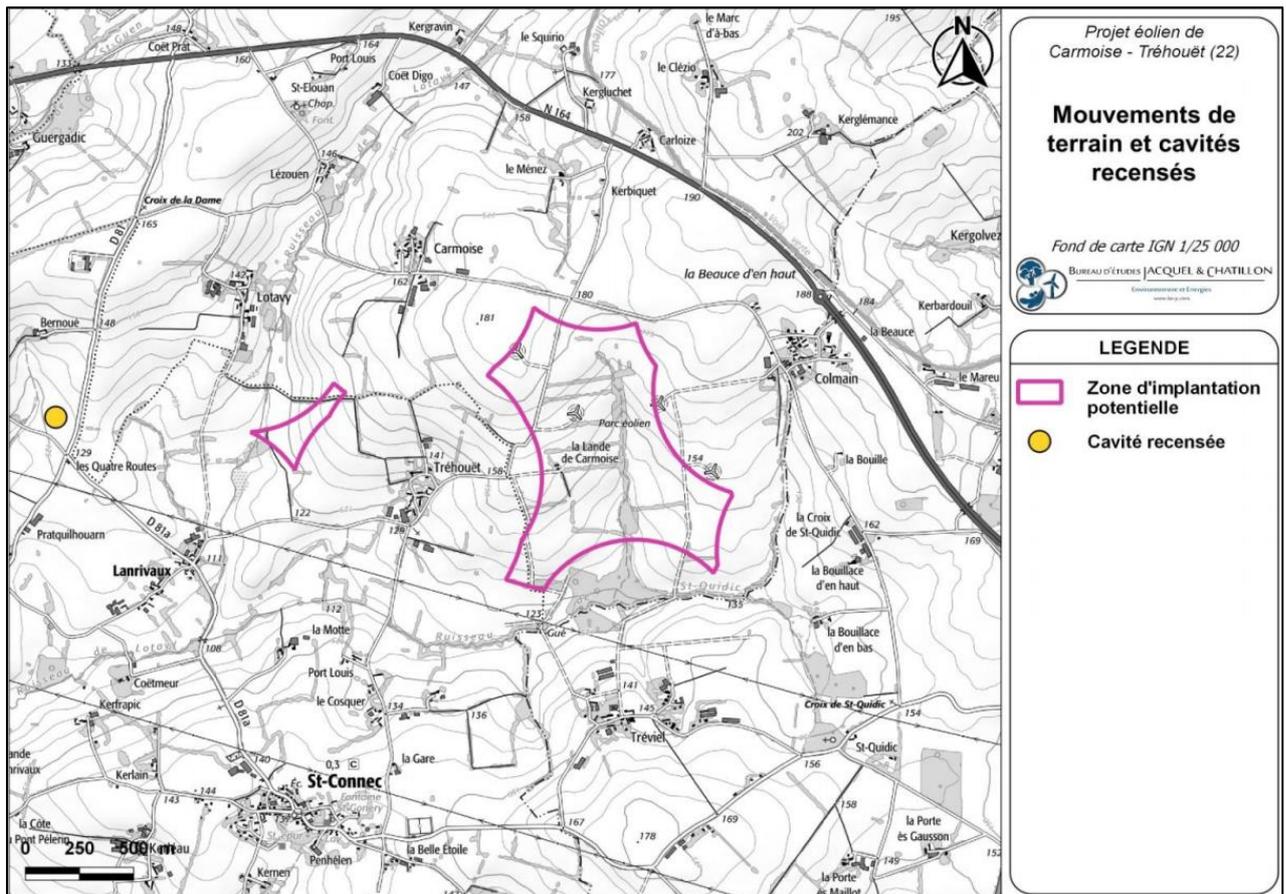


Figure 25 : Recensement des cavités souterraines connues (Source : BE Jacquel et Chatillon d'après données BRGM)

Par conséquent, l'enjeu sur la zone est faible en termes de risques liés aux mouvements de terrain et cavités.

- Relatif à l'aléa retrait-gonflement des argiles

Le phénomène de retrait – gonflement des formations est engendré par les propriétés argileuses des sols soumis à des phases successives de sécheresse et réhydratation. Le risque ici est principalement corrélé à la présence de limons. La zone d'implantation potentielle est donc concernée ici par un aléa retrait – gonflement des argiles nul à faible. Ce risque potentiel sera néanmoins pris en compte, principalement au moment de l'élaboration des massifs de fondation

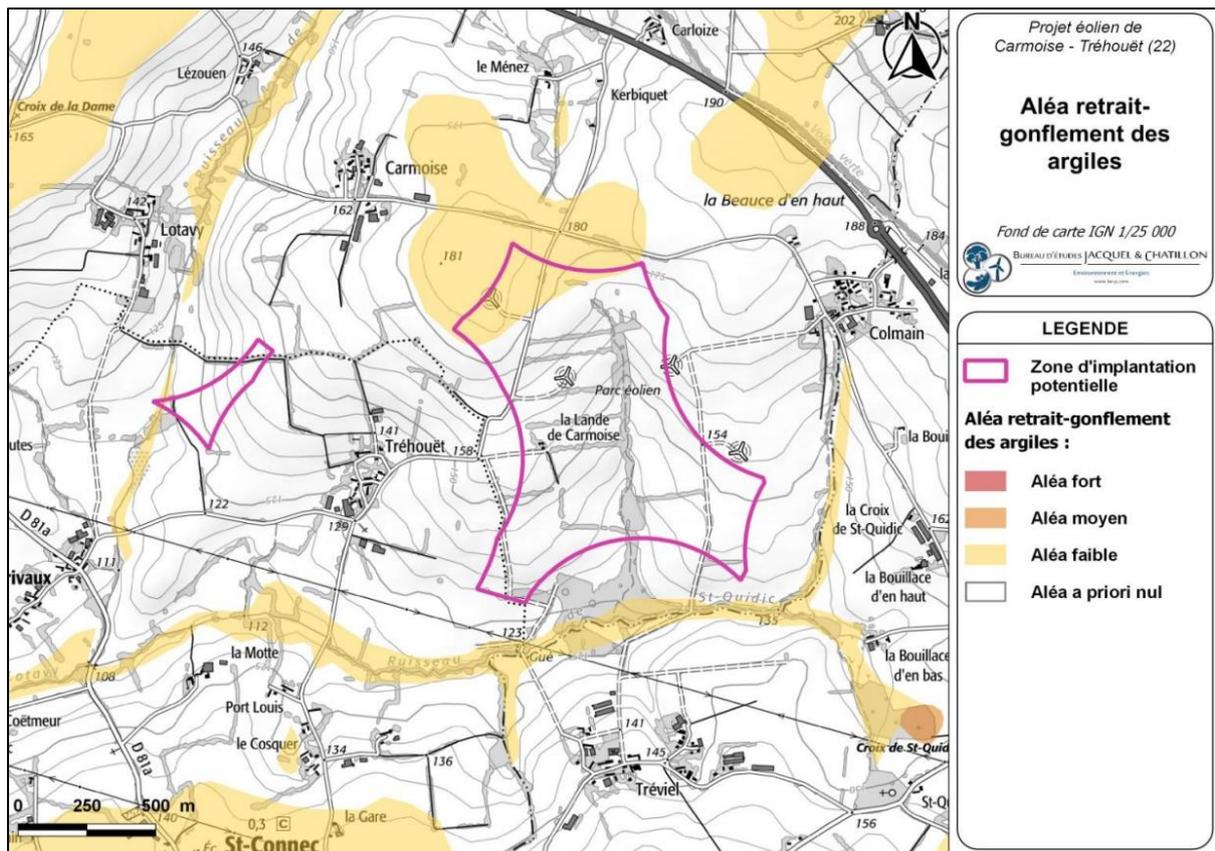


Figure 26 : Carte du risque de retrait-gonflement des argiles (Source : BE Jacquet et Chatillon d'après données BRGM)

L'enjeu sur la zone d'implantation potentielle vis-à-vis des aléas de retrait-gonflement des argiles est donc considéré comme nul à faible.

L'ensemble de ces points sera confirmé ou infirmé par la réalisation de sondages lors de la phase de travaux.

- **Impact sur les risques naturels en phase de chantier**

La construction d'un parc éolien n'a pas d'impact sur les risques naturels. En effet, le chantier n'est pas de nature à augmenter la sismicité d'un territoire, ou sa sensibilité au risque d'inondation. Il ne crée pas non plus de mouvements de terrains ni de feu de forêts.

Aucun impact n'est donc attendu sur les risques naturels en phase de chantier.

- **Conclusion**

Comme détaillé précédemment, Les communes de Guerlédan et Saint-Connec sont répertoriées à risque d'inondation par crue à débordement lent. La zone d'implantation potentielle de l'éolienne se trouvant sur un point « haut » du relief, elle ne sera pas exposée à un risque d'inondation important, bien que des « zones potentiellement sujettes aux inondations de cave » soient localement signalées. Concernant les autres risques naturels, le site du projet est peu exposé aux mouvements de terrain (même si les deux communes sont recensées comme présentant des risques liés aux mouvements de terrain par affaissement/effondrement et par tassement différentiel), aux risques kérauniques, sismiques (niveau 2 « faible » sur 5) ou aux risques d'incendies. L'aléa retrait – gonflement des argiles est estimé a priori nul à faible, ce qui ne présente donc pas ici de risque pour les nouveaux aménagements.

Le parc éolien de Carmoise-Tréhouët n'aura donc pas d'impact sur les risques naturels.

IV.3 ENVIRONNEMENT MATERIEL

IV.3.1 VOIES DE COMMUNICATION

Les seules routes sillonnant la zone d'étude de danger sont des routes communales et chemins ruraux qui maillent le secteur du projet, desservant les villages et hameaux environnant, les parcelles agricoles et le parc éolien de la Lande de Carmoise.

A proximité de la zone d'étude, l'unique voie de circulation considérée comme structurantes (voir définition ci-après) est la route nationale RN 164 passant à environ 700 mètres au Nord-Est de la zone d'étude, avec un trafic de 5000 véhicules/jour sur ce tronçon en 2016. La RD 700, route classée à grande circulation à 2x2 voies (ou ayant vocation à être aménagée à 2x2 voies), est quant à elle située à plus de 9 km de la zone d'étude. La route départementale D7 qui relie Saint-Connec au département du Morbihan passe à 1,4 km au Sud-Est de la zone d'étude avec un trafic avoisinant les 1400 véhicules/jour en 2016.

Parmi les principaux axes non-structurants, la route départementale D81A reliant Saint-Connec à Saint-Guen à 900 mètres à l'Est de la zone d'étude présente un trafic 300 véhicules/jour.

Source : datarmor.cotesdarmor.fr.

La zone d'implantation potentielle est bien desservie par un réseau routier dense.

- **Définition du trafic**

Une infrastructure routière est qualifiée de structurante lorsque son trafic est supérieur à 2 000 véhicules par jour.

Remarque : Le Conseil Départemental des Côtes-d'Armor ne réalise pas de comptage routier pour les voies communales et les chemins ruraux et d'exploitation, leur trafic étant estimé bien en-deçà de 2 000 véhicules par jour. Aucune voie de circulation structurante n'est à signaler dans la zone d'étude.

Ainsi, **aucune infrastructure routière sur laquelle le Projet Eolien de Carmoise-Tréhouët serait susceptible d'avoir un impact majeur en termes de sécurité n'est présente sur la zone d'étude.**

- **Eloignement des éoliennes**

L'article A3 du PLUi en vigueur sur le territoire de l'ancienne commune de Saint-Guen régit la distance à respecter entre les constructions et les voies et emprises publiques. Il préconise :

- **100 mètres** de part et d'autre de l'axe de la RN 164, pour les tronçons à 2x2 voies et **75 mètres** dans les autres cas ;
- **100 mètres** de part et d'autre de l'axe de la RD 700 ;

Au regard des distances séparant ces axes de circulation et le projet de Parc éolien de Carmoise-Tréhouët, ce dernier respecte le cadre réglementaire sur la distance à respecter entre les constructions et les voies et emprises publiques.

Remarque : Aucune réglementation spécifique n'existe par rapport aux routes et aux voies communales.

L'enjeu concernant cette thématique est donc très faible.

IV.3.2 RESEAUX PUBLICS ET PRIVÉS

- **Réseau électrique et téléphonique**

La zone d'étude de dangers est traversée au Sud par une HTB. Cette ligne à haute tension d'au moins 63 kV est exploitée et entretenue par RTE. Pour l'installation des éoliennes, leurs services de maintenance indiquent une distance à respecter équivalente à la hauteur d'une machine en bout de pale majorée de 20 m par rapport à l'installation. Cela permet d'éviter les conséquences d'une chute ou de la projection de matériaux pour la sécurité des personnes et des biens. **L'éolienne E1, la plus proche de cette ligne, sera implantée à 180 m et la hauteur des machines envisagées étant de 150 m en bout de pales maximum, cette préconisation de sécurité sera respectée.**

Un faisceau hertzien militaire traverse la Zone d'Implantation Potentielle. Les perturbations liées à l'implantation d'un parc éolien sur ces installations sont à éviter. Les services concernés de l'armée ont été consultés et indiquent qu'un plafond de 300 mètres NGF doit être respecté afin d'éviter toute influence sur le faisceau hertzien. **Les éoliennes installées sous le faisceau hertzien ne dépasseront pas cette hauteur maximale.**

- **Réseau de transport de gaz**

Aucune conduite de gaz n'est recensée au sein de la Zone d'Implantation Potentielle du projet.

IV.4 CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE

En conclusion de ce chapitre de l'étude de dangers, une cartographie lisible pour chaque aérogénérateur permet d'identifier géographiquement les enjeux à protéger dans la zone d'étude :

- Le nombre de personnes exposées par secteur (champs, routes, habitations...),
- La localisation des biens, infrastructures et autres établissements.

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.

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. Suivant les scénarios qui seront traités dans la suite de cette étude de dangers, différents rayons d'impact seront étudiés. Afin de mieux appréhender ces différentes zones, les figures et tableaux ci-après présentent pour chaque rayon une cartographie de synthèse par éolienne, ainsi que les pourcentages et nombre de personne équivalente par type de cible. Toutes ces figures sont basées sur le même modèle.

NB : Dans le comptage des enjeux humains, **le hangar agricole** situé à l'Ouest de l'éolienne E1, est **une zone d'activité** mais celle-ci est intégrée dans la même catégorie que les routes non-structurantes. On considère en effet avec prudence que **2 personnes** travaillent **12h par jour** sur cette surface de **1 hectare**, et que ces personnes sont présentes sur ce site pendant **1/10 de leurs temps de travail**, on calcul ainsi : $2 \cdot (12/24) \cdot 1 \cdot (1/10) = 1/10$ **de personne permanente par hectare**, ce qui est équivalent au nombre de personnes permanentes sur les routes non-structurantes.

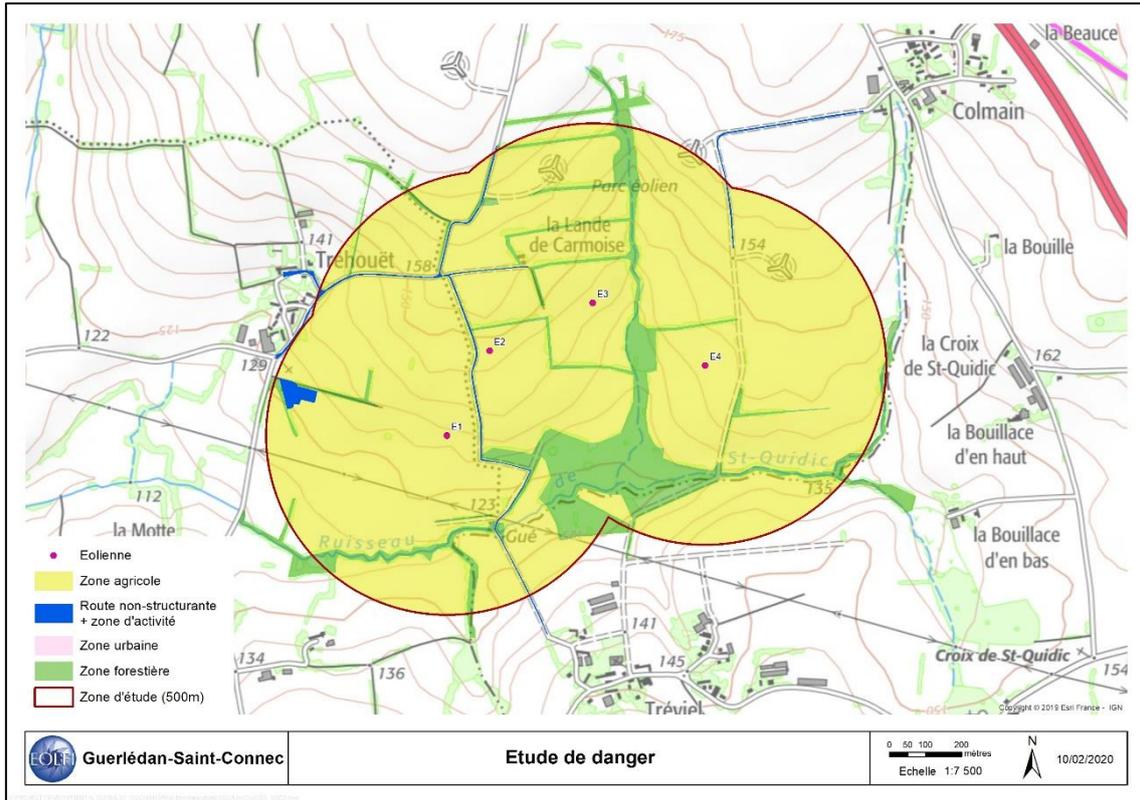
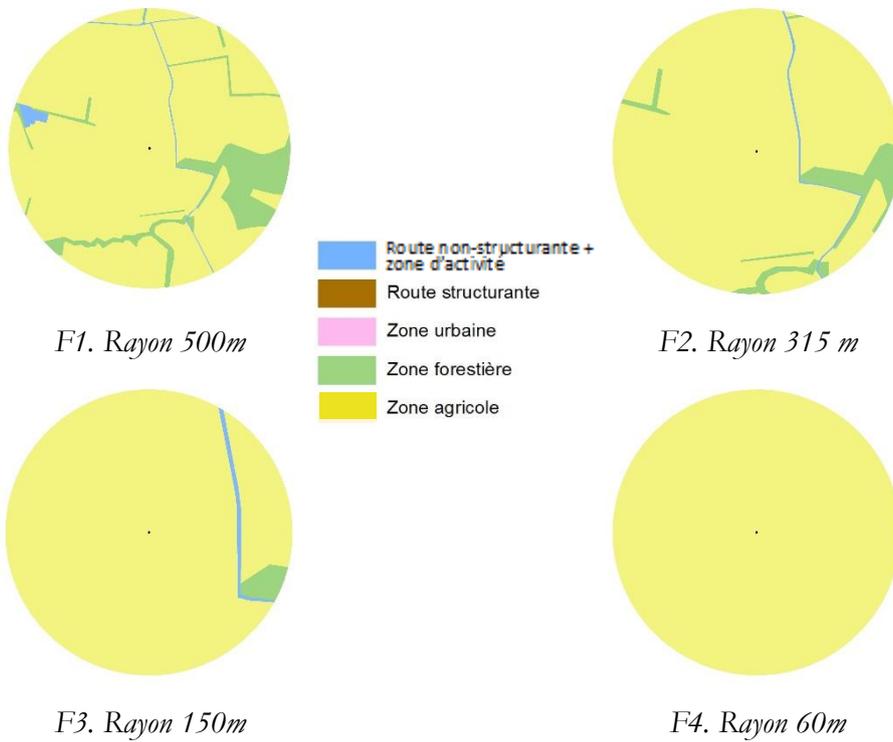


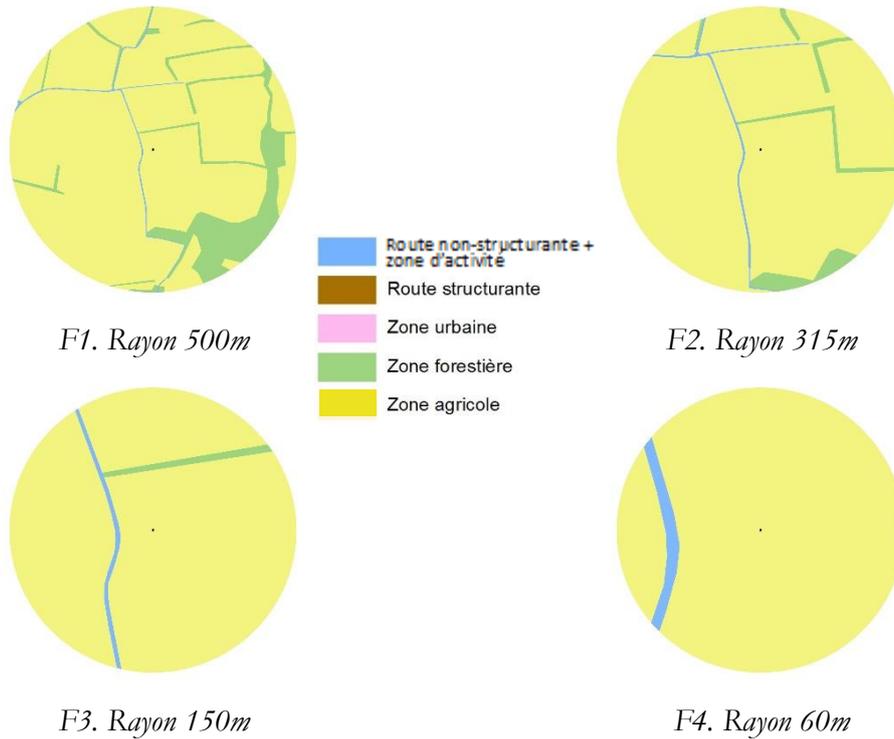
Figure 27 : Cartographie de synthèse du périmètre d'étude du projet éolien de la Carmoise-Tréhouët (source : PARC EOLIEN COTES ARMOR 1)

Eolienne1_ E1



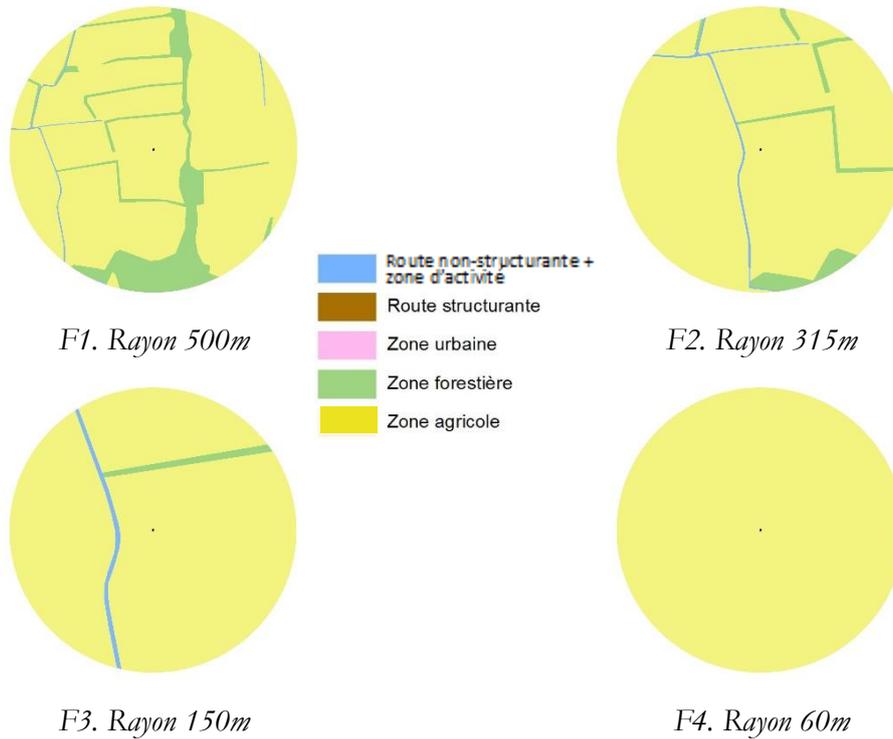
Eolienne 1 _E1	Rayon d'étude (m)			
	500	315	150	60
Agriculture				
Surface (en m ²)	689751.46	288724.40	68493.80	11309.47
% Surfacique	87.82%	92.62%	96.90%	100.00%
Equivalent personne	0.69	0.29	0.07	0.01
Forêt				
Surface (en m ²)	86088.76	20409.42	1264.93	0.00
% Surfacique	10.96%	6.55%	1.79%	0.00%
Equivalent personne	0.09	0.02	0.00	0.00
Route non structurante + (zone d'activité)				
Surface (en m ²)	9555.49	20409.42	1264.93	0.00
% Surfacique	1.22%	0.83%	1.31%	0.00%
Equivalent personne	0.10	0.03	0.01	0.00
Chemin de randonnée				
Linéaire (en m)	0.00	0.00	0.00	0.00
Equivalent personne	0.00	0.00	0.00	0.00
Route structurante				
Linéaire (en m)	0.00	0.00	0.00	0.00
Equivalent personne	0.00	0.00	0.00	0.00
Total				
Equivalent personne total	0.87	0.34	0.08	0.01

