

A stylized logo consisting of three overlapping leaf shapes in yellow, green, and blue, set against a white circular background.

## DOSSIER D'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE

### Etude de dangers

# Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale Etude de dangers

Projet de parc éolien de *Gwerginiou*

**BOURBRIAC (22)**



*Dossier 5606964 - Septembre 2018*

**Elicio France SAS**  
**30 bd Richard Lenoir**  
**75011 PARIS**



SOMMAIRE

<b>A. PREAMBULE .....</b>	<b>4</b>
1. Objectif de l'étude de dangers.....	4
2. Contexte législatif et réglementaire.....	4
3. Nomenclature des installations classées.....	4
<b>B. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION .....</b>	<b>5</b>
1. Renseignements administratifs.....	5
2. Localisation du site.....	5
3. Périmètre de l'étude de dangers.....	6
<b>C. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION .....</b>	<b>6</b>
1. Environnement humain.....	6
1.1 Zones urbanisées.....	6
1.2 Etablissements recevant du public (ERP).....	6
1.3 Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et installations nucléaires de base.....	8
1.4 Autres activités.....	8
2. Environnement naturel.....	8
2.1 Contexte climatique.....	8
2.2 Risques naturels.....	10
3. Environnement matériel.....	11
3.1 Voies de communication.....	11
3.2 Servitudes et réseaux publics et privés.....	12
4. Synthèse de l'environnement.....	13
<b>D. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION .....</b>	<b>15</b>
1. Caractéristiques de l'installation.....	15
1.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien.....	15
1.2 Activité de l'installation.....	16
1.3 Composition de l'installation.....	16
2. Fonctionnement de l'installation.....	17
2.1 Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur.....	17
2.2 Sécurité de l'installation.....	18
2.3 Surveillance et procédures d'arrêt.....	19
2.4 Moyens de prévention et lutte contre l'incendie.....	20
2.5 Garanties et conformité des machines.....	20
2.6 Conformité avec les prescriptions générales.....	20
2.7 Opérations de maintenance de l'installation.....	21
2.8 Stockage et flux de produits dangereux.....	21
3. Fonctionnement des réseaux de l'installation.....	21
3.1 Raccordement électrique.....	21
3.2 Autres réseaux.....	22
<b>E. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DANGERS DE L'INSTALLATION .....</b>	<b>23</b>
1. Potentiels de dangers liés aux produits.....	23
1.1 Lubrifiants et graisses.....	23
1.2 Hexafluorure de soufre.....	23
1.3 Autres.....	23
1.4 Réflexion sur des produits de substitution.....	23
2. Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation.....	24
3. Réduction des potentiels de danger à la source.....	24

3.1 Principales actions préventives.....	24
3.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles.....	24
<b>F. ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE .....</b>	<b>24</b>
1. Inventaire des accidents et incidents en France.....	24
2. Inventaire des accidents et incidents à l'international.....	25
3. Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience.....	26
3.1 Analyse de l'évolution des accidents en France.....	26
3.2 Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents.....	26
4. Limites d'utilisation de l'accidentologie.....	27
<b>G. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES .....</b>	<b>27</b>
1. Objectif de l'analyse préliminaire des risques.....	27
2. Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques.....	27
3. Recensement des agressions externes potentielles.....	27
3.1 Agression externes liées aux activités humaines.....	27
3.2 Agressions externes liées aux phénomènes naturels.....	28
4. Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques.....	28
4.1 Tableau d'Analyse Préliminaire des Risques.....	28
4.2 Effets dominos.....	31
4.3 Fonctions de sécurité des éoliennes.....	31
4.4 Conclusion de l'analyse préliminaire des risques.....	34
<b>H. ETUDE DETAILLEE DES RISQUES.....</b>	<b>35</b>
1. Rappel des définitions.....	35
1.1 Cinétique.....	35
1.2 Intensité.....	35
1.3 Gravité.....	35
1.4 Probabilité.....	36
2. Caractérisation des scénarios retenus.....	37
2.1 Effondrement de l'éolienne.....	37
2.2 Chute de glace.....	39
2.3 Chute d'éléments de l'éolienne.....	40
2.4 Projection de pales ou de fragments de pales.....	41
2.5 Projection de glace.....	43
3. Synthèse de l'étude détaillée des risques.....	44
3.1 Tableau de synthèse des scénarios étudiés.....	44
3.2 Synthèse de l'acceptabilité des risques.....	44
3.3 Cartographie des risques.....	44
<b>I. CONCLUSION / RESUME NON TECHNIQUE .....</b>	<b>46</b>

ANNEXES :

Annexe 1 : Accidentologie en France.....	47
Annexe 2 : Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne.....	53
Annexe 3 : Probabilité d'atteinte et risque individuel.....	55
<b>GLOSSAIRE .....</b>	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES .....</b>	<b>57</b>

## TABLE DES ILLUSTRATIONS

### Liste des figures

Figure 1 : Localisation de la commune de Bourbriac .....	5
Figure 2 : Carte des intercommunalités des Côtes d'Armor au 1 <sup>er</sup> janvier 2017 .....	5
Figure 3 : Situation locale .....	5
Figure 4 : Photographie aérienne du lieu-dit Kérauffrédou (Géoportail 2015) .....	6
Figure 5 : Zone d'étude de 500 m autour des éoliennes .....	7
Figure 6 : Histogramme des précipitations moyennes de 1987 à 2010 (station de Kerpert) .....	9
Figure 7 : Potentiel éolien à 60 m d'altitude en Bretagne .....	9
Figure 8 : Rose des vents moyens observés sur le site pendant 1 an .....	9
Figure 9 : Densité de foudroiement (impact de la foudre au sol par an et par km <sup>2</sup> ) .....	10
Figure 10 : Cartographie de remontée de la nappe (site : inondationsnappe.fr) .....	11
Figure 11 : Extrait de la cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles (Géorisque) .....	11
Figure 12 : Polygone rouge à l'intérieur duquel toute construction d'aérogénérateurs est proscrite, bout de pôle inclus .....	11
Figure 13 : Cartographie des contraintes aéronautiques relatives à la zone latérale de protection d'un tronçon du réseau de vol des armées ..	12
Figure 14 : Extrait du PDIPR .....	12
Figure 15 : Synthèse de l'environnement du projet .....	14
Figure 16 : Raccordement électrique au réseau de distribution (Source : ADEME) .....	15
Figure 17 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur .....	15
Figure 18 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne .....	16
Figure 19 : Plan détaillé de l'installation .....	17
Figure 20 : Caractéristiques techniques de la nacelle .....	17
Figure 21 : Raccordement électrique des installations (Source Guide SER/FEE) .....	21
Figure 22 : Vue en coupe des tranchées selon le nombre de câbles passés .....	22
Figure 23 : Evolution du nombre d'accidents et de la taille du parc éolien en France .....	26
Figure 24 : Zones d'effet des scénarios .....	38
Figure 25 : Cartographie de synthèse des risques .....	45

### Liste des tableaux

Tableau 1 : Renseignements administratifs des acteurs du projet .....	5
Tableau 2 : Données de foudroiement sur site 2007-2016 (Source : Météorage / Météo France) .....	10
Tableau 3 : Tableau d'APR .....	30
Tableau 4 : Fonctions de sécurité de l'éolienne .....	34



## A. PREAMBULE

### 1. OBJECTIF DE L'ÉTUDE DE DANGERS

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

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

Elle précise l'ensemble des mesures de maîtrise des risques mises en œuvre sur le parc éolien de *Gwerginiou*, 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.

**Cette étude de dangers est construite sur la base des recommandations du guide technique SER-FEE/INERIS de mai 2012 « Elaboration de l'étude dangers dans le cadre des parcs éoliens ».** Ce guide est le référentiel officiel pour l'élaboration des études de dangers de parc éolien validé par la Direction Générale de la Prévention de Risques (DGPR) du ministère en charge de l'environnement en 2012 et transmis à toutes les Directions Régionales de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) pour l'instruction des dossiers éoliens.

### 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 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 font 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 D181-15-2 du Code de l'environnement :

- description de l'environnement et du voisinage
- description des installations et de leur fonctionnement
- identification et caractérisation des potentiels de danger
- estimation des conséquences de la concrétisation des dangers
- réduction des potentiels de danger
- enseignements tirés du retour d'expérience (des accidents et incidents représentatifs)
- analyse préliminaire des risques
- étude détaillée de réduction des risques
- quantification et hiérarchisation des différents scénarios en terme 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.

Dans la pratique, les principaux risques sont générés au cours de la phase d'exploitation et il est donc normal que **l'étude de dangers concerne principalement cette phase d'exploitation.**

### 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 :

N°	A - Nomenclature des installations classées		
	Désignation de la rubrique	A, D, E, S, C (1)	Rayon (2)
2890	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	
	b) inférieure à 20 MW <sup>2</sup> .....	D	6

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



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

## B. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

### 1. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

Le porteur de projet est la société Elicio France.

Fonction	Nom	Raison Sociale	Adresse	N°SIREN / RCS
Porteur	Elicio France	SAS	30 Bd Richard Lenoir 75011 PARIS	501 530 299 RCS Paris
Exploitant	Elicio France	SAS	30 Bd Richard Lenoir 75011 PARIS	501 530 299 RCS Paris
Maintenance	Elicio France	SAS	30 Bd Richard Lenoir 75011 PARIS	501 530 299 RCS Paris
Auteur de l'étude	ECR Environnement Hélène ROUX	SARL	2, rue André Ampère 56260 LARMOR PLAGE	504 457 789 RCS Lorient

Tableau 1 : Renseignements administratifs des acteurs du projet

### 2. LOCALISATION DU SITE

Le projet de parc éolien se situe en région Bretagne, sur le territoire de la commune de Bourbriac, dans la partie centre-Ouest du département des Côtes-d'Armor (22), à environ 20 km au Sud de Guingamp.



Figure 1 : Localisation de la commune de Bourbriac

La commune de Bourbriac fait partie de Guingamp Paimpol Armor Argoat Agglomération, qui regroupe 57 communes depuis le 1<sup>er</sup> janvier 2017.

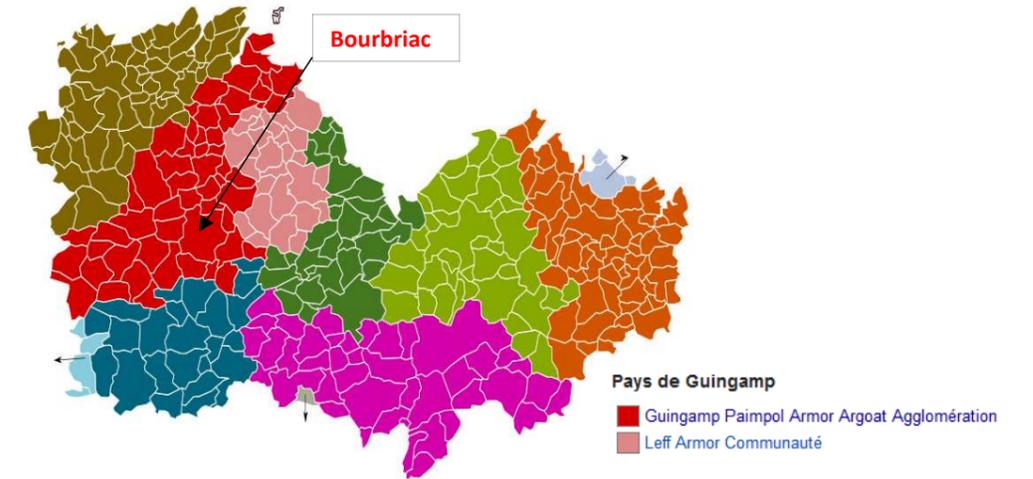


Figure 2 : Carte des intercommunalités des Côtes d'Armor au 1<sup>er</sup> janvier 2017

Au niveau local, la zone d'implantation potentielle est localisée au sud du territoire de Bourbriac, entre les lieux-dits de Kerdavidou, Lavaquer, Guerginiou et Kerauffrédu. La zone pouvant potentiellement accueillir des éoliennes (en rouge sur la carte ci-dessous) s'étend sur environ 39 ha.

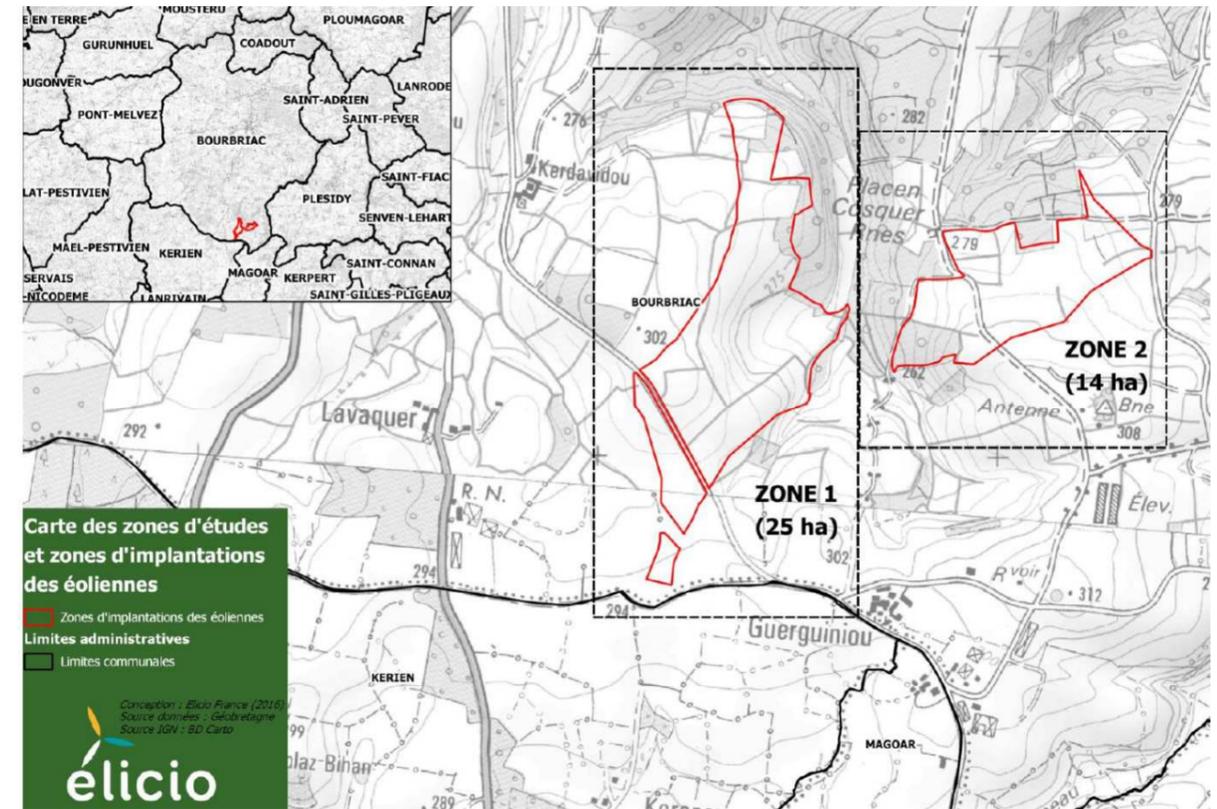


Figure 3 : Situation locale

### 3. PERIMETRE DE L'ÉTUDE 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.

Chaque aire d'étude correspond à l'ensemble des points situés à une distance inférieure ou égale à 500 m à partir de l'emprise du mât de l'aérogénérateur. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection, telle que définie au paragraphe 8.2.4.

La zone d'étude n'intègre pas les environs du poste de livraison, situé le long de la route de Guerginiou, au sud des éoliennes. Les expertises réalisées dans le cadre de la présente étude ont en effet montré l'absence d'effet à l'extérieur du poste de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter.

La zone d'étude s'étend uniquement sur la commune de Bourbriac. En page suivante est présentée une cartographie de la zone d'étude de 500 m autour des éoliennes et la localisation du poste de livraison.

### C. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

Ce chapitre a pour objectif de décrire l'environnement dans l'aire 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).

#### 1. ENVIRONNEMENT HUMAIN

##### 1.1 Zones urbanisées

Les futures éoliennes seront implantées sur la commune de Bourbriac.

Au dernier recensement en 2014 (source INSEE), la commune de Bourbriac comptait 2323 habitants. Le nombre moyen d'habitants par foyer est de 2,3.

Le Plan Local d'Urbanisme de la commune approuvé le 27 novembre 2006 et modifié le 25 novembre 2011 ayant été annulé par décision de la cour administrative d'appel de Nantes le 26 octobre 2012, ce sont les dispositions du POS approuvé en juillet 1987 qui prévalaient à nouveau sur le territoire de la commune. Cependant, dans toutes les communes où le POS n'a pas été révisé en PLU au 24 mars 2017, c'est le règlement national d'urbanisme (RNU) qui régit les limitations au droit de propriété.

Aucun hameau, ni zone urbanisable n'est inclus au sein de la zone d'étude (uniquement en zone agricole).

Les bâtiments les plus proches de la zone d'étude étaient deux hangars agricoles, au lieu-dit Kerauffrédou, implantés sur les parcelles n°92 et 93, de la section YO. Ces hangars ont été détruits en grande partie, il ne reste plus qu'un petit hangar sur la parcelle n°92, à un peu plus de 500 m des éoliennes.



Figure 4 : Photographie aérienne du lieu-dit Kerauffrédou (Géoportail 2015)

Les hameaux de Kerauffrédou, Kerdavidou, Guerginiou, Lavaquer, la ruine au lieu-dit Coat an Ty et le réservoir d'eau potable de Guerginiou sont à une distance supérieure à 500 m des éoliennes.

Les habitations les proches de l'aire d'étude sont situées (source : mairie) :

Lieu-dit	Distance	Résidences principales	Résidences secondaires
Kerdavidou	551 m	2	1 gîte
Lavaquer	751 et 784 m	5	-
Guerginiou	687 à 949 m	6	-
Kerauffrédou	529 et 677 m	5	2
Coat Rohan	780 m	1	-

##### 1.2 Etablissements recevant du public (ERP)

Chaque commune dispose de plusieurs Etablissements Recevant du Public. Ceux-ci sont caractérisés en fonction de leur type (fonction) et de leur catégorie (capacité d'accueil). Il existe 5 catégories :

- 1° catégorie : au-dessus de 1 500 personnes,
- 2° catégorie : de 701 à 1 500 personnes,
- 3° catégorie : de 301 à 700 personnes,
- 4° catégorie : jusqu'à 300 personnes, sauf pour les établissements de 5° catégorie,
- 5° catégorie : établissement accueillant un nombre de personnes inférieur au seuil fixé par la législation. Ce seuil dépend du type d'établissement.