Eolienne2_ E2



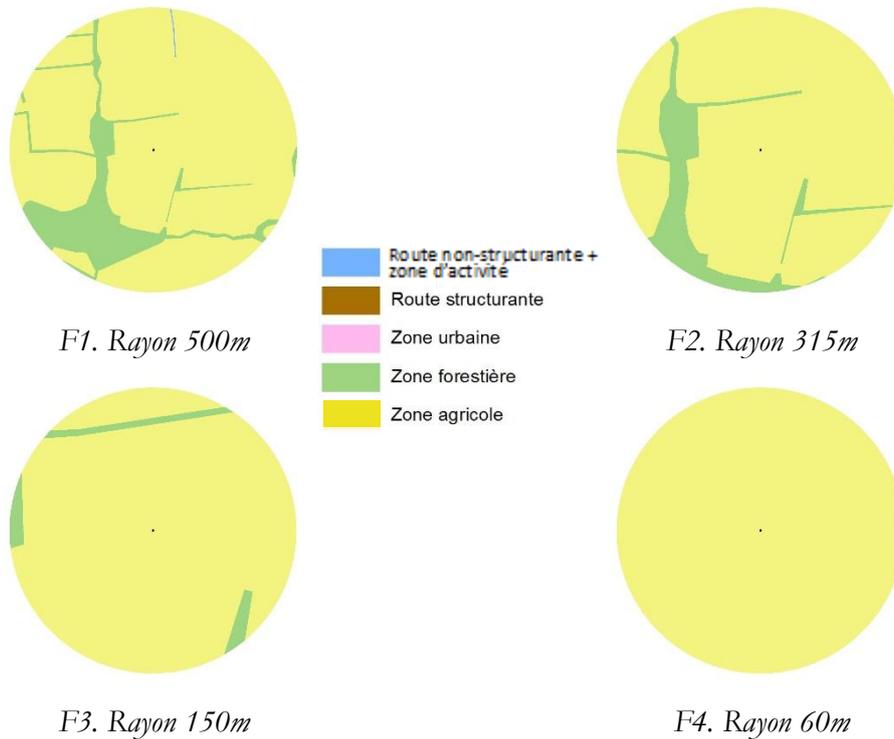
Eolienne 2 _E2	Rayon d'étude (m)			
	500	315	150	60
Agriculture				
Surface (en m ²)	683806.32	294204.36	68264.41	10945.26
% Surfacingue	87.06%	94.38%	96.57%	96.78%
Equivalent personne	0.68	0.29	0.07	0.01
Forêt				
Surface (en m ²)	101714.47	32553.67	6284.04	0.00
% Surfacingue	12.04%	4.40%	1.71%	0.00%
Equivalent personne	0.09	0.01	0.00	0.00
Route non structurante + Hangars agricoles				
Surface (en m ²)	7047.91	3792.20	1211.26	364.30
% Surfacingue	0.90%	1.22%	1.71%	3.22%
Equivalent personne	0.07	0.04	0.01	0.00
Chemin de randonnée				
Linéaire (en m)	0.00	0.00	0.00	0.00
Equivalent personne	0.00	0.00	0.00	0.00
Route structurante				
Linéaire (en m)	0.00	0.00	0.00	0.00
Equivalent personne	0.00	0.00	0.00	0.00
Total				
Equivalent personne total	0.85	0.35	0.08	0.01

Eolienne3_ E3



Eolienne 3_E3	Rayon d'étude (m)			
	500	315	150	60
Agriculture				
Surface (en m ²)	678305.52	278819.91	64401.22	11309.51
% Surfacing	86.36%	89.44%	91.11%	100.00%
Equivalent personne	0.68	0.28	0.06	0.01
Forêt				
Surface (en m ²)	101714.47	32553.67	6284.04	0.00
% Surfacing	12.95%	10.44%	8.89%	0.00%
Equivalent personne	0.10	0.03	0.01	0.00
Route non structurante + Hangars agricoles				
Surface (en m ²)	5376.05	349.52	0.00	0.00
% Surfacing	0.68%	0.11%	0.00%	0.00%
Equivalent personne	0.05	0.00	0.00	0.00
Chemin de randonnée				
Linéaire (en m)	0.00	0.00	0.00	0.00
Equivalent personne	0.00	0.00	0.00	0.00
Route structurante				
Linéaire (en m)	0.00	0.00	0.00	0.00
Equivalent personne	0.00	0.00	0.00	0.00
Total				
Equivalent personne total	0.83	0.31	0.07	0.01

Eolienne4_ E4



Eolienne 4 _E4	Rayon d'étude (m)			
	500	315	150	60
Agriculture				
Surface (en m ²)	676510.79	273174.26	67703.42	11309.72
% Surfacing	86.14%	87.63%	95.78%	100.00%
Equivalent personne	0.68	0.27	0.07	0.01
Forêt				
Surface (en m ²)	108243.30	38548.82	2981.77	0.00
% Surfacing	13.78%	12.37%	4.22%	0.00%
Equivalent personne	0.11	0.04	0.00	0.00
Route non structurante + Hangars agricoles				
Surface (en m ²)	640.92	0.00	0.00	0.00
% Surfacing	0.08%	0.00%	0.00%	0.00%
Equivalent personne	0.01	0.00	0.00	0.00
Chemin de randonnée				
Linéaire (en m)	0.00	0.00	0.00	0.00
Equivalent personne	0.00	0.00	0.00	0.00
Route structurante				
Linéaire (en m)	0.00	0.00	0.00	0.00
Equivalent personne	0.00	0.00	0.00	0.00
Total				
Equivalent personne total	0.79	0.31	0.07	0.01

IV.5 SYNTHÈSE DES CIBLES

Dans le périmètre d'étude, 4 types de cibles ont été identifiés et sont présentés dans le tableau.

Dénomination de la cible	Distance en (m) par rapport à la plus proche éolienne	Localisation par rapport à la plus proche éolienne
Terrain agricole	0	Les éoliennes sont implantées en terrains agricoles
Bois	60	Au Nord de l'éolienne E2
Route non structurante (+zone d'activité)	30	A l'ouest de l'éolienne E2

Tableau 10 : Synthèse des cibles présentes dans le périmètre d'étude (Source : PARC EOLIEN COTES ARMOR 1)

NB : Dans le comptage des enjeux humains, le **hangar agricole** situé à l'Ouest de l'éolienne E1, est **une zone d'activité** mais celle-ci est intégrée dans la même catégorie que les routes non-structurantes. On considère en effet avec prudence que **2 personnes** travaillent **12h par jour** sur cette surface de **1 hectare**, et que ces personnes sont présentes sur ce site pendant **1/10 de leurs temps de travail**, on calcul ainsi : **$2 \cdot (12/24) \cdot 1 \cdot (1/10) = 1/10$** de **personne permanente par hectare**, ce qui est équivalent au nombre de personnes permanentes sur les routes non-structurantes.

V. 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 IV), au regard notamment de la sensibilité de l'environnement décrit précédemment.

V.1 CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION

V.1.1 CARACTERISTIQUES GENERALES D'UN PARC EOLIEN

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 V.3.1) :

- Plusieurs éoliennes fixées sur une fondation adaptée, accompagnée d'une aire stabilisée appelée « plateforme » ou « aire de grutage »
- Un réseau de câbles électriques enterrés permettant d'évacuer l'électricité produite par chaque éolienne vers le ou les poste(s) de livraison électrique (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
- Éventuellement des éléments annexes type mât de mesure de vent, aire d'accueil du public, aire de stationnement, etc.

V.1.1.1 ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UN AEROGENERATEUR

Au sens 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, 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 composé de 3 à 4 tronçons en acier ou 15 à 20 anneaux de béton surmonté d'un ou plusieurs tronçons en acier. 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 qui transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique ;
 - 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.

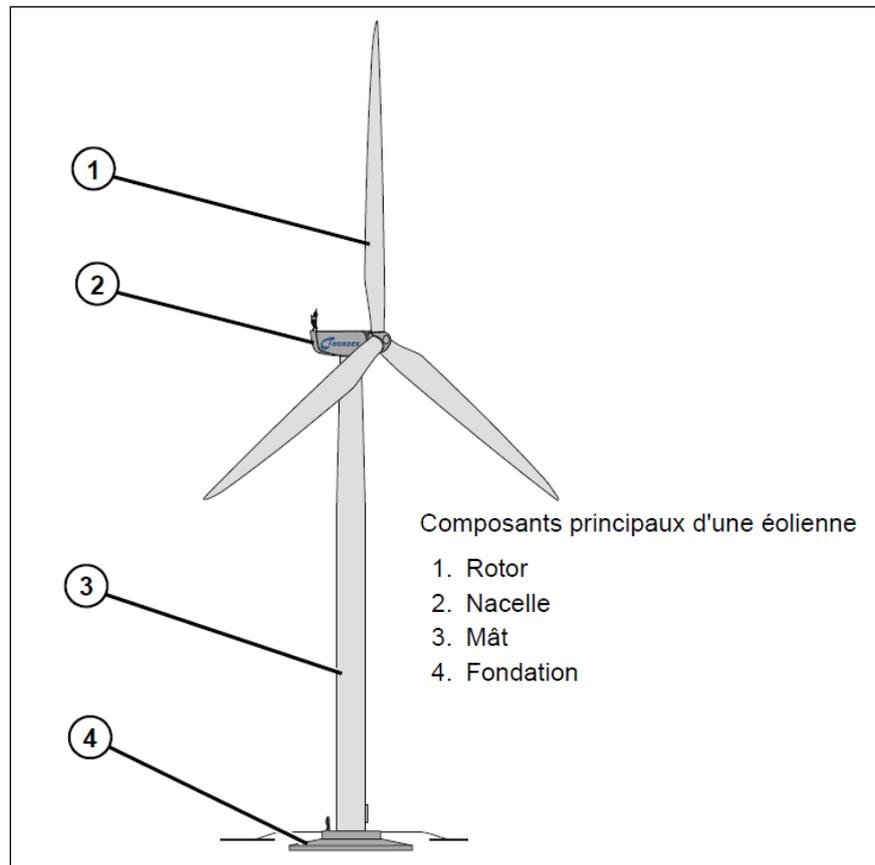


Figure 28 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

V.1.1.2 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.

V.1.1.3 CHEMINS D'ACCES

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

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

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

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

V.1.2 ACTIVITE DE L'INSTALLATION

L'activité principale du projet éolien de Carmoise-Tréhouët est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur (mât + pale) de 150 m. Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

V.1.3 COMPOSITION DE L'INSTALLATION

Le projet éolien de Carmoise-Tréhouët est composé de 4 aérogénérateurs et de 3 postes de livraison.

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs et des postes de livraison (Système de coordonnées utilisé : WGS 84 Degrés/Minutes/Secondes) :

Numéro de l'éolienne	Latitude	Longitude	Altitude au sol (en m)	Altitude cumulée (en m)
E1	48°11'16.6020" N	2°54'30.4603" O	134.37	284.37
E2	48°11'24.5342" N	2°54'25.5337" O	149.39	299.39
E3	48°11'29.5073" N	2°54'12.3181" O	142.28	292.28
E4	48°11'24.6379" N	2°53'56.6711" O	140.89	290.89
PDL 1	48°11'30.9354"N	2°54'31.0075"O	159.11	161.93
PDL 2	48°11'56.1761"N	2°54'5.6948"O	179.80	182.62
PDL3	48°11'24.5998"N	2°53'54.1165"O	143.28	146.10

Tableau 11: Coordonnées géographiques des éoliennes et postes de livraison

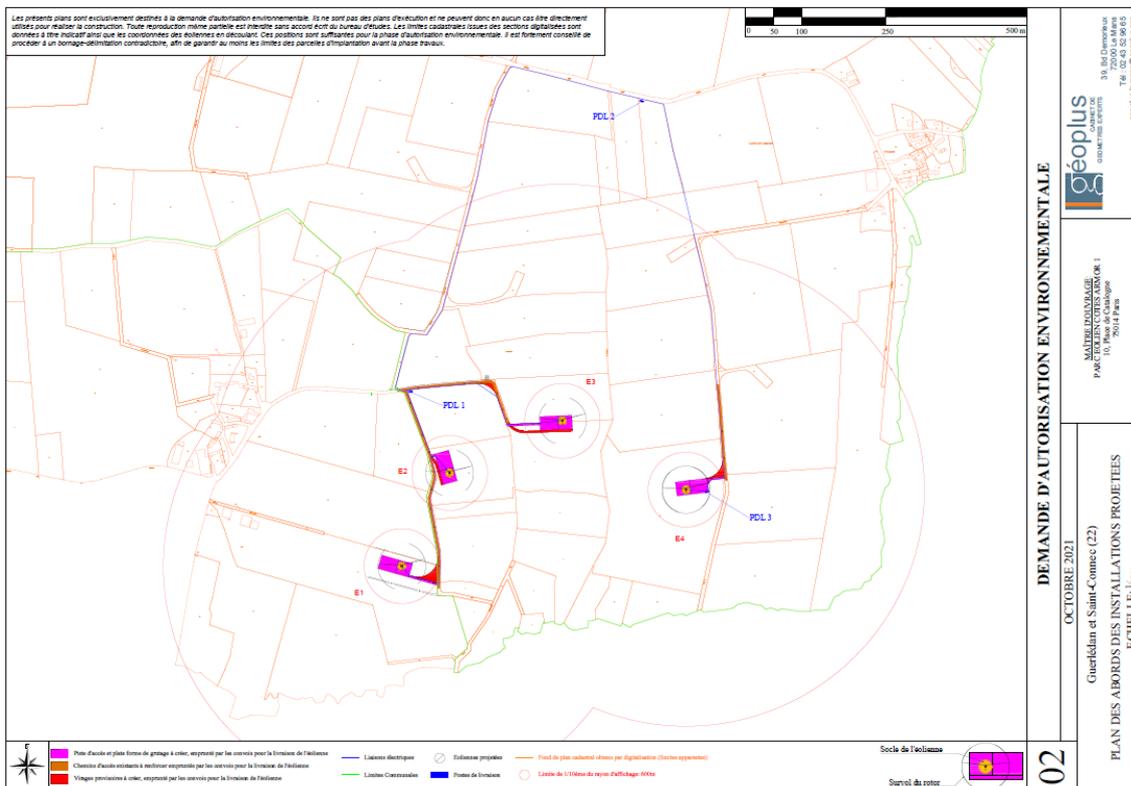


Figure 29 : Plan d'implantation du projet éolien de Carmoise-Tréhouët

V.2 FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

V.2.1 PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN AEROGENERATEUR

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 km/h à hauteur de nacelle, l'éolienne fournit sa puissance maximale. Cette puissance est dite « nominale ».

Pour un aérogénérateur de 3.4 MW par exemple, la production électrique atteint 3 400 kW dès que le vent atteint environ 45 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 90 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.

Le tableau ci-dessous résume les caractéristiques de l'éolienne Vensys VE120, qui est l'éolienne utilisée dans le cadre de cette étude de dangers pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët.

Elément de l'installation	Fonction	Caractéristiques
Fondation	<i>Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol</i>	<ul style="list-style-type: none"> • En béton armé ; • <u>Dimension</u> : Design adapté en fonction des études géotechniques et hydrogéologiques réalisées avant la construction.
Mât	<i>Supporter la nacelle et le rotor</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Composition</u> : Tubulaire en acier (ou hybride béton/acier pour le mât de 140 m) ; • <u>Protection contre la corrosion</u> : Revêtement multicouche résine-époxy ; • <u>Fixation du pied du mât</u> : Cage d'ancrage en acier noyée dans le béton de fondation.
Nacelle	<i>Supporter le rotor Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice, etc.) ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <u>Le rotor</u> : Constitué du moyeu, sur lequel sont fixées les pales. Tournant autour de l'axe de l'essieu et entraînant le rotor de la génératrice. • <u>La génératrice multipôle</u> : Technologie synchrone à double alimentation et aimants permanents. Vitesse nominale : 12,75 rpm • <u>Multiplification</u> : Technologies « direct drive ». Puissance nominale : 3000 kW.
Rotor / pâles	<i>Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice</i>	<ul style="list-style-type: none"> • 3 par machine ; • <u>Longueur pôle</u> : 58,7 m ; • <u>Surface balayée</u> : 11 291 m² ; • Constitué d'un seul bloc de plastique renforcé de fibre de verre (PRV), protection contre la foudre intégrée ; • <u>Contrôle de vitesse</u> : Variable via microprocesseur ; • <u>Contrôle de survitesse</u> : Pitch électro-motorisé indépendant sur chaque pôle ; • Orientation active des pales face au vent.
Transformateur	<i>Elever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau</i>	<ul style="list-style-type: none"> • A l'intérieur du mât et protégé ; • Tension de 20 kV à la sortie (modifiable) et fréquence 50Hz/60 Hz.
Poste de livraison	<i>Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public</i>	Equipé de différentes cellules électriques et automates qui permettent la connexion et la déconnexion du parc éolien au réseau 20kV (modifiable).

Tableau 12 : Synthèse du fonctionnement des aérogénérateurs selon le tableau type de l'INERIS/SER/FEE, 2012 (Source : Vensys)

V.2.2 SECURITE DE L'INSTALLATION

V.2.2.1 REGLES DE CONCEPTION ET SYSTEME QUALITE

La liste des codes et standards appliqués pour la construction des éoliennes Vensys, 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. Tous les aérogénérateurs font l'objet d'une certification de type selon le référentiel GL2010 et respect donc les exigences de la norme IEC 61400-1. Ainsi, la nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard : IEC61400-1. Les pales respectent le standard IEC61400-1 ; 12 ; 23.
- La génératrice est construite suivant le standard IEC60034 code 1 et IEC 60034 code II
- La conception du multiplicateur répond aux règles fixées par la norme ISO81400-4.
- Tous les aérogénérateurs Vensys suivent les exigences des normes IEC 61400-24 Ed1 (de juin 2010) et appartiennent à la Classe de Protection Foudre I.
- Les niveaux acoustiques répondent au standard IEC 61400-11 Ed3.0
- Les éoliennes Vensys répondent aux réglementations qui concernent les ondes électromagnétiques, notamment la Directive 2004/108/EC du 15 décembre 2004
- L'aérogénérateur dans son intégralité est conforme à la Directive dite Machine 2006/42/CE du 17 mai 2006. A fortiori, l'équipement électrique interne en respecte les dispositions.
- Les éoliennes Vensys 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 de éoliennes envisagées sur le projet éolien de Carmoise-Tréhouët, font l'objet d'évaluations de conformité (tant lors de la conception que lors de la construction), de certifications (de type certifications CE) par un organisme agréé et de déclarations de conformité aux standards et directives applicables (voir en Annexe 6).

V.2.2.2 CONFORMITE AUX PRESCRIPTIONS DE L'ARRETE MINISTERIEL

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.

Cela concerne notamment :

- 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 en vigueur au 13 juillet 2010 et de 300 mètres d'une installation nucléaire,
- 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 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,
- L'installation conforme aux dispositions de l'article R. 111-38 du code de la construction et de l'habitation,
- Le respect des normes suivantes : norme IEC 61 400-24 (version de juin 2010), normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NFC 13-100 (version de 2001) et NFC 13-200 (version de 2009),

- L'installation conforme aux dispositions de la directive du 17 mai 2006 susvisée qui leur sont applicables,
- Le balisage de l'installation conformément aux dispositions prises en application des articles L. 6351-6 et L.6352-1 du code des transports et des articles R. 243-1 et R. 244-1 du code de l'aviation civile,
- Le maintien fermé à clé des accès à l'intérieur de chaque aérogénérateur, du poste de transformation, de raccordement ou de livraison, afin d'empêcher les personnes non autorisées d'accéder aux équipements,
- 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.

V.2.2.3 *GESTION A DISTANCE DU FONCTIONNEMENT DES EOLIENNES*

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 Vensys sont surveillées et pilotées à distance.

❖ **Pilotage à distance**

Pour cela, les installations Vensys 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. Ce système SCADA est complété par une interface XML qui est accessible sur PC hors réseau de fibre optique. 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.

Le système de commande est installé à la fois dans la nacelle et dans la base de la tour. Les deux systèmes peuvent être actionnés par leur propre affichage. 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.).

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

❖ **Intervention locale**

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

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

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.

❖ **Formation des personnels**

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

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

V.2.3 OPERATIONS DE MAINTENANCE DE L’INSTALLATION

Les opérations de maintenance préventives préconisées par Vensys sont détaillées dans des manuels dédiés. Le suivi de ces préconisations est impératif car leur respect conditionne le maintien opérationnel de l’éolienne et de ses fonctions de sécurité.

Le manuel de maintenance de chaque aérogénérateur est par ailleurs dûment établi et validé dans le cadre de sa certification-type. Ces opérations incluent des contrôles visuels, vérification de serrages, graissages, changement d’huile, vérification de niveaux, test des systèmes de sécurité, remplacement des charbons des collecteurs, mesures de niveau d’isolement électrique, etc... qui sont semestriels ou annuels.

De plus, des essais d’arrêt, d’arrêt d’urgence et de simulation de survitesse sont réalisés lors de mise en service de l’aérogénérateur ainsi que lors des opérations de maintenance préventive (dont la périodicité n’excède pas 1 an).

Le contrôle visuel et de serrage des brides de fixations, des brides de mât, de la fixation des pâles et un contrôle visuel du mât font partie des opérations de maintenance préventive de l’aérogénérateur. Ils sont consignés et répertoriés dans les protocoles de maintenance, mis à disposition des exploitants. Ces contrôles interviennent 3 mois, puis un an après la mise en service de l’aérogénérateur, puis avec une périodicité inférieure à un an pour le contrôle visuel et de serrage. De même, le contrôle des systèmes instrumentés de sécurité est effectué lors de chaque maintenance préventive, d’une périodicité inférieure à un an. Le serrage des brides de fixations et du mat est réalisé tous les deux ans sur un échantillon tournant permettant la révision complète à terme des serrages de chaque vis de toutes les brides.

Ces opérations sont détaillées et regroupées par ensemble fonctionnel de l’aérogénérateur : ils constituent une check-list suivie par les équipes de maintenance, dûment renseignée, signée, et mise à la disposition des exploitants au terme de chaque opération de maintenance. Ces opérations de maintenance sont accompagnées de mesures de sécurité strictes fournies par le constructeur à destination des opérateurs.

A titre d’exemple, voici les rubriques du manuel de sécurité relatives à la maintenance d’un aérogénérateur Vensys :

La sécurité, en général		Sauvetage	
1	Description	1	Appel d’urgence
Protection contre les montées et les chutes		2	Premiers secours
1	En général	3	Voies d’évacuation et sortie de secours
2	Système de protection utilisé	4	Équipement de protection individuelle (EPI)
3	Normes	5	Protection contre les chutes d’objets
4	Aide à l’escalade	6	Transport de matériel avec la grue de service
5	Système d’ascenseurs	7	Lumières
6	Entrée dans la nacelle	8	Protection contre le bruit
		9	Manipulation de substances dangereuses
		10	Installations électriques

Tableau 13 : Rubriques du manuel de sécurité relative à la maintenance d’un aérogénérateur Vensys

V.2.4 STOCKAGE ET FLUX DE PRODUITS DANGEREUX

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

V.3 FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE L'INSTALLATION

V.3.1 RACCORDEMENT ELECTRIQUE

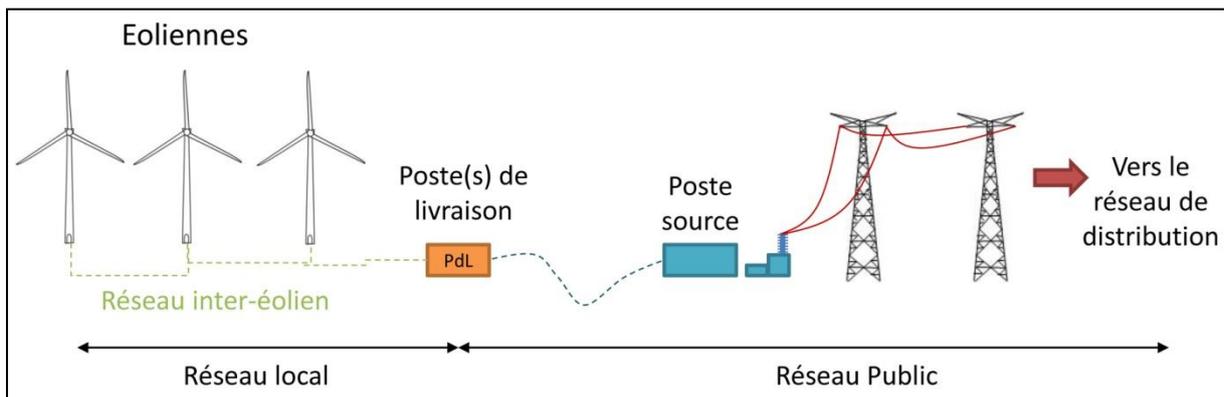


Figure 31 : Raccordement électrique des installations

❖ Réseau inter-éolien

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur, intégré ou non dans le mât de chaque éolienne³, au point de raccordement avec le réseau public. Ce réseau comporte également une liaison de télécommunication qui relie chaque éolienne au terminal de télésurveillance. Ces câbles constituent le réseau interne de la centrale éolienne, ils sont tous enfouis à une profondeur minimale de 80 cm.