La commune de Bourbriac possède plusieurs ERP (source : site internet de la commune)

- Mairie, Médiathèque
- Salle des forges
- Equipements sportifs (stade, gymnase, salle de danse Koz Kastell, dojo, court de tennis)
- Ecole maternelle (3 classes et demi 72 élèves)
- Ecole publique (6 classes à la rentrée 2016-2017 (135 élèves)
- Ecole privée Saint Briac (2classes 38 élèves)
- Ecole DIWAN 2 classes en 2016-2017 (35 enfants)
- Collège Jules Ferry (Collège de 198 élèves. Composé de 9 classes)
- EHPAD (62 lits)

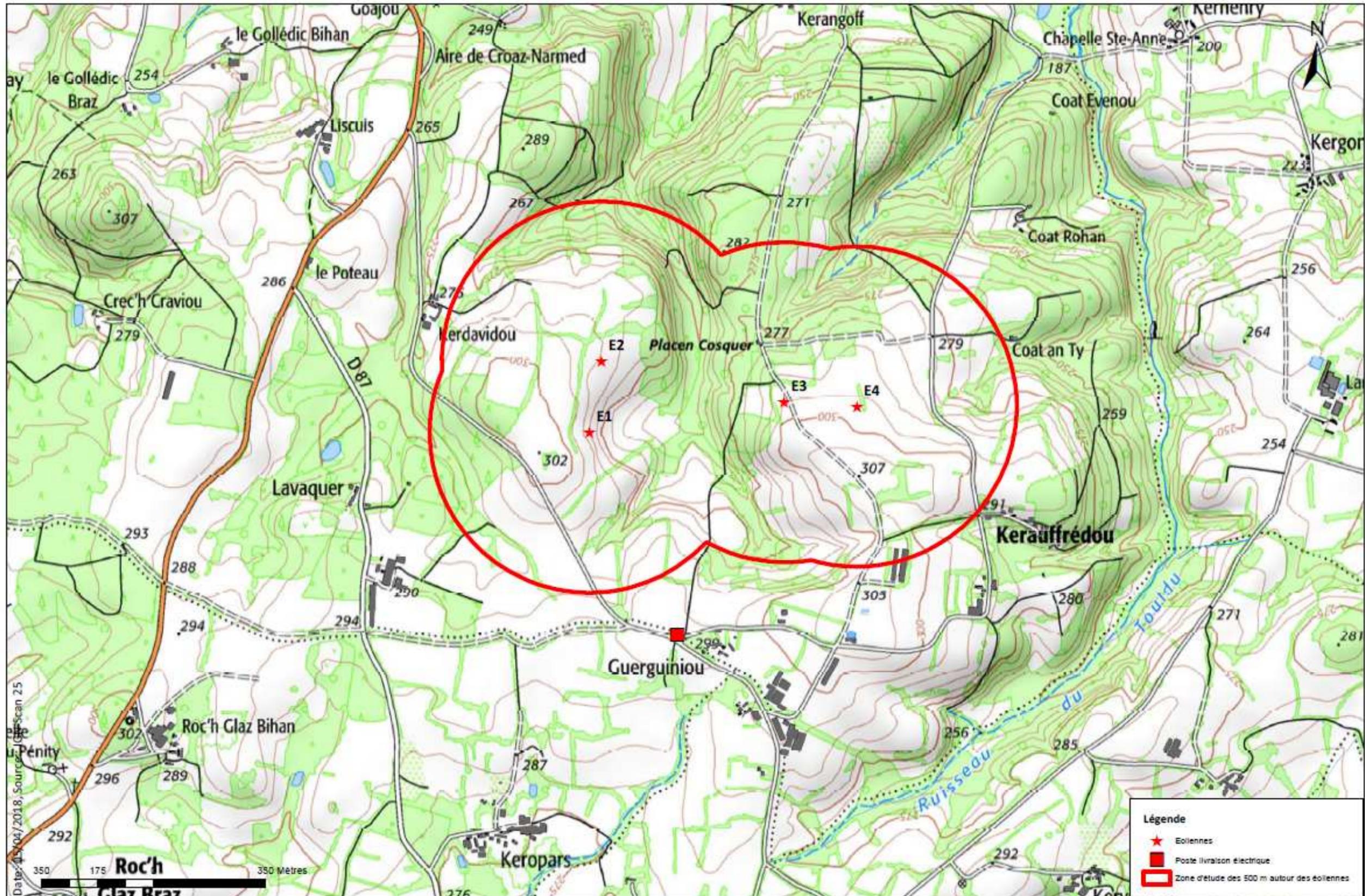


Figure 5 : Zone d'étude de 500 m autour des éoliennes

**Les commerces et artisans :**

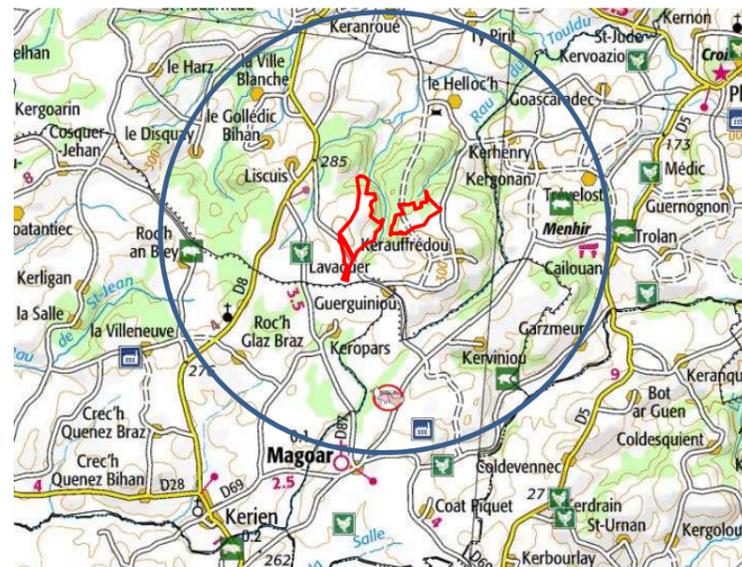
- Alimentation	- Artisanat d'art
- Auto-école	- Assainissement
- Boucherie charcuterie,	- Carrelage
- Boulangeries, pâtisseries	- Constructions de bâtiments industriels et agricoles
- Cafés, restaurants	- Couverture
- Salons de coiffure	- Désinfection, désinsectisation, dératisation
- Coopérative agricole	- 7 entreprises d'électricité, chauffage, plomberie
- Fleuriste	- Entreprise générale de bâtiment
- Garages automobiles	- Menuiserie pvc, alu, bois
- Livraison fuel	- Montage matériel de traite et d'élevage
- Métallerie,	- Motoculture
- Quincaillerie	- Ramonage
- Tabac, presse, loto	- Terrassement
- Ambulance, taxi, vsl	- Traiteur
- Apiculteur	

Ces établissements sont essentiellement situés au bourg et aucun ne se situe dans l'aire de 500 m autour des éoliennes.

**1.3 Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et installations nucléaires de base**

Le territoire de Bourbriac se situe en dehors de toute zone à risque industriel ou technologique (sites SEVESO, installation nucléaire,...) mais est concerné par le risque de transport de marchandises dangereuses.

La liste des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) situées à proximité (rayon de 3 km) de la zone d'implantation potentielle (ZIP) est la suivante (source : Géorisque/Panorama DREAL Bretagne) :



entreprise	activité	Régime ICPE	commune	distance
EARL DE LAVAQUER	volailles	Autorisation	BOURBRIAC	730 m
SCEA LERICOLLAIS	porcs	Enregistrement	PLESIDY	1,4 km
SCEA DE ROCH AN BLEY	porcs	Autorisation	KERIEN	2,1 km

EARL DE KEREVELEN	porcs	Enregistrement	MAGOAR	2,3 km
Société du parc éolien de Magoar	Production d'électricité	Autorisation	MAGOAR	2,5 km
GAEC DE KERHORONG	volailles	Autorisation	MAGOAR	2,9 km

Aucune ICPE n'est localisée au sein du périmètre de 500 m des éoliennes. La plus proche est l'EARL de Lavaquer, 730 m à l'ouest de l'éolienne E1.

**1.4 Autres activités**

Les autres activités dans la zone d'étude sont principalement des activités agricoles. La zone d'étude compte 3 sièges d'exploitation : 2 à Gwerginiou et 1 à Lavaquer.

**2. ENVIRONNEMENT NATUREL**

**2.1 Contexte climatique**

La Bretagne bénéficie d'un climat océanique typique. Ses trois façades maritimes l'enveloppent de douceur, d'humidité et de vent. Marquée par de faibles amplitudes diurnes et saisonnières des températures, la région se caractérise aussi par la fréquence de ses précipitations dont les cumuls varient du simple au double en fonction du relief. Le littoral connaît des hivers plus doux et des étés plus ensoleillés que l'intérieur, et des vents plus soutenus. Les tempêtes agitent parfois le climat breton, qui n'est pas totalement à l'abri des épisodes de fortes pluies, de sécheresse, de neige, de froid voire de forte chaleur.

La station Météo France la plus proche est celle de Kerpert, 8 km au sud-est de la zone de projet. Elle possède des résultats statistiques complets sur une période de 30 ans (1987-2017).

• **Température et précipitations**

La commune de Bourbriac bénéficie d'un climat tempéré chaud. Les températures sont souvent douces avec des variations relativement modérées.

La température moyenne annuelle à Guingamp est de 11.1 °C. Le mois le plus chaud de l'année est celui d'août avec une température moyenne de 16.9 °C. Avec une température moyenne de 5.4 °C, le mois de Janvier est le plus froid de l'année. Les températures sont dépendantes des conditions topographiques locales conditionnées par le relief, la nature des sols, la répartition des cours d'eau, les types de végétation.

Des précipitations importantes sont enregistrées toute l'année, y compris lors des mois les plus secs. La moyenne des précipitations annuelles atteint 854 mm. La différence de précipitations entre le mois le plus sec et le mois le plus humide est de 64 mm.

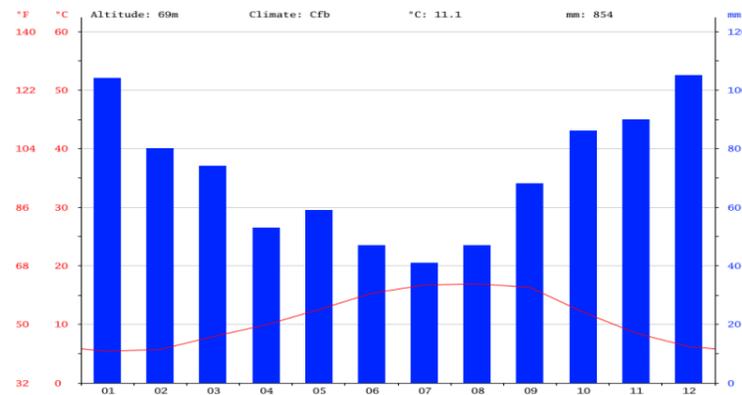


Figure 6 : Histogramme des précipitations moyennes de 1987 à 2010 (station de Kerpert)

• **Vents**

Un atlas éolien a été réalisé en Bretagne (cf. figure ci-après). Il a été établi à partir des données de vent enregistrées par Météo-France dans ses stations météorologiques, d'informations topographiques et de couverture végétale. Les particularités locales ne sont pas prises en compte et des mesures complémentaires de la ressource en vent sont réalisées dans le cadre de chaque projet.

Cet atlas éolien régional montre que le potentiel éolien est réparti de façon très hétérogène dans la région.

Le site d'étude bénéficie de conditions favorables au développement de projets éoliens, puisque le gisement est compris entre 6,5 et 7 m/s à une altitude de 60 m.

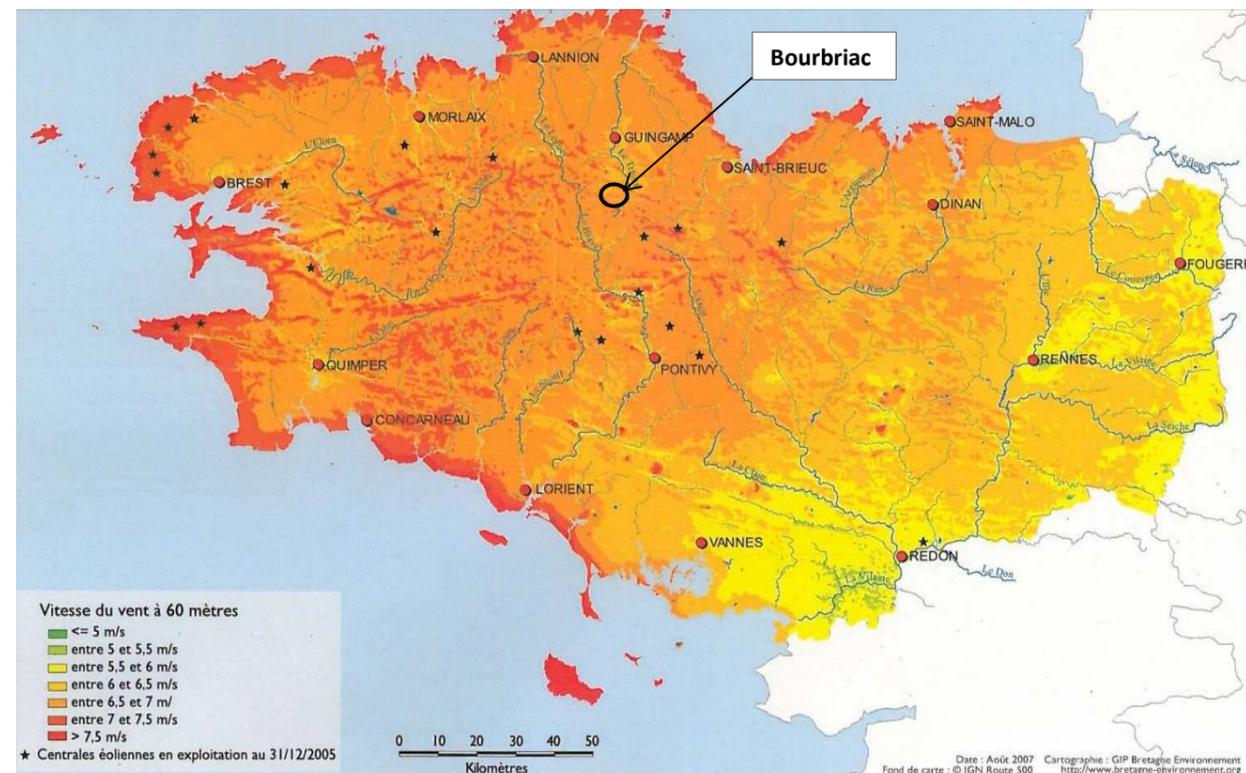


Figure 7 : Potentiel éolien à 60 m d'altitude en Bretagne

**Mât de mesure de vent**

Les vents ont plusieurs effets directs ou indirects :

- ils homogénéisent les températures et influencent la nature de la végétation ;
- ils favorisent la dispersion des polluants atmosphériques ;
- ils exercent parfois une pression naturelle sur l'environnement (tempêtes).

L'étude des vents a pour but de caractériser le potentiel du gisement éolien en quantité (vitesse, régularité) et en qualité (direction, turbulence, gradient vertical) afin d'établir la pertinence de l'installation du parc éolien.

Pour obtenir des valeurs représentatives du vent sur site, un mât de mesures de 80 mètres de haut a été installé le 2 mai 2017 à proximité du futur parc. Il a été équipé d'anémomètres et de girouettes disposés à différentes hauteurs du mât et dans différentes directions.

Les résultats indiquent que le vent souffle majoritairement de secteur Ouest-Sud-Ouest et Sud-Ouest.

La vitesse moyenne est de 7,3 m/s à 80 m de hauteur (au moyen).

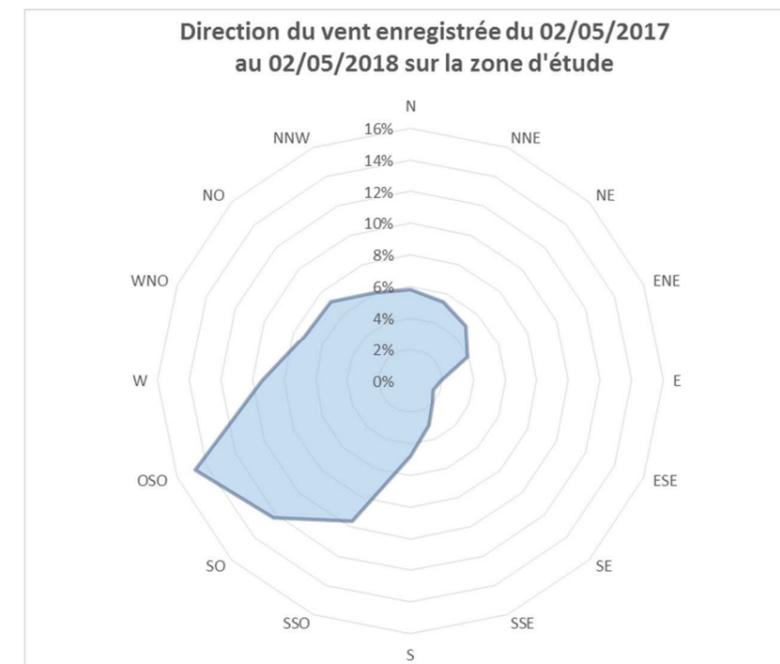


Figure 8 : Rose des vents moyennes observés sur le site pendant 1 an

## 2.2 Risques naturels

### • Catastrophes naturelles

Les arrêtés pour reconnaissance de catastrophe naturelle sur la commune de Bourbriac sont présentés dans les tableaux suivants (source Prim.net).

Type de catastrophe	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
Tempête	15/10/1987	16/10/1987	22/10/1987	24/10/1987
Inondations et coulées de boue	28/06/1986	30/06/1986	17/10/1986	20/11/1986
Inondations et coulées de boue	17/01/1995	31/01/1995	06/02/1995	08/02/1995
Inondations et coulées de boue	09/01/2010	12/01/2010	09/04/2010	11/04/2010
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

### • Mouvements de terrain et cavités souterraines

La commune est soumise au risque mouvement de terrain, toutefois aucun mouvement de terrain n'est actuellement répertorié.

D'après le site Géorisques, la commune de Bourbriac possède deux cavités souterraines qui ne sont toutefois pas localisées à proximité de la zone d'étude.

### • Sismicité

Depuis le 24 octobre 2010, la France dispose d'un nouveau zonage sismique. Celui-ci divise le territoire national en 5 zones de sismicité, allant de 1 (zone d'aléa très faible) à 5 (zone d'aléa fort). Ces zones sont déterminées par les décrets n°2010-1254 et n°2010-1255 du 22 octobre 2010. Ce zonage a facilité l'application des nouvelles normes parasismiques telles que les règles Eurocode 8 (depuis le 1<sup>er</sup> mai 2011) et permis une harmonisation des normes françaises avec celles des autres pays européens.

La commune de Bourbriac se situe en zone de sismicité 2, « risque faible ».

### • Orages et foudre

L'activité orageuse sur une commune peut être évaluée par le nombre de jours d'orage. Le **nombre de jours d'orage** provient des mesures du réseau de détection foudre nommé « réseau Météorage ». Pour chaque commune, ce nombre est calculé à partir de la Base de Données Foudre et représente une moyenne sur les 10 dernières années. La meilleure représentation de l'activité orageuse est la **densité d'arcs** (Da) qui est le nombre d'arcs de foudre au sol par km<sup>2</sup> et par an. Le réseau de détection de la foudre utilisé par Météorage permet une mesure directe de cette grandeur.

La valeur moyenne annuelle du nombre de jours d'orage, en France, est de 11,47.

La valeur moyenne de la densité d'arcs, en France, est de 1,53 arc par km<sup>2</sup> et par an, soit un nombre d'impacts de foudre de 0,73/km<sup>2</sup>/an (la relation est : nombre d'impact de foudre = Densité d'arcs/2,1).

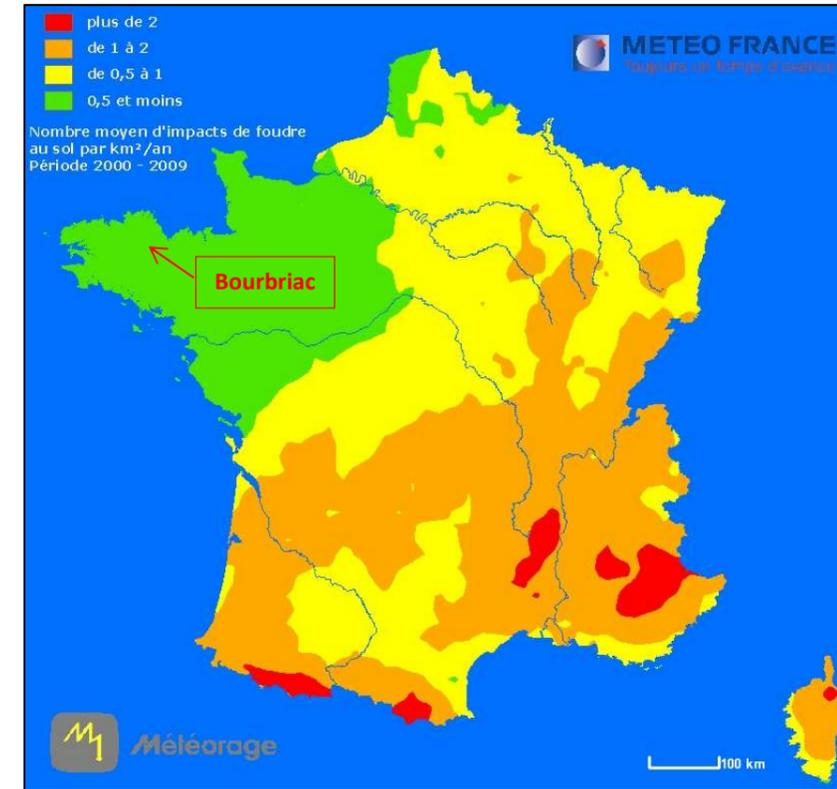


Figure 9 : Densité de foudroiement (impact de la foudre au sol par an et par km<sup>2</sup>)

Les données de foudre pour la commune de Bourbriac sont les suivantes :

	Densité de foudroiement (impacts/km <sup>2</sup> /an)	Densité d'arc (Da)	Nombre de jours d'orage (j/an)
Bourbriac	0,09 (infime)	0,04	4

Tableau 2 : Données de foudroiement sur site 2007-2016 (Source : Météorage / Météo France)

Ces données montrent que les orages ont une intensité et une fréquence peu élevées (par rapport à la moyenne nationale) sur le secteur du projet de parc.