❖ Poste de livraison

Les postes de livraison est le nœud de raccordement de toutes les éoliennes avant que l'électricité ne soit injectée dans le réseau public. Certains parcs éoliens, par leur taille, peuvent posséder plusieurs postes de livraison, voire se raccorder directement sur un poste source, qui assure la liaison avec le réseau de transport d'électricité (lignes haute tension). Le projet éolien de Carmoise-Tréhouët comprend 3 postes de livraison.

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.

❖ 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.

❖ Autres réseaux

Le projet éolien de Carmoise-Tréhouët ne comporte aucun réseau d'alimentation en eau potable ni aucun réseau d'assainissement. De même, les éoliennes ne sont reliées à aucun réseau de gaz.

³ Si le transformateur n'est pas intégré au mât de l'éolienne, il est situé à l'extérieur du mât, à proximité immédiate, dans un local fermé.

VI. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION

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

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

VI.1 POTENTIELS DE DANGERS LIES AUX PRODUITS

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

Une liste précise de ces produits sera établie au moment de la mise en service de l'installation.

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 les postes de livraison.

Les risques associés aux différents produits concernant le site du projet éolien de Carmoise-Tréhouët sont :

L'incendie : Des produits combustibles sont présents sur le site. Ainsi, la présence d'une charge calorifique peut alimenter un incendie en cas de départ de feu.

La toxicité : Ce risque peut survenir à la suite d'un incendie créant certains produits de décomposition nocifs, entraînés dans les fumées de l'incendie.

La pollution : En cas de fuite sur une capacité de stockage, la migration des produits liquides dans le sol peut entraîner une pollution, également en cas d'entraînement dans les eaux d'extinction incendie.

VI.2 POTENTIELS DE DANGERS LIES AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

Les dangers liés au fonctionnement du projet éolien de Carmoise-Tréhouët 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

Tableau 14: Dangers liés aux installations

VI.3 REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS A LA SOURCE

VI.3.1 PRINCIPALES ACTIONS PREVENTIVES

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.

VI.3.1.1 REDUCTION DES DANGERS LIES AUX PRODUITS

Comme précédemment indiqué, les produits présents dans une éolienne sont des lubrifiants. L'huile usagée est récupérée par un véhicule de pompage spécialisé directement dans le multiplicateur. L'huile neuve est injectée de la même manière.

L'huile récupérée est ensuite transportée :

- Directement en centre de traitement de filiales de filtrage / retraitement / élimination agréés au regard de la réglementation applicable, ou
- Directement dans le centre de maintenance en vue de sa prise en charge et de son filtrage / retraitement / élimination selon des filiales agréés au regard de la réglementation applicable

Les quantités de produits ne peuvent être diminuées et les produits lubrifiants en eux-mêmes ne peuvent faire l'objet de substitution (considérés comme non dangereux pour l'environnement si utilisés comme recommandés et combustibles mais non inflammables).

Les produits de nettoyage de type solvant, classés comme dangereux pour l'environnement peuvent quant à eux potentiellement faire l'objet de substitution. On rappelle cependant que ces produits ne sont utilisés que de manière ponctuelle et ne sont pas présents sur le site.

On note que la nacelle fait office de bac de récupération en cas de fuite au niveau de la couronne d'orientation. Le transformateur, présent dans le pied de l'éolienne ne nécessite pas de bac de récupération car un système sec est utilisé, il ne nécessite donc l'usage d'aucun lubrifiant.

La réduction des dangers liés aux produits dépend donc essentiellement de la bonne maintenance des appareils et du respect des règles de sécurité. Une attention particulière devra également être portée au transport des lubrifiants sur le site lors des phases de renouvellement.

L'ensemble des substances et produits utilisés répondent aux exigences de la Directive Européenne relative à la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances dangereuses (Directive 67/548/CEE du Conseil, du 27 juin 1967, concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives relatives à la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances dangereuses ; modifiée par le nouveau règlement (CE) N° 1272/2008 et la création de l'Agence Européenne des produits chimiques).

Aucune substance ou produit utilisé par Vensys ne sont classifiés comme CMR (Cancérogène, Mutagène, Repro-toxique) au sens de l'article R4411-1 et suivants du code du travail.

Des Equipements de Protection Individuels appropriés sont mis à disposition par l'employeur afin de protéger les opérateurs contre les risques chimiques générés par l'utilisation de certains produits.

Les dangers représentés par l'utilisation de certains produits ainsi que les mesures de prévention associées sont détaillés dans des instructions à usage interne ainsi que dans les plans de prévention des risques qui sont présents en machine et dont les opérateurs prennent connaissance avant toute intervention.

Pour quelque opération de maintenance que ce soit, l'ensemble des produits entrants sont utilisés durant les maintenances

- Les excédents sont systématiquement remportés par les équipes en fin de journée (que la maintenance soit terminée ou non) afin d'être stockés dans les centres de façon appropriée en vue de leur élimination selon la réglementation
- Les pièces défectueuses remplacées sont également remportées par les équipes afin d'être stockés dans les centres de façon appropriée en vue de leur élimination selon la réglementation
- Les déchets dangereux (chiffons souillés, contenants vides ...) générés lors des maintenances sont systématiquement remportés par les équipes en fin de journée afin d'être stockés dans les centres de façon appropriée en vue de leur élimination selon la réglementation

Par ailleurs, un nettoyage minutieux de la machine est opéré après chaque maintenance afin de s'assurer qu'aucun produit / déchet ne reste dans la machine lors du départ des équipes.

Enfin, à des fins de performance, sécurité, fiabilité mais également propreté, Vensys s'appuie sur une technologie à pitch électrique, ce qui réduit considérablement la quantité de fluides localisés dans les parties tournantes de l'éolienne.

VI.3.1.2 *REDUCTION DES DANGERS LIES AUX INSTALLATIONS*

En outre, les mesures générales de prévention limitant les risques d'accident sur le projet éolien de Carmoise-Tréhouët sont les suivantes :

- Le respect des règles de conduite et la limitation de la vitesse de circulation des engins et véhicules seront imposés. Un plan de circulation sera établi pour l'accès depuis les routes les plus proches.
- Les interventions se font par du personnel possédant l'habilitation électrique et la législation du travail dans les installations en hauteur, après visite de conformité par un organisme de contrôle agréé. Les techniciens seront formés, entraînés et autorisés. Ils sont équipés de leurs EPI.
- Des procédures d'installation et de maintenance claires et détaillées seront disponibles pour chacun des équipements.
- Le design et l'assemblage des équipements respectent les normes en vigueur et normes constructeur.

VI.3.2 *UTILISATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES*

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

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

VII. ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE

L'objectif de ce chapitre de l'étude de dangers est de rappeler les différents incidents et accidents qui sont survenus dans la filière éolienne, afin d'en faire une synthèse en vue de l'analyse des risques pour l'installation et d'en tirer des enseignements pour une meilleure maîtrise du risque dans les parcs éoliens.

Il n'existe actuellement aucune base de données officielle recensant l'accidentologie dans la filière éolienne de manière exhaustive. 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 terme 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. Par ailleurs, d'autres informations sont également utilisées dans la partie IX pour l'analyse détaillée des risques.

VII.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 éolien de Carmoise-Tréhouët. Cet inventaire se base tout d'abord sur le retour d'expérience de la filière éolienne tel que présenté dans le guide technique de conduite de l'étude de dangers (mars 2012).

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

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

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

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

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

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et 2011. 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. Elle est représentée par des histogrammes de couleur foncée ;

- La répartition des **causes premières** pour chacun des événements décrits ci-dessus. Celle-ci est donnée par rapport à la totalité des accidents observés en France. Elles sont représentées par des histogrammes de couleur claire.

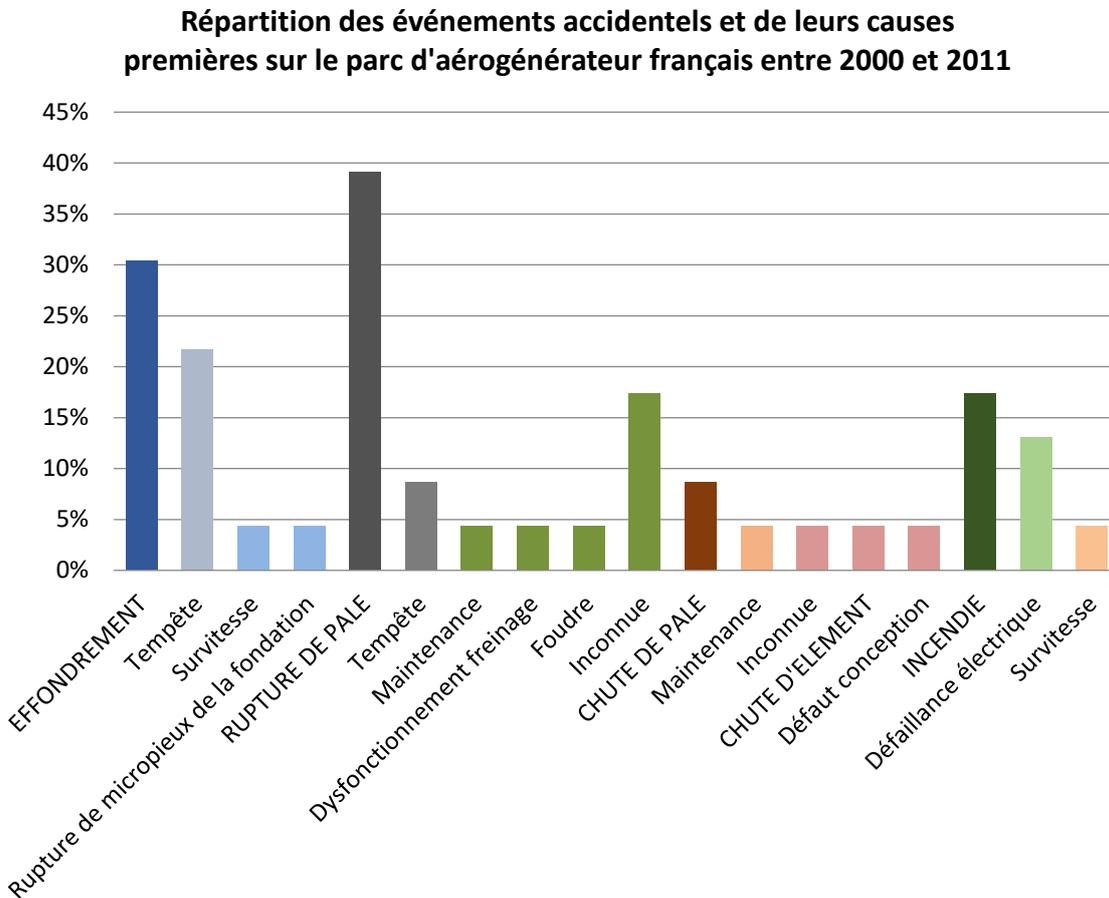


Figure 32 : Répartition par type d'accident en France entre 2000 et 2011

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

De plus, la base de données ARIA⁴ du Ministère du Développement Durable permet également de recenser les incidents survenus depuis l'année 2012. Sur le même principe que la figure ci-dessus, le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2012 et juin 2020.

⁴ <https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/>

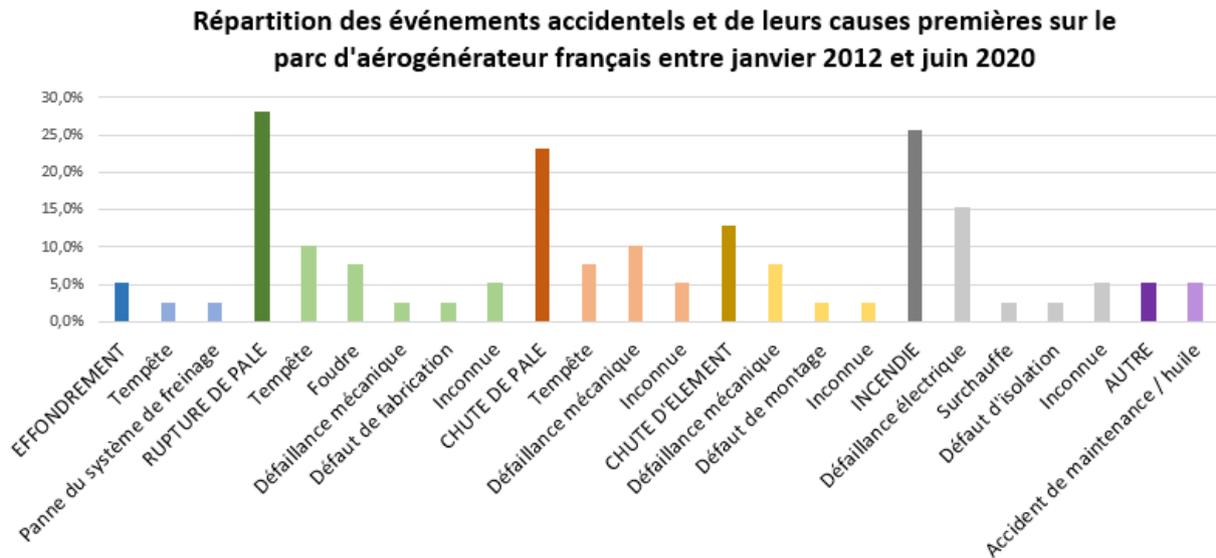


Figure 33 : Répartition par type d'accident en France entre 2012 et juin 2020 (Source : Base ARIA)

Même si la répartition des incidents en termes de pourcentage est différente que sur la période 2000-2011, en particulier la diminution des cas d'effondrement et des ruptures de pales, les principaux accidents restent toujours l'effondrement, la rupture et la chute de pale, la chute d'élément et l'incendie.

L'analyse de risques effectuée reste donc en adéquation avec les principaux incidents relevés sur la période 2012-2020.

VII.2 INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS A L'INTERNATIONAL

Un inventaire des incidents et accidents à l'international a également été réalisé.

La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF) ⁽⁵⁾. Sur les 3872 accidents décrits dans leur base de données, seuls 152 sont considérés comme des « accidents fatals ». Les autres concernant plutôt des accidents du travail, des presque-accidents, des incidents, etc. L'analyse des causes des accidents prend en compte uniquement des accidents des types effondrement, rupture de pale et incendie. En effet ces accidents sont les principaux dans le domaine de l'énergie éolienne.

Le graphique suivant montre la répartition des événements ci-dessus par rapport à la totalité des accidents analysés mondialement entre 2000 et 2020. Les ruptures de pales ont la plus forte occurrence sur la période considérée.

⁵ www.caithnesswindfarms.co.uk

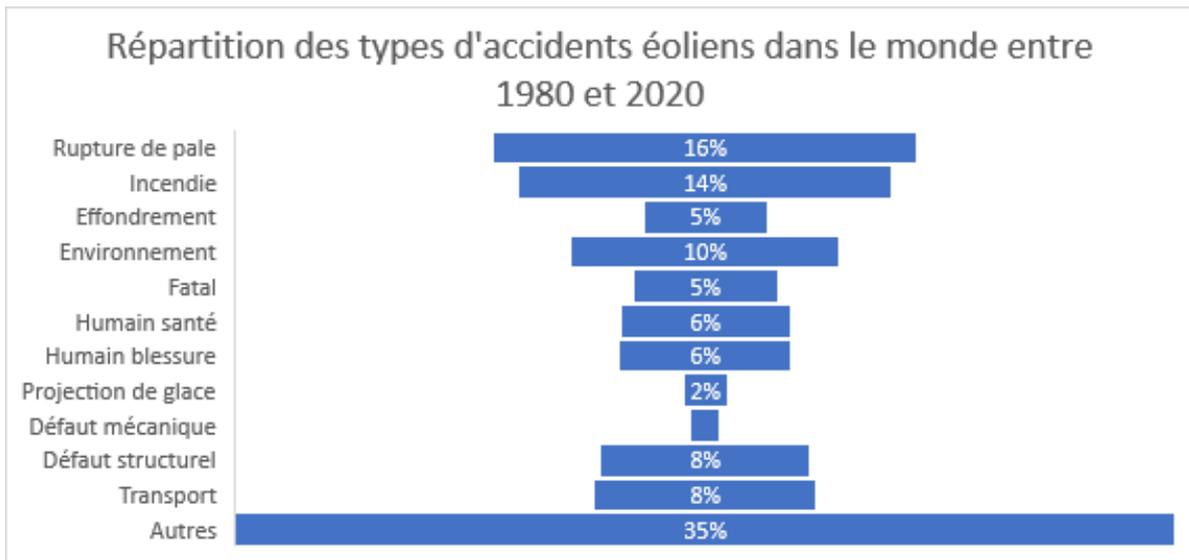


Figure 33 : Répartition des événements accidentels éoliens mondiaux entre 1980 et 2020

Ci-après, est présenté le recensement des causes premières pour les trois premiers événements accidentels recensés ci-dessus ;

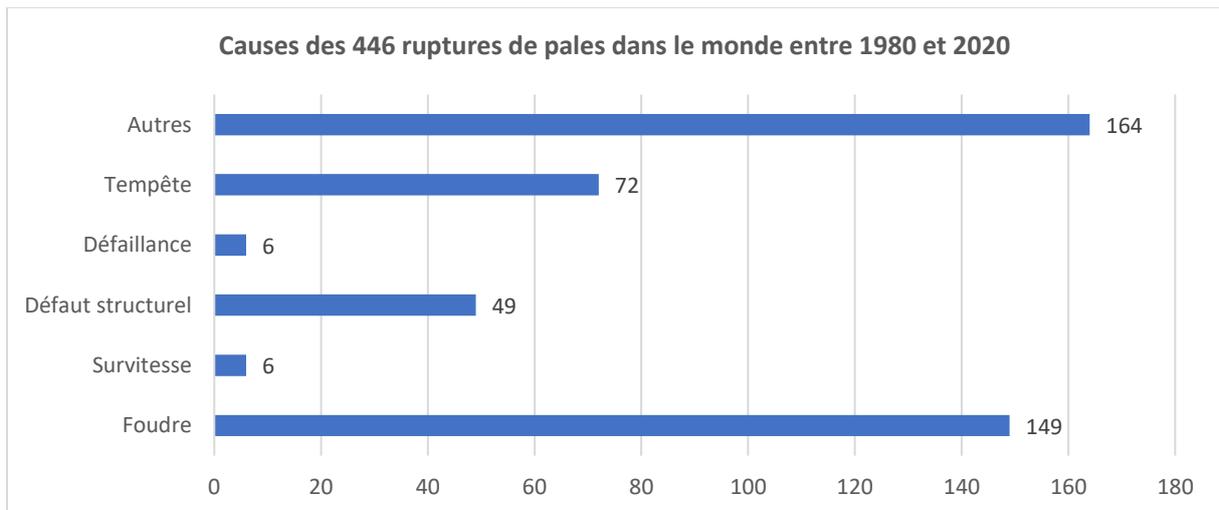


Figure 34 : Causes des ruptures de pales dans le monde de 1980 à 2020

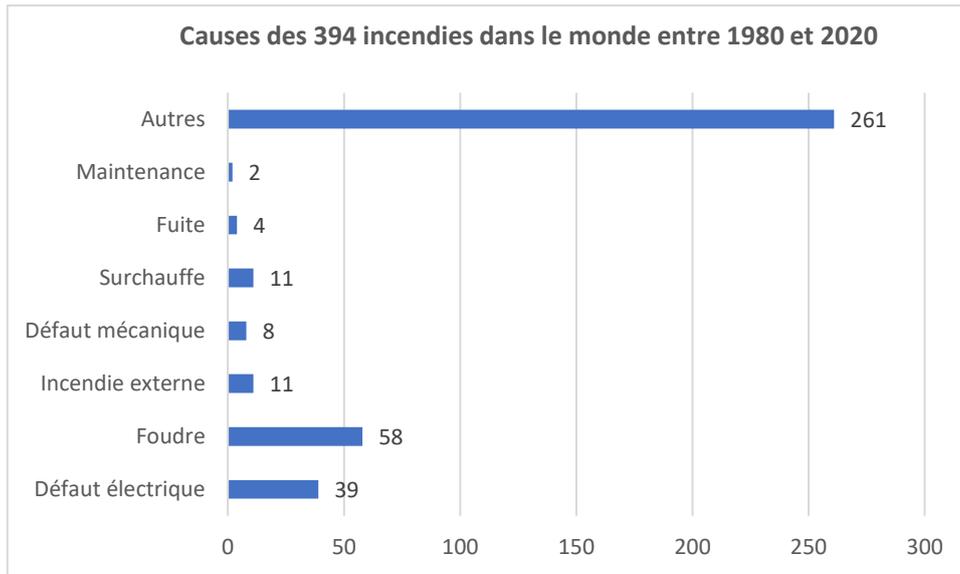


Figure 35 : Causes des incendies dans le monde de 1980 à 2020

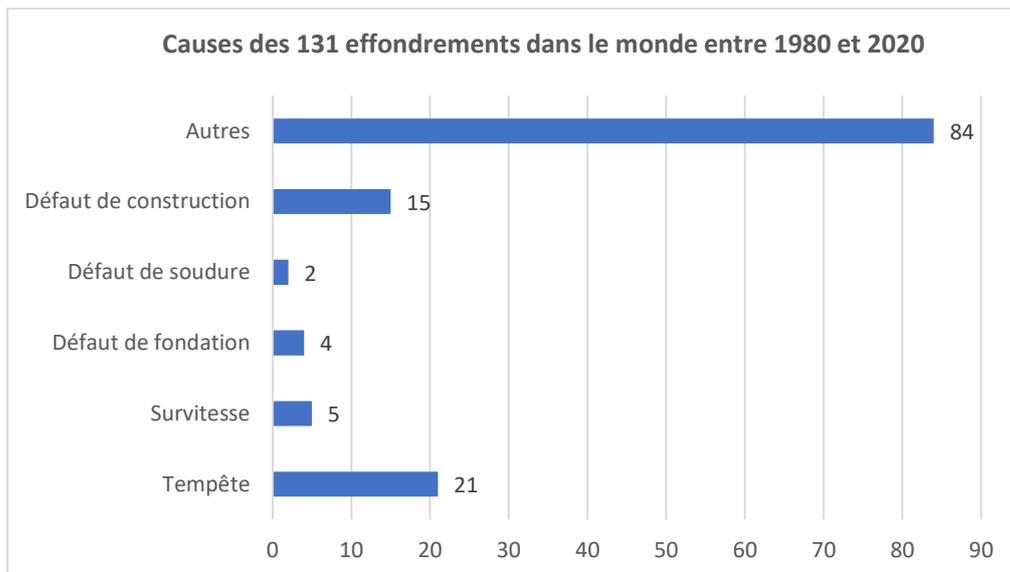


Figure 36 : Causes des effondrements dans le monde de 1980 à 2020

Tout comme pour le retour d'expérience français, ce retour d'expérience montre l'importance des causes « tempête » et « foudre » dans les accidents. Ces événements restent néanmoins extrêmes et à occurrence faible.

VII.3 SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTES ISSUS DU RETOUR D'EXPÉRIENCE

VII.3.1 ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DES ACCIDENTS EN FRANCE

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

Le graphique 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 jusqu'en 2011. En revanche à partir de 2012, le nombre d'accidents augmente.