La foudre s'est abattue sur une maison rue Goas-ar-Mogn à Bourbriac, le 17 juin 2013. C'est sans doute l'orage qui est à l'origine d'un incendie. Seule une partie de la toiture a été détruite.

Ces données montrent que les orages ont une intensité et une fréquence peu élevées (par rapport à la moyenne nationale) sur le secteur du projet de parc.

### • Inondations, remontée de nappe et aléa gonflement/retrait des argiles

La commune de Bourbriac n'est pas concernée par un Plan de Prévention du Risque Naturel (PPRN) ou un Plan de Prévention des Risques d'Inondation (PPRI) d'après le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM).

Le risque de remontée de nappes à travers le socle est évalué selon une échelle de 6 niveaux allant de très faible à nappe affleurante (site internet « <http://www.inondationsnappes.fr/> » du BRGM).

La zone d'implantation est concernée par des niveaux d'aléa « remontée de nappes » allant de très faible à faible. Les études géotechniques pour les fondations des éoliennes permettront de s'affranchir de ce risque.



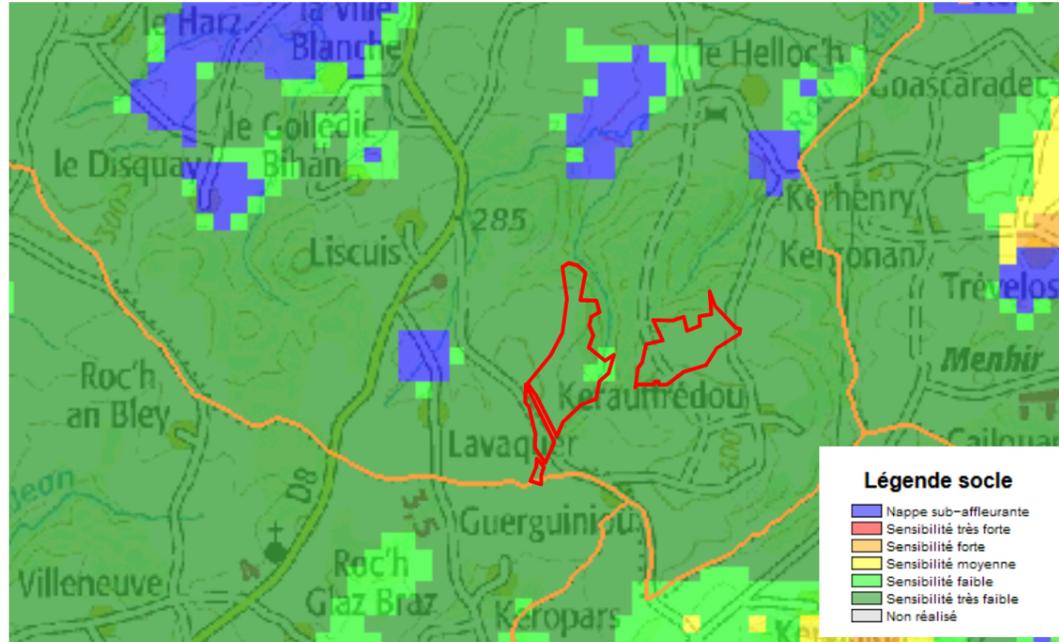


Figure 10 : Cartographie de remontée de la nappe (site : inondationsnappe.fr)

Les sols argileux présentent des comportements structuraux différentiels selon s'ils sont asséchés ou s'ils sont gorgés d'eau. Ainsi, ils ont tendance à se rétracter en période sèche et se gonfler en présence de précipitations. Ce mécanisme est appelé « Aléa gonflement/retrait des argiles ». Plus un sol sera sujet à ce phénomène dans sa fréquence et son intensité, plus le risque d'effondrement des structures construites dessus sera fort.

La commune de Bourbriac est soumise à un aléa gonflement/retrait des argiles allant de nul à faible. La zone d'implantation potentielle est également concernée par un aléa nul à faible.

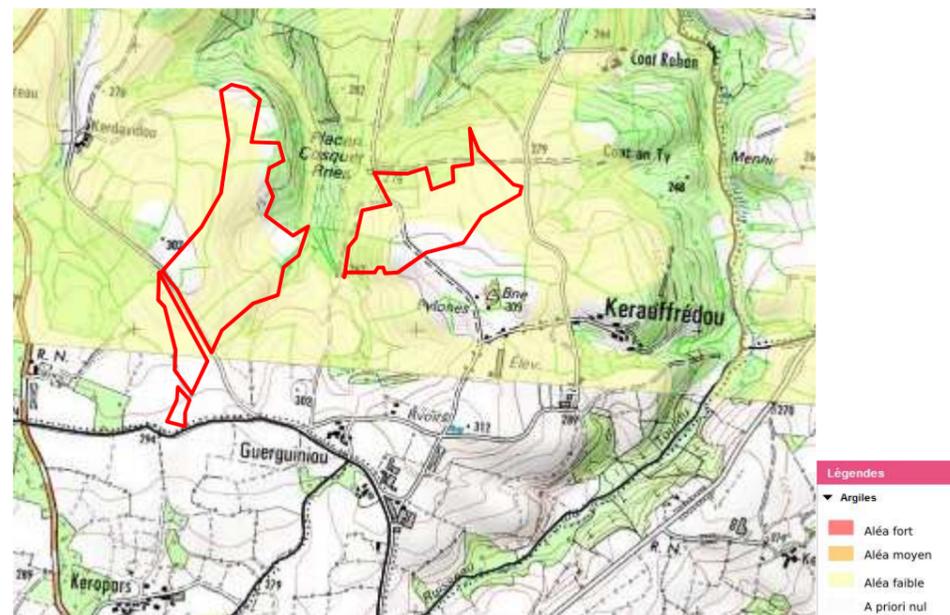


Figure 11 : Extrait de la cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles (Géorisque)

- **Autres risques naturels**

La commune est soumise au risque tempête et changement climatique mais également au risque radon.

En effet, le département des Côtes d'Armor est classé en zone prioritaire avec en moyenne 101 à 150 Bq/m<sup>3</sup>. Ce classement en risque prioritaire impose d'effectuer des mesures de l'activité volumique en radon (mesures de dépistage) et des actions correctives (arrêté du 22 juillet 2004 du code de la santé).

### 3. ENVIRONNEMENT MATERIEL

#### 3.1 Voies de communication

Les principaux axes de communication appartenant à la zone d'étude sont les voies communales et chemins d'exploitations. Les voies communales et sentiers sont considérés comme non structurants (circulation < 2000 véhicules/jour). La RD 8 est située environ 400 m à l'ouest de la zone d'étude.

L'aire d'étude n'est concernée par aucun transport ferroviaire, fluvial ou aérien.

- **Servitudes aéronautiques civiles et militaires**

Le projet est dehors de toute servitude aéronautique ou radioélectrique associée à des installations de l'aviation civile.

Une partie du projet impacte un faisceau hertzien des forces armées. Bien que situé au-delà des 30 km des radars des armées à proximité, le projet devra respecter les contraintes radioélectriques correspondantes en vigueur lors de la demande d'autorisation environnementale.

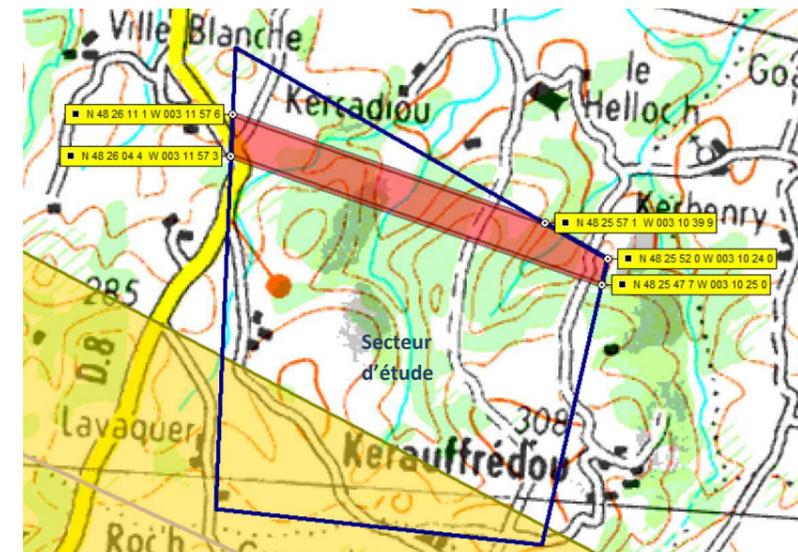


Figure 12 : Polygone rouge à l'intérieur duquel toute construction d'aérogénérateurs est proscrite, bout de pale inclus

Une partie du projet se situe sous la zone latérale de protection d'un tronçon du réseau de vol à très basse altitude des armées dénommé LF-R 57, destiné à protéger les avions des armées qui évoluent à très grande vitesse et par toutes conditions météorologiques. L'application des dispositions qui y sont relatives, limite la hauteur sommitale des obstacles ou aérogénérateurs, pale haute à la verticale, à 90 m.

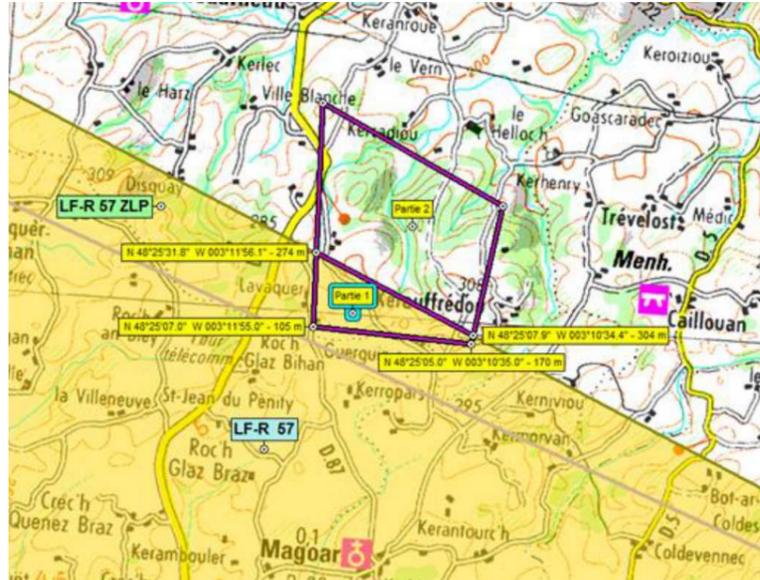


Figure 13 : Cartographie des contraintes aéronautiques relatives à la zone latérale de protection d'un tronçon du réseau de vol à très basse altitude des armées

Compte tenu de la hauteur des éoliennes, il est nécessaire de prévoir un balisage diurne et nocturne réglementaire (en application de l'arrêté du 13 novembre 2009 relatif à la réalisation du balisage des éoliennes situées en dehors des zones grevées de servitudes aéronautiques).

### 3.2 Servitudes et réseaux publics et privés

Des demandes de renseignements ont été envoyées aux organismes concernés.

Le Conseil Départemental des Côtes d'Armor (CD 22), la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) Bretagne, la Direction Départementale des Territoires et de la Mer (DDTM) des Côtes d'Armor, l'Agence Régionale de Santé (ARS), la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC), l'Armée de l'Air, le Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS), le Service Départemental de l'Architecture et du Patrimoine (SDAP), le Service Régional de l'Archéologie (SRA Bretagne), l'Agence Nationale des Fréquences (ANFR), les concessionnaires de réseaux présents dans le secteur d'étude et Orange ont été informés du lancement des études relatives au projet de parc éolien.

Les différentes réponses obtenues sont présentées en annexe de l'étude d'impact.

- **Servitude de protection du patrimoine archéologique, de l'architecture et du patrimoine**

La Direction Régionale des Affaires Culturelles de Bretagne nous informe de l'absence de sites archéologiques dans l'emprise de l'aire d'étude ou à proximité immédiate.

Aucun Monument Historique inscrit ou classé n'est présent au sein de la zone d'étude. Les monuments historiques classés les plus proches sont le Menhir de Cailouan à Plésidy à 1,7 km à l'est et l'Eglise Saint Gildas à environ 2,2 km au sud de la zone de projet.

- **Chemins de randonnée**

Le périmètre d'étude est concerné par un chemin de randonnée inscrit au Plan Départemental des Itinéraires de Promenade et de Randonnée (PDIPR).

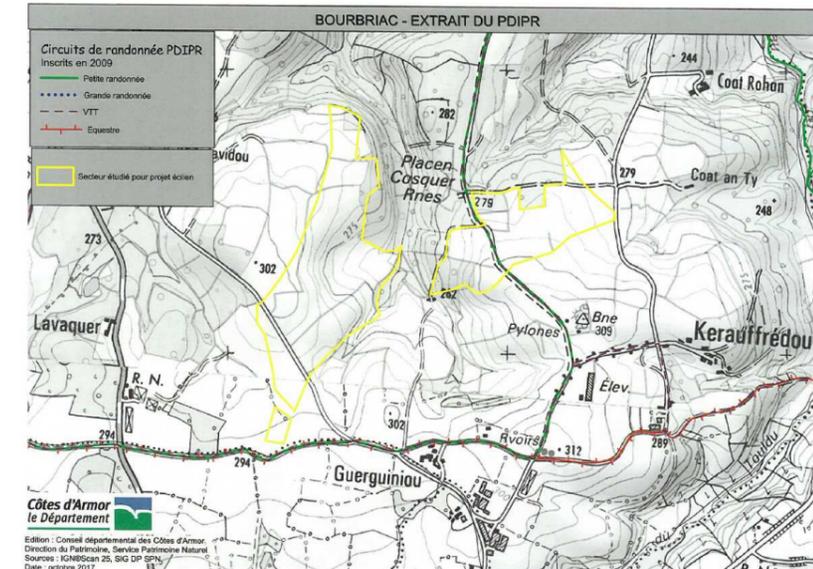


Figure 14 : Extrait du PDIPR

- **Servitudes liées à l'eau potable et à la santé**

L'ARS indique que la zone de projet n'est concernée par aucun périmètre de protection de captage.

Un réseau d'eau potable alimente le réservoir d'eau potable de Guerginiou, situé 715 m au sud des éoliennes.

- **Servitudes lignes électriques**

ENEDIS nous indique pour sa part la présence d'une ligne HTA aérienne à proximité de la zone de projet, au niveau de la voie communale de Kerdavidou, vers Lavaquer.

- **Servitudes canalisation de gaz ou hydrocarbures**

Aucun ouvrage n'est présent à proximité du projet.

- **Servitudes radioélectriques**

L'ANFR coordonne la procédure d'établissement des servitudes, tient à jour et diffuse la documentation relative à ces servitudes. Elle ne doit pas être considérée comme étant gestionnaire de servitudes. En effet une fois les servitudes établies, la gestion de celles-ci et les avis sur des projets pouvant interférer avec elles incombent aux services qui exploitent les centres bénéficiaires. L'ANFR indique n'avoir aucune servitude enregistrée sur la commune de Bourbriac.

Selon Orange, le projet n'est pas concerné par les servitudes liées au réseau Mobile Orange. Les stations de base existantes sont situées à plus de 500 m du projet. Orange n'a pas de remarque au titre des servitudes PT1, PT2 et PT3 et faisceaux Hertzien.

- **Servitudes liées au radar Météo France**

Selon le Schéma Régional Eolien (SRE) Bretagne, le projet est situé en dehors des zones de protection et de coordination des radars Météo France.

- **Récapitulatif des servitudes**

Le tableau suivant énumère la liste des services consultés et résume les prescriptions imposées :

Services	Réponse	Servitudes/prescriptions
DREAL DDTM	CR de réunion du 5 sept. 2017	Recensement des contraintes s'appliquant sur la zone de projet Absence de servitudes connues des services de la DDTM et de la DREAL sur la zone de projet.
DRAC SDAP	courrier du 13 oct 2017 courrier du 14 sept 2017	Absence de sites archéologiques dans l'emprise de l'aire d'étude ou à proximité immédiate Absence de servitudes liée à un périmètre de protection des monuments historiques
ARS	courrier du 19 sept 2017	Absence de captage AEP et de périmètre de protection associé sur la ZIP
SAUR	DT 03/08/2017	Un réseau d'eau potable alimente le réservoir de Guerginiou.
CD 22	courrier du 10 oct 2017	Le périmètre d'étude est concerné par un chemin de randonnée inscrit au PDIPR
Enedis	DT 03/08/2017	Présence d'une ligne HTA aérienne au niveau de la VC de Kerdavidou, vers Lavaquer.
SDE 22	DT 03/08/2017	Absence de réseau dans la zone d'implantation potentielle des éoliennes
GRDF	DT 03/08/2017	Absence de réseaux dans le secteur – concessionnaire non consulté par DICT Services
DGAC	courrier du 24 août 2016	Projet en dehors de toute servitude aéronautique ou radioélectrique associée à des installations de l'aviation civile. Hauteur maximale de 431 m en bout de pale. Les éoliennes devront être balisées, conformément à l'arrêté du 13 novembre 2009. Aucun impact sur les procédures de départs aux instruments de l'aérodrome de Morlaix-Ploujean selon l'étude réalisée par CGX aéro
Armée de l'Air	courrier du 09/11/2017	Une partie du projet se situe sous la zone latérale de protection d'un tronçon du réseau de vol à très basse altitude des armées limitant la hauteur sommitale des aérogénérateurs, pale haute à la verticale, à 90 mètres Une partie du projet impacte un faisceau hertzien des forces armées.
ANFR	mail du 22/04/16	Absence de servitude
Orange	DT 03/08/2017 courrier du 14 déc 2017	Absence de réseaux dans le secteur immédiat (concessionnaire non consulté par DICT Services). Réseau desservant l'antenne de Roch Glas Bihan à Kérien (antenne utilisée par Bouygues et Free). Le projet n'est pas concerné par les servitudes liées au réseau Mobile Orange

#### 4. SYNTHÈSE DE L'ENVIRONNEMENT

La carte page suivante permet d'identifier géographiquement les enjeux à protéger dans l'aire d'étude de chaque aérogénérateur :

- La localisation des biens, infrastructures et autres établissements : voies communales, chemins agricoles.
- Le nombre de personnes exposées par secteur (espaces agricoles et forestiers, chemins et pistes).

La méthode de comptage des enjeux humains dans chaque secteur se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers (cf. annexe 2), en particulier :

- **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.
- Les **voies de circulation** n'ont à être prises en considération que si elles sont empruntées par un nombre significatif de personnes. En effet, les voies de circulation non structurantes (< 2000 véhicules/jour) sont déjà comptées dans la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés.
- Pour les **chemins de promenade, de randonnée** : compter 2 personnes pour 1 km par tranche de 100 promeneurs/jour en moyenne.

Le tableau suivant identifie le nombre d'équivalents de personnes présentes dans les aires d'étude de dangers :

		Parc éolien de Gwerginiou			
		E1	E2	E3	E4
<b>Terrains non bâtis</b>	Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts, friches, marais...)	78,01 ha <i>0,780 pers.</i>	77,91 ha <i>0,779 pers.</i>	77,65 ha <i>0,777 pers.</i>	77,50 ha <i>0,775 pers.</i>
	Terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de circulation non structurantes, chemins agricoles, plateformes de stockage, vignes, jardins et zones horticoles, gares de triage...)	1,326 km 0,53 ha <i>0,053 pers.</i>	1,513 km 0,61 ha <i>0,061 pers.</i>	1,464 km 0,59 ha <i>0,059 pers.</i>	1,591 km 0,63ha <i>0,063 pers.</i>
	Terrains aménagés et potentiellement fréquentés ou très fréquentés (parkings, parcs et jardins publics, zones de baignades surveillées, terrains de sport)				
<b>Voies de circulation</b>	Voies de circulation automobiles				
	Voies ferroviaires				
	Voies navigables				
	Chemins de promenade et de randonnée		68 m <i>0,136 pers.</i>	1,027 km <i>2,05 pers.</i>	1,319 km <i>2,638 pers.</i>
<b>Logements</b>					
<b>ERP</b>					
<b>Zones d'activités</b>					
<b>Total</b>		<i>0,833 pers.</i>	<i>0,976 pers.</i>	<i>2,886 pers.</i>	<i>3,476 pers.</i>

Equivalents de personnes présentes dans les aires d'étude de dangers

En conclusion, le nombre équivalent de personnes présentes selon les zones maximales d'étude de dangers (500 m de rayon autour de chaque éolienne) est estimé à moins de 3 pour l'aire des éoliennes E1 et E2 et à moins de 5 pour celle des éoliennes E3 et E4.



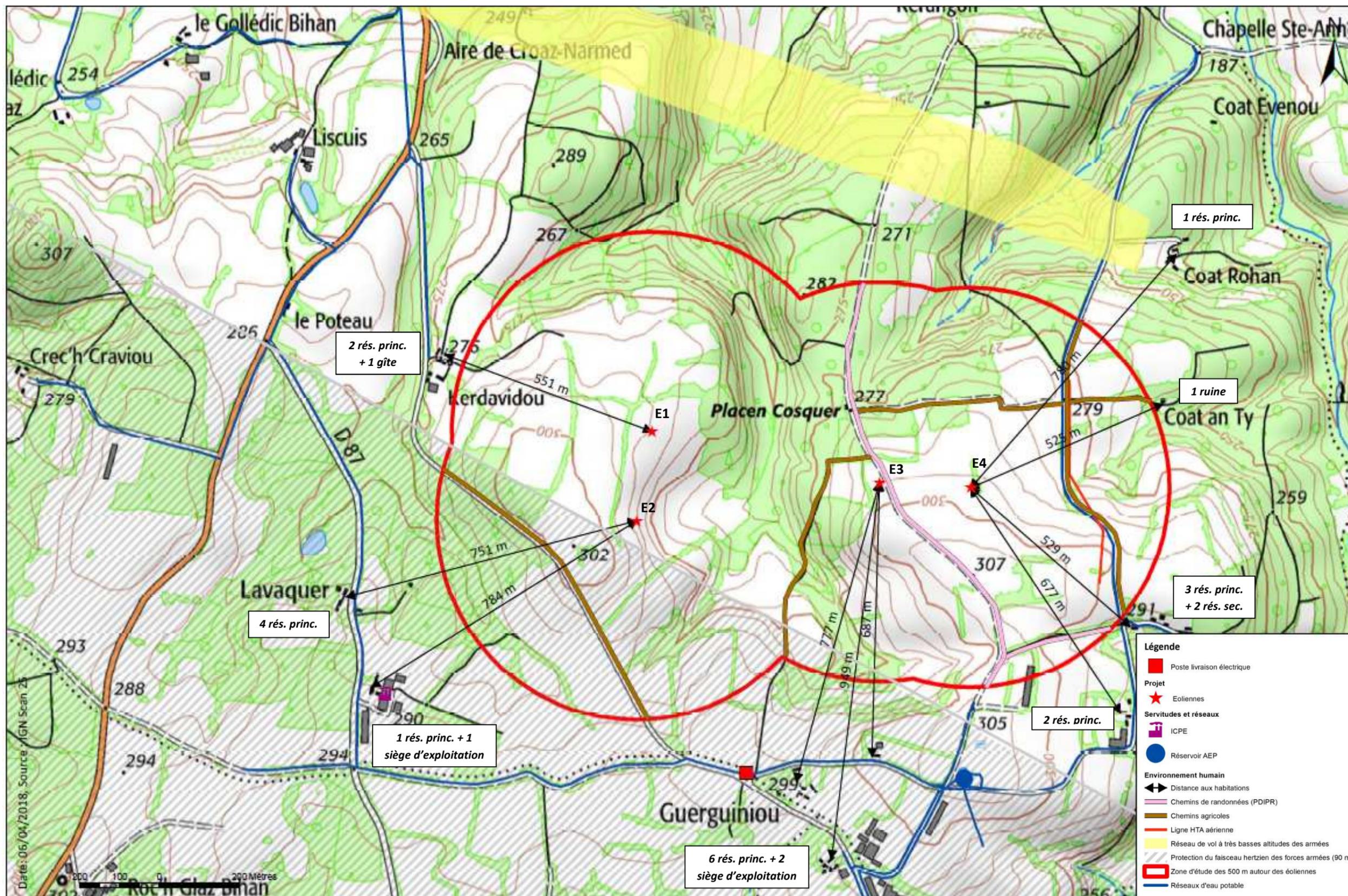


Figure 15 : Synthèse de l'environnement du projet

## D. 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 E), au regard notamment de la sensibilité de l'environnement décrit précédemment.

### 1. CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION

#### 1.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien

Un parc éolien est une centrale de production d'électricité à partir de l'énergie du vent, composée de plusieurs aérogénérateurs et de leurs annexes :

- plusieurs éoliennes fixées sur une fondation adaptée, éventuellement accompagnée d'une aire stabilisée appelée « plateforme » ou « aire de grutage »,
- un réseau de câbles enterrés permettant d'évacuer l'électricité produite par chaque éolienne vers le ou les poste(s) de livraison électrique (réseau appelé inter-éolien),
- un ou plusieurs postes 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 (réseau externe),
- 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.



Figure 16 : Raccordement électrique au réseau de distribution (Source : ADEME)

#### Éléments constitutifs d'un aérogénérateur :

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 (pour la grande majorité des éoliennes actuelles) qui produisent l'énergie mécanique qui est transformée en électricité dans la nacelle. Les pales sont construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu. Il se prolonge dans la nacelle pour constituer l'arbre lent.
- **Le mât** est généralement composé de 3 à 5 tronçons en acier, pour apporter de la solidité à l'ensemble, il supporte la nacelle et le rotor. Dans la plupart des éoliennes, il abrite le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique.
- **La nacelle** abrite plusieurs éléments fonctionnels :
  - le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique ;
  - le multiplicateur (certaines technologies n'en utilisent pas) ;
  - le système de freinage mécanique ;
  - le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent pour une production optimale d'énergie ;
  - les outils de mesure du vent (anémomètre et girouette),
  - le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique.

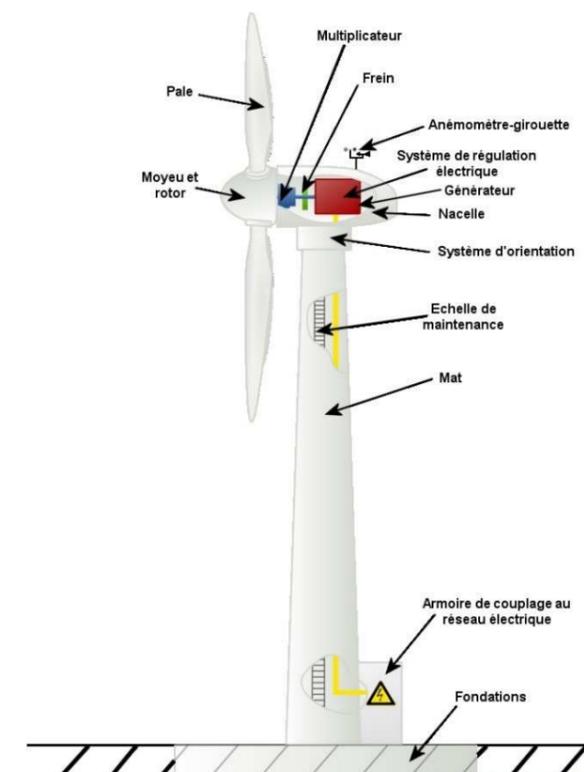


Figure 17 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

### Emprise au sol :

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

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

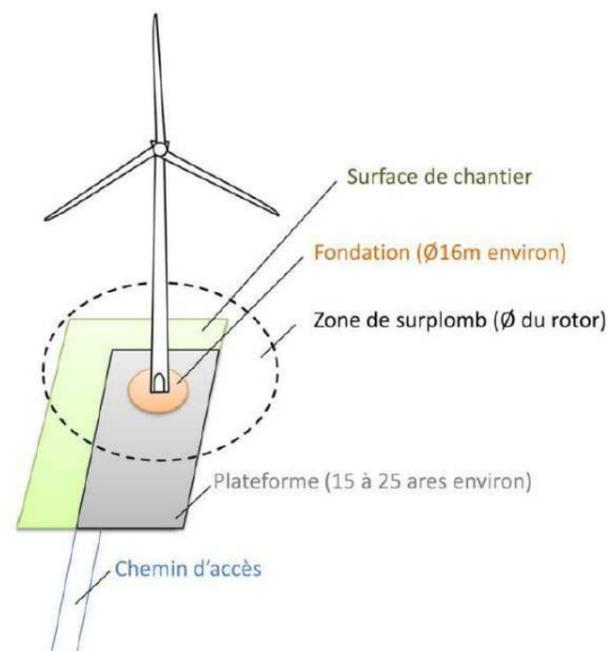


Figure 18 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne  
(dimensions données à titre d'illustration pour une éolienne d'environ 150 m de hauteur totale)

### Chemins d'accès :

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

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

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

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

### 1.2 Activité de l'installation

L'activité principale du parc éolien de Gwerginiou est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur en sommet de nacelle de 80 m. Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

### 1.3 Composition de l'installation

Le parc éolien de Gwerginiou sera composé de 4 aérogénérateurs de même modèle et 1 poste de livraison. Les aérogénérateurs auront une hauteur de moyeu de 85 m maximum et un diamètre de rotor de 114 m maximum, soit une hauteur totale en bout de pale de 137 m maximum.

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs dans le système de coordonnées RGF 93 :

Eoliennes	Coordonnées (RGF 93)	
	X	Y
E1	242518.130	6831626.99
E2	242556.097	6831849.81
E3	243126.881	6831722.45
E4	243354.485	6831708.61
Poste de livraison	242775.99	6830995.92

Le projet est situé exclusivement sur des parcelles agricoles sur la commune de Bourbriac.



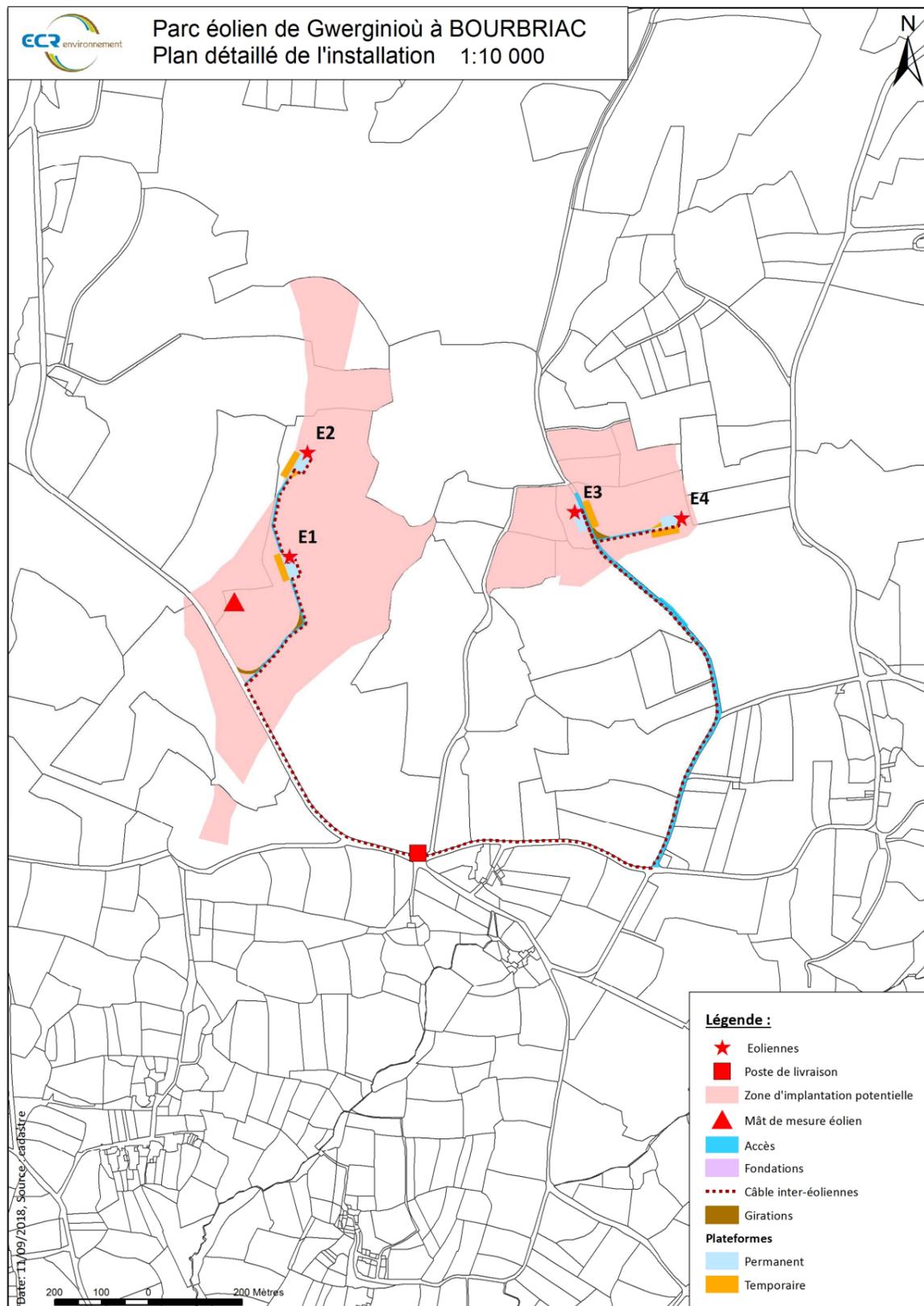


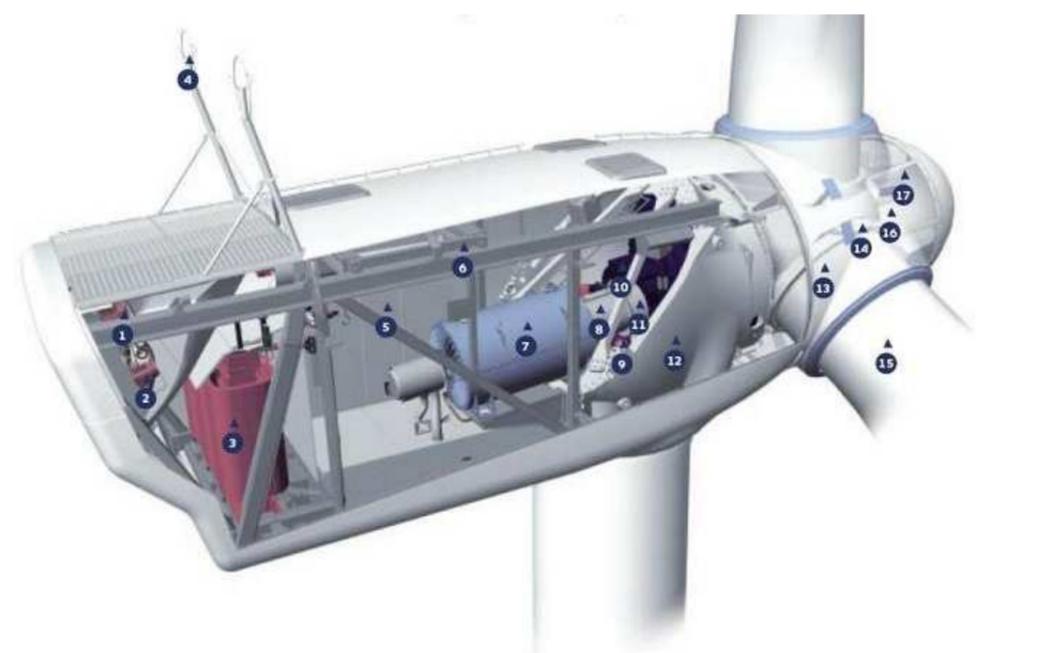
Figure 19 : Plan détaillé de l'installation

## 2. FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

### 2.1 Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur

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

Les pales se mettent en mouvement lorsque l'anémomètre (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 10 km/h et c'est seulement à partir de 12 km/h que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor et l'arbre dit «lent» transmettent alors l'énergie mécanique à basse vitesse (entre 5 et 20 tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit «rapide» tourne environ 100 fois plus vite que l'arbre lent. Certaines éoliennes sont dépourvues de multiplicateur et la génératrice est entraînée directement par l'arbre «lent» lié au rotor. La génératrice transforme l'énergie mécanique captée par les pales en énergie électrique.



- |                                               |                          |                      |                            |
|-----------------------------------------------|--------------------------|----------------------|----------------------------|
| 1 Système de refroidissement                  | 6 Pont roulant           | 11 Frein mécanique   | 16 Vérin de réglage de pas |
| 2 Système de refroidissement de l'alternateur | 7 Alternateur OptiSpeed® | 12 Châssis           | 17 Régulateur du moyeu     |
| 3 Transformateur                              | 8 Couplage composite     | 13 Roulement de pale |                            |
| 4 Anémomètre et girouette ultrasoniques       | 9 Moteur d'orientation   | 14 Moyeu             |                            |
| 5 Régulateur supérieur VMP avec convertisseur | 10 Multiplicateur        | 15 Pale              |                            |

Figure 20 : Caractéristiques techniques de la nacelle

La puissance électrique produite varie en fonction de la vitesse de rotation du rotor. Dès que le vent atteint environ 50 km/h à hauteur de nacelle, l'éolienne fournit sa puissance maximale. Cette puissance est dite « nominale ».

Pour un aérogénérateur de 2,5 MW par exemple, la puissance électrique atteint 2 500 kW dès que le vent atteint environ 50 km/h. La génératrice délivre un courant alternatif en basse tension.. Un transformateur permet ensuite d'élever la tension à celle du réseau public de distribution en HTA)

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

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

Le tableau ci-après donne des précisions sur les caractéristiques des aérogénérateurs :

Elément de l'installation	Fonction	Caractéristiques des aérogénérateurs G114-2.5MW
Conditions climatiques	Température ambiante de survie	-30°C à +50°C
	Puissance nominale	-20°C à 35°C
	Arrêter	Arrêt à -20°C
	Certificat	IEC IIA, en cours de certification selon IEC IA
Conception technique	Puissance nominale	2500 ou 2625 kW
	Régulation de puissance	Variation active individuelle du pitch des pales
	Diamètre du rotor	114 m
	Hauteur du moyeu	80 m
	Concept de l'installation	Boîte de vitesse, vitesse de rotation variable
Rotor (Capte l'énergie mécanique du vent et la transmet à la génératrice)	Plage de vitesse du rotor	vitesse nominale : 12,95 tours/min vitesse maximale : 14,65 tours/min
	Type	Orientation active des pales face au vent
	Sens de rotation	Sens horaire
	Nombre de pales	3
	Surface balayée	10207 m <sup>2</sup>
	Contrôle de vitesse	Variable via PLC
	Contrôle de survitesse	Pitch hydraulique indépendant sur chaque pale
Nacelle (Supporte le rotor et abrite le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice, etc.) ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité)	Matériau des pales	Fibre de verre renforcée avec de l'époxy
	Arbre de rotor transmet le mouvement de rotation des pales	Entraîné par les pales
	Multiplicateur	Engrenage avec deux étages planétaires et un étage parallèle
Système de freinage	Génératrice	Asynchrone à double alimentation
	Produit l'électricité	Tension de sortie 690 V
Système de freinage	Frein principal aérodynamique	Orientation individuelle des pales par actionnement hydraulique avec accumulateurs de pression
	Frein auxiliaire mécanique	Frein à disque à actionnement hydraulique sur l'arbre rapide
Mât (Supporte le rotor et la nacelle)	Type	Tubulaire en acier
	Nombre de sections	3
	Protection contre la corrosion	multicouche epoxy - catégorie C5-I/H pour les surfaces externes, C4/H pour les surfaces internes

Elément de l'installation	Fonction	Caractéristiques des aérogénérateurs G114-2.5MW
	Fixation du pied du mât	Cage d'ancrage noyée dans le béton de fondation
Transformateur (Elève la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau)	Caractéristiques	A l'intérieur du mât Tension de 20 kV à la sortie
Fondation (Ancre et stabilise le mât dans le sol)	Type	En béton armé, de forme octogonale
	Dimensions	Design adapté en fonction des études géotechnique et hydrogéologique réalisées avant la construction
Contrôle de commande	Type, matériel, logiciel	Scada (interface réseau à distance)
	Démarrage automatique après coupure de réseau	Oui
Période de fonctionnement	Démarrage automatique après vent de coupure	Oui
	< 2,5 m/s	Un automate, informé par une girouette, commande aux moteurs d'orientation de placer l'éolienne face au vent
	Environ 2,5 m/s	Le vent est suffisant pour générer de l'électricité. L'éolienne peut être couplée au réseau électrique
Poste de livraison (Adapte les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public)	> 2,5 m/s	La génératrice délivre un courant électrique alternatif, dont l'intensité varie en fonction de la vitesse du vent
	11 à 24 m/s	L'éolienne fournit sa puissance nominale. Cette dernière est maintenue constante grâce à une réduction progressive de la portance des pales
	Caractéristiques	Equipé de différentes cellules électriques et automates qui permettent la connexion et la déconnexion du parc éolien au réseau 20 kV

## 2.2 Sécurité de l'installation

Un modèle type d'éolienne décrit dans ce chapitre correspond aux critères techniques principaux retenus.