Cette tendance constante jusqu'à 2011 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. L'augmentation des accidents à partir de 2012 est expliquée par le vieillissement des parcs éoliens et aussi par leur nombre croissant (un doublement de 2013 à 2019).

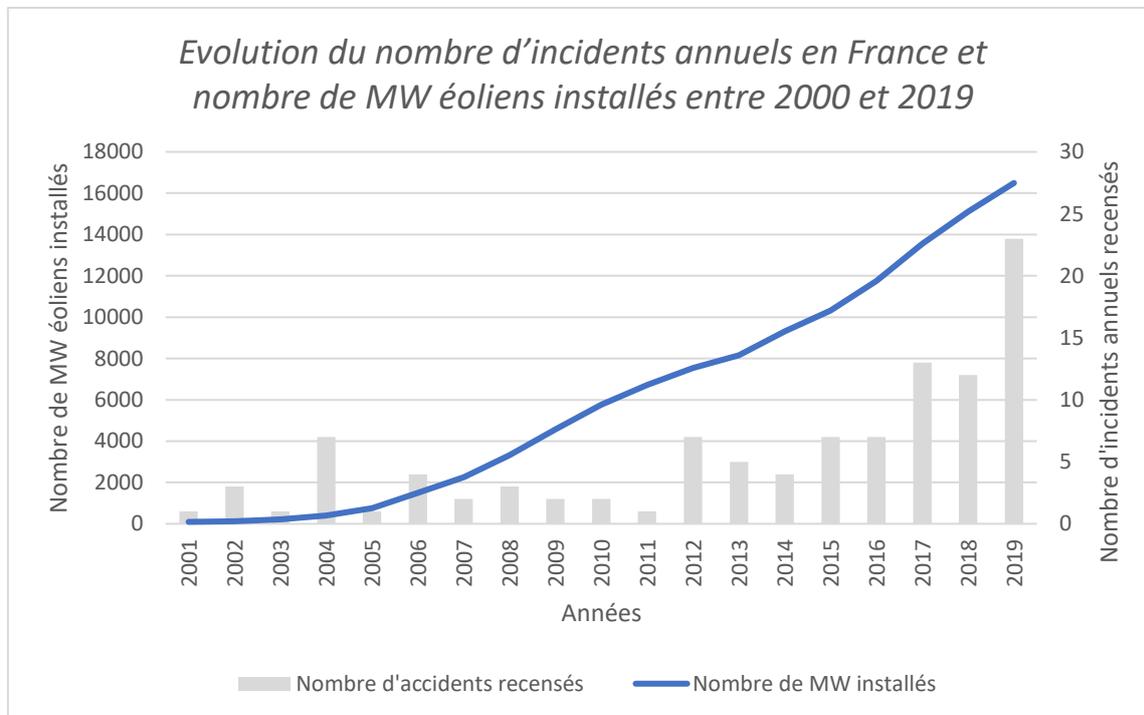


Figure 37 : Evolutions conjointes des MW éoliens installés et du nombre d'incidents annuels en France entre 2001 et 2019

On note bien l'essor de la filière française à partir de 2005, alors que le nombre d'accidents reste relativement constant jusqu'à 2011. Les chiffres de 2012 à 2019 montrent une progression toujours importante du nombre d'éoliennes installées en France avec un nombre d'accident annuel qui reste inférieur à 7 (excepté pour les trois dernières années). La raison de cette augmentation est la progression du nombre d'éoliennes avec un doublement de 2013 à 2019.

VII.3.2 ANALYSE DES TYPOLOGIES D'ACCIDENTS LES PLUS FREQUENTS

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

- Ruptures de pale
- Chute de pale ou d'éléments de l'éolienne
- Incendie
- Effondrement

VII.4 LIMITES D'UTILISATION DE L'ACCIDENTOLOGIE

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

- La non-exhaustivité des événements : ce retour d'expérience, constitué à partir de sources variées, ne provient pas d'un système de recensement organisé et systématique. Dès lors certains événements ne sont pas reportés. En particulier, les événements les moins spectaculaires peuvent être négligés : chutes d'éléments, projections et chutes de glace ;

- La non-homogénéité des aérogénérateurs inclus dans ce retour d'expérience : les aérogénérateurs observés n'ont pas été construits aux mêmes époques et ne mettent pas en œuvre les mêmes technologies. Les informations sont très souvent manquantes pour distinguer les différents types d'aérogénérateurs (en particulier concernant le retour d'expérience mondial) ;
- Les importantes incertitudes sur les causes et sur la séquence qui a mené à un accident : de nombreuses informations sont manquantes ou incertaines sur la séquence exacte des accidents.

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

VIII. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

VIII.1 OBJECTIF DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

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

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

VIII.2 RECENSEMENT DES EVENEMENTS INITIATEURS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES

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

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

D'autre part, plusieurs autres agressions externes qui ont été détaillées dans l'état initial peuvent être exclues de l'analyse préliminaire des risques car les conséquences propres de ces événements, en termes de gravité et d'intensité, sont largement supérieures aux conséquences potentielles de l'accident qu'ils pourraient entraîner sur les aérogénérateurs. Le risque de 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.

VIII.3 RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES

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

Traditionnellement, deux types d’agressions externes sont identifiés :

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

Les tableaux suivants constituent une synthèse des agressions externes identifiées par le groupe de travail à l’origine du présent guide.

VIII.3.1 AGRESSION EXTERNES LIEES AUX ACTIVITES HUMAINES

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

Infrastructure	Voies de circulation	Aérodrome	Ligne THT	Autres aérogénérateurs
Fonction	Transport	Transport aérien	Transport d’électricité	Production d’électricité
Evénement redouté	Accident entraînant la sortie de voie d’un ou plusieurs véhicules	Chute d’aéronef	Rupture de câble	Accident générant des projections d’éléments
Danger potentiel	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	Energie cinétique de l’aéronef, flux thermique	Arc électrique, surtensions	Energie cinétique des éléments projetés
Périmètre		2000 m	170 m	500 m
Distance par rapport au mât des éoliennes	E1	84 m	Aucun aérodrome n'est situé dans un périmètre de 2 km. La zone est située à 53 km de l’aéroport le plus proche (Vannes), et 14,7 km de l’aérodrome le plus proche (Pontivy – Bretagne)	Une ligne HTB est située à 180 m de la plus proche éolienne et respecte ainsi les mesures d’éloignement prescrites par RTE.
	E2	30 m		
	E3	200 m		
	E4	104 m		
3 des 4 aérogénérateurs du parc éolien de la Lande de Carmoise sont en fonctionnement au sein de l’aire d’étude de danger (500 mètres autour des éoliennes).				

Tableau 15: Liste des agressions externes liées aux activités humaines (Source : INERIS/SER/FEE, 2012)

Il est à noter que toutes les éoliennes sont à une distance de minimum 1200 mètres par rapport aux routes départementales.

VIII.3.2 AGRSSIONS EXTERNES LIEES AUX PHENOMENES NATURELS

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

Agression externe	Intensité
Vents et tempête	<p>Dans le département des Côtes-d’Armor, on dénombre 21 jours/an en moyenne avec des rafales de vents supérieures à 100 km/h sur la période 1981-2010.</p> <p>Le Dossier Départemental des Risques Majeurs des Côtes d’Armor détaille le risque de tempête, auquel sont soumises toutes les communes du département. Le choix des machines sera adapté aux régimes de vent du site, l’enjeu peut donc être considéré comme modéré.</p>
Foudre	<p>Pour définir l’activité orageuse d’un secteur, il est fait référence à la densité de foudroiement en Ng qui correspond au nombre d’impact foudre par an et par km² dans une région.</p> <p>Avec un niveau de 0,9 Ng, la zone du projet n’est pas concernée par un risque de foudroiement élevé. On dénombre en moyenne 8,3 jours d’orage à Saint-Brieuc (situé à 34 km du projet), contre une vingtaine en moyenne en France.</p>
Mouvements de terrain, cavités souterraines et retrait/gonflement des argiles	<p>Bien que les deux communes d’implantation soient recensées comme présentant des risques liés aux mouvements de terrain par affaissement/effondrement et par tassement différentiel, la zone d’implantation potentielle ne présente pas de cavités connues, la plus proche se situant à plus de 1,7 km de la zone de projet. L’aléa retrait/gonflement des argiles est faible.</p> <p>L’enjeu des mouvements de terrain est donc faible.</p>
Inondations	<p>Les communes de Guerlédan et Saint-Connec sont répertoriées à risque d’inondation par crue à débordement lent, mais la zone d’implantation potentielle se trouvant sur un point « haut » du relief, elle ne se trouvera pas exposée à un risque d’inondation important. Par ailleurs, le site d’implantation potentielle n’est concerné par aucune zone inondable, ces dernières étant plutôt localisées dans les vallées des ruisseaux de Saint-Quidic et de Lotavy. L’enjeu relatif aux risques d’inondation est donc faible.</p>

Tableau 16: Liste des agressions externes liées aux phénomènes naturels (Source : INERIS/SER/FEE, 2012)

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.

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.

La construction du parc n’a pas d’impact sur les risques naturels. En effet, le chantier n’est pas de nature à augmenter la sismicité d’un territoire, ou sa sensibilité au risque d’inondation. Il ne crée pas non plus de mouvements de terrains ni de feu de forêts.

VIII.4 SCENARIOS ETUDIES DANS L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

Après avoir recensé, dans un premier temps, les potentiels de danger des installations, qu'ils soient constitués par des substances dangereuses ou des équipements dangereux (voir paragraphes VI.1), l'APR doit identifier l'ensemble des séquences accidentelles et phénomènes dangereux associés pouvant déclencher la libération du danger.

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

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

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

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

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

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
G01	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales, le mât et la nacelle	Chute de glace lorsque les éoliennes sont arrêtées	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace (N°2)	Impact de glace sur les enjeux	1
G02	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	Projection de glace lorsque les éoliennes sont en mouvement	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de la glace (N°1)	Impact de glace sur les enjeux	2
I01	Humidité / Gel	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I02	Dysfonctionnement électrique	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
I03	Survitesse	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3) Prévenir la survitesse (N°4)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I04	Désaxage de la génératrice / Pièce défectueuse / Défaut de lubrification	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I05	Conditions climatiques humides	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I06	Rongeur	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I07	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2
F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur 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

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
C03	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
E02	Glissement de sol	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E05	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E07	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du plan de prévention (N°13)	Chute fragments et chute mât	2
E08	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
				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)		
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

Tableau 17: Analyse générique des risques (source : INERIS/SER/FEE, 2012)

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.

VIII.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, le guide de l'étude de dangers réalisé par l'INERIS/SER/FEE suggère de limiter l'évaluation de la probabilité d'impact d'un élément de l'aérogénérateur sur une autre installation ICPE (et donc d'une autre éolienne) que lorsque celle-ci se situe dans un rayon de 100 mètres.

Or, sur la zone d'étude du projet éolien de Carmoise-Tréhouët, la distance minimum entre deux éoliennes est systématiquement supérieure à 100 mètres, l'effet dominos éoliennes/éoliennes n'est donc pas pris en compte dans cette étude.

Concernant l'effet domino éoliennes/poste de livraison, les expertises réalisées dans le cadre de la présente étude (par INERIS/SER/FEE) ont montré l'absence d'effet à l'extérieur des postes de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter.

Dans ce cadre, l'effet dominos éoliennes/poste de livraison n'est pas pris en compte dans cette étude.

VIII.6 MISE EN PLACE DES MESURES DE SECURITE

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

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les fonctions de sécurité identifiées et mise en œuvre sur les éoliennes du projet éolien de Carmoise-Tréhouët. Dans le cadre de la présente étude de dangers, les fonctions de sécurité sont détaillées selon les critères suivants :

- **Fonction de sécurité** : il est proposé ci-dessous un tableau par fonction de sécurité. Cet intitulé décrit l'objectif de la ou des mesure(s) de sécurité : il s'agira principalement de « empêcher, éviter, détecter, contrôler ou limiter » et sera en relation avec un ou plusieurs événements conduisant à un accident majeur identifié dans l'analyse des risques. Plusieurs mesures de sécurité peuvent assurer une même fonction de sécurité.
- **Numéro de la fonction de sécurité** : ce numéro vise à simplifier la lecture de l'étude de dangers en permettant des renvois à l'analyse de risque par exemple.
- **Mesures de sécurité** : cette ligne permet d'identifier les mesures assurant la fonction concernée. Dans le cas de systèmes instrumentés de sécurité, tous les éléments de la chaîne de sécurité sont présentés (détection + traitement de l'information + action).
- **Description** : cette ligne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires.
- **Indépendance** (« oui » ou « non ») : cette caractéristique décrit le niveau d'indépendance d'une mesure de maîtrise des risques vis-à-vis des autres systèmes de sécurité et des scénarios d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner « oui ») ou non (renseigner « non »). Dans le cadre des études de dangers éoliennes, il est recommandé de mesurer cette indépendance à travers les questions suivantes :
 - Est-ce que la mesure de sécurité décrite a pour unique but d'agir pour la sécurité ? Il s'agit en effet ici de distinguer ces dernières de celles qui ont un rôle dans la sécurité mais aussi dans l'exploitation de l'aérogénérateur.
 - Cette mesure est-elle indépendante des autres mesures intervenant sur le scénario ?
- **Temps de réponse** (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité. Il s'agit ici de vérifier que la mesure de maîtrise des risques agira « à temps » pour prévenir ou pour limiter les accidents majeurs. Dans le cadre d'une étude de dangers éolienne, l'estimation de ce temps de réponse peut être simplifiée et se contenter d'une estimation d'un temps de réponse maximum qui doit être atteint. Néanmoins, et pour rappel, la réglementation impose les temps de réponse suivants :

- Une mesure de maîtrise des risques remplissant la fonction de sécurité « limiter les conséquences d'un incendie » doit permettre de détecter un incendie et de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes ;
- Une seconde mesure maîtrise des risques remplissant la fonction de sécurité « limiter les conséquences d'un incendie » doit permettre de détecter un incendie et de mettre en œuvre une procédure d'arrêt d'urgence dans un délai de 60 minutes.
- **Efficacité (100% ou 0%)** : l'efficacité mesure la capacité d'une mesure de maîtrise des risques à remplir la fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation. Il s'agit de vérifier qu'une mesure de sécurité est bien dimensionnée pour remplir la fonction qui lui a été assigné.
- **Test (fréquence)** : dans ce champ sont rappelés les tests/essais qui seront réalisés sur les mesures de maîtrise des risques. Conformément à la réglementation, un essai d'arrêt, d'arrêt d'urgence et d'arrêt à partir d'une situation de survitesse seront réalisés avant la mise en service de l'aérogénérateur. Dans tous les cas, les tests effectués sur les mesures de maîtrise des risques seront tenus à la disposition de l'inspection des installations classées pendant l'exploitation de l'installation.
- **Maintenance (fréquence)** : ce critère porte sur la périodicité des contrôles qui permettront de vérifier la performance de la mesure de maîtrise des risques dans le temps. Pour rappel, la réglementation demande qu'à minima : un contrôle tous les ans soit réalisé sur la performance des mesures de sécurité permettant de mettre à l'arrêt, à l'arrêt d'urgence et à l'arrêt à partir d'une situation de survitesse et sur tous les systèmes instrumentés de sécurité.

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

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

Les fonctions de sécurité suivantes sont décrites pour l'éolienne type **Vensys VE120 3,0 MW**. Les éléments concernant la Enercon E115 3,0 MW, Gamesa G114 2,625 MW, Nordex N117 3,6 MW et Vestas V110 2,2 MW figurent en annexe 6.

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
Mesures de sécurité	Système de détection et stratégie d'arrêt et de redémarrage en cas de formation de givre ou glace.		
Description	<p>3 systèmes de détections de la formation de glace existent sur les éoliennes Vensys.</p> <p>Lors de la rotation des pales, une forte accélération de la nacelle peut être engendrée par l'effet balourd dû à la formation de glace sur les pales. Un capteur de vibration électronique mesure en permanence cette accélération. Si elle dépasse une certaine limite, le système de contrôle stoppe la machine immédiatement.</p> <p>Ce système sécurité est redondé par un second capteur de vibration électronique, ou un commutateur de vibration mécanique capable d'arrêter l'aérogénérateur via le système de sécurité, indépendamment du système de contrôle.</p> <p>Le système de contrôle des pâles BLADEcontrol® Ice Detector (BID) dont sont optionnellement équipées les éoliennes Vensys est capable de détecter la présence de glace directement sur les pales du rotor ou le moyeu.</p> <p>Les détecteurs mesurent les vibrations propres des pales qui sont enregistrées par un ordinateur central à l'intérieur du moyeu et transmis via connexion sans-fil au point d'accès de la nacelle. La donnée est transmise à l'ordinateur d'analyse dans le mât de l'aérogénérateur. Si l'ordinateur détecte la présence de glace en analysant la fréquence propre, il envoie un signal d'alarme au système de contrôle qui met la machine en arrêt.</p> <p>Dans tous les cas, un message d'erreur est généré et décrit la raison de l'arrêt de la machine.</p> <p>Ce type de dispositifs n'empêche pas la glace de se former, ni ne la retire. Il n'empêche donc pas la glace de tomber, mais ramène le risque qu'elle représente à un niveau commun à celui d'une chute de glace depuis une construction similaire, d'une antenne de télécommunication, ou un arbre.</p>		
Indépendance	Oui. Le système se base sur trois procédés de détections, dont deux indépendants. Ces procédés fonctionnent en redondance.		
Temps de réponse	Quelques minutes (<60 min.) conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011		
Efficacité	100 % dans le temps de réponse ci-dessus		
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne.		
Maintenance	Vérification visuelle du système à chaque maintenance routinière. Vérification approfondie au bout de 3 mois de fonctionnement puis maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement		

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 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	Capteurs de température des pièces mécaniques. Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes. Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement.		
Description	Tous les principaux composants sont équipés de capteurs de température. Un certain nombre de seuils sont prédéfinis dans le système de contrôle de l'éolienne. En cas de dépassement de seuils (caractéristiques sur chaque type d'aérogénérateur, type de composant et prédéfinis), des codes d'état associés à des alarmes sont activés et peuvent, le cas échéant, entraîner un ralentissement de la machine (bridage préventif) voire un arrêt de la machine. Tout phénomène anormal est ainsi automatiquement répertorié, tracé via le système SCADA du parc et donne lieu à des analyses et si nécessaire interventions de maintenance sur site afin de corriger les problèmes constatés.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	<30s		
Efficacité	100 %		
Tests	Vérification à chaque maintenance de la cohérence des valeurs des capteurs dédiés.		
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. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage.		
Description	<p>Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande.</p> <p>Le système de freinage comprend un frein aérodynamique principal et un frein mécanique auxiliaire.</p> <p>Le frein aérodynamique est assuré par trois pales de l'éolienne, chacune équipée de contrôleurs indépendants, de moteurs de calage et d'alimentation de secours, assurant un niveau élevé de redondance.</p> <p>Le freinage aérodynamique devient effectif en pivotant les pales jusqu'à la position dite en drapeau, avec la possibilité d'obtenir différentes vitesses de calage pour éviter les efforts trop importants. Chaque système de calage est complètement indépendant. En cas de perte de réseau, les moteurs de calage sont alimentés par des jeux d'accumulateurs.</p> <p>La force de freinage liée au réglage d'une seule pale est suffisante pour ralentir l'éolienne à une vitesse sécurisée. Le système de freinage est donc trois fois redondant.</p> <p>Le système de freinage du rotor mécanique est activé en cas de défaillance partielle ou totale des systèmes de sécurité principaux et arrête le rotor conjointement au système de réglage des pales. Il est également utilisé pour immobiliser le rotor une fois celui-ci arrêté par le système de freinage aérodynamique afin de sécuriser les opérations de maintenance.</p> <p>Le système de freinage est conçu pour remplir la fonction « fail safe ». Cela signifie qu'en cas de dysfonctionnement d'un composant du système, l'éolienne est arrêtée en toute sécurité.</p> <p>Des systèmes de coupure au niveau du rotor s'enclenchant en cas de dépassement de seuils de vitesse prédéfinis sont directement intégrés à la chaîne de sécurité de l'aérogénérateur.</p> <p>La chaîne de sécurité de l'aérogénérateur est un circuit à câblage direct dans lequel tous les contacts sont couplés en série pour déclencher un arrêt d'urgence, indépendamment du bon fonctionnement du système de contrôle commande.</p> <p>Lorsque la chaîne de sécurité est interrompue, l'éolienne s'arrête immédiatement. La remise en marche n'est admissible que si la cause qui a entraîné son déclenchement a été éliminée.</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	<p>Arrêt immédiat (<10s)</p> <p>L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011.</p>		
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	<p>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).</p> <p>Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.</p>		

Fonction de sécurité	Prévenir les courts-circuits	N° de la fonction de sécurité	5
Mesures de sécurité	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.		
Description	<p>Les organes et armoires électriques de l'éolienne sont équipées d'organe de coupure et de protection adéquats et correctement dimensionnés.</p> <p>Tout déclenchement ou fonctionnement anormal des composants électriques donne lieu à l'envoi de codes d'état et, le cas échéant, d'alarmes via le système SCADA.</p> <p>Des vérifications de tous les composants électriques ainsi que des mesures d'isolement, serrage des câbles sont intégrés dans les procédures de maintenance préventive mises en œuvre.</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	De l'ordre de la seconde		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	<p>Des vérifications de tous les composants électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrées dans les mesures de maintenance préventive mises en œuvre.</p> <p>Les installations électriques sont contrôlées avant la mise en service du parc puis à une fréquence annuelle, conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011.</p>		

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur.		
Description	<p>L'éolienne est pourvue d'une installation de protection anti-foudre et satisfait au degré de protection défini dans la norme internationale IEC 61400-24 ed. 1.0 standard. La foudre est capturée par des récepteurs dans les pales du rotor et déviée depuis le rotor vers le mât via des contacts glissants et des éclateurs au niveau du moyeu et du châssis de la nacelle. Le courant de foudre est ainsi évacué dans le sol via des prises de terre de fondation.</p> <p>Des parasurtenseurs sont présents sur les circuits électriques BT.</p> <p>La valeur de mise à la terre est contrôlée avant mise en service (<2 Ohm en standard, et dans tous les cas <10 Ohm).</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat, dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011.		

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	<p>Le design global de l'éolienne est fait pour minimiser les risques d'incendie :</p> <ul style="list-style-type: none"> - utilisation de transformateurs secs dans un compartiment dédié et condamné, en pied de tour - transport de l'énergie produite par l'éolienne entre nacelle et pied de mât par gaine – barres, afin d'assurer une protection optimale en cas de court-circuit, - capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne agissant si nécessaire, en cas de dépassements de seuils, sur le fonctionnement de la machine (bridage voire mise à l'arrêt automatique et envoi d'alarme via le système SCADA). - utilisation de moteur non hydraulique pour l'orientation des pales et le contrôle de l'azimut. <p>En outre, un système de détection incendie relié à une alarme est mis en œuvre : des détecteurs sont placés au voisinage des principaux composants électriques (transformateur, convertisseur, génératrice) et permettent, en cas de détection :</p> <ul style="list-style-type: none"> - d'arrêter l'éolienne - d'émettre une alarme sonore afin d'informer les éventuelles équipes de maintenance en cours d'intervention dans l'éolienne - d'émettre une alarme informant immédiatement de la survenance de l'incendie, ce qui peut lui permettre d'informer les services de secours <p>Si un incendie se déclare en nacelle ou dans le mât, le système de freinage principal de l'éolienne (frein aérodynamique par pitch) reste fonctionnel et permet la mise en arrêt de l'éolienne. Si un incendie se déclare dans le moyeu, il est considéré comme improbable qu'il entraîne simultanément, sans défaillance préalable et sans signe avant-coureur la mise hors d'état des trois systèmes autonomes et indépendants de pitch. De plus, le système de freinage secondaire d'urgence par le frein mécanique ne pourrait être affecté instantanément par un incendie dans le moyeu.</p> <p>Par conséquent, quelle que soit la situation, une éolienne à l'intérieur de laquelle un incendie se déclarerait serait arrêtée et mise en position de sécurité, sans redémarrage incontrôlé possible.</p> <p>L'éolienne est également équipée d'extincteurs qui peuvent être utilisés par les personnels d'intervention (cas d'un incendie se produisant en période de maintenance).</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	< 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	Test des détecteurs de fumée à la mise en service puis tous les ans.		
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 fabricant du matériel ou un organisme extérieur. Maintenance curative suite à une défaillance du matériel. Le matériel incendie (extincteurs) est contrôlé périodiquement par un organisme spécialisé. Maintenance prédictive sur les capteurs de température.		