Le type d'éolienne envisagé est issu de la gamme standard de différents constructeurs. On peut citer pour exemple les constructeurs d'éoliennes Vestas, Gamesa, Senvion, Nordex, Enercon, GE Renewable Energy. La puissance unitaire de chaque machine sera comprise entre 2 et 2,5 MW.

Le choix définitif des éoliennes (modèle et constructeur) sera fait dans la gamme de matériel suivante (taille, puissance, performance, aspect et production sonore) pour combiner un parc répondant à toutes les exigences de l'ensemble des études présentées dans ce dossier.

Constructeur	Modèle	Puissance (MW)	Hauteur du mât (m)	Longueur des pales (m)	Diamètre du rotor (m)	Hauteur totale (m)	Informations complémentaires
Vestas	V100	2.0	80	50	100	130	
Senvion	MM100	2.0	80	50	100	130	
Nordex	N100	2.5	80	50	100	130	
GE Renewable Energy	GE2.5	2.5	80	50	100	130	
Enercon	E103	2.35	85	51,5	103	136,5	L'éolienne 4 dépasse de 0,89 cm la limitation DGAC établie à 431 m NGF, cependant un enfoncement de la fondation permettrait de rester dans la limitation imposée.
GE Renewable Energy	GE2.4	2.4	80	53,5	107	133,5	
Vestas	V110	2.2	80	55	110	135	
Gamesa	G114	2.5	80	57	114	137	L'éolienne 4 dépasse de 1,39 cm la limitation DGAC établie à 431 m NGF, cependant un enfoncement de la fondation permettrait de rester dans la limitation imposée.

Les dimensions des éléments constituant l'éolienne choisie pourront s'écarter de celui de l'éolienne type (plus ou moins quelques mètres), sans toutefois dépasser la hauteur maximale de 137 m maximum.

L'étude de dangers est réalisée avec la G114 majorante.

#### Système de sécurité contre la survitesse

Chaque éolienne est équipée d'un système de détection de fonctionnement anormal de l'installation, en cas d'entrée en survitesse de la machine.

En fonctionnement, les éoliennes sont exclusivement freinées d'une façon aérodynamique par inclinaison des pales en position drapeau. Pour ceci, les trois entraînements de pales indépendants mettent les pales en position de drapeau (c'est-à-dire « les décrochent du vent ») en l'espace de quelques secondes. La vitesse de l'éolienne diminue sans que l'arbre d'entraînement ne soit soumis à des forces additionnelles.

Bien qu'une seule pale en drapeau (frein aérodynamique) suffise à stopper l'éolienne, cette dernière possède 3 freins aérodynamiques indépendants (un frein par pale).

Le rotor n'est pas bloqué même lorsque l'éolienne est à l'arrêt, il peut continuer de tourner librement à très basse vitesse. Le rotor et l'arbre d'entraînement ne sont alors exposés à pratiquement aucune force. En fonctionnement au ralenti, les paliers sont moins soumis aux charges que lorsque le rotor est bloqué.

En cas d'urgence (par exemple, en cas de coupure du réseau), chaque pale du rotor est mise en sécurité en position de drapeau par son propre système de réglage de pale d'urgence alimenté par batterie. L'état de charge et la disponibilité des batteries sont garantis par un chargeur automatique.

#### Systèmes de sécurité contre le risque électrique

Les parties électriques de la turbine disposent de nombreux systèmes de protection

Protection des systèmes électriques :

- Système de contrôle de la génératrice ;
- Refroidissement du générateur par un système forcé de circulation d'air ;
- Transformateurs de courant et relais de protection pour détecter les courants de défaut ;
- Disjoncteurs BT et HTA pour couper les courants de défaut ;
- Système de contrôle de la rotation de la nacelle pour éviter la torsion du câble électrique ;
- Mise à la terre du châssis et des équipements.

A noter que la turbine est une machine certifiée CE et dispose à ce titre d'un certificat de conformité CE.

#### Autres systèmes de sécurité

**Balisage aéronef** : Chaque éolienne est balisée avec un système visuel lumineux pour les aéronefs, 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. L'alimentation principale du balisage lumineux est donnée par le réseau électrique. En cas de panne, une armoire d'alimentation de secours est prévue au pied des éoliennes. Le circuit électronique du chargeur de batteries comporte des relais d'alarmes permettant de prévenir l'utilisateur de défauts pouvant survenir dans le fonctionnement du balisage, notamment en cas de coupure de l'alimentation générale ou encore de dysfonctionnement du chargeur. L'autonomie en cas de panne du réseau est au minimum de 12 heures.

**Frein à disque** : L'arrêt complet du rotor n'a lieu qu'à des fins de maintenance et en appuyant sur le bouton d'arrêt d'urgence. Dans ce cas, un frein d'arrêt supplémentaire ne se déclenche que lorsque le rotor freine partiellement, les pales s'étant

inclinaison. Le dispositif de blocage du rotor ne peut être actionné que manuellement et en dernière sécurité, à des fins de maintenance.

**Systèmes de refroidissement** : La nacelle, le moyeu, le générateur et le transformateur sont refroidis par circulation d'air. L'huile de lubrification du multiplicateur et le liquide à base d'eau glycolée du convertisseur sont refroidies par un échangeur air/huile & air/eau situé sur le toit de la nacelle.

**Equipement contre la foudre** : Un paratonnerre est installé sur la nacelle. Les pales sont protégées par des tresses en cuivre qui font contact avec des balais au niveau des parties tournantes et acheminent le courant vers la terre. L'équipement électrique et hydraulique qui se trouve à l'intérieur du moyeu est entièrement protégé par la cage de Faraday du moyeu même. Le système de mise à la terre de la tour est assuré par un ensemble de câbles de terres individuelles, intégrées dans les fondations et connecté à la barre de terre au bas de la tour conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011.

**Système de détection du givre** : La commande de l'éolienne mesure, à l'aide de deux sondes de température indépendantes, la température de l'air sur la nacelle et en pied du mât, afin de détecter si les conditions sont propices à la formation de givre. Lorsque la température dépasse +2°C sur la nacelle, les rapports de fonctionnement spécifiques à l'éolienne (vent/puissance/angle des pales) sont identifiés comme étant des valeurs moyennes à long terme. Pour des températures inférieures à +2°C (conditions de givre), les données de fonctionnement mesurées sont comparées aux valeurs moyennes à long terme. Pour cela, une plage de tolérance, déterminée de manière empirique, est définie autour de la courbe de puissance et de la courbe d'angle de pale. Celle-ci se base sur des simulations, des essais et plusieurs années d'expérience sur un grand nombre d'éoliennes de types variés. Si les données de fonctionnement concernant la puissance ou l'angle de pale sont hors de la plage de tolérance, l'éolienne est stoppée.

#### 2.3 Surveillance et procédures d'arrêt

Le système de contrôle général est composé de plusieurs processeurs. Différents détecteurs mesurent certains paramètres qui sont surveillés par les microprocesseurs :

- Vitesse du vent ;
- Angle des pales ;
- Vitesse de rotation de l'arbre rapide et de l'arbre lent ;
- Température extérieure, intérieure et de certains équipements ;
- Vibration de la nacelle ;
- Pression d'huile hydraulique et d'huile de lubrification ;
- Détecteur de niveau bas dans les circuits liquides ;
- Détecteurs d'arc électrique dans le local transformateur et dans l'armoire du jeu de barres.

Une procédure de mise à l'arrêt de la machine est programmée par différentes actions : commande manuelle en pied de tour et détection d'anomalie par les microprocesseurs. La mise en défaut de l'un des paramètres induit la mise en sécurité (arrêt) de la machine.

Aucun personnel n'est affecté exclusivement à la surveillance permanente du site, toutefois un système de surveillance à distance du fonctionnement des éoliennes permet de prendre connaissance de toute anomalie du fonctionnement des installations.

Une équipe de maintenance est d'astreinte 7j/7 et intervient en cas de dysfonctionnement de l'éolienne notamment en cas de défaillance des capteurs. Les moyens de détections (capteurs redondants ou complémentaires) sont multiples et permettent donc de déduire un dysfonctionnement de ces derniers. La défaillance ainsi constatée par l'automatisme de la turbine, la met automatiquement à l'arrêt et l'équipe est prévenue.



L'intégralité des obligations qui incombent à l'exploitant (notamment celles citées dans les articles 15, 17, 18 et 19 de l'arrêté ministériel du 26 août 2011) sont rétrocédés à l'opérateur de maintenance via un contrat. Des contrôles réguliers des installations sont effectués par les chargés d'exploitation, les chargés de maintenance et le correspondant local.

Les mesures envisagées afin de mettre en œuvre, en cas de fonctionnement anormal, les procédures d'arrêt d'urgence mentionnées à l'article 22 de l'arrêté ministériel 2980-A du 26/08/2011 dans un délai de soixante minutes (article 24 de l'arrêté ministériel 2980-A du 26/08/2011) sont les suivantes :

Dès l'entrée en mode anormal de la turbine, celle-ci se stoppe automatiquement et envoie une alerte aux opérateurs du turbinier et de l'exploitant.

- En cas de survitesse, la turbine se stoppe et l'information est relayée au niveau des deux opérateurs instantanément. L'exploitant, qui dispose au préalable des informations météo (prévision à 96 h), s'assure dans un délai de 15 minutes maximum que la turbine est à l'arrêt via l'outil informatique (SCADA) connecté avec le site. Dans le cas contraire, instantanément il a la possibilité de la mettre à l'arrêt manuellement depuis le centre de supervision et peut empêcher un redémarrage en automatique. Il prévient également une équipe de maintenance qui se rend sur site pour contrôler l'état de la turbine. Un redémarrage est envisageable si aucun dysfonctionnement n'est constaté et si les conditions météo le permettent.
- En cas de départ de feu, la turbine se stoppe et l'information est relayée au niveau des deux opérateurs instantanément. L'exploitant, s'assure dans un délai de 15 minutes maximum que la turbine est déconnectée du réseau via l'outil informatique (SCADA) et lance l'alerte auprès des services de secours. Un périmètre de sécurité est mis en place par ces derniers et le représentant de l'exploitant (correspondante ou intervenant local) se rend sur site. Dans le cas contraire, instantanément il a la possibilité de la déconnecter du réseau depuis le centre de supervision. Il prévient également le centre de conduite du distributeur du réseau pour faciliter l'intervention des services de secours. La turbine n'est redémarrée qu'après le passage d'un expert habilité.

Nota : La prise en compte du risque d'incendie dans la nacelle lors d'une intervention est spécifiée dans le manuel d'évacuation et de sauvetage, de plus des manœuvres sont réalisées chaque année avec les services de secours (réalisation en commun des fiches réflexes).

#### 2.4 Moyens de prévention et lutte contre l'incendie

Les personnels intervenants sur les éoliennes, tant pour leur montage, que pour leur maintenance, sont des personnels du turbinier ou de sociétés de maintenance spécialisée, formés au poste de travail et informés des risques présentés par l'activité. Le personnel dispose des habilitations électriques nécessaires.

Des moyens de prévention contre les risques électriques, contre les risques de survitesse et contre la foudre sont des moyens de prévention contre le risque d'incendie (voir les équipements associés).

Lors du déclenchement des alarmes incendie de la machine, une information est envoyée vers le constructeur et l'exploitant au centre de télésurveillance qui peut alerter les secours, mise à l'arrêt de la machine.

Deux extincteurs sont situés à l'intérieur des éoliennes, dans la nacelle et au pied de celles-ci.

L'organisation des services de secours et les procédures mises en place en cas d'incendie sont indiqués en annexe 5 « Consignes en cas d'incident » de l'étude de dangers.

#### 2.5 Garanties et conformité des machines

Les éoliennes qui seront installées seront des machines conformes à la directive 06/42/CE qui définit les objectifs ou "exigences essentielles" en matière de sécurité et de santé auxquels doivent répondre, lors de leur fabrication et avant leur mise sur le marché, les machines et les composants de sécurité.

Elles disposent d'un certificat de conformité aux dispositions de la norme NF EN 61 400-1 dans sa version de juin 2006 ou CEI 61 400-1 dans sa version de 2005 ou toute norme équivalente en vigueur dans l'Union européenne ; Article 8 de l'arrêté du 26 août 2011.

De plus, les installations électriques à l'intérieur de l'éolienne sont conformes aux dispositions de la directive européenne du 17 mai 2006 relative aux machines. Les installations électriques extérieures à l'éolienne sont conformes aux normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200.

Enfin, le décret n° 2007-1327 du 11 septembre 2007 introduit un contrôle technique obligatoire pour les éoliennes dont la hauteur du mât et de la nacelle est supérieure à 12 m. Ces contrôles seront réalisés durant la phase de construction de l'éolienne. Ils concernent le massif de stabilité (fondation) de l'éolienne ainsi que les liaisons entre ce massif et la machine (c'est-à-dire les viroles).

#### 2.6 Conformité avec les prescriptions générales

Le parc éolien de *Gwerginiou* respectera la réglementation en vigueur en matière de sécurité en étant 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.

Cela concerne notamment :

- L'éloignement de 500 m de toute construction à usage d'habitation, de tout immeuble habité ou de toute zone destinée à l'habitation telle que définie dans les documents d'urbanisme opposables en vigueur 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.

La description détaillée des différents systèmes de sécurité de l'installation sera quant à elle effectuée au stade de l'analyse préliminaire des risques, dans la partie G.4.3.

Les dispositions préventives constructives et organisationnelles suffisent à garantir un niveau de sécurité optimal à l'installation.

### 2.7 Opérations de maintenance de l'installation

Le parc éolien de *Gwerginiou* respectera la réglementation en vigueur en matière d'exploitation en étant 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 maintenance préventive ou curative de l'installation.

Le programme préventif de maintenance s'étale sur trois niveaux :

- type 1 : vérification après 500 à 1500 heures de fonctionnement (contrôle visuel du mât, des fixations fondation/tour, tour/nacelle, rotor...et test du système de déclenchement de la mise en sécurité de l'éolienne),
- type 2 : vérification annuelle des matériaux (soudures, corrosions), des équipements mécaniques et hydrauliques, de l'électrotechnique et des éléments de raccordement électrique,
- type 3 : vérification quinquennale de forte ampleur pouvant inclure le remplacement de pièces.

Chacune des interventions sur les éoliennes ou leurs périphériques fait l'objet de l'arrêt du rotor pendant toute la durée des opérations.

Pour la maintenance, l'équipe de techniciens spécialisés sera implantée dans un rayon d'intervention inférieur à 2h du parc éolien. En cas de déviance sur la production ou d'avaries techniques, une équipe de maintenance interviendra sur le site.

Ainsi 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 en matière d'exploitation.

Toutes les interventions seront réalisées par des personnels dûment habilités pour des interventions dans un milieu électrique conformément à la norme NFC 18-510 « Opération sur les ouvrages et installations électriques et dans un environnement électrique- Prévention du risque électrique » Cette norme sera rigoureusement appliquée afin de prévenir le risque électrique.

En cas d'accident sur le personnel de maintenance, l'organisation des services de secours et les procédures mises en place sont indiqués en annexe 5 « Consignes en cas de dangers » de l'étude de dangers.

### 2.8 Stockage et flux de produits dangereux

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011, aucun produit dangereux ne sera stocké dans les éoliennes du parc de *Gwerginiou*.

<sup>1</sup> 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.

Les éléments à bain d'huiles ne sont pas un stock mais un élément de fonctionnement de l'installation (refroidissement, isolation électrique...) et ne sont donc pas concernés par cet article.

Les produits de nettoyage (type solvant) ne sont pas présents sur le site mais sont apportés de manière ponctuelle par les techniciens lors des phases de maintenance.

## 3. FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE L'INSTALLATION

Ce paragraphe permet de détailler la nature, les caractéristiques et l'organisation des réseaux électriques de l'installation :

- Tracés des câbles de liaison inter-éoliennes
- Tracés des câbles de liaison jusqu'au poste de livraison
- Caractéristiques des liaisons souterraines (profondeur d'enfouissement, type de câble, tension, etc.)
- Etc.

### 3.1 Raccordement électrique

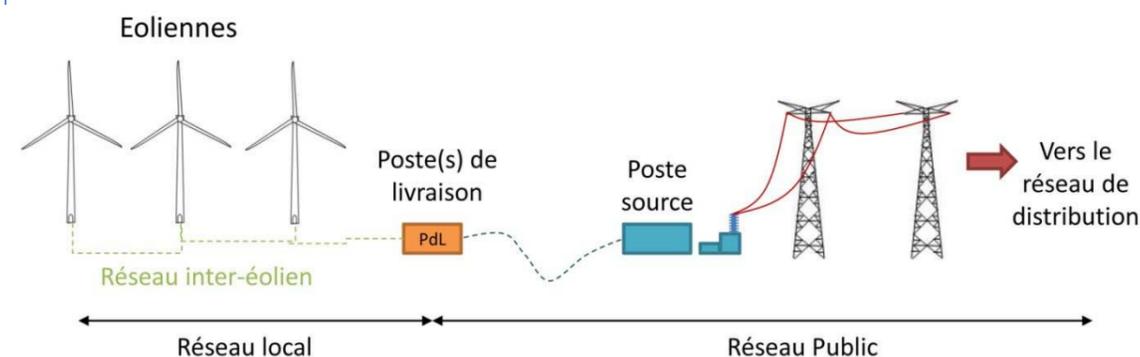


Figure 21 : Raccordement électrique des installations (Source Guide SER/FEE)

- **Réseau inter-éolien (ou réseau local)**

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur, intégré dans le mât de chaque éolienne<sup>1</sup>, 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 seront tous enfouis à une profondeur minimale de 80 cm.

- **Conformité des liaisons électriques**

Le pétitionnaire s'engage à respecter les dispositions de l'arrêté du 17 mai 2001 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les ouvrages électriques. Les liaisons électriques seront donc de ce fait conformes avec la réglementation technique en vigueur.

- **Caractéristique du câble électrique**

Ces réseaux de raccordement électrique ou téléphonique (surveillance) entre les éoliennes et le poste de livraison seront enterrés sur toute leur longueur en longeant préférentiellement les pistes et chemins d'accès entre les éoliennes et les postes de livraison. La tension des câbles électriques est de 20 000 V.

- **Caractéristique des tranchées**

Pour le raccordement inter-éolien, les caractéristiques des tranchées sont en moyenne d'une largeur de 45 cm et d'une profondeur de 1 m. Des illustrations de coupe type sont présentées ci-après.

Les impacts directs de la mise en place de ces réseaux enterrés sur le site sont négligeables : les tranchées sont faites au droit des chemins d'accès puis sous les voies existantes dans les lieux présentant peu d'intérêt écologique. Ils passeront également pour partie à travers champs.

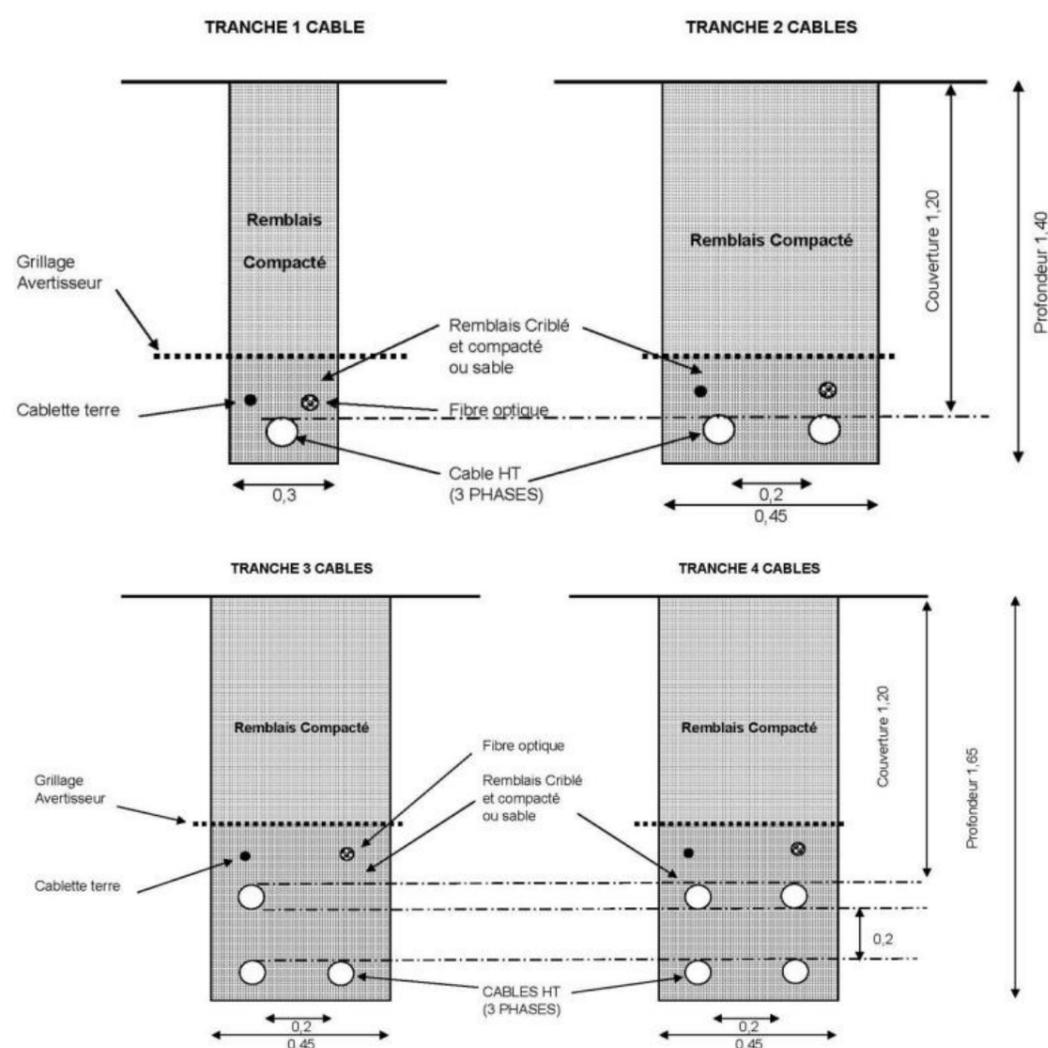


Figure 22 : Vue en coupe des tranchées selon le nombre de câbles passés

Les câbles seront enfouis en utilisant de préférence la technique de pose au soc vibrant. Aucun apport ou retrait de matériaux du site n'est nécessaire. Ouverture de tranchées, mise en place de câbles et fermeture des tranchées seront opérées en continu, à l'avancement, sans aucune rotation d'engins de chantier.

- **Représentation graphique**

Une carte de situation sur fond IGN précise le tracé de principe des canalisations électriques projetées (Cf. figure 18).

- **Poste de livraison**

Le poste de livraison est le nœud de raccordement de toutes les éoliennes avant que l'électricité ne soit injectée dans le réseau public.

Pour le parc éolien de Gwerginiou, une structure de livraison est prévue. Cette structure est composée d'un poste de livraison dont les dimensions sont approximativement de 9 m de long par 2,50 m de large.

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

Le poste de livraison du parc éolien de Gwerginiou est situé au sud des éoliennes, aux abords du hameau de Guerginiou.

- **Démarches préalables réalisées**

Le pétitionnaire atteste bénéficier des autorisations des propriétaires des terrains traversés par les câblages.

- **Réseau électrique externe (ou réseau public)**

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

Une pré-étude simple a été réalisée par Enedis en juin 2018, suite à la demande d'Elicio France, de raccordement au réseau public de distribution. Cette étude conclue que l'installation sera raccordée par l'intermédiaire du poste source de Saint Nicolas du Pelem, à 17,1 km du parc.

### 3.2 Autres réseaux

Le parc éolien de Gwerginiou 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.

## E. IDENTIFICATION DES POTENTIELS 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.

### 1. POTENTIELS DE DANGERS LIES AUX PRODUITS

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

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

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

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, aucun produit n'est stocké dans les aérogénérateurs ou le poste de livraison.

#### 1.1 Lubrifiants et graisses

- Huile hydraulique pour graissage du multiplicateur (environ 400 litres) : Les huiles pour graissage nécessaires au fonctionnement des multiplicateurs sont des lubrifiants de synthèse avec additifs. Des bacs de rétentions d'une capacité suffisante sont situés directement sous le multiplicateur. De plus, la partie inférieure de la nacelle a été conçue de telle sorte que la capacité maximum de rétention soit équivalente à la contenance du multiplicateur (différent selon le type d'éolienne). En fonctionnement normal, il n'y a pas de fuite vers le milieu extérieur. Néanmoins, un déversement accidentel peut être envisagé si l'éolienne est endommagée. Une pollution du sol et des eaux est alors possible.
- Graisse lubrifiante des différents engrenages (environ 6 kg) : Les graisses servant à la lubrification des différents engrenages sont des graisses synthétiques multiservice avec lubrifiants et additifs. La localisation des huiles / graisses lubrifiantes dans la machine (dans la tour sous la nacelle) ainsi que le volume maximum total (20 kg environ) est telle qu'un écoulement extérieur venant souiller le sol environnant en fonctionnement normal n'est pas possible. Néanmoins, un déversement accidentel peut être envisagé si l'éolienne est endommagée. Une pollution du sol et des eaux est alors possible.
- Fluides nécessaires au fonctionnement du système hydraulique (volume total 120 litres) : Les fluides nécessaires au fonctionnement du système hydraulique sont des mélanges de composants biologiques éthers dégradables avec additifs. La localisation des fluides dans la machine (dans le système hydraulique situé sous la nacelle, au niveau du

yaw) ainsi que le volume maximum total (120 litres max) est telle qu'un écoulement extérieur venant souiller le sol environnant est impossible, sauf en cas de déversement lors de l'endommagement de l'éolienne.

- L'eau glycolée (mélange d'eau et d'éthylène glycol), qui est utilisée comme liquide de refroidissement, dont le volume total de la boucle est de 120 litres.

Les lubrifiants et graisses nécessaires au bon fonctionnement de l'éolienne ne sont pas considérées comme substance dangereuse au titre de la Directive Européenne 1999/45/CE modifiée et adaptée, relative à la classification des substances dangereuses. Enfin, leurs propriétés physico-chimiques font qu'à température ambiante la viscosité est élevée ce qui rend cette graisse très épaisse, limitant ainsi les risques d'écoulement à l'intérieur de l'éolienne.

La localisation des huiles / graisses lubrifiantes dans la machine ainsi que le volume maximum total est telle qu'un écoulement extérieur venant souiller le sol environnant en fonctionnement normal n'est pas possible. Néanmoins, un déversement accidentel peut être envisagé si l'éolienne est endommagée. Une pollution du sol et des eaux est alors possible.

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

Quelle que soit la situation, l'ensemble des produits employés pour la maintenance ainsi que les éventuels déchets dangereux générés par le travail effectué sont remportés par les équipes intervenantes, et ne sont jamais laissés dans l'éolienne.

#### 1.2 Hexafluorure de soufre

L'hexafluorure de soufre (SF6) est le gaz utilisé comme milieu isolant pour les cellules de protection électrique (situées en pied de machine). La quantité présente varie entre 1.5 kg et 2.15 kg. C'est un gaz à effet de serre, possédant un potentiel de réchauffement global très important. Il est également non toxique pour l'homme à condition de rester dans certaines limites de mélange SF6 – air (80% - 20%). La présence de ce composé dans une atmosphère confinée peut entraîner un risque d'asphyxie par diminution de la teneur en oxygène. C'est un gaz non inflammable.

#### 1.3 Autres

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 ne sont classifiés comme CMR (Cancérogène, Mutagène, Repro-toxique) au sens de l'article R4411-1 et suivants du code du travail.

#### 1.4 Réflexion sur des produits de substitution

Les produits présents sur chaque éolienne (huile, fluide de refroidissement, graisse) sont des produits classiques utilisés dans ce type d'activité. Ils ne présentent pas de caractère dangereux marqué. Une rétention permet de maintenir un risque acceptable. Il n'est donc pas envisagé de produits de substitution.



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

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien de *Gwerginiou* 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	Incendie
Pale	Prise au vent	Bris de pale ou chute de pale	Projection de pales ou débris
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	Incendie/électrisation
Nacelle	Protection des équipements destinés à la production électrique	Chute d'éléments	Energie cinétique de chute
Rotor	Transformer l'énergie éolienne en énergie mécanique	Projection d'objets	Energie cinétique de projection
Nacelle	Protection des équipements destinés à la production électrique	Chute de nacelle	Energie cinétique de chute
Câble HTA souterrain	Distribution de l'énergie entre les éoliennes jusqu'au poste de livraison	Court-circuit	Incendie/électrisation

## 3. REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGER A LA SOURCE

### 3.1 Principales actions préventives

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 sont les suivants :

- Choix de l'emplacement des installations par rapport aux enjeux potentiels et notamment éloignement de plus de 500 m de toute habitation, de plus de 1000 m des routes structurantes et de plus de 500 mètres des infrastructures (lignes électriques notamment), absence de servitudes environnementales ou réglementaires rédhitoires ;
- Choix des caractéristiques des éoliennes selon les spécificités du site, notamment classe de vent de l'éolienne et longueur des pales pour un meilleur rendement ; mesures de réduction à la source des potentiels de dangers (choix du matériel certifié, maintenance des équipements, formation du personnel...) permettent autant que possible de réduire les dangers.

Les potentiels de dangers associés aux phénomènes extérieurs au site (formation de givre et circulation routière) ne sont pas maîtrisables par le maître d'ouvrage. Dès lors une réduction à la source de ces potentiels n'est pas possible.

### 3.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles

L'Union Européenne a adopté un ensemble de règles communes au sein de la directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles, appelée directive IED (elle annule et remplace la directive 96/61/CE du 24 septembre 1996, dite directive IPPC : « Integrated Pollution Prevention and Control »), afin d'autoriser et de contrôler les installations industrielles.

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

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

## F. ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE

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

L'analyse des retours d'expérience vise donc ici à faire émerger des typologies d'accident rencontrés tant au niveau national qu'international. Ces typologies apportent un éclairage sur les scénarios les plus rencontrés. D'autres informations sont également utilisées dans la partie 9 pour l'analyse détaillée des risques.

### 1. INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS EN FRANCE

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

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

- Rapport du Conseil Général des Mines (juillet 2004)
- Base de données ARIA du Ministère du Développement Durable

- Communiqués de presse du SER-FEE et/ou des exploitants éoliens
- Site Internet de l'association « Vent de Colère »
- Site Internet de l'association « Fédération Environnement Durable »
- Articles de presse divers
- Données diverses fournies par les exploitants de parcs éoliens en France

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

Dans l'état actuel, la base de données élaborée par le groupe de travail de SER/FEE ayant élaboré le guide technique d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis l'année 2000. L'ensemble de ces sources permet d'arriver à un inventaire aussi complet que possible des incidents survenus en France. Un total de 53 incidents a pu être recensé entre 2000 et 2017 (voir tableau détaillé en annexe 1), auquel s'ajoute l'éolienne de 62 m (mise en service en 2003) arrachée par le vent, le 1er janvier 2018, à Bouin en Vendée, au passage de la tempête Carmen.

Dans le retour d'expérience français, aucun effondrement n'a eu lieu sur les éoliennes mises en service après 2005.

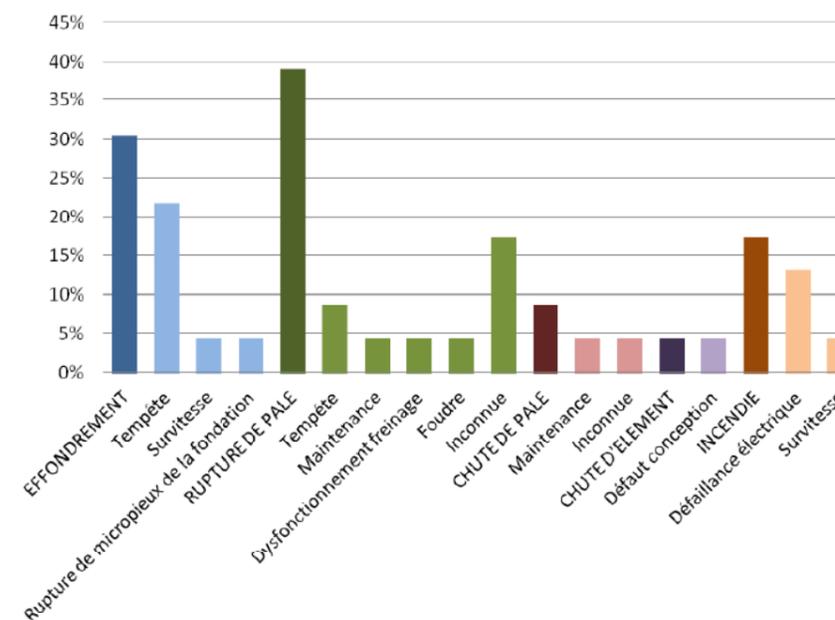
Il apparaît dans ce recensement que les aérogénérateurs accidentés sont principalement des modèles anciens ne bénéficiant généralement pas des dernières avancées technologiques.

Les graphiques présentés ci-dessous sont issus du Guide Technique de l'Ineris 2012.

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

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

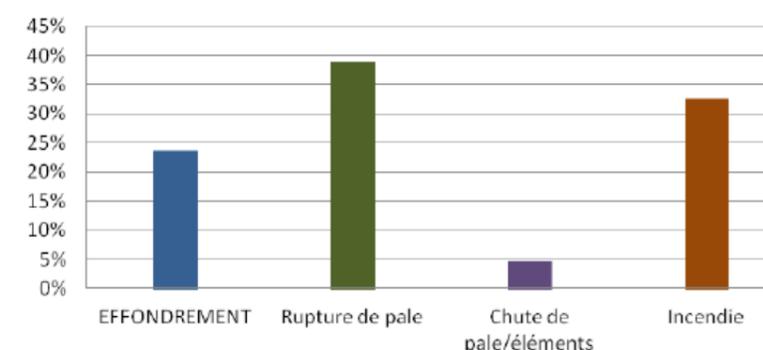
## 2. INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS A L'INTERNATIONAL

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

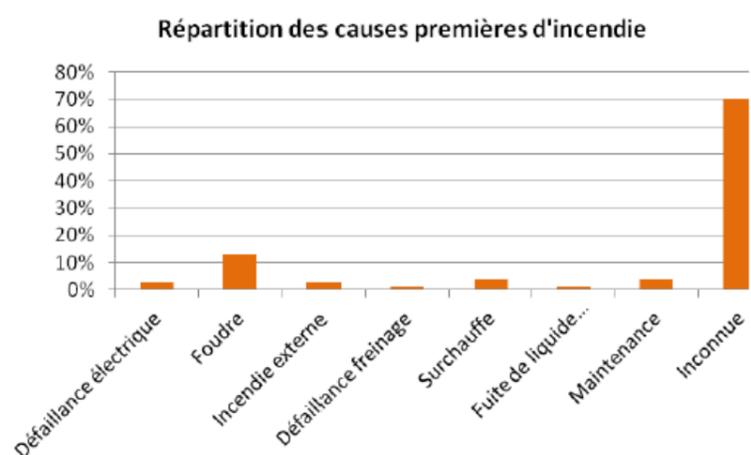
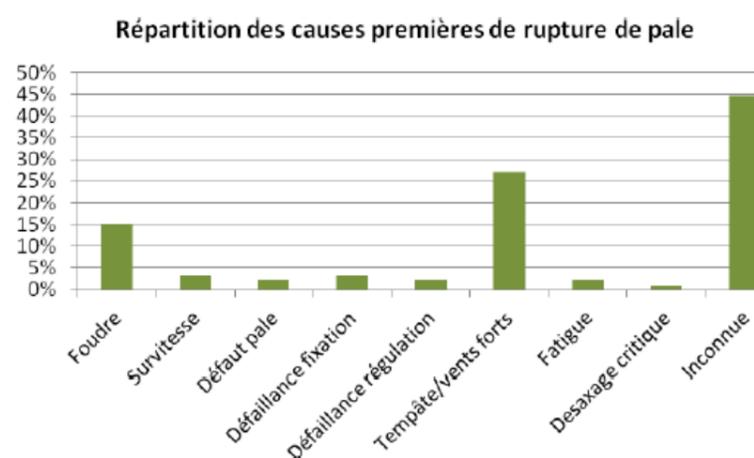
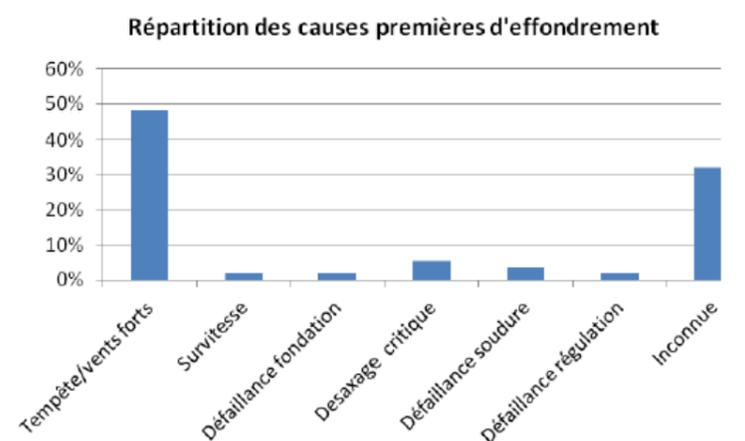
La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur les 994 accidents décrits dans la base de données au moment de sa consultation par le groupe de travail précédemment mentionné, seuls 236 sont considérés comme des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

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

Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2011



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



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

### 3. SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTÉS ISSUS DU RETOUR D'EXPÉRIENCE

#### 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.

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

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

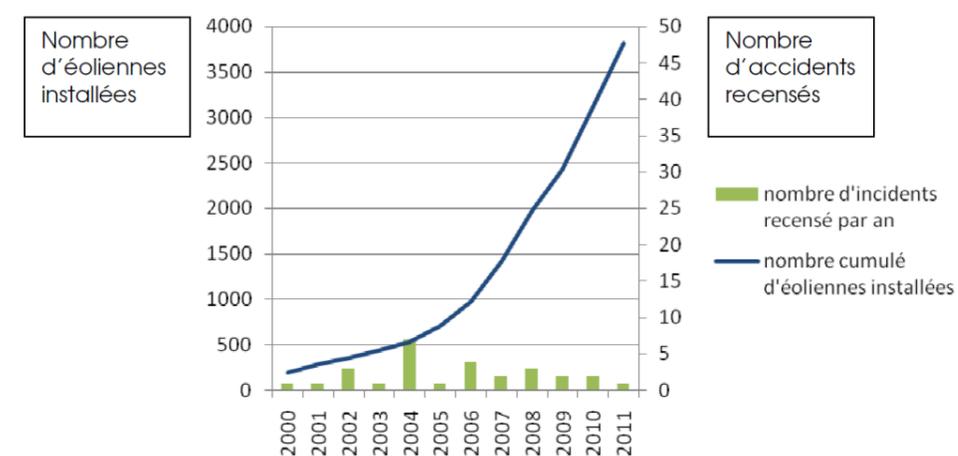


Figure 23 : Evolution du nombre d'accidents et de la taille du parc éolien en France

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

#### 3.2 Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

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

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

#### 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.

#### G. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

Les outils d'analyse des risques sont nombreux (ex : AMDEC, APR, HAZOP, etc.). L'utilisation de la **méthode APR** (analyse préliminaire des risques) est retenue dans la présente étude de dangers, car elle est souple d'utilisation, adaptée et plus facile à mettre en œuvre et à instruire dans le contexte des éoliennes.