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	Capteurs pression et niveau d'huiles Système de rétention Procédure d'urgence Kit antipollution		
Description	<p>Les fuites depuis le moyeu ou la nacelle sont évitées par les systèmes passifs suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> - labyrinthe dans le carénage du moyeu (spinner) - chicanes de récupération et de rétention d'huile dans le capotage de la nacelle avec un bac de rétention de capacité supérieur aux quantités d'huiles utilisées - collecteur de graisse sous les engrenages de l'azimut - Système clos pour le graissage central des couronnes et des pales - Utilisation d'huiles et fluides hydraulique dont la viscosité à température ambiante est élevée <p>En cas malgré tout de fuite vers l'environnement extérieur, des mesures de nettoyage de l'éolienne et de dépollution des sols seraient engagées.</p> <p>Il est à noter que la technologie pitch électrique, et non pas hydraulique, mise en œuvre sur les aérogénérateurs Vensys œuvre à une réduction considérable des risques liés aux fuites depuis le moyeu.</p> <p>Des vérifications des niveaux font partie intégrante des opérations de maintenance préventive.</p> <p>Chaque camion de technicien de maintenance est équipé de kit de dépollution d'urgence, composés de grandes feuilles de textile absorbant qui pourront être utilisés afin :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; - d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...) ; - de récupérer les déchets absorbés. 		
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 Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)		
Description	La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi la nacelle, le 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. Les procédures de certification-type des aérogénérateurs, couplées aux procédures de qualification fournisseurs, contrôles qualité, respect scrupuleux des instructions de montage et maintenance des machines, permettent d'assurer un niveau de sécurité important. Validation de la bonne planéité de la fondation (virole ou cage d'ancrage) avant montage du mât.		
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 système « d'azimut », 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 de maintenance.		
Description	Préconisation du manuel de maintenance Formation du personnel		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100%		
Tests	/		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pâles) par le système de conduite		
Description	La procédure de coupure sera lancée si la vitesse du vent est supérieure à la vitesse du vent de coupure		
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	Un test d'arrêt de survitesse est réalisé avant la mise en service de l'éolienne		
Maintenance	La procédure de maintenance inclue les tests d'arrêt de survitesse.		

Fonction de sécurité	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	N° de la fonction de sécurité	12
Mesures de sécurité	Inspection		
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 spécial à plusieurs couches. Le système de revêtement satisfait aux exigences de la norme ISO 12944.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100%		
Tests	/		
Maintenance	Des contrôles visuels sont prévus lors de toutes les maintenances préventives, suivant les préconisations du manuel de maintenance.		

Fonction de sécurité	Prévenir la dégradation des pales	N° de la fonction de sécurité	13
Mesures de sécurité	Inspection et monitoring		
Description	Des fonctions d’alarme sont intégrées en cas de dégradation anormale des performances aérodynamique de l’éolienne (ce qui peut être causé par une dégradation des pales). Le système BLADEcontrol peut intégrer un système de détection de dommage CMS (Condition Monitoring System). Il permet de détecter de manière précoce des défauts dans la structure des pales causés par exemple par la foudre		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100%		
Tests	/		
Maintenance	Des contrôles visuels sont prévus lors de toutes les maintenances préventives, suivant les préconisations du manuel de maintenance.		

Tableau 18: Ensemble des fonctions de sécurité (Source : Vensys)

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.

VIII.7 CONCLUSION DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

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

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

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	<p>En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m² n'est pas atteinte. Dans le cas d'un incendie au niveau du mât, les effets sont également mineurs et l'arrêté du 26 Août 2011 encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques.</p> <p>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.</p>
Incendie du poste de livraison ou du transformateur	<p>En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 août 2011 [9] et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200)</p>
Infiltration d'huile dans le sol	<p>En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs.</p> <p>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.</p>

Tableau 19 : Scenarios exclus (Source : INERIS/SER/FEE, 2012)

Les cinq catégories de scénarios étudiées dans l'étude détaillée des risques pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët 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.8 ARBRE PAPILLONS

La représentation retenue est appelée « arbre papillon », croisement entre « l'arbre de défaillances » et « l'arbre d'événements ». Ce choix de représentation est motivé par le fait que « l'arbre papillon » offre une représentation lisible permettant l'application d'un traitement probabiliste.

La représentation sous forme arborescente offre ainsi la possibilité de fixer schématiquement ce qui contribue à l'occurrence d'un événement (arbre de défaillances) et ce que cet événement, une fois réalisé, peut occasionner en termes de phénomène dangereux (arbre d'événements).

Dans cette représentation, pour un même événement redouté central, chaque chemin conduisant d'une défaillance d'origine (événement indésirable ou courant) jusqu'à l'apparition de dommages au niveau des cibles (effets majeurs) désigne un scénario d'accident particulier.

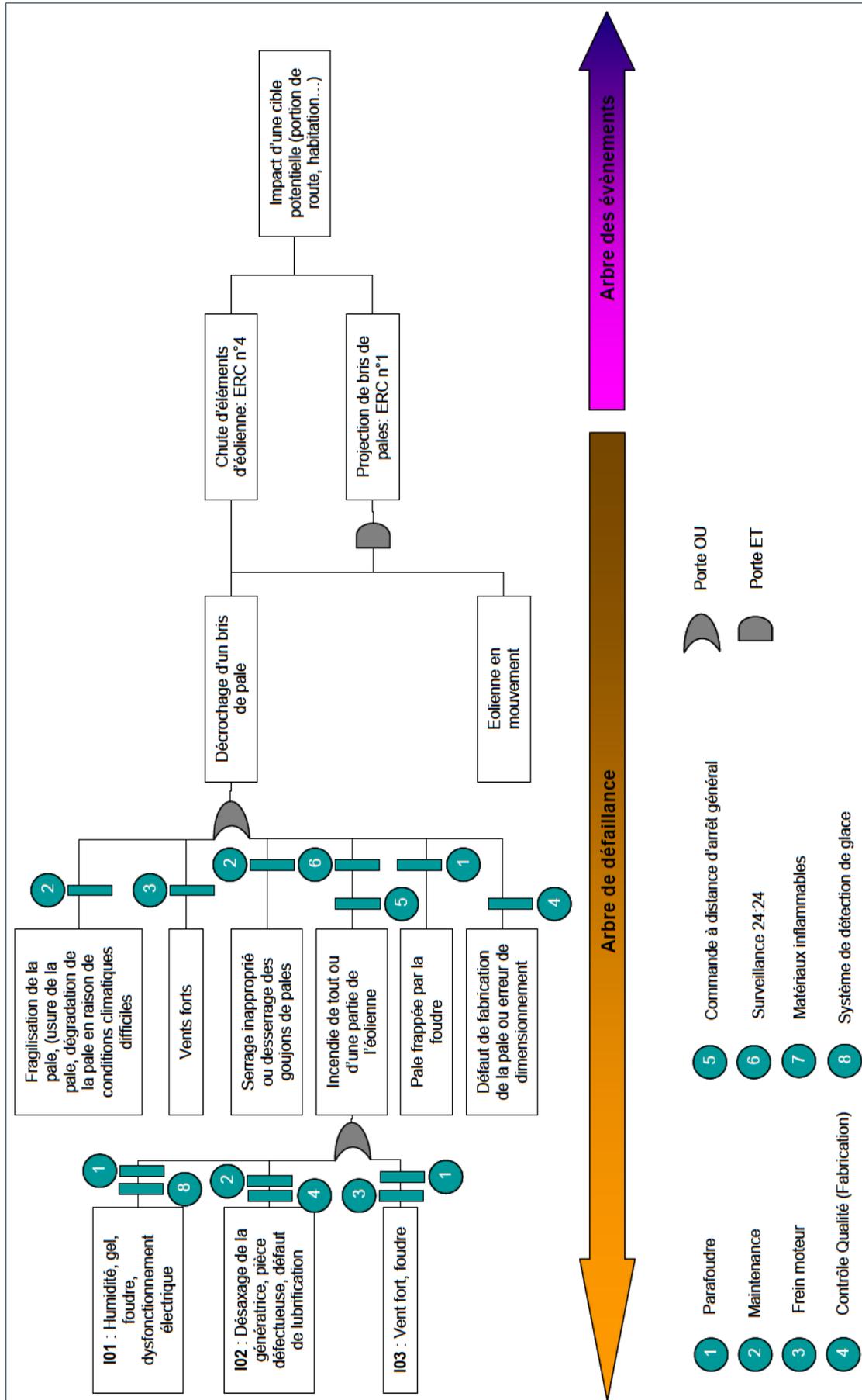


Figure 38 : Arbre papillon des scénarios de projection et de chutes de bris de pales / d'éléments d'éolienne

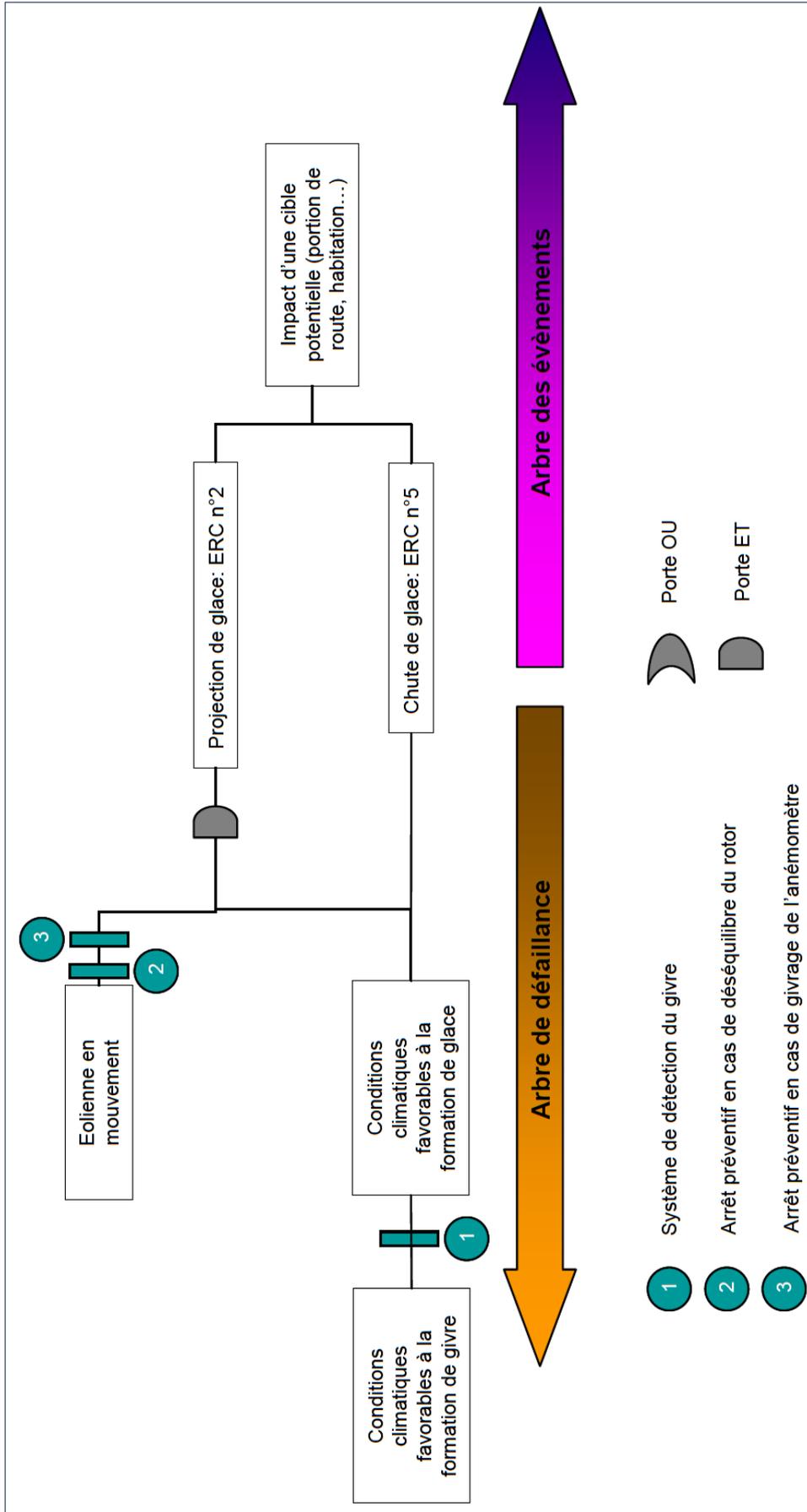


Figure 39 : Arbre papillon des scénarios de chutes et de projections de glace

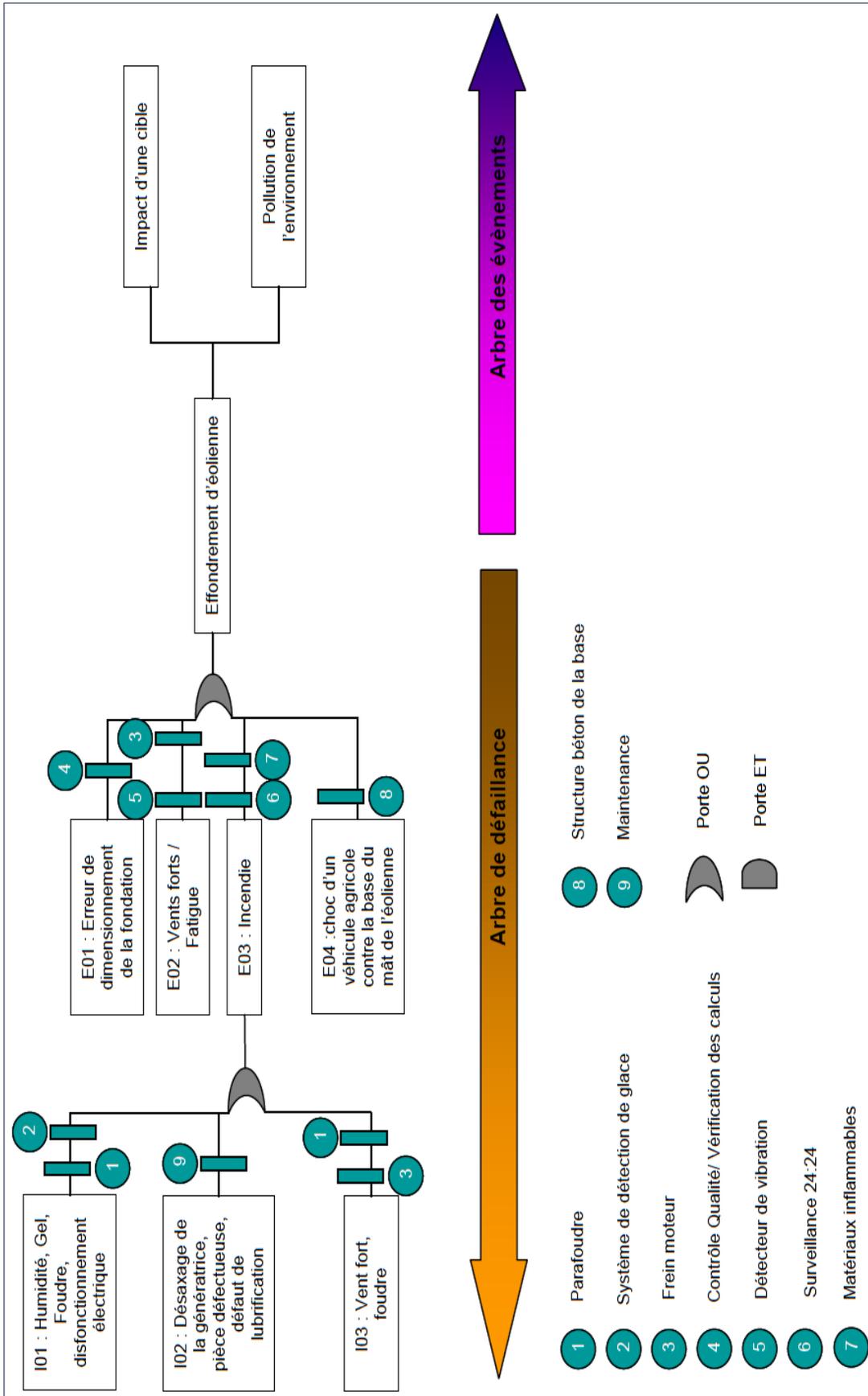


Figure 40 : Arbre papillon associé aux scénarios d'effondrement d'éoliennes

IX. ETUDE DETAILLEE DES RISQUES

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

IX.1 RAPPEL DES DEFINITIONS

Les règles méthodologiques applicables pour la détermination de l'intensité, de la gravité et de la probabilité des phénomènes dangereux sont précisées dans l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005. Cet arrêté ne prévoit de détermination de l'intensité et de la gravité que pour les effets de surpression, de rayonnement thermique et de toxique.

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

Cette circulaire précise en son point 1.2.2 qu'à l'exception de certains explosifs pour lesquels les effets de projection présentent un comportement caractéristique à faible distance, les projections et chutes liées à des ruptures ou fragmentations ne sont pas modélisées en intensité et en gravité dans les études de dangers. Force est néanmoins de constater que ce sont les seuls phénomènes dangereux susceptibles de se produire sur des éoliennes.

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

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.

IX.1.1 CINETIQUE

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.

Remarque : Les cas de cinétique lente sont assez peu fréquents dans le cadre des installations classées. Il faut pour cela que le déroulement du phénomène dangereux soit suffisamment connu et mesurable pour pouvoir mettre en place un plan d'organisation des secours adapté (exemple : phénomène de « boil over » dans le cas des dépôts d'hydrocarbures).

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.

IX.1.2 INTENSITE

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 : seuil 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 %

Tableau 20 : Degré d'exposition (source : INERIS/SER/FEE, 2012)

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

IX.1.3 GRAVITE

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 »

Tableau 21 : Critères permettant d’apprécier les conséquences de l’événement

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...) et on en déterminera la surface (pour les terrains non bâtis, les zones d’habitat) et/ou la longueur (pour les voies de circulation).

IX.1.4 PROBABILITE

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

Niveaux	Echelle qualitative	Echelle quantitative (probabilité annuelle)
A	<i>Courant</i> 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	<i>Probable</i> S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations.	$10^{-3} < P \leq 10^{-2}$
C	<i>Improbable</i> 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	<i>Rare</i> S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité.	$10^{-5} < P \leq 10^{-4}$
E	<i>Extrêmement rare</i> Possible mais non rencontré au niveau mondial. N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles.	$P \leq 10^{-5}$

Tableau 22 : Grille de criticité du scénario redouté (Source : arrêté du 29 septembre 2005)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

IX.2 CARACTERISATION DES SCENARIOS RETENUS

IX.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 150 m dans le cas du projet éolien de Carmoise-Tréhouët.

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 projet éolien de Carmoise-Tréhouët. R est la longueur de pale (R = 60 m), H la hauteur du mât (H = 90 m), L la largeur du mât (L = 4,3 m) et LB la largeur de la base de la pale (LB = 2,4 m).

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale soit 150 m)			
Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$ZI = H * L + 3 * R * LB / 2$	$ZE = \pi \times (H + R)^2$	$d = ZI / ZE$	
603,000	70685,835	0,8531% (< 1%)	Exposition modérée

Tableau 23 : Niveau d'intensité pour le scénario d'effondrement de l'éolienne

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

❖ **Gravité**

En fonction de ces intensités et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe IX.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 soit 150 m)		
<i>Eolienne</i>	<i>Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)</i>	<i>Gravité</i>
Eolienne 1 (E1)	0,08	Modéré
Eolienne 2 (E2)	0,08	Modéré
Eolienne 3 (E3)	0,07	Modéré
Eolienne 4 (E4)	0,07	Modéré

Tableau 24 : Niveau de gravité pour le scénario d'effondrement de l'éolienne

❖ **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

Tableau 25 : Fréquence d'effondrement d'une éolienne

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'expérience⁶, soit une probabilité de $4,47 \times 10^{-4}$ par éolienne et par an.

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.

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

« Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité ».

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

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

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

On note d'ailleurs, dans le retour d'expérience français, qu'aucun effondrement n'a eu lieu sur les éoliennes mises en service après 2011.

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

Dans le cas d'implantation d'éoliennes équipées des technologies récentes, compte tenu de la classe de probabilité d'un effondrement, on pourra conclure à l'acceptabilité de ce phénomène si moins de 1000 personnes sont exposées. Dans le cas où plus de mille personnes sont exposées dans la zone d'effet d'un aérogénérateur, l'exploitant pourra démontrer que des mesures de sécurité supplémentaires sont mises en place. Il est également rappelé que la bonne pratique est de préserver une distance d'isolement égale à deux hauteurs totales d'éolienne entre l'aérogénérateur et les routes départementales dans l'Oise.

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du projet éolien de Carmoise-Tréhouët, 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 soit 150 m)		
<i>Eolienne</i>	<i>Gravité</i>	<i>Niveau de risque</i>
Eolienne 1 (E1)	Modéré	Acceptable
Eolienne 2 (E2)	Modéré	Acceptable
Eolienne 3 (E3)	Modéré	Acceptable
Eolienne 4 (E4)	Modéré	Acceptable

Tableau 26 : Niveau de risque pour le scénario d'effondrement de l'éolienne

Ainsi, pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

❖ **Criticité**

Les résultats obtenus pour les scénarios de l’effondrement d’une éolienne sont synthétisés sous forme d’une matrice de criticité présentée ci-dessous :

GRAVITÉ des conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux	Orange	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
Catastrophique	Orange	Orange	Rouge	Rouge	Rouge
Important	Orange	Orange	Orange	Rouge	Rouge
Sérieux	Vert	Vert	Orange	Orange	Rouge
Modéré	Vert	E1 à E4	Vert	Vert	Orange

Légende de la matrice :

Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible	Vert	acceptable
Risque faible	Orange	acceptable
Risque important	Rouge	non acceptable

Tableau 27 : Matrice d’acceptabilité du phénomène d’effondrement de l’éolienne

On peut donc conclure que, pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët, le phénomène d’effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

IX.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 qui varient 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 projet éolien de Carmoise-Tréhouët, la zone d’effet a donc un rayon de 60 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 projet éolien de Carmoise-Tréhouët. Z_I est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, ($D = 120$ m), SG est la surface du morceau de glace majorant ($SG = 1$ m²).

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à $D/2 = 60$ m)			
<i>Zone d'impact en m²</i>	<i>Zone d'effet du phénomène étudié en m²</i>	<i>Degré d'exposition du phénomène étudié en %</i>	<i>Intensité</i>
$Z_I = SG$	$Z_E = \pi \times R^2$	$d = Z_I / Z_E$	Exposition modérée
1	11309,734	0,0088% (< 1 %)	

Tableau 28 : Niveau d'intensité pour le scénario d'effondrement de l'éolienne

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 $D/2 = 60$ m)		
<i>Eolienne</i>	<i>Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)</i>	<i>Gravité</i>
Eolienne 1 (E1)	0,01	Modéré
Eolienne 2 (E2)	0,01	Modéré
Eolienne 3 (E3)	0,01	Modéré
Eolienne 4 (E4)	0,01	Modéré

Tableau 29 : Niveau de gravité pour le scénario d'effondrement de l'éolienne

❖ **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**

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

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

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du projet éolien de Carmoise-Tréhouët, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à $D/2 = 60$ m)		
<i>Eolienne</i>	<i>Gravité</i>	<i>Niveau de risque</i>
Eolienne 1 (E1)	Modéré	Acceptable
Eolienne 2 (E2)	Modéré	Acceptable
Eolienne 3 (E3)	Modéré	Acceptable
Eolienne 4 (E4)	Modéré	Acceptable

Tableau 30 : Niveau de risque pour le scénario de chute de glace

Ainsi, pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët, 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.

❖ **Criticité**

Les résultats obtenus pour les scénarios de chutes de glace sont synthétisés sous forme d'une matrice de criticité présentée ci-dessous :

GRAVITÉ des Conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux					
Modéré					E1 à E4

Légende de la matrice

Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible		acceptable
Risque faible		acceptable
Risque important		non acceptable

Tableau 31 : Matrice d'acceptabilité du phénomène de chute de glace

Ainsi, pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

IX.2.3 CHUTE D'ÉLÉMENTS DE L'ÉOLIENNE

❖ **Zone d'effet**

La chute d'éléments comprend la chute de tous les équipements situés en hauteur : trappes, boulons, morceaux de pales ou pales entières. Le cas majorant est ici le cas de la chute de pale. Il est retenu dans l'étude détaillée des risques pour représenter toutes les chutes d'éléments.