##### 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.

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

Plusieurs événements initiateurs peuvent être exclus de l'analyse préliminaire des risques, soit parce que ces exclusions sont prévues dans la circulaire du 10 mai 2010 relative à la méthodologie applicable aux études de dangers, soit parce que les conséquences de cet événement seront largement supérieures aux conséquences de l'accident qu'il entraînerait sur l'éolienne.

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

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

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

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

##### 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.

###### 3.1 Agressions externes liées aux activités humaines

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

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

Infrastructure	Fonction	Evènement redouté	Danger potentiel	Rayon	Distance par rapport au mât des éoliennes			
					E1	E2	E3	E4
Voies de circulation	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	>200 m	>200 m	>200 m	>200 m
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2000 m	Aucun aérodrome dans un rayon de 2000 m autour des éoliennes			
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de conducteur	Arc électrique, surtensions	200 m	>200 m	>200 m	>200 m	>200 m
Autres aérogénérateurs	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	>500 m	>500 m	>500 m	>500 m

Remarque : les voies de circulation incluses dans un rayon de 200 m autour des éoliennes sont des chemins ruraux à très faible fréquentation.

### 3.2 Agressions externes liées aux phénomènes naturels

Le tableau ci-dessous synthétise les principales agressions externes liées aux phénomènes naturels auxquels les aérogénérateurs sont soumis :

Agression externe	Intensité
Vents et tempête	Le site d'implantation des éoliennes n'est pas compris dans une zone affectée par les cyclones tropicaux. Vitesse de vent maxi instantanée sur 10 min : 21 m/s (observé le 01/01/2018) Résistance de l'éolienne installée en rafale extrême (classe IEC II) : 59,5 m/s
Foudre	L'éolienne Gamesa G114 respecte la norme IEC 61 400-24 (Juin 2010)
Glissement de sols / affaissements miniers	Le site d'implantation n'est pas concerné par des signes d'instabilité

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

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

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

## 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, l'APR doit identifier l'ensemble des séquences accidentelles et phénomènes dangereux associés pouvant déclencher la libération du danger.

Le tableau figurant en page suivante 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'évènement 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'évènement 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).

### 4.1 Tableau d'Analyse Préliminaire des Risques

N°	Evènement initiateur	Evènement intermédiaire	Evènement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
G01	Conditions Climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales, le mât et la nacelle	Chute de glace lorsque les éoliennes sont arrêtées	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace (N°2)	Impact de glace sur les enjeux	1
G02	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	Projection de glace lorsque les éoliennes sont en mouvement	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de la glace (N°1)	Impact de glace sur les enjeux	2
I01	Humidité, gel	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I02	Dysfonctionnement électrique	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I03	Survitesse	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3) Prévenir la survitesse (N°4)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I04	Désaxage de la génératrice / Pièce défectueuse / Défaut de lubrification	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I05	Conditions climatiques humides	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I06	Rongeurs	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 du 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 de l'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 de l'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
C03	Défaut fixation nacelle – pivot central – mât	Chute nacelle	Chute nacelle	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 des pales	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie des pales	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 des pales	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

N°	Evènement initiateur	Evènement intermédiaire	Evènement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
E07	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Chute fragments et chute mât	2
E08	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°12) Dans les zones cycloniques, mettre en place un système de prévision cyclonique et équiper les éoliennes d'un dispositif d'abattage et d'arrimage au sol (N°13)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

Tableau 3 : Tableau d'APR

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 Guide.



#### 4.2 Effets dominos

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

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

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

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

#### 4.3 Fonctions de sécurité des éoliennes

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 sur les éoliennes. Ces tableaux sont génériques et constituent un « cahier des charges » des mesures typiques mises en œuvre sur les aérogénérateurs en France.

Un principe clé du processus d'élaboration d'une étude de dangers est qu'elle doit être proportionnelle au niveau de risques engendrés par les éoliennes sur leur environnement. Dans ce cadre, cette étape consiste à conduire une description simple des mesures de sécurité mises en œuvre sur leurs machines, et de leurs critères de défaillance. En particulier, il n'est pas demandé de conduire les analyses poussées demandées aux installations classées soumises à autorisation avec servitudes (AS).

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les fonctions de sécurité identifiées et mise en œuvre sur les éoliennes du parc éolien de Gwerginiou. 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).

*Note : Il n'est pas demandé de décrire dans le détail la marque ou le fonctionnement de l'équipement considéré, simplement de mentionner leur existence.*

- **Description** : cette ligne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires.
- **Indépendance** (« oui » ou « non ») : cette caractéristique décrit le niveau d'indépendance d'une mesure de maîtrise des risques vis-à-vis des autres systèmes de sécurité et des scénarios d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner « oui ») ou non (renseigner « non »).
- **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.
- **Efficacité** (100% ou 0%) : l'efficacité mesure la capacité d'une mesure de maîtrise des risques à remplir la fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation.
- **Test** (fréquence) : dans ce champ sont rappelés les tests/essais qui seront réalisés sur les mesures de maîtrise des risques. conformément à la réglementation, un essai d'arrêt, d'arrêt d'urgence et d'arrêt à partir d'une situation de survitesse seront réalisés avant la mise en service de l'aérogénérateur. Dans tous les cas, les tests effectués sur les mesures de maîtrise des risques seront tenus à la disposition de l'inspection des installations classées pendant l'exploitation de l'installation.
- **Maintenance** (fréquence) : ce critère porte sur la périodicité des contrôles qui permettront de vérifier la performance de la mesure de maîtrise des risques dans le temps. Pour rappel, la réglementation demande qu'à minima : un contrôle tous les ans soit réalisé sur la performance des mesures de sécurité permettant de mettre à l'arrêt, à l'arrêt d'urgence et à l'arrêt à partir d'une situation de survitesse et sur tous les systèmes instrumentés de sécurité.

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

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

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
Mesures de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. 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: 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. 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	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		

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 %. Nous considérerons que compte tenu de l'implantation des panneaux et de l'entretien prévu, l'information des promeneurs sera systématique.		
Tests	NA		
Maintenance	NA 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 t° 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	/		
Maintenance	Vérification du système ou des composants structurels principaux selon le manuel opérationnel 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	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	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); 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	Mesure de terre lors des vérifications des installations électriques lors de la construction des fondations		
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	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'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 annuelle de toutes les équipements anti-incendie (détecteurs, extincteurs, etc.)		
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, Procédure d'urgence, Kit antipollution (spill kit)		
Description	Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange. Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin : - de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; - d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools ...) 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	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 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	Test des programmes de freinage lors de la mise en service de l'éolienne. Test automatique du système de freinage lors de la séquence de démarrage de l'éolienne.		
Maintenance	Vérification du frein hydraulique, système de détection de survitesse, du système d'alarme, des motoréducteurs, du graissage, etc..		

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 OPTIONNEL: Dans un site éolien spécifique ou en cas de risque cyclonique de ce site, le système GUYS pourrait être prévu. C'est un système qui maintient la machine orientée en cas de perte de réseau.		
Description	Mise en place d'une procédure d'action suivant les niveaux d'alerte Formation des opérateurs OPTIONNEL: Mise en place d'une procédure d'activation de le système GUYS		
Indépendance	/		
Temps de réponse	/		
Efficacité	/		
Tests	/		
Maintenance	Dépend de la portée convenue des travaux entre le fournisseur d'équipement, le réparateur (O&M,Services) et le propriétaire du parc éolien.		

Tableau 4 : Fonctions de sécurité de l'éolienne

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.

#### 4.4 Conclusion de l'analyse préliminaire 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 retenues que les séquences accidentelles dont l'intensité est telle que l'accident peut avoir des effets significatifs sur la vie humaine.

Dans le cadre de l'analyse préliminaire des risques 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
<b>Incendie de l'éolienne (effets thermiques)</b>	En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m <sup>2</sup> n'est pas atteinte. Dans le cas d'un incendie au niveau du mât les effets sont également mineurs et l'arrêté du 26 Août 2011 encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques. Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.
<b>Incendie du poste de livraison ou du transformateur</b>	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)

Nom du scénario exclu	Justification
<b>Chute et projection de glace dans les cas particuliers où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C</b>	Lorsqu'un aérogénérateur est implanté sur un site où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C, il peut être considéré que le risque de chute ou de projection de glace est nul. Des éléments de preuves doivent être apportés pour identifier les implantations où de telles conditions climatiques sont applicables.
<b>Infiltration d'huile dans le sol</b>	En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs. Ce scénario peut ne pas être détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques sauf en cas d'implantation dans un périmètre de protection rapprochée d'une nappe phréatique.

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

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

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

## H. 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.

### 1. RAPPEL DES DEFINITIONS

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

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

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

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

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

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

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

#### 1.1 Cinétique

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

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

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

#### 1.2 Intensité

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

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 caractérisent des phénomènes dangereux dont l'intensité s'exerce dans toutes les directions autour de l'origine du phénomène, pour des effets de surpression, toxiques ou thermiques). Ces seuils ne sont donc pas adaptés aux accidents générés par les aérogénérateurs.

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

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

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

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

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

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

#### 1.3 Gravité

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



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

La détermination du nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) présentes dans chacune des zones d'effet est effectuée à l'aide d'une méthode basée 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.

#### 1.4 Probabilité

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

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

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

- o de la bibliographie relative à l'évaluation des risques pour des éoliennes
- o du retour d'expérience français
- o 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 :

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

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

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

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

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

P.présence = probabilité de présence d'un enjeu donné au point d'impact sachant que l'élément est projeté en ce point donné

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



## 2. CARACTERISATION DES SCENARIOS RETENUS

### 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 **137 m** maximum pour les éoliennes du parc de *Gwerginioù*.

Cette méthodologie se rapproche de celles utilisées dans la bibliographie (ref. [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.

La carte des zones d'effet des différents phénomènes retenus est présentée en figure 24.

#### • Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne dans le cas du parc éolien de *Gwerginioù* :

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale = 137 m)			
Zone d'impact (ZI)	Zone d'effet du phénomène étudié (ZE)	Degré d'exposition du phénomène étudié (d)	Intensité
$ZI = (H) \times L + 3 \times R \times LB / 2$ 702 m <sup>2</sup>	$ZE = \pi \times (H+R)^2$ 58 964 m <sup>2</sup>	$d = ZI / ZE$ 1,19%	(1% < x < 5%) <b>Exposition forte</b>

Avec :

R : la longueur de pale (R= 57 m),  
H : la hauteur au moyeu (H= 80 m),  
LB : la largeur de la base de la pale (LB= 4 m)  
L : la largeur du mât (L= 4,5 m maximum).

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

#### • Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (cf. paragraphe 9.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène d'effondrement, dans le rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne :

- Plus de 100 personnes exposées : « Désastreux »
- Entre 10 et 100 personnes exposées : « Catastrophique »
- Entre 1 et 10 personnes exposées : « Important »
- Au plus 1 personne exposée : « Sérieux »
- Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement : « 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 = 137 m)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	Surface de terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs) : 5,90 ha soit 0,0590 personne	Modérée
E2	Surface de terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs) : 5,90 ha soit 0,0590 personne	Modérée
E3	Surface de terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs) : 5,77 ha soit 0,0577 personne Surface de terrains aménagés mais peu fréquentés (chemin agricole) : 0,0456 ha soit 0,45 personne Chemins de promenade, de randonnée : 2 pers./km 275 ml soit 0,55 personne Soit un total de 1,0577 personne	Sérieux
E4	Surface de terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs) : 5,90 ha soit 0,0590 personne	Modérée

Rappel : La méthode de comptage des enjeux humains dans chaque secteur est présentée en annexe 2.

Elle se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers. Il est à noter que pour la plupart des parcs éoliens, la zone de survol de l'éolienne est un terrain non aménagé et très peu fréquenté (1 personne pour 100 ha d'après la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010). Pour une éolienne d'une longueur de pale inférieure à 100 m, le nombre équivalent de personnes permanentes sera donc inférieur à 1. Cette gravité restera inchangée dans le cas de terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne pour 10 ha).

Pour le parc éolien de *Gwerginioù* : la zone de survol est un terrain non aménagé et très peu fréquenté pour E1, E2 et E4, comportant des chemins de randonnée pour E3.

#### • 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 x 10 <sup>-4</sup>	Retour d'expérience
« Specification of minimum distances » [6]	1,8 x 10 <sup>-4</sup> (effondrement de la nacelle et de la tour)	Retour d'expérience

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

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C ». En effet, il a été recensé seulement 7 événements pour 15 667 années d'expérience (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.), soit une probabilité de 4,47 10<sup>-4</sup> par éolienne et par an.

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 septembre 2005 d'une probabilité « C », à savoir : « Evènement 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'évènement. Néanmoins, les dispositions constructives des éoliennes ayant fortement évolué, le niveau de fiabilité est aujourd'hui bien meilleur. Des mesures de maîtrise des risques supplémentaires ont été mises en place sur les machines récentes et permettent de réduire significativement la probabilité d'effondrement. Ces mesures de sécurité sont notamment :

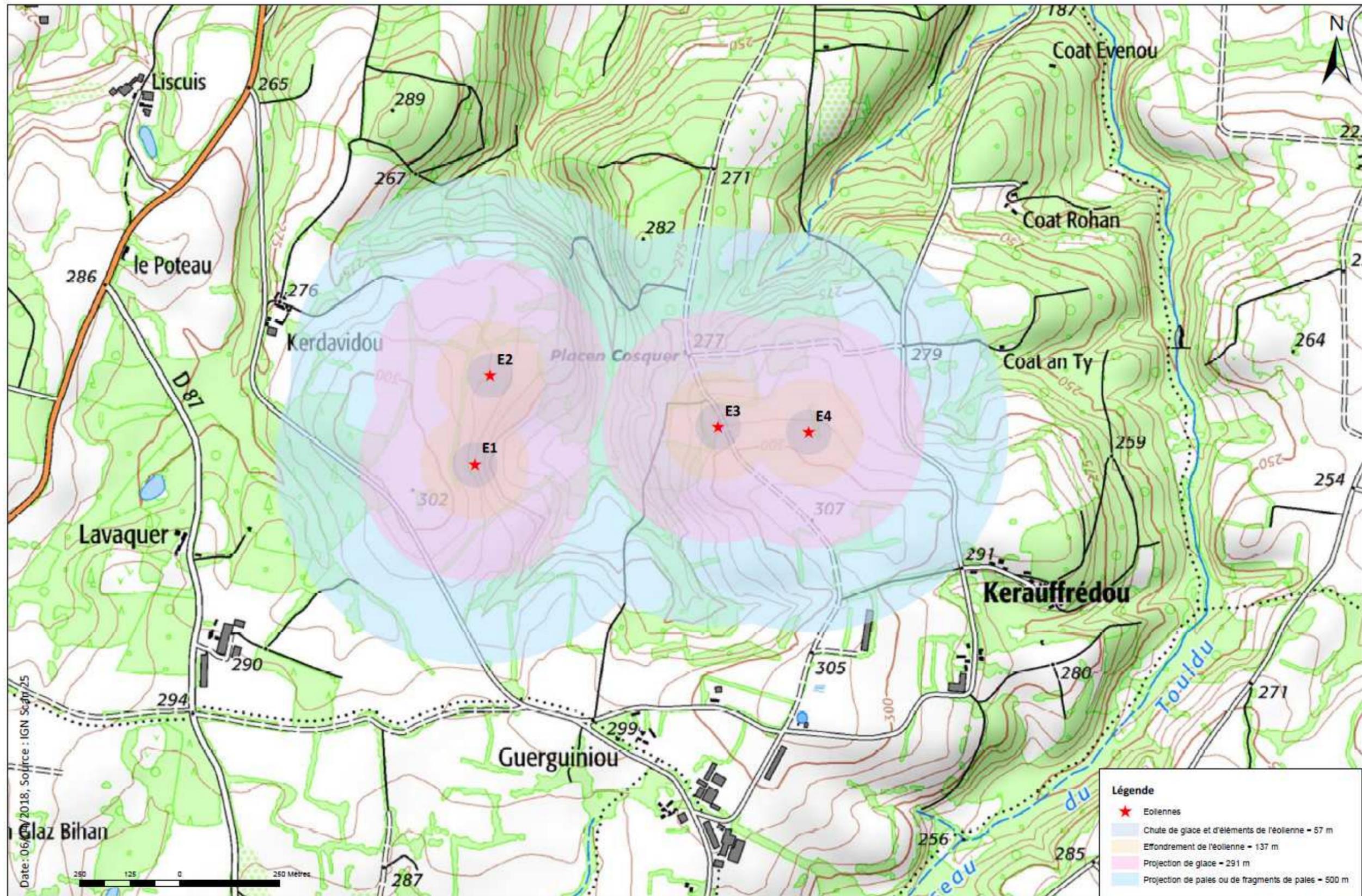


Figure 24 : Zones d'effet des scénarios

- 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

Dans le retour d'expérience français, aucun effondrement n'a eu lieu sur les éoliennes mises en service après 2005.

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011 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 10 personnes sont exposées**.

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien de *Gwerginiou*, 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 = 137 m)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modérée	<b>Acceptable</b>
E2	Modérée	<b>Acceptable</b>
E3	Sérieux	<b>Acceptable</b>
E4	Modérée	<b>Acceptable</b>

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

## 2.2 Chute de glace

- **Considérations générales**

Les périodes de gel et l'humidité de l'air peuvent entraîner, dans des conditions de température et d'humidité de l'air bien particulières, une formation de givre ou de glace sur l'éolienne, ce qui induit des risques potentiels de chute de glace. Selon l'étude WECO [15], une grande partie du territoire français (hors zones de montagne) est concerné par moins d'un jour de formation de glace par an. Certains secteurs du territoire comme les zones côtières affichent des moyennes variant entre 2 et 7 jours de formation de glace par an. Lors des périodes de dégel qui suivent les périodes de grand froid, des chutes de glace peuvent se produire depuis la structure de l'éolienne (nacelle, pales). Normalement, le givre qui se forme en fine pellicule sur les pales de l'éolienne fond avec le soleil. En cas de vents forts, des morceaux de glace peuvent se détacher. Ils se désagrègent généralement avant d'arriver au sol. Ce type de chute de glace est similaire à ce qu'on observe sur d'autres bâtiments et infrastructures.

- **Zone d'effet**

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne. Pour le parc éolien de *Gwerginiou*, la zone d'effet a donc un rayon de **57 m**. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

La carte des zones d'effet des différents phénomènes retenus est présentée en figure 24.

- **Intensité**

Pour le phénomène de chute de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace et la superficie de la zone d'effet du phénomène (zone de survol).

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace dans le cas du parc éolien de *Gwerginiou* :

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol = 57 m)			
Zone d'impact (ZI)	Zone d'effet du phénomène étudié (ZE)	Degré d'exposition du phénomène étudié (d)	Intensité
ZI = SG 1 m <sup>2</sup>	ZE = π x R <sup>2</sup> 10 207 m <sup>2</sup>	d = ZI/ZE 0,01%	<b>Exposition modérée</b>

Avec :

R : longueur de pale (R= 57 m),

SG : surface du morceau de glace majorant (SG= 1 m<sup>2</sup> de façon à majorer la zone d'impact et donc le degré d'exposition).