Le risque de chute d'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 autour du mât de l'éolienne en projection verticale. Pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët, la zone d'effet a donc un rayon de 60 mètres.

❖ **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 projet éolien de Carmoise-Tréhouët. d est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, D la longueur du rotor autour du mât de l'éolienne en projection verticale ($D = 120$ m) et LB la largeur de la base de la pale ($LB = 2,4$ m).

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à $D/2 = 60$ m)			
<i>Zone d'impact en m^2</i>	<i>Zone d'effet du phénomène étudié en m^2</i>	<i>Degré d'exposition du phénomène étudié en %</i>	<i>Intensité</i>
$Z_I = R * LB / 2$	$Z_E = \pi * R^2$	$d = Z_I / Z_E$	Exposition modérée
72,000	11309,734	0,6366% (< 1 %)	

Tableau 32 : Niveau d'intensité pour le scénario de chute d'éléments de l'éolienne

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 IX.1.3), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute d'élément de l'éolienne, dans la zone de survol de l'éolienne :

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

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

Chute d'éléments de l'éolienne		
<i>Eolienne</i>	<i>Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)</i>	<i>Gravité</i>
Eolienne 1 (E1)	0,01	Modéré
Eolienne 2 (E2)	0,01	Modéré
Eolienne 3 (E3)	0,01	Modéré
Eolienne 4 (E4)	0,01	Modéré

Tableau 33 : Niveau de gravité pour le scénario de chute d'éléments de l'éolienne

❖ Probabilité

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

Le retour d'expérience connu en France montre que ces événements ont une classe de probabilité « C » (2 chutes et 5 incendies pour 15 667 années d'expérience, soit 4.47×10^{-4} événement par éolienne et par an).

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

« Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité ».

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

❖ Acceptabilité

Avec une classe de probabilité « C », le risque de chute d'éléments pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un nombre de personnes permanentes (ou équivalent) inférieur à 100 dans la zone d'effet.

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

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du projet éolien de Carmoise-Tréhouët, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Chute d'éléments de l'éolienne		
(dans un rayon inférieur ou égal à $D/2 = 60m$)		
<i>Eolienne</i>	<i>Gravité</i>	<i>Niveau de risque</i>
Eolienne 1 (E1)	Modéré	Acceptable
Eolienne 2 (E2)	Modéré	Acceptable
Eolienne 3 (E3)	Modéré	Acceptable
Eolienne 4 (E4)	Modéré	Acceptable

Tableau 34 : Niveau de risque pour le scénario de chute d'éléments de l'éolienne

Ainsi, pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët, le phénomène de chute d'éléments des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

❖ **Criticité**

Les résultats obtenus pour les scénarios de chutes d'éléments de l'éolienne sont synthétisés sous forme d'une matrice de criticité présentée ci-dessous :

GRAVITÉ des Conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux	Yellow	Red	Red	Red	Red
Catastrophique	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
Important	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
Sérieux	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
Modéré	Green	Green	E1 à E4	Green	Yellow

Légende de la matrice

Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible	Green	acceptable
Risque faible	Yellow	acceptable
Risque important	Red	non acceptable

Tableau 35 : Matrice d'acceptabilité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne

On peut donc conclure que, pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët, le phénomène de chute d'éléments de l'éolienne est acceptable.

IX.2.4 PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES

❖ **Zone d’effet**

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

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

L’analyse de ce recueil d’accidents indique une distance maximale de projection de l’ordre de 500 mètres à deux exceptions près :

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

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

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

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

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

❖ **Intensité**

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

Le tableau ci-dessous permet d’évaluer l’intensité du phénomène de chute d’éléments de l’éolienne dans le cas du projet éolien de Carmoise-Tréhouët. d est le degré d’exposition, Z_I la zone d’impact, Z_E la zone d’effet prenant en compte R_e égale au rayon d’effet de 500 mètres, R la longueur de pale ($R = 60$ m) et LB la largeur de la base de la pale ($LB = 2,4$ m).

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
<i>Zone d’impact en m²</i>	<i>Zone d’effet du phénomène étudié en m²</i>	<i>Degré d’exposition du phénomène étudié en %</i>	<i>Intensité</i>
$Z_I = R \cdot LB / 2$	$Z_E = \pi \times R z_e^2$	$d = Z_I / Z_E$	Exposition modérée
72,00	785398,163	0,0092% (< 1 %)	

Tableau 36 : Niveau d’intensité pour le scénario de projection de pale ou de fragment de pale

❖ **Gravité**

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe IX.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)		
<i>Eolienne</i>	<i>Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)</i>	<i>Gravité</i>
Eolienne 1 (E1)	0,87	Modéré
Eolienne 2 (E2)	0,85	Modéré
Eolienne 3 (E3)	0,83	Modéré
Eolienne 4 (E4)	0,79	Modéré

Tableau 37 : Niveau de gravité pour le scénario de projection de pale ou de fragment de pale

❖ **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

Tableau 38 : Fréquences des événements de rupture de pales dans la littérature

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

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

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

« Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité ».

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

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

- Les dispositions de la norme IEC 61 400-1
- Les dispositions des normes IEC 61 400-24 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

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

Si le nombre de personnes permanentes (ou équivalent) est supérieur à ces chiffres, l'exploitant peut engager une étude supplémentaire pour déterminer le risque d'atteinte de l'enjeu à l'origine de ce niveau de gravité et vérifier l'acceptabilité du risque.

Le cas échéant, des mesures de sécurité supplémentaires pourront être mises en place pour améliorer l'acceptabilité du risque.

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du projet éolien de Carmoise-Tréhouët 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)		
<i>Eolienne</i>	<i>Gravité</i>	<i>Niveau de risque</i>
Eolienne 1 (E1)	Modéré	Acceptable
Eolienne 2 (E2)	Modéré	Acceptable
Eolienne 3 (E3)	Modéré	Acceptable
Eolienne 4 (E4)	Modéré	Acceptable

Tableau 39 : Niveau de risque pour le scénario de projection de pale ou fragment de pale

Ainsi, pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët, le phénomène de projection de tout ou partie de pale des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

❖ **Criticité**

Les résultats obtenus pour les scénarios de projection de pale ou de fragment de pale sont synthétisés sous forme d'une matrice de criticité présentée ci-dessous :

GRAVITÉ des Conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux					
Modéré		E1 à E4			

Légende de la matrice :

Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible		acceptable
Risque faible		acceptable
Risque important		non acceptable

Tableau 40 : Matrice d'acceptabilité du phénomène de projection de pale ou fragment de pale

On peut donc conclure que, pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët, le phénomène de projection de pale ou de fragment de pale est acceptable.

IX.2.5 PROJECTION DE GLACE

❖ **Zone d'effet**

L'accidentologie rapporte quelques cas de projection de glace. Ce phénomène est connu et possible, mais reste difficilement observable et n'a jamais occasionné de dommage sur les personnes ou les biens.

En ce qui concerne la distance maximale atteinte par ce type de projectiles, il n'existe pas d'information dans l'accidentologie. La référence [15] propose une distance d'effet fonction de la hauteur et du diamètre de l'éolienne, dans les cas où le nombre de jours de glace est important et où l'éolienne n'est pas équipée de système d'arrêt des éoliennes en cas de givre ou de glace :

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

Cette distance de projection est jugée conservatrice dans des études postérieures (voir Annexe 6 - [17]). A défaut de données fiables, il est proposé de considérer cette formule pour le calcul de la distance d'effet pour les projections de glace.

❖ **Intensité**

Pour le phénomène de projection de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace (cas majorant de 1 m²) et la superficie de la zone d'effet du phénomène.

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du projet éolien de Carmoise-Tréhouët. d est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R la longueur de pale (R = 60 m), H la hauteur au moyeu (H = 90 m) et SG la surface majorante d'un morceau de glace.

Projection de morceaux de glace			
(dans un rayon de R_{PG} = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)			
<i>Zone d'impact en m²</i>	<i>Zone d'effet du phénomène étudié en m²</i>	<i>Degré d'exposition du phénomène étudié en %</i>	<i>Intensité</i>
Z _I = SG 1	Z _E = π x (1,5*(H+2R)) ² 311724,531	d=Z _I /Z _E 0,0003% (< 1 %)	Exposition modérée

Tableau 41 : Niveau d'intensité pour le scénario de projection de glace

❖ **Gravité**

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe IX.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 est important de noter, qu’il a été observé dans la littérature disponible (voir Annexe 6 - [17]) qu’en cas de projection, les morceaux de glace se cassent en petits fragments dès qu’ils se détachent de la pale. La possibilité de l’impact de glace sur des personnes abritées par un bâtiment ou un véhicule est donc négligeable et ces personnes ne doivent pas être comptabilisées pour le calcul de la gravité.

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

Projection de morceaux de glace zone de 315 m autour les éoliennes E1 à E4		
<i>Eolienne</i>	<i>Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)</i>	<i>Gravité</i>
Eolienne 1 (E1)	0,34	Modéré
Eolienne 2 (E2)	0,35	Modéré
Eolienne 3 (E3)	0,31	Modéré
Eolienne 4 (E4)	0,31	Modéré

Tableau 42 : Niveau de gravité pour le scénario de projection de glace

❖ **Probabilité**

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

- Les mesures de prévention de projection de glace imposées par l’arrêté du 26 août 2011 ;
- 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 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 10 dans la zone d’effet.

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du projet éolien de Carmoise-Tréhouët, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Projection de morceaux de glace (zone de 316,5 m autour de l'éolienne)			
Eolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction	Niveau de risque
Eolienne 1 (E1)	Modéré	Oui	Acceptable
Eolienne 2 (E2)	Modéré	Oui	Acceptable
Eolienne 3 (E3)	Modéré	Oui	Acceptable
Eolienne 4 (E4)	Modéré	Oui	Acceptable

Tableau 43 : Niveau de risque pour le scénario de projection de glace

Ainsi, pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes.

❖ **Criticité**

Les résultats obtenus pour les scénarios de projection de morceaux de glace sont synthétisés sous forme d'une matrice de criticité présentée ci-dessous :

GRAVITÉ des Conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux	Yellow	Red	Red	Red	Red
Catastrophique	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
Important	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
Sérieux	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
Modéré	Green	Green	Green	E1 à E4	Yellow

Légende de la matrice

Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible	Green	acceptable
Risque faible	Yellow	acceptable
Risque important	Red	non acceptable

Tableau 44 : Matrice d'acceptabilité du phénomène de projection de morceaux de glace

Ainsi, pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët, le phénomène de projection de morceaux de glace constitue un risque acceptable pour les personnes.

IX.3 SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

IX.3.1 TABLEAUX DE SYNTHÈSE DES SCÉNARIOS ETUDIÉS

Les tableaux suivants récapitulent, pour chaque événement redouté central retenu, les paramètres de risques : la cinétique, l'intensité, la gravité et la probabilité.

E1 à E4					
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 (150 m)	Rapide	Exposition modérée	D (rare) (pour des éoliennes récentes) ⁷	Modérée
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol (60m)	Rapide	Exposition modérée	C (improbable)	Modérée
Chute de glace	Zone de survol (60m)	Rapide	Exposition modérée	A (courante)	Modérée
Projection de pale ou de fragment de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (rare) (pour des éoliennes récentes) ⁸	Modérée
Projection de glace	315 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	B (probable)	Modérée

Tableau 45 : Synthèse des risques et des paramètres associés pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët

⁷ Voir paragraphe IX.2.1

⁸ Voir paragraphe IX.2.4

IX.3.2 SYNTHÈSE DE L'ACCEPTABILITÉ DES RISQUES

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

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

GRAVITÉ des Conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux	/	/	/	/	/
Catastrophique	/	/	/	/	/
Important	/	/	/	/	/
Sérieux	/	/	/	/	/
Modéré	/	Effondrement de l'éolienne E1 à E4 Projection de pale ou de fragment de pale E1 à E4	Chute d'éléments de l'éolienne E1 à E4	Projection de morceaux de glace E1 à E4	Chute de glace E1 à E4

Légende de la matrice :

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

Tableau 46 : Matrice d'acceptabilité générale pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que pour le projet de projet éolien de Carmoise-Tréhouët :

- Aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice, ce qui signifie qu'il n'existe aucun « risque important » et « non acceptable » ;
- Les risques d'effondrement, de projection de pales et de glace, et de chutes d'éléments apparaissent dans les cases vertes synonymes de « risques très faibles » et « acceptables » ;
- Le risque de chute de glace apparaît dans une case jaune synonyme de risque « faible » et « acceptable ».

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

IX.3.3 CARTOGRAPHIE DES RISQUES

A l'issue de la démarche d'analyse des risques, une carte de synthèse des risques doit être proposée par les exploitants pour chaque aérogénérateur. Elle fait apparaître, 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

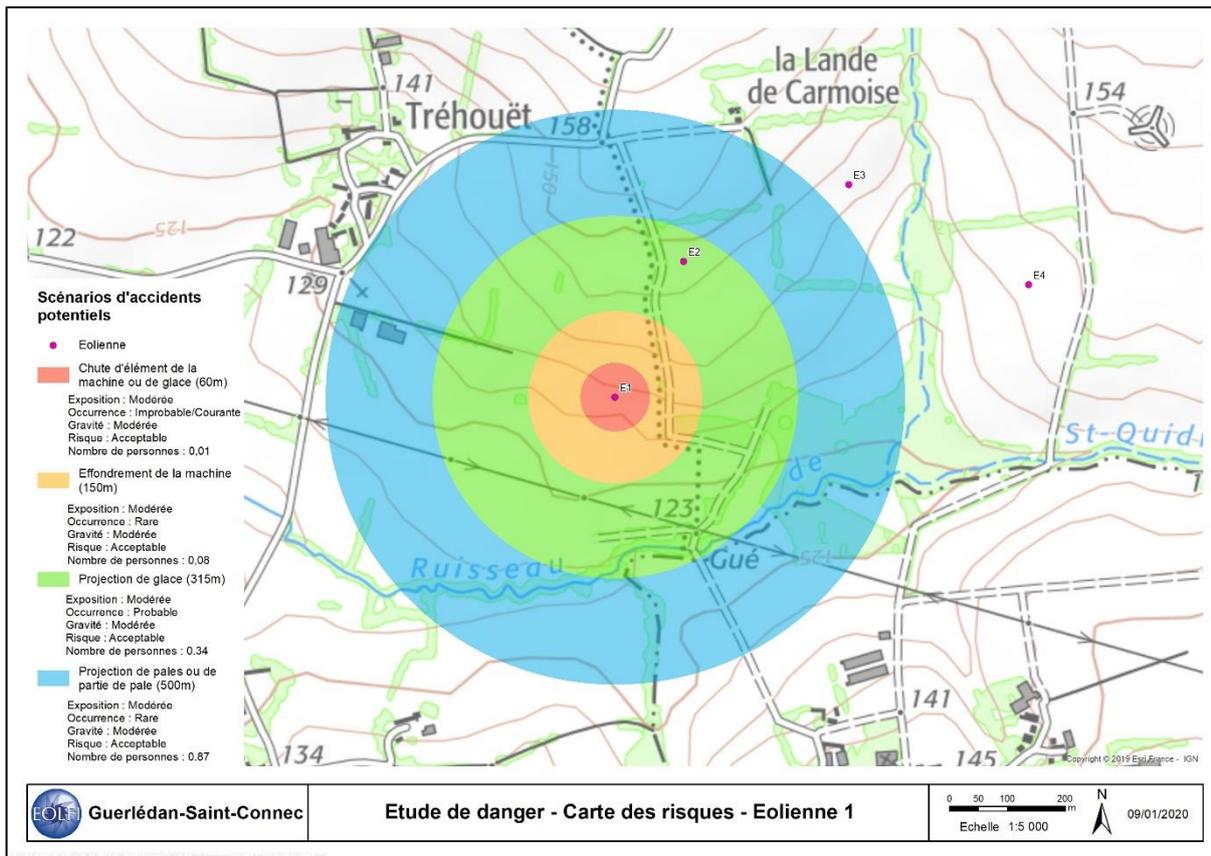


Figure 41 : Synthèse des risques pour l'éolienne E1

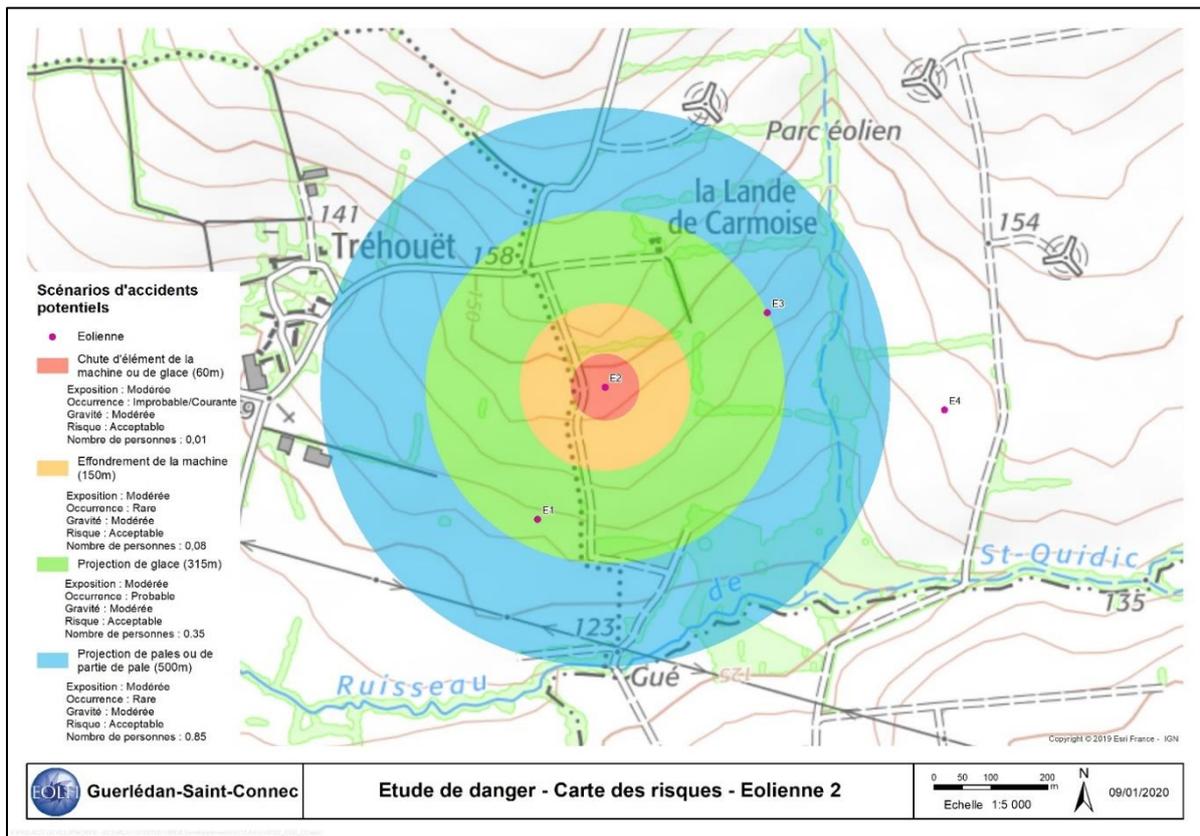


Figure 42 : Synthèse des risques pour l'éolienne E2

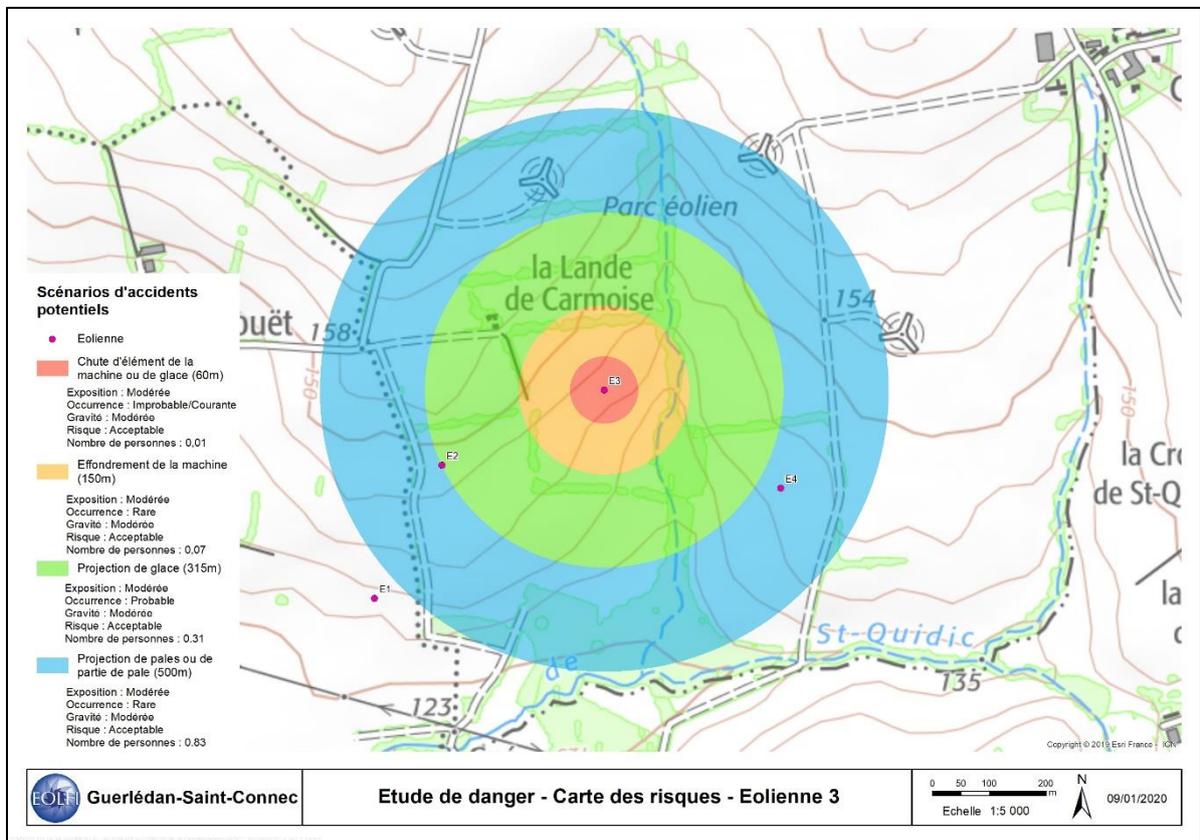


Figure 43 : Synthèse des risques pour l'éolienne E3

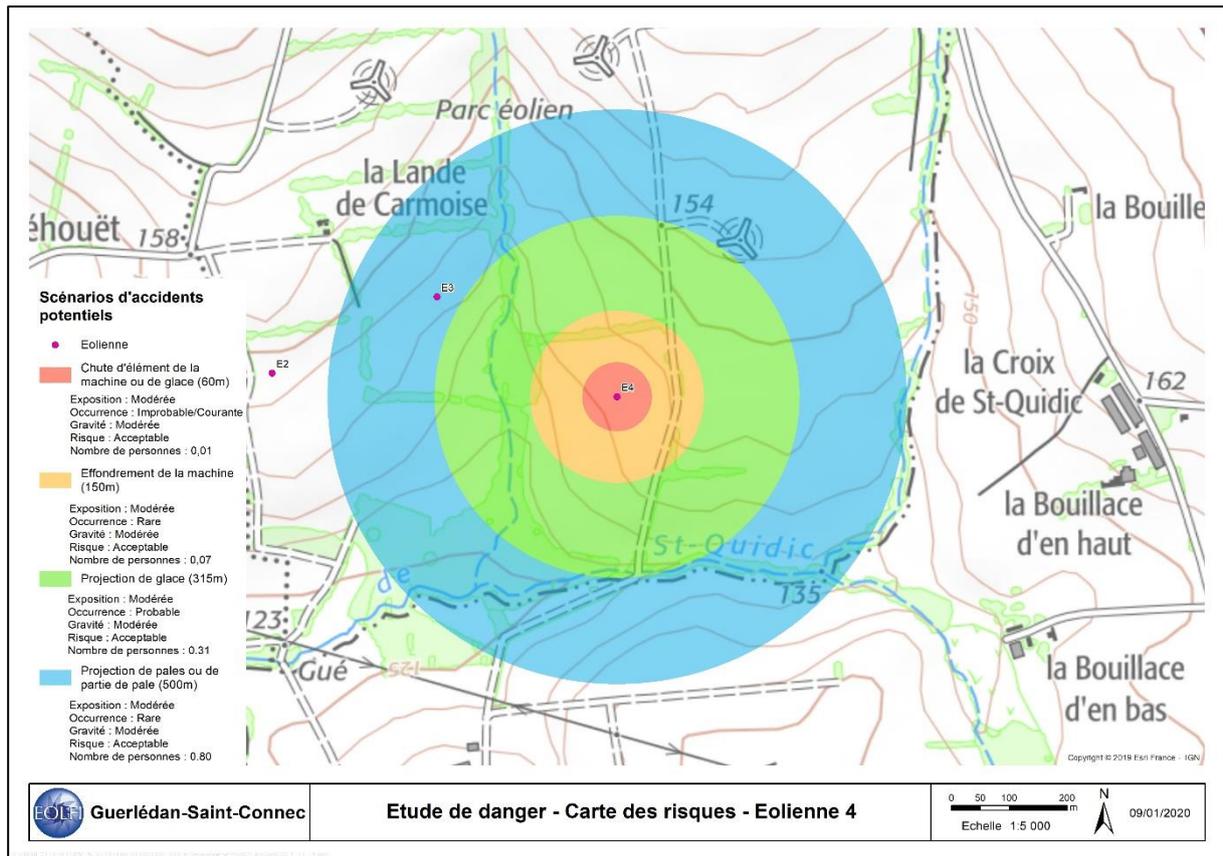


Figure 44 : Synthèse des risques pour l'éolienne E4

X. CONCLUSION

Cette étude de dangers a pour objectif de répondre aux exigences du classement des éoliennes à la nomenclature ICPE. Ce document est réalisé par la société PARC EOLIEN COTES ARMOR 1, grâce au document générique produit par le groupe de travail SER - FEE - INERIS.

Les principaux accidents majeurs identifiés pour le projet éolien de Carmoise-Tréhouët sont ceux retenus par le guide de l'étude de danger réalisé par l'INERIS/SER/FEE à savoir :

- Le bris de pale,
- L'effondrement de l'éolienne,
- La chute d'éléments,
- La chute de glace,
- Projection de glace.

La probabilité d'atteinte d'un enjeu par un projectile est variable en fonction du scénario :

- [D] pour l'effondrement de l'éolienne ;
- [C] pour la chute d'éléments ;
- [A] pour la chute de glace ;
- [D] pour la projection d'un fragment de pale ;
- [B] pour la projection de glace.

Dans la zone de surplomb des éoliennes (Rayon de 60 m), là où s’observe les phénomènes de chute de glace et d’éléments, l’enjeu humain est défini à un maximum de 0,01 personne. Cette zone représente une gravité modérée pour le phénomène de chute de glace et pour celui de chute d’éléments. Au vu de la probabilité d’occurrence de ces phénomènes, l’enjeu est jugé **acceptable** pour ces 2 scénarios.

Dans la zone d’effondrement de la machine (Rayon de 150 m) l’enjeu humain est évalué à un maximum de 0,08 personne, ce qui représente une gravité modérée. La probabilité d’occurrence étant faible (probabilité D), le niveau de risque est donc jugé **acceptable** pour ce scénario.

Dans la zone de projection de glace (Rayon de 315 m), l’enjeu humain est défini à 0,35 personne maximum, avec une gravité modérée. Le niveau de risque est donc jugé **acceptable**.

Dans la zone de projection de pale ou fragment de pale (Rayon de 500 m), l’enjeu humain est défini à 0,87 personne maximum. La probabilité d’occurrence de ce phénomène est faible et l’exposition est modérée. Le niveau de risque est donc jugé **acceptable**.

Les principales mesures de maîtrise des risques mises en place pour prévenir ou limiter les conséquences de ces accidents majeurs sont :

- Des barrières de prévention avec :
 - ✓ Des balisages des éoliennes ;
 - ✓ Des détecteurs de feux ;
 - ✓ Des détecteurs de survitesse ;
 - ✓ Un système anti-foudre ;
 - ✓ Des protections contre la glace
 - ✓ Des protections contre l’échauffement des pièces mécaniques ;
 - ✓ Des protections contre les courts-circuits ;
 - ✓ Des protections contre la pollution environnementale.
- Une maintenance préventive et vérification :
 - ✓ Planning de maintenance préventive ;
 - ✓ Maintenance des installations électriques ;
 - ✓ Vérifications électrique, incendie, annuelle par un organisme agréé.
- Un personnel formé ;
- Des machines certifiées ;

L’ensemble des scénarios étudiés est en zone de risques intermédiaires, pour laquelle les mesures de sécurité sont jugées suffisantes et la maîtrise des risques concernés est assurée et démontrée par l’exploitant (contrôles appropriés pour éviter tout écart dans le temps).

Pour rappel, un résumé non technique a été élaboré afin de résumer les principaux résultats obtenus d’une manière compréhensible par tous et est présent en première partie de cette étude de dangers.

Les mesures de maîtrise des risques mises en place sur l’installation sont suffisantes pour garantir un risque acceptable pour chacun des phénomènes dangereux retenus dans l’étude détaillée.

En conclusion, le projet de Carmoise-Tréhouët 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 actuelles. Les risques résiduels sont acceptables, ce qui confirme la sûreté du projet éolien de Carmoise-Tréhouët.

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

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

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

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

TERRAINS NON BATIS

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 = $0,4 \times 0,5 \times 20\,000/100 = 40$ personnes.

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

VOIES FERROVIAIRES

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

VOIES NAVIGABLES

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

CHEMINS ET VOIES PIETONNES

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'ACTIVITE

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 présent guide, complété par les données disponibles après 2012. Il recense l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne entre 2000 et 2019. L'analyse de ces données est présentée dans la partie VII de la trame type de l'étude de dangers.

Type d'accident	Date	Nom/localisation 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)	Inconnue	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	Non	Grave électrisation avec brûlures d'un technicien	Lors de mesures pour caractériser 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	Non	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

PROJET EOLIEN DE CARMOISE-TREHOUËT – ETUDE DE DANGERS

Type d'accident	Date	Nom/localisation 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 de Quesnoy-sur-Airaines	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)	Incon-
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site de Quesnoy-sur-Airaines	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5m à 50m, 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)	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	Inconnue	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 (sur vitesse 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	Inconnue	Site Vent de Colère	Information peu précise

PROJET EOLIEN DE CARMOISE-TREHOUËT – ETUDE DE DANGERS

Type d'accident	Date	Nom/localisation 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 de Quesnoy-sur-Airaines	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	Non	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	Non	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	Non	Rupture d'un morceau de pale de 4 m et éjection à environ 80 m de distance dans un champ	Inconnue	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 retrofit des boulons de charnières effectué sur toutes les machines en exploitation.	Article de presse (Le Télégramme)	-
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)

PROJET EOLIEN DE CARMOISE-TREHOUËT – ETUDE DE DANGERS

Type d'accident	Date	Nom/localisation 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
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	Non	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	Non	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	Non	Chute de pale	Inconnue	Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain)	-
Maintenance	26/01/2009	Clastres	Aisne	2,75	2004	Non	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	Bollène	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)
Incendie	21/10/2009	Froidfond - Espinassière	Vendée	2	2006	Non	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	Non	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)	-

PROJET EOLIEN DE CARMOISE-TREHOUËT – ETUDE DE DANGERS

Type d'accident	Date	Nom/localisation 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
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 entraînant 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.	Inconnue	Interne SER-FEE	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Transport	31/05/2011	Mesvres	Saône-et-Loire	-	-	-	Collision entre un train régional et un convoi exceptionnel transportant une pale d'éolienne, au niveau d'un passage à niveau Aucun blessé	Inconnue	Article de presse (Le Bien Public 01/06/2011)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident de transport hors site éolien)

PROJET EOLIEN DE CARMOISE-TREHOUËT – ETUDE DE DANGERS

Type d'accident	Date	Nom/localisation 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	14/12/2011	Non communiqué	Non communiqué	2,5	2003	Non	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	Non	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	ARIA n° 41578	-
Maintenance	06/02/2012	Lehaucourt	Aisne	2	2008	Non	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance	Accident électrique (arc électrique)	ARIA n°41628	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Rupture de pale	11/04/2012	Sigean	Aude	Entre 0,2 et 0,66	1991	Non	Présence d'un impact sur le mât. Projection à 20m d'un débris de pale long de 15m.	Foudre	ARIA n°43841	-

PROJET EOLIEN DE CARMOISE-TREHOUËT – ETUDE DE DANGERS

Type d'accident	Date	Nom/localisation 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	18/05/2012	Fresnay-L'Evêque	Eure-et-Loir	2	2008	Non	Chute d'une pale.	Corrosion dans les trous d'alésages traversant une des bagues du roulement reliant pale et hub.	ARIA n°42919	-
Chute d'un élément d'une pale	1/11/2012	Vieillespesse	Cantal	2,5	2011	Oui	Un élément de 400g constitutif d'une pale éolienne est projeté à 70m du mât, à l'intérieur de la parcelle clôturée du parc de 4 éoliennes.	Inconnue	ARIA n°43120	-
Incendie	05/11/2012	Sigean	Aude	0,66	1991	Non	Feu d'éolienne, enflammant 80m2 de garrigue environnante. Le feu a entraîné la chute d'une pale.	Dysfonctionnement de disjoncteur situé sur l'éolienne a entraîné la propagation des courants de court-circuit faisant fondre les câbles et entraînant un départ d'incendie dans la nacelle.	ARIA n°43228	-
Chute de pale	06/03/2013	Conilhac-de-la-montagne	Aude	0,85	2008	Non	Chute d'une pale de l'éolienne.	Inconnue	ARIA n°43576	-
Incendie	17/03/2013	Fère-Champenoise-Euvy-Corroy	Marne	2,5	2011	Oui	Rotor de l'éolienne qui prend feu à la suite d'une probable surchauffe. Une pale de l'engin est tombée à terre.	Surchauffe	ARIA n°4360	-

PROJET EOLIEN DE CARMOISE-TREHOUËT – ETUDE DE DANGERS

Type d'accident	Date	Nom/localisation 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	20/06/2013	Labastide-sur-Besorgues	Ardèche	0,9	2009	Oui	Une pale est déchirée sur 6m de longueur, le boîtier basse tension et le parafoudre en tête d'installation au poste de livraison sont détruits.	Foudre conduisant à une montée en pression de l'air intérieur	ARIA n°45016	-
Maintenance	01/07/2013	Cambon-et-Salvergues	Hérault	1,6	2006	Non	Dévisage de la vanne d'isolement dans le hub d'une éolienne, contenant du gaz sous pression blessant un technicien de maintenance.	Défaillances organisationnelles.	ARIA n°44150	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Incendie	09/01/2014	Antheny	Champagne-Ardenne	2,5	2013	Oui	Feu se déclarant au niveau de la partie moteur d'une éolienne. Nacelle détruite, rotor intact.	Incident électrique	ARIA n°44831	-
Chute de pale	20/01/2014	Sigean	Aude	Entre 0,2 et 0,66	1991	Non	Chute de pale liée à la rupture d'une pièce à la base de la pale.	Usure prématurée	ARIA n°44870	
Chute de pale	14/11/2014	Saint-Cirgues-en-Montagne	Ardèche	2,05	2011	Oui	Chute d'une pale lors d'un orage où les rafales de vents ont atteint 130 km/h. Débris projetés à 150m.	Orage, vent violent (130 km/h).	ARIA n°45960	-

PROJET EOLIEN DE CARMOISE-TREHOUËT – ETUDE DE DANGERS

Type d'accident	Date	Nom/localisation 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	05/12/2014	Fitou	Aude	1,3	2002	Non	L'extrémité d'une pale est découverte au sol, à 80m du mât. Cette partie mesure 3m de long.	Défaillance matérielle ou décollage sur les plaques en fibre de verre.	ARIA n°46030	-
Incendie	29/01/2015	Remigny	Aisne	2,3	2015	Oui	Un feu se déclare dans l'éolienne. Dégâts estimés à 150 k€.	Défaut d'isolation au niveau des connexions des conducteurs de puissance.	ARIA n°46304	Parc éolien alors en phase de test.
Incendie	24/08/2015	Santilly	Eure-et-Loir	2,5	2007	Non	Un incendie d'origine accidentelle.	Inconnue	ARIA n°47062	-
Chute de pale	10/11/2015	Ménil-la-Horgne	Meuse	1,5	2007	Non	Les trois pales et le rotor ont fait une chute de 85 mètres de haut, endommageant au pied un transformateur d'EDF.	Une non-conformité dans le processus de moulage d'une pièce de fonderie en acier est suspectée, entraînant la défaillance de l'arbre lent.	ARIA n°47377	-
Chute d'un élément d'une pale	07/02/2016	Conilhac-Corbières	Aude	2,3	2014	Oui	Chute de l'aérofrein d'une des pales.	Rupture du point d'attache du système mécanique de commande de l'aérofrein.	ARIA n°47675	-

PROJET EOLIEN DE CARMOISE-TREHOUËT – ETUDE DE DANGERS

Type d'accident	Date	Nom/localisation 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	08/02/2016	Dineault	Finistère	0,3	1999	Non	Une pale chute au sol et une autre se déchire. La pale rompue est retrouvée à 40m du pied du mât.	Tempête avec des vents à 160 km/h.	ARIA n°47680	-
Chute de pale	07/03/2016	Calanhel	Côtes-d'Armor	0,8	2009	Oui	Rupture et chute de la pale à 5m du mât.	Rupture du système d'orientation de la pale.	ARIA n°47763	-
Incendie	10/08/2016	Hescamps	Somme	1	2008	Non	Un feu se déclare au niveau du rotor d'une éolienne. Un technicien est légèrement intoxiqué par les fumées.	Défaillance électrique	ARIA n°48426	-
Incendie	18/08/2016	Dargies	Oise	2	2014	Oui	Fumée s'échappant de la tête de l'aérogénérateur.	Défaillance électrique	ARIA n°48471	-
Chute de pale	12/01/2017	Tuchan	Aude	0,6	2002	Non	Les 3 pales d'une éolienne chutent au sol.	Vents violents entraînant une rotation excessive des pales, dont l'arbre lent était cassé du fait d'une défaillance mécanique.	ARIA n°49104	-

PROJET EOLIEN DE CARMOISE-TREHOUËT – ETUDE DE DANGERS

Type d'accident	Date	Nom/localisation 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	18/01/2017	Nurlu	Somme	2	2006	Non	Chute partielle d'une pale, qui se brise en plusieurs morceaux.	Tempête	ARIA n°49151	-
Rupture de pale	27/02/2017	Lavallée	Meuse	2	2011	Oui	L'extrémité d'une pale, de 7 à 10m), est retrouvée à 200m de l'éolienne.	Rafale de vent extrême lors d'un orage.	ARIA n°49359	-
Rupture de pale	27/02/2017	Trayes	Deux-Sèvres	2	2011	Oui	Les 7 derniers mètres d'une pale de 44m se sont désolidarisés et sont projetés à 150m du mât.	Défaut de fabrication.	ARIA n°49374	-
Incendie	06/06/2017	Allonnes	Eure-et-Loir	3	2014	Oui	Incendie de la nacelle de l'éolienne.	Défaut des condensateurs du boîtier électrique situé dans la nacelle.	ARIA n°49746	-
Rupture de pale	08/06/2017	Aussac-Vadalle	Charente	2	2010	Oui	Une partie d'une pale éolienne chute au sol.	Foudre	ARIA n°49768	-

PROJET EOLIEN DE CARMOISE-TREHOUËT – ETUDE DE DANGERS

Type d'accident	Date	Nom/localisation 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	24/06/2017	Conchy-sur-Canche	Pas-de-Calais	1,67	2007	Non	Une pale éolienne se brise et chute au pied du mât.	Inconnue	ARIA n°49902	-
Chute d'élément	17/07/2017	Fécamp	Seine-Maritime	0,9	2006	Non	Un aérofrein se détache d'une pale d'éolienne.	Desserrage d'une vis anti-rotation dû à un problème de montage ou à des vibrations en fonctionnement	ARIA n°50291	-
Rupture de pale	05/08/2017	Priez	Aisne	2	2017	Oui	Une pale se brise en son milieu et tombe au sol.	Inconnue	ARIA n°50148	-
Chute d'élément	08/11/2017	Roman	Eure	2	2010	Oui	Le carénage de la pointe de la nacelle tombe au sol. Il mesure 2m de diamètre et pèse plusieurs dizaines de kg.	Défaut de montage	ARIA n°50694	-
Effondrement	01/01/2018	Parc éolien de Bouin	Vendée	2,4	2003	Non	Le mât de l'éolienne se brise en deux.	Tempête	ARIA n°50913	-

PROJET EOLIEN DE CARMOISE-TREHOUËT – ETUDE DE DANGERS

Type d'accident	Date	Nom/localisation 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	04/01/2018	Nixeville-Blercourt	Meuse	2	2008	Non	Chute d'un morceau de 20m d'une pale éolienne.	Vent violent	ARIA n°50905	-
Chute d'élément	06/02/2018	Conilhac-Corbières	Aude	2,3	2014	Oui	Chute de l'aérofrein d'une des pales. Un accident similaire est survenu sur ce parc 2 ans auparavant.	Défaut sur l'électronique de puissance.	ARIA n°51122	-
Incendie	01/06/2018	Marsanne	Drôme	2	2008	Non	Une éolienne est incendiée à sa base et le feu se propage jusqu'à la nacelle. Une autre l'est aussi mais le feu ne se propage pas.	Incendie criminel	ARIA n°51675	-
Incendie	05/06/2018	Aumelas	Hérault	2	2014	Oui	Un feu se déclare dans la nacelle d'une éolienne. Les pompiers laissent l'incendie se terminer sous surveillance.	Dysfonctionnement électrique	ARIA n°51681	-
Rupture de pale	04/07/2018	Port-la-Nouvelle	Aude	0,66	2000	Non	Les extrémités de 2 pales se sont disloquées et ont été projetées à 150m du mât.	Inconnue	ARIA n°51853	-

PROJET EOLIEN DE CARMOISE-TREHOUËT – ETUDE DE DANGERS

Type d'accident	Date	Nom/localisation 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	03/08/2018	Parc des Monts de l'Ain	Ain	2	2017	Oui	Feu ayant entraîné la chute des pales	Potentielle piste criminelle	Article de presse (20 minutes)	-
Incendie	28/09/2018	Sauveterre	Tarn	2	2009	Non	Un feu se déclare au niveau de la nacelle d'une éolienne. Le feu se propage à la végétation voisine et brûle 2,5 ha de résineux. Des traces d'effraction sur la porte d'accès à l'éolienne sont découvertes.	Incendie criminel	ARIA n°52641	-
Effondrement	06/11/2018	La Mardelle	Loiret	3	2010	Oui	Chute de l'ensemble de l'éolienne. Cet incident n'a pas fait de blessé ni endommagé d'autres machines	Emballement de la machine à la suite d'une panne du système de freinage aérodynamique	Article de presse (France 3 Centre-Val de Loire)	-
Rupture d'un morceau de pale	19/11/2018	Ollezy	Aisne	2,4	2017	Oui	30 mètres d'une pale se sont détachés et retrouvés au sol	Inconnue	Article de Presse (Le journal de Ham)	
Incendie	03/01/2019	La Limouzinière	Loire-Atlantique	2,05	2010	Oui	Incendie du moteur sans provoquer de déformation de la structure. Aucun blessé n'est à déplorer.	Inconnue	Article de presse (France 3 pays de la Loire)	-

PROJET EOLIEN DE CARMOISE-TREHOUËT – ETUDE DE DANGERS

Type d'accident	Date	Nom/localisation 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 morceau de pale	17/01/2019	Bambiderstroff	Moselle	2	2007/2010	Non	Bris et projection de plusieurs morceaux de pale : 5 m de coque et 28 m de fibre de verre. La fibre est projetée à 100 m du mat.	Défaut d'adhérence dû à un manque de matière entre la coque en fibre de verre et le cœur de la pale	Article de Presse (Républicain Lorrain)	
Incendies	20/01/2019	Roussas	Drome	1,7	2006	Non	2 éoliennes prennent feu dans la nuit	Criminelle	Aria n°52993	Ne concerne pas la présente étude
Effondrement	23/01/2019	Boutavent	Oise	2	2010	Non	Mât plié en deux précipitant la nacelle et le rotor au sol	Dysfonctionnement du système de mise en drapeau lors de forts vents	Article de Presse (Courrier picard)	
Rupture de pale	30/01/2019	Roquetaillade	Aude	0,66	2001	Non	Rupture de pale	Inconnue	Article de Presse (L'Indépendant)	
Foudroiement	02/04/2019	Equancourt	Somme	-	-	-	Une pale est endommagée après avoir été frappée par la foudre. L'arrêt et la mise en drapeau préviennent tout chute d'élément	Foudre	Article de Presse (Courrier Picard)	Ne concerne pas la présente étude

PROJET EOLIEN DE CARMOISE-TREHOUËT – ETUDE DE DANGERS

Type d'accident	Date	Nom/localisation 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
Maintenance	15/04/2019	Chailly-sur-Armançon	Côte d'Or	-	-	-	Electrification d'un technicien	Intervention	ARIA n°53479	Ne concerne par la présente étude
Incendie	18/06/2019	Quesnoy-sur-Airaines	Somme	2,3	2011	Non	Incendie d'origine électrique	Court-circuit sur un condensateur	Article de Presse (Courrier Picard)	
Incendie	25/06/2019	Ambon	Morbihan	1,670	2008	Non	Incendie se déclarant pendant une maintenance du système de pitch des pales	Fuites d'huile constatées en 2015 et 2018 non-nettoyées	Article de Presse (Morbihan)	
Rupture de Pale	27/06/2019	Charly /Marne	Aisne	2	2009	Non	Une éolienne avec une pale présentant un angle anormal est mise à l'arrêt. Lors de l'arrêt, la pale à projeté en 2 morceaux à 15 et 100 m du mât.	Fissure réparée sur la pale et forte chaleurs	ARIA n° 53894	
Chute d'élément	28/11/2019	Santerre Energies	Somme	20	2017	Oui	Le capot se situant à l'extrémité de la nacelle d'une éolienne se décroche et tombe au sol.		ARIA n°54761	

PROJET EOLIEN DE CARMOISE-TREHOUËT – ETUDE DE DANGERS

Type d'accident	Date	Nom/localisation 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 d'une éolienne	06/12/2019	Parc éolien Entre-Tille-et-Venelle à Avelanges	Côte d'Or	48	2019	Oui	Vers 15 h, alors qu'une équipe d'installation réalise un travail d'étiquetage sur une éolienne, cette dernière commence à tourner malgré l'absence de raccordement électrique.	La mise en mouvement non contrôlée est due à une erreur de positionnement des angles des pales la veille de l'accident à 18 h et à la présence de vent violent.	ARIA n°54898	
Chute d'élément	09/12/2019	Parc éolien de la Forêt de Tessé	Charente	24	2016	Oui	Un riverain constate la chute d'un bout de pale d'environ 7 m. La pale s'est brisée en 3 morceaux principaux (2 points de rupture à environ 16,5 m et 47 m de la racine de la pale).	Le lot de fabrication de la pale sinistrée est identifié par le constructeur. La dernière inspection du constructeur réalisée par drone 8 mois plus tôt n'avait révélé aucun défaut.	ARIA n°54810	
Incendie	16/12/2019	Parc éolien de la Voie Bleriot Est	Eure et Loir	-	2016	Oui	Un feu sans flamme se déclare sur une éolienne d'un parc éolien.	Seules les gaines protectrices des câbles de puissance ont brûlé sur 10 m de long. L'expert en assurance suppose une combustion sans flamme et estime la température atteinte en nacelle en dessous de 100 °C.	ARIA n°54985	
Incendie	17/12/2019	Parc éolien du Mont Gimont	Haute-Marne	24	2010	Non	A 14h20, un feu se déclare en partie basse d'une éolienne. Les pompiers interviennent à l'aide d'un extincteur à poudre.	L'origine du départ de feu serait liée à une défaillance électrique.	ARIA n°54820	

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

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

Le tableau générique issu de l'analyse préliminaire des risques est présenté dans la partie VIII.4 de la trame 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).

SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES LIES A LA GLACE (G01 ET G02)

SCENARIO G01

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

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

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

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

SCENARIO 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.

SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES D'INCENDIE (I01 A I07)

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

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

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

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

L'incendie peut aussi être provoqué par l'échauffement des pièces mécaniques en cas d'emballement du rotor

(survitesses). Plusieurs moyens sont mis en place en matière de prévention :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES DE FUITES (F01 A F02)

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

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

SCENARIO 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.

SCENARIO F02

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

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

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

Ce scénario est à adapter en fonction des produits utilisés.

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

SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES DE CHUTE D'ÉLÉMENTS (C01 A 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.

SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES DE PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES (P01 A 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).

SCENARIO 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.

SCENARIO 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

SCENARIOS 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.

SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES D'EFFONDREMENT DES EOLIENNES (E01 A 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 :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Tableau 47 : Probabilité d’atteinte de chaque accident

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 – GLOSSAIRE

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

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

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

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

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

Evénement initiateur : 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 : Événement 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) vivants 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 6 – DESCRIPTION DES FONCTIONS DE SECURITE DES EOLIENNES ENERCON E115, GAMESA G114, NORDEX N117, VESTAS V110

1 – ENERCON E115 3.0 MW

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
Mesures de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Système de dégivrage des pales Procédure adéquate de redémarrage		
Description	STANDARD : Système de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur (analyse des données de fonctionnement de l'éolienne) permettant, en cas de déduction de glace, une mise à l'arrêt immédiate de l'aérogénérateur. OPTIONNEL : Sur certains sites particulièrement exposés au risque de formation de glace, un détecteur de givre est installé sur la nacelle en redondance avec le système décrit précédemment. OPTIONNEL : <i>de-icing system</i> : Système de dégivrage des pales consistant en un flux d'air chaud depuis la base de la pale jusqu'à son bout. Le temps de dégivrage est calculé en fonction de la température extérieur. Selon le dispositif mis en place et les particularités du site d'implantation, la machine peut être redémarrée automatiquement ou manuellement après inspection visuelle.		
Indépendance	Non pour le dispositif standard. Les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc.		
Temps de réponse	Quelques minutes (<60 min.) conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011		
Efficacité	100%		
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne.		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement. Vérification des capteurs du système de détection de givre lors des maintenances préventives annuelles (si le détecteur est installé).		

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 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% on considère que les promeneurs sont systématiquement avertis par la présence des panneaux		
Tests	NA		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
Mesures de sécurité	Capteurs de température des pièces mécaniques Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement		
Description	Les composants mécaniques les plus chauds sont équipés de capteurs thermiques qui contrôlent en permanence leurs températures. Les seuils d'activation de ces capteurs sont bien inférieurs aux températures de résistance des matériaux d'isolation de ces équipements.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	A préciser si possible		
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. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage.		
Description	La vitesse de rotation du rotor est régulée par le contrôle de pitch des pales. Le système permet de ne pas dépasser la vitesse nominale de fonctionnement du générateur, même lorsque que la vitesse nominale de vent est largement dépassée. Cependant la réactivité du système étant limitée (notamment en cas de rafales), le système de contrôle stoppe la machine en cas de dépassement de la vitesse nominale de plus de 15%. L'éolienne est remise en marche automatiquement au bout de 3 minutes mais si la manœuvre est répétée plus de 5 fois en 24h, un défaut est avéré et la machine ne redémarre pas. En addition, chaque pale est équipée d'un commutateur électromécanique qui la met drapeau lorsque la vitesse nominale de fonctionnement du générateur est dépassée de 25%.		
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 court-circuits	N° de la fonction de sécurité	5
Mesures de sécurité	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.		
Description	Les organes et armoires électriques de l'éolienne sont équipés d'organes de coupures et de protection adéquats et correctement dimensionnés. Tout fonctionnement anormal des composants électriques est suivi d'une coupure de la transmission électrique et à la transmission d'un signal d'alerte vers l'exploitant qui prend alors les mesures appropriées.		
Indépendance	De l'ordre de la seconde		
Temps de réponse	Oui		
Efficacité	100%		
Tests	/		
Maintenance	Des vérifications de tous les composants électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrées dans la plupart des mesures de maintenance préventive mises en œuvre. Les installations électriques sont contrôlées avant la mise en service du parc puis à une fréquence annuelle, conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011.		

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur.		
Description	Respect de la norme IEC 61 400 – 24 (juin 2010); Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; IEC 61024, IEC 62305 (classe de protection de niveau I). Dispositif de capture + mise à la terre Parasurtenseurs sur les circuits électriques		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100%		
Tests	/		
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011.		

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 reliée à une alarme transmise à un poste de contrôle Intervention des services de secours		
Description	DéTECTEURS d'incendie (détecteur de fumée) dans la nacelle 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 (ou des responsables définis spécifiques) 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'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 ou des autres composants selon le manuel opérationnel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Le matériel incendie (type extincteurs) est contrôlé périodiquement par le fabricant 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'huile ; Procédure d'urgence ; Kit antipollution (spill kit)		
Description	<p>Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de prévenir les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence.</p> <p>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.</p> <p>Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; - d'absorber des déversements accidentels de liquides dans la nacelle (huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...) ; - de récupérer les déchets absorbés. <p>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.</p>		
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 différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.) Procédures qualités construction		
Description	La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi la nacelle, le moyeu, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; IEC 61024, IEC 62305. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 12944-2.		
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, 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 de maintenance		
Description	Préconisations du manuel de maintenance Formation du personnel		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100%		
Tests	/		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pales) 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 %.		
Tests	/		
Maintenance	Vérification du frein hydraulique, système de détection de survitesse, du système d'alarme, des motoréducteurs, du graissage, etc..		

Tableau 48 - Ensemble des Fonction de Sécurité (Source : Enercon)

2 – GAMESA G114 : 2,625 MW

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
Mesures de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage		
Description	<p>STANDARD : Système de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur (analyse des données de fonctionnement de l'éolienne) permettant, en cas de déduction de glace, une mise à l'arrêt immédiate de l'aérogénérateur.</p> <p>OPTIONNEL : Système de détection avec capteur de glace sur la nacelle, une mise à l'arrêt immédiate de l'aérogénérateur. De plus, une fonction SCADA avec des capacités de configuration pourrait être envisagée avec le capteur de glace.</p> <p>Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site.</p>		
Indépendance	Non. Les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. En cas de danger particulièrement élevé sur site (survol d'une zone fréquentée sur site soumis à des conditions de gel importantes), des systèmes additionnels peuvent être envisagés.		
Temps de réponse	Quelques minutes (<60 min.) conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011		
Efficacité	100%		
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne.		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement. Vérification des capteurs du système de détection de givre lors des maintenances préventives annuelles (si le détecteur est installé).		

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 Eloignement des zones habitées et fréquentées		
Description	(WTG) Mise en place un autocollant spécifique sur la porte de la tour ; (O&M, Services) 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%		
Tests	NA		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
Mesures de sécurité	Capteurs de température des pièces mécaniques Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement		
Description	/		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	A préciser si possible		
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. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage (Overspeed Guard System).		
Description	Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande. Le système de freinage est généralement 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	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.		
Description	Les organes et armoires électriques de l'éolienne sont équipés d'organes de coupures et de protection adéquats et correctement dimensionnés. Tout fonctionnement anormal des composants électriques est suivi d'une coupure de la transmission électrique et à la transmission d'un signal d'alerte vers l'exploitant qui prend alors les mesures appropriées.		
Indépendance	De l'ordre de la seconde		
Temps de réponse	Oui		
Efficacité	100%		
Tests	/		
Maintenance	Des vérifications de tous les composants électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrées dans la plupart des mesures de maintenance préventive mises en œuvre. Les installations électriques sont contrôlées avant la mise en service du parc puis à une fréquence annuelle, conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011.		

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur.		
Description	Respect de la norme IEC 61 400 – 24 (juin 2010); Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; IEC 61024, IEC 62305 (classe de protection de niveau I). Dispositif de capture + mise à la terre Parasurtenseurs sur les circuits électriques		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100%		
Tests	/		
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011.		

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	STANDARD : Détecteurs d'incendie (détecteur de fumée) dans la nacelle 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 (ou des responsables définis spécifiques) OPTIONNEL : Détecteurs d'incendie (détecteur de fumée) dans la plate-forme inférieure de la tour qui lors de leur déclenchement conduisent à la mise en arrêt de la machine et au découplage du réseau électrique. 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'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 ou des autres composants selon le manuel opérationnel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Le matériel incendie (type extincteurs) est contrôlé périodiquement par le fabricant 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'huile ; Procédure d'urgence ; Kit antipollution (spill kit)		
Description	<p>Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de prévenir les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence.</p> <p>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.</p> <p>Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; - d'absorber des déversements accidentels de liquides dans la nacelle (huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...) ; - de récupérer les déchets absorbés. <p>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.</p>		
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 différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.) Procédures qualités construction		
Description	<p>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.</p> <p>Ainsi la nacelle, le moyeu, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; IEC 61024, IEC 62305.</p> <p>Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 12944-2.</p>		
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, 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 de maintenance		
Description	Préconisations du manuel de maintenance Formation du personnel		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100%		
Tests	/		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pales) 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 %.		
Tests	/		
Maintenance	Vérification du frein hydraulique, système de détection de survitesse, du système d'alarme, des motoréducteurs, du graissage, etc..		

Tableau 49 : Ensemble des fonctions de sécurité (Source : Siemens Gamesa)

3 – NORDEX N117 : 3,6 MW

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
Mesures de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage.		
Description	Système de détection redondant du givre permettant, en cas de détection de glace, une mise à l'arrêt rapide de l'aérogénérateur. Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site.		
Indépendance	Non. Les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. En cas de danger particulièrement élevé sur site (survol d'une zone fréquentée sur site soumis à des conditions de gel importantes), des systèmes additionnels peuvent être envisagés.		
Temps de réponse	Immédiat (L'alarme est déclenchée dès que le capteur est gelé ou détecte de la neige.)		
Efficacité	100 %		
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne		
Maintenance	Vérification des capteurs du système de détection de givre lors des maintenances préventives annuelles.		

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 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	Capteurs de température des pièces mécaniques Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement Systèmes de refroidissement indépendants pour le multiplicateur et la génératrice		
Description	/		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	A préciser si possible		
Maintenance	Maintenance préventive annuelle de la génératrice et de son système de refroidissement, ainsi que du multiplicateur (y compris le système de refroidissement de l'huile du multiplicateur). Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

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

Fonction de sécurité	Prévenir les courts-circuits	N° de la fonction de sécurité	5
Mesures de sécurité	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.		
Description	Les organes et armoires électriques de l'éolienne sont équipés d'organes de coupures et de protection adéquats et correctement dimensionnés. Tout fonctionnement anormal des composants électriques est suivi d'une coupure de la transmission électrique et à la transmission d'un signal d'alerte vers l'exploitant qui prend alors les mesures appropriées.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	De l'ordre de la seconde		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Des vérifications de tous les composants électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrées dans la plupart des mesures de maintenance préventive mises en œuvre. Les installations électriques sont contrôlées avant la mise en service du parc puis à une fréquence annuelle, conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011.		

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur.		
Description	Respect de la norme IEC 61 400 – 24 (juin 2010) Parafoudres sur la nacelle + récepteurs de foudre sur les 2 faces des pales Mise à la terre (nacelle/mât, sections de mât, mât/fondation) Parasurtenseurs sur les circuits électriques		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	Mesure de terre lors des vérifications réglementaires des installations électriques		
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011. Contrôle de l'état de l'installation de mise à la terre dans le mât à chaque maintenance préventive.		

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	Vérification de la plausibilité des mesures de température		
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 fabricant 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 Systèmes d'étanchéité et dispositifs de collecte / récupération 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. Présence de plusieurs bacs collecteurs au niveau des principaux composants. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange. Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin : - de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; - d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...) ; - de récupérer les déchets absorbés. Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, une société spécialisée récupérera et traitera le gravier souillé via les filières adéquates, puis le remplacera par un nouveau revêtement.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	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	Surveillance des vibrations Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.) Procédures qualités Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)		
Description	La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi la nacelle, le 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 équipées de capteurs de vibration, qui entraînent l'arrêt en cas de dépassement des seuils définis. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223 (peinture et revêtement anti-corrosion).		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	15 à 60s (arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage adapté)		
Efficacité	100 %		
Tests	Déclenchement manuel des capteurs de vibration et vérification de la réponse du système		
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'arrêt du 26 août 2011. Inspection visuelle du mât et, si besoin, nettoyage lors des maintenances préventives annuelles.		

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	/		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes 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	15 à 60 s suivant le programme de freinage		
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	Test des programmes de freinage lors de la mise en service de l'éolienne. Test automatique du système de freinage mécanique et du fonctionnement de chaque système pitch (freinage aérodynamique) lors de la séquence de démarrage de l'éolienne.		
Maintenance	Maintenance préventive du système pitch (les points contrôlés varient suivant le type de maintenance – T1 / T2 / T3 / T4), notamment vérification du câblage et du système de lubrification automatique, graissage des roulements de pitch. Maintenance préventive du frein mécanique (les points contrôlés varient suivant le type de maintenance – T1 / T2 / T3 / T4), notamment inspection visuelle, vérification de l'épaisseur des plaquettes de frein et des capteurs du frein mécanique.		

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	12
Mesures de sécurité	Mise en place d'une procédure de veille cyclonique et d'intervention + mise en œuvre d'éoliennes équipées de dispositifs anticycloniques permettant abattage et arrimage au sol des éléments les plus sensibles, en particulier les pâles		
Description	L'ensemble de la structure [mât et/ou nacelle + hélice] peut être rabattu et arrimé au sol Détection des cyclones Formation des opérateurs Mise en place d'une procédure d'intervention suivant les niveaux d'alerte		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	A préciser si possible		

Tableau 50 : Ensemble des fonctions de sécurité (Source : Nordex)

4 – VESTAS V110 : 2,2 MW

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

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 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 %. On considérera 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.

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage. Eléments du système de protection contre la survitesse conformes aux normes IEC 61508 (SIL 2) et EN 954-1		
Description	Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande. NB : Le système de freinage est constitué d'un frein aérodynamique principal (mise en drapeau des pales) et / ou d'un frein mécanique auxiliaire.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	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 la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4-b
Mesures de sécurité	Détection de survitesse du générateur		
Description	Les vitesses de rotation du générateur et de l'arbre lent sont mesurées et analysées en permanence par le système de contrôle. Cette mesure redondante permet de limiter les défaillances liées à un seul capteur. En cas de discordance des mesures, l'éolienne est mise à l'arrêt. Si la vitesse de rotation est supérieure à la vitesse d'alarme, l'éolienne est considérée comme étant en survitesse et est donc mise à l'arrêt.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min 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. Tests à chaque maintenance préventive (tous les ans).
Maintenance	Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4-c
Mesures de sécurité	Vestas Overspeed Guard (VOG)		
Description	<p>En complément aux capteurs de mesure de vitesse, un système instrumenté de sécurité est présent (automate totalement indépendant de l'automate de conduite utilisé pour la fonction 4-b), et dispose d'un capteur de vitesse de rotation disposé sur l'arbre lent. Le dépassement d'une vitesse de 17 tours par minute sur l'arbre lent conduit à la mise à l'arrêt de la machine par mise en drapeau des pales (cette mise en drapeau est assurée par le circuit hydraulique avec l'assistance complémentaire des accumulateurs disposés sur les vérins).</p> <p>En cas d'arrêt par survitesse (déclenchement du VOG), l'éolienne ne peut pas être redémarrée à distance. Il est nécessaire de venir acquitter localement le défaut et d'effectuer un contrôle de la machine avant de relancer l'éolienne.</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	<p>Temps de détection < 1 min</p> <p>Le couplage du système de détection de survitesse au système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant. L'exploitant sera ainsi en mesure de transmettre l'alerte aux services d'Urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément à l'article 23 de l'arrêté du 26 août 2011.</p>		
Efficacité	100 %		
Tests	Lors de la mise en service de l'aérogénérateur, une série de tests (arrêts simples, d'urgence et de survitesse) est réalisée afin de s'assurer du fonctionnement et de la sécurité de l'éolienne conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011.		
Maintenance	<p>Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les ans suivant les manuels de maintenance Vestas. Ces vérifications sont consignées dans le document IRF Vestas.</p> <p>Maintenance conforme aux dispositions des articles 15 et 18 de l'arrêté du 26 août 2011.</p>		

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	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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'acquiescement manuel du défaut.</p>		

Indépendance	Oui
Temps de réponse	50 millisecondes Le couplage du système de détection d'arc électrique avec le système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant.
Efficacité	100 %
Tests	Test des détecteurs d'arc à la mise en service puis tous les ans.
Maintenance	Les installations électriques font l'objet d'un contrôle avant la mise en service industrielle du parc éolien, puis annuellement conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011. 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	<p>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.</p> <p>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.</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat, dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	Avant la première mise en route de l'éolienne, une mesure de mise à la terre est effectuée.		
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011.		

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	<p>1. Sondes de température sur pièces mécaniques. Suivant les niveaux d’alarme et les capteurs, la machine peut être bridée ou mise à l’arrêt jusqu’à refroidissement.</p> <p>Le redémarrage peut être effectué à distance, si les seuils de température sont au-dessous des seuils d’alarme.</p> <p>2. Système de détection incendie</p>		
Description	<p>1. Des sondes de température sont mises en place sur les équipements ayant de fortes variations de température au cours de leur fonctionnement (paliers et roulements des machines tournantes, enroulements du générateur et du transformateur). Ces sondes ont des seuils hauts qui, une fois dépassés, conduisent à une alarme et à une mise à l’arrêt du rotor.</p> <p>2. Les éoliennes sont équipées par défaut d’un système autonome de détection composé de plusieurs capteurs de fumée et de chaleur disposés aux possibles points d’échauffements tels que :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La chambre du transformateur - Le générateur - La cellule haute tension - Le convertisseur - Les armoires électriques principales - Le système de freinage. <p>En cas de détection, une sirène est déclenchée, l’éolienne est mise à l’arrêt en « emergency stop » et isolement électrique par ouverture de la cellule en pied de mât. De façon concomitante un message d’alarme est envoyé au centre de télésurveillance via le système de contrôle commande.</p> <p>Le système de détection incendie est alimenté par le réseau secouru (UPS).</p> <p>Vis-à-vis de la protection incendie, deux extincteurs sont présents dans la nacelle et un extincteur est disponible en pied de tour (utilisables par le personnel sur un départ de feu).</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	<p>Temps de détection de l’ordre de la seconde.</p> <p>Le couplage des éléments de détection de fumée au système SCADA permet l’envoi en temps réel d’alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l’exploitant.</p> <p>L’exploitant sera ainsi en mesure de transmettre l’alerte aux services d’Urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l’entrée en fonctionnement anormal de l’aérogénérateur conformément à l’article 23 de l’arrêté du 26 août 2011.</p>		
Efficacité	100%		
Tests	Test des détecteurs de fumée à la mise en service puis tous les ans.		
Maintenance	<p>Contrôle tous les ans du système de détection incendie pour être conforme à l’article 18 de l’arrêté du 26 août 2012</p> <p>Le matériel incendie (extincteurs) est contrôlé périodiquement par un organisme spécialisé.</p> <p>Maintenance prédictive sur les capteurs de température.</p>		

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	<ol style="list-style-type: none"> 1. Détecteurs de niveau d'huile et capteurs de pression 2. Capteur de niveau du circuit de refroidissement (niveau bas alarmé avec arrêt après temporisation) 3. Procédure d'urgence 4. Kit antipollution 5. Bacs de rétention 		
Description	<ol style="list-style-type: none"> 1. Le circuit hydraulique est équipé de capteurs de pression (une mesure de pression dans le bloc hydraulique de chaque pale) permettant de s'assurer de son bon fonctionnement. Toute baisse de pression au-dessous d'un seuil préalablement déterminé, conduit au déclenchement de l'arrêt du rotor (mise en drapeau des pales). Afin de pouvoir assurer la manœuvre des pales en cas de perte du groupe de mise en pression ou en cas de fuite sur le circuit, chaque bloc hydraulique (situé au plus près du vérin de pale) est équipé d'un accumulateur hydropneumatique (pressurisé à l'azote) qui permet la mise en drapeau de la pale. La pression du circuit de lubrification du multiplicateur fait également l'objet d'un contrôle, asservissant le fonctionnement de l'éolienne. Les niveaux d'huile sont surveillés d'une part au niveau du multiplicateur et d'autre part au niveau du groupe hydraulique. L'atteinte du niveau bas sur le multiplicateur ou sur le groupe hydraulique, déclenche une alarme et conduit à la mise à l'arrêt du rotor. 2. Le circuit de refroidissement (eau glycolée) est équipé d'un capteur de niveau bas, qui en cas de déclenchement conduit à l'arrêt de l'éolienne. 3. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. 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. Une procédure Vestas en cas de pollution accidentelle du sol est communiquée au personnel intervenant dans les aérogénérateurs. 4. En cas de fuite, les véhicules de maintenance Vestas sont équipés de kits de dépollution composés de grandes feuilles absorbantes. Ces kits d'intervention d'urgence permettent : <ul style="list-style-type: none"> • De contenir et arrêter la propagation de la pollution ; • D'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...) ; • De récupérer les déchets absorbés. Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, Vestas se charge de faire intervenir une société spécialisée qui récupérera et traitera la terre souillée via les filières adéquates. 5. Des bacs de rétention empêchent l'huile ou la graisse de couler le long du mât et de s'infiltrer dans le sol. Les principaux bacs de rétention sont équipés de capteurs de niveau d'huile afin d'informer les équipes de maintenance via les alertes cas de fuite importante. De plus, la plateforme supérieure de la tour a les bords relevés et a les jointures étanches entre plaques d'acier. Cette plateforme fait office de bac de rétention de secours en cas de fuite importante dans la nacelle. 		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde		

	Mise en pause de la turbine < 1 min
Efficacité	100%
Tests	Tests des systèmes hydrauliques à la mise en service, au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les ans suivant les manuels de maintenance Vestas. Ces vérifications sont consignées dans le document IRF Vestas. Dépendant du débit de fuite.
Maintenance	Les vérifications d'absence de fuites sont effectuées à chaque service planifié. Surveillance des niveaux d'huile via des outils d'analyses instantanées ou hebdomadaires. Inspection et maintenance curative en fonction du type de déclenchement d'alarme.

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

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

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

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	<ol style="list-style-type: none"> 1. Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents 2. Mise à l'arrêt sur détection de vent fort et freinage aérodynamique par le système de contrôle 		
Description	<ol style="list-style-type: none"> 1. En France, la classification de vents des éoliennes fait référence à la norme « IEC 61400-1 ». Les éoliennes Vestas sont dimensionnées pour chacune de ces classes. Il est donc important de faire correspondre la classe du site avec la classe de la turbine 2. Les éoliennes sont mises à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale de 22.5 m/s pour la V126. Cet arrêt est réalisé par le frein aérodynamique de l'éolienne avec mise en drapeau des pales. Cette mise en drapeau est effectuée par le système d'orientation des pales « Vestas Pitch System ». 		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde. Mise drapeau des pales < 1 min		
Efficacité	100%		
Tests	Pitch system testé tous les ans lors des maintenances préventives.		
Maintenance	Tous les ans.		

Tableau 51 : Ensemble des fonctions de sécurité (Source : Vestas)

ANNEXE 7 – BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES UTILISEES

- [1] L'évaluation des fréquences et des probabilités à partir des données de retour d'expérience (ref DRA-11-117406-04648A), INERIS, 2011
- [2] NF EN 61400-1 Eoliennes – Partie 1 : Exigences de conception, Juin 2006
- [3] Wind Turbine Accident data to 31 March 2011, Caithness Windfarm Information Forum
- [4] Site Specific Hazard Assessment for a wind farm project – Case study – Germanischer Lloyd, Windtest Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH, 2010/08/24
- [5] Guide for Risk-Based Zoning of wind Turbines, Energy research centre of the Netherlands (ECN), H. Braam, G.J. van Mulekom, R.W. Smit, 2005
- [6] Specification of minimum distances, Dr-ing. Veenker ingenieurgesellschaft, 2004
- [7] Permitting setback requirements for wind turbine in California, California Energy Commission – Public Interest Energy Research Program, 2006
- [8] Oméga 10: Evaluation des barrières techniques de sécurité, INERIS, 2005
- [9] Arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement
- [10] Arrêté du 29 Septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation
- [11] Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 Juillet 2003
- [12] Bilan des déplacements en Val-de-Marne, édition 2009, Conseil Général du Val-de-Marne
- [13] Arrêté du 29 Septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation
- [14] Alpine test site Güttsch : monitoring of a wind turbine under icing conditions- R. Cattin et al.
- [15] Wind energy production in cold climate (WECO), Final report - Bengt Tammelin et al. – Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 2000
- [16] Rapport sur la sécurité des installations éoliennes, Conseil Général des Mines - Guillet R., Leteurtois 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
- [19] La fréquentation et les publics des itinéraires de « Saint-Jacques de Compostelle », comité régional du tourisme d'Aquitaine et du Midi -Pyrénées, 2003