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

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



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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol = 57 m)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	Surface de terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs) : <i>1,02 ha soit 0,0102 personne</i>	<b>Modérée</b>
E2	Surface de terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs) : <i>1,02 ha soit 0,0102 personne</i>	<b>Modérée</b>
E3	Surface de terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs) : <i>0,99 ha soit 0,099 personne</i> Chemins de promenade, de randonnée : 2 pers./km <i>105 ml soit 0,21 personne</i> <i>Soit un total de 0,309 personnes</i>	<b>Modérée</b>
E4	Surface de terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs) : <i>1,02 ha soit 0,0102 personne</i>	<b>Modérée</b>

Rappel : La méthode de comptage des enjeux humains dans chaque secteur est présentée en annexe 2. Il est à noter que pour la plupart des parcs éoliens, la zone de survol de l'éolienne est un terrain non aménagé et très peu fréquenté (1 personne pour 100 ha d'après la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010). Pour une éolienne d'une longueur de pale inférieure à 100 m, le nombre équivalent de personnes permanentes sera donc inférieur à 1. Cette gravité restera inchangée dans le cas de terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne pour 10 ha).

Pour le parc éolien de Gwerginiou : la zone de survol est un terrain non aménagé et très peu fréquenté pour E1, E2 et E4, comportant un chemin de randonnée pour E3.

- **Probabilité**

De façon conservatrice, il est considéré que la probabilité est de classe « A », c'est-à-dire une probabilité supérieure à 10<sup>-2</sup>.

- **Acceptabilité**

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

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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol = 57 m)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modérée	<b>Acceptable</b>
E2	Modérée	<b>Acceptable</b>
E3	Modérée	<b>Acceptable</b>
E4	Modérée	<b>Acceptable</b>

**Ainsi, pour le parc éolien de Gwerginiou, 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.

### 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.

La carte des zones d'effet des différents phénomènes retenus est présentée en figure 24.

- **Intensité**

Pour le phénomène de chute d'éléments, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un élément (cas majorant d'une pale entière se détachant de l'éolienne) et la superficie de la zone d'effet du phénomène (zone de survol). Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Gwerginiou :

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol = 57 m)			
Zone d'impact (ZI)	Zone d'effet du phénomène étudié (ZE)	Degré d'exposition du phénomène étudié (d)	Intensité
$ZI = R \times LB/2$ <i>114 m<sup>2</sup></i>	$ZE = \pi \times R^2$ <i>10 207 m<sup>2</sup></i>	$d = ZI/ZE$ <i>1,11%</i>	(1%<x<5%) <b>Exposition forte</b>

Avec :

R : longueur de pale (R= 57 m)

LB : largeur de la base de la pale (LB= 4 m)

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

Si le phénomène de chute d'élément engendre une zone d'exposition importante:

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

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

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol = 57 m)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	Surface de terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs) : <i>1,02 ha soit 0,0102 personne</i>	<b>Modérée</b>
E2	Surface de terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs) : <i>1,02 ha soit 0,0102 personne</i>	<b>Modérée</b>
E3	Surface de terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs) : <i>0,99 ha soit 0,099 personne</i> Chemins de promenade, de randonnée : 2 pers./km <i>105 m soit 0,21 personne</i> <i>Soit un total de 0,309 personnes</i>	<b>Modérée</b>
E4	Surface de terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs) : <i>1,02 ha soit 0,0102 personne</i>	<b>Modérée</b>

Rappel : La méthode de comptage des enjeux humains dans chaque secteur est présentée en annexe 2. Il est à noter que pour la plupart des parcs éoliens, la zone de survol de l'éolienne est un terrain non aménagé et très peu fréquenté (1 personne pour 100 ha d'après la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010). Pour une éolienne d'une longueur de pale inférieure à 100 m, le nombre équivalent de personnes permanentes sera donc inférieur à 1. Cette gravité restera inchangée dans le cas de terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne pour 10 ha).

Pour le parc éolien de *Gwerginiou* : la zone de survol est un terrain non aménagé et très peu fréquenté pour E1, E2 et E4, comportant un chemin de randonnée pour E3.

- 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  $4.47 \times 10^{-4}$  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 » : « Evènement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité ».

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

- Acceptabilité**

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

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

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol = 57 m)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modérée	<b>Acceptable</b>
E2	Modérée	<b>Acceptable</b>
E3	Modérée	<b>Acceptable</b>
E4	Modérée	<b>Acceptable</b>

**Ainsi, pour le parc éolien de *Gwerginiou*, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.**

## 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 :

- o 1300 m rapporté pour un accident à Hundhammerfjellet en Norvège le 20/01/2006
- o 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.

La carte des zones d'effet des différents phénomènes retenus est présentée en figure 24.

- Intensité**

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien de *Gwerginiou* :

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
Zone d'impact (ZI)	Zone d'effet du phénomène étudié (ZE)	Degré d'exposition du phénomène étudié (d)	Intensité
$ZI = R \times LB/2$ <i>114 m<sup>2</sup></i>	$ZE = \pi \times (500)^2$ <i>785 398 m<sup>2</sup></i>	$d = ZI/ZE$ <i>0,015%</i>	(<1%) <b>Exposition modérée</b>

Avec :

R : longueur de pale (R= 57 m)

LB : largeur de la base de la pale (LB= 4 m)

• **Gravité**

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

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

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

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	Surface de terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs) : <i>78,01 ha soit 0,780 personne</i> Surface de terrains aménagés mais peu fréquentés (chemin agricole) <i>0,53 ha soit 0,053 personne</i> <i>Soit un total de 0,833 personne</i>	<b>Modéré</b>
E2	Surface de terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs) : <i>77,91 ha soit 0,779 personne</i> Surface de terrains aménagés mais peu fréquentés (chemin agricole) <i>0,61 ha soit 0,061 personne</i> Chemins de promenade, de randonnée : 2 pers./km <i>68 ml soit 0,136 personne</i> <i>Soit un total de 0,976 personne</i>	<b>Modéré</b>
E3	Surface de terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs) : <i>77,65 ha soit 0,777 personne</i> Surface de terrains aménagés mais peu fréquentés (chemin agricole) <i>0,59 ha soit 0,059 personne</i> Chemins de promenade, de randonnée : 2 pers./km <i>1027 ml soit 2,05 personnes</i> <i>Soit un total de 2,886 personnes</i>	<b>Sérieux</b>
E4	Surface de terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs) : <i>77,50 ha soit 0,775 personne</i> Surface de terrains aménagés mais peu fréquentés (chemin agricole) <i>0,63 ha soit 0,063 personne</i> Chemins de promenade, de randonnée : 2 pers./km <i>1319 ml soit 2,638 personnes</i> <i>Soit un total de 3,476 personnes</i>	<b>Sérieux</b>

Les éoliennes du parc éolien de Gwerginiou sont dans le cas de figure suivant : la zone de survol est composée de terrains aménagés (chemins agricoles et routes communales) et de chemins de randonnée inscrits au PDIPR peu fréquentés.

• **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 x 10 <sup>-6</sup>	Respect de l'Eurocode EN 1990 – Basis of structural design
Guide for risk based zoning of wind turbines [5]	1, 1 x 10 <sup>-3</sup>	Retour d'expérience au Danemark (1984- 1992) et en Allemagne (1989-2001)
Specification of minimum distances [6]	6,1 x 10 <sup>-4</sup>	Recherche Internet des accidents entre 1996 et 2003

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

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C » (12 événements pour 15 667 années d'expérience, soit 7,66 x 10<sup>-4</sup> 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 » : « Evènement 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'évènement.

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

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

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

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

• **Acceptabilité**

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

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

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modérée	<b>Acceptable</b>
E2	Modérée	<b>Acceptable</b>
E3	Sérieux	<b>Acceptable</b>
E4	Sérieux	<b>Acceptable</b>

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



## 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 :

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

Avec :

H : la hauteur au moyeu (H= 80 m)

R : longueur de pale (R= 57 m)

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

La carte des zones d'effet des différents phénomènes retenus est présentée en figure 24.

### • Intensité

Pour le phénomène de projection de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace (cas majorant de 1 m<sup>2</sup>) et la superficie de la zone d'effet du phénomène.

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du parc de Gwerginiou :

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+2 \times R)$ autour de l'éolienne = 291 m)			
Zone d'impact (ZI)	Zone d'effet du phénomène étudié (ZE)	Degré d'exposition du phénomène étudié (d)	Intensité
ZI = SG <i>1 m<sup>2</sup></i>	$ZE = \pi \times R_{PG}^2$ <i>266 033 m<sup>2</sup></i>	$d = ZI/ZE$ <i>0,00037 %</i>	(<1%) <b>Exposition modérée</b>

Avec :

R : longueur de pale : R= 57 m

SG : surface du morceau de glace majorant : SG= 1 m<sup>2</sup>

H est la hauteur au moyeu : H = 80 m

### • Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe H.1.3., il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection de glace, dans la zone d'effet de ce phénomène :

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

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

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

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+2 \times R)$ autour de l'éolienne = 291 m)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	Surface de terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs) : <i>26,50 ha soit 0,265 personne</i> Surface de terrains aménagés mais peu fréquentés (chemin agricole) <i>0,134 ha soit 0,0134 personne</i> <i>Soit un total de 0,976 personne</i>	<b>Modéré</b>
E2	Surface de terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs) : <i>26,60 ha soit 0,266 personne</i>	<b>Modéré</b>
E3	Surface de terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs) : <i>26,16 ha soit 0,262 personne</i> Surface de terrains aménagés mais peu fréquentés (chemin agricole) <i>0,264 ha soit 0,0264 personne</i> Chemins de promenade, de randonnée : 2 pers./km <i>588 ml soit 1,176 personne</i> <i>Soit un total de 1,464 personne</i>	<b>Sérieux</b>
E4	Surface de terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs) : <i>26,45 ha soit 0,265 personne</i> Chemins de promenade, de randonnée : 2 pers./km <i>512 ml soit 1,024 personne</i> <i>Soit un total de 1,289 personne</i>	<b>Sérieux</b>

Les éoliennes du parc éolien de Gwerginiou sont dans le cas de figure suivant : la zone de survol est composée de terrains aménagés (chemins agricoles et routes communales) et de chemins de randonnée inscrits au PDIPR peu fréquentés.

### • 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 « sérieux ». Cela correspond pour cet événement à un nombre équivalent de personnes permanentes inférieures à 10 dans la zone d'effet.

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

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+DR)$ autour de l'éolienne = 291 m)			
Eolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection de glace et de procédure de redémarrage	Niveau de risque
E1	Modérée	<b>oui</b>	<b>Acceptable</b>
E2	Modérée	<b>oui</b>	<b>Acceptable</b>
E3	Sérieux	<b>oui</b>	<b>Acceptable</b>
E4	Sérieux	<b>oui</b>	<b>Acceptable</b>

**Ainsi, pour le parc éolien de Gwerginiou, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes.**

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

#### 3.1 Tableau de synthèse des scénarios étudiés

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

N°	Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
1	Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale (137 m)	Rapide	Exposition forte	D (pour des éoliennes récentes)	Modérée pour E1, E2, E4 Sérieuse pour E3
2	Chute de glace	Zone de survol (57 m)	Rapide	Exposition modérée	A (sauf si T°C hivernales > 0°C)	Modérée
3	Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol (57 m)	Rapide	Exposition forte	C	Modérée
4	Projection de pales ou de fragments de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes)	Modérée pour E1 et E2 Sérieuse pour E3 et E4
5	Projection de glace	1,5 x (H + 2xR) autour de l'éolienne (291 m)	Rapide	Exposition modérée	B (sauf si T°C hivernales > 0°C)	Modérée pour E1 et E2 Sérieuse pour E3 et E4

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

#### 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 (scénario 1 à 5).

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.

GRAVITE des conséquences	Classes de probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		1 (E3) 4 (E3 et E4)		5 (E3 et E4)	
Modéré		1 (E1, E2, E4) 4 (E1 et E2)	3	5 (E1 et E2)	2

Légende de la matrice :

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

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

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

L'analyse des risques nous conduit à ne retenir aucun des événements pour une étude détaillée de réduction des risques, puisque aucun des scénarios étudiés n'est jugé inacceptable.

**L'étude conclut à l'acceptabilité du risque généré par le parc éolien de Gwerginiou. En effet, le risque associé à chaque événement redouté central étudié est acceptable, quelle que soit l'éolienne considérée du parc (éoliennes E1 à E4).**

#### 3.3 Cartographie des risques

A l'issue de la démarche d'analyse des risques, une carte de synthèse des risques est proposée ci-dessous par l'exploitant pour chaque éolienne du parc éolien de Gwerginiou. Elle fait apparaître, pour les scénarios détaillés dans le tableau de synthèse, les 5 scénarios retenus :

- 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

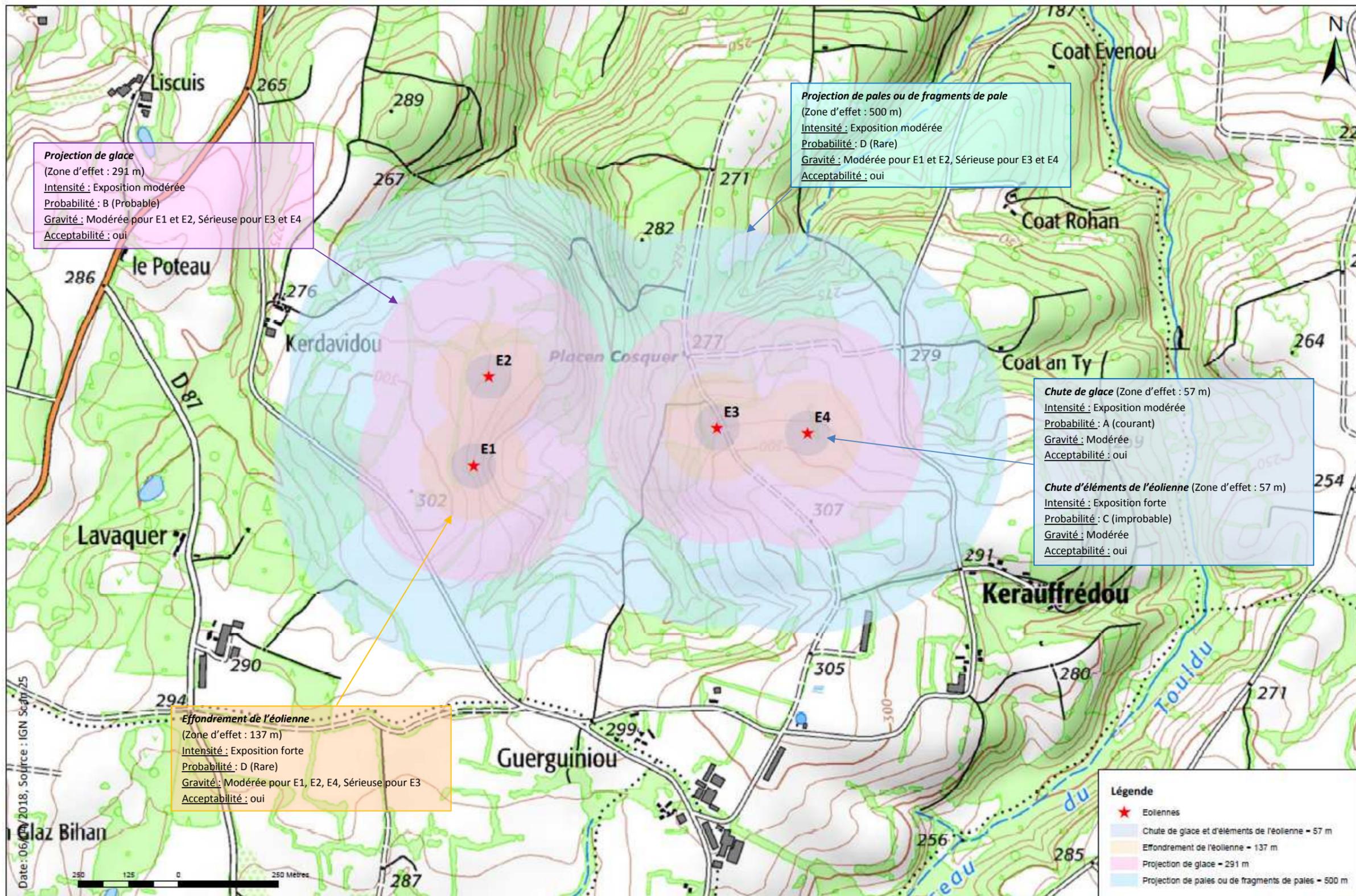


Figure 25 : Cartographie de synthèse des risques

## I. CONCLUSION

Conformément à l'article R.512-4 du code de l'environnement, une étude de dangers est menée parallèlement à l'étude d'impact et traite de ce sujet avec plus de spécifications. Elle est jointe à la demande d'autorisation environnementale.

L'analyse des risques liés aux installations et équipements du site est basée sur un recensement des accidents possibles, sur de l'évaluation de leurs conséquences, de leur probabilité de se réaliser en prenant en compte les moyens de secours et de prévention adaptés notamment à la vitesse d'apparition de l'accident.

L'analyse des risques de la présente étude de dangers a permis d'identifier les principaux accidents majeurs, à savoir :

- L'effondrement de l'éolienne,
- La chute de glace,
- La chute d'éléments de l'éolienne,
- La projection de tout ou partie de pale,
- La projection de glace.

La probabilité et la gravité des accidents majeurs les plus significatifs en termes de risque obtenues pour le parc de *Gwerginioù* sont reprises dans le tableau suivant :

N°	Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
1	Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale (137 m)	Rapide	Exposition forte	D (pour des éoliennes récentes)	Modérée pour E1, E2, E4 Sérieuse pour E3
2	Chute de glace	Zone de survol (57 m)	Rapide	Exposition modérée	A (sauf si T°C hivernales > 0°C)	Modérée
3	Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol (57 m)	Rapide	Exposition forte	C	Modérée
4	Projection de pales ou de fragments de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes)	Modérée pour E1 et E2 Sérieuse pour E3 et E4

Le tableau ci-après est un extrait du tableau d'analyse des risques présentant les scénarios retenus pour modélisation.

GRAVITE des conséquences	Classes de probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		1 (E3) 4 (E3 et E4)		5 (E3 et E4)	
Modéré		1 (E1, E2, E4) 4 (E1 et E2)	3	5 (E1 et E2)	2

Les scénarios de projection et de chute de glace sont les deux risques retenus comme principaux à l'échelle des installations car le niveau de risque est faible (contrairement aux trois autres scénarios dans le niveau de risque est considéré comme très faible).

L'analyse des risques nous conduit à ne retenir aucun des événements pour une étude détaillée de réduction des risques, puisque aucun des scénarios étudiés n'est jugé inacceptable.

**En conclusion, les mesures de prévention et de protection qui seront mises en place sur le parc éolien de *Gwerginioù* garantiront un niveau de risque acceptable pour les personnes.**

Afin de limiter les risques d'accidents ou d'incidents liés aux activités du parc éolien de *Gwerginioù*, les mesures de prévention et de protection intégrées à la structure des éoliennes seront prises :

- Les éoliennes seront conformes aux normes en vigueur, conformément à l'Article 8 de l'arrêté du 26 août 2011,
- Vérifications périodiques conformément aux articles 15 et 18 de l'Arrêté du 26 août 2011,
- Les installations et les équipements seront mis à la terre et munis d'un paratonnerre, conformément à l'article 9 de l'Arrêté du 26 août 2011,
- Balisage lumineux de chaque éolienne avec un système conformément à l'article 11 de l'Arrêté du 26 août 2011,
- Personnel formé au poste de travail et informé des risques présentés par l'activité, conformément aux articles 17 et 22 de l'Arrêté du 26 août 2011,
- Eloignement réglementaire par rapport aux habitations, conformément à l'article 3 de l'Arrêté du 26 août 2011,
- Les accès aux aérogénérateurs et autres équipements associés seront fermés à clés, conformément à l'Article 13 de l'Arrêté du 26 août 2011,
- Contrôle général des systèmes de sécurité et de fonctionnement des aérogénérateurs,
- Système de sécurité contre le risque électrique,
- Système de sécurité contre la survitesse,
- ...

Conformément à l'article 14 de l'Arrêté du 26 août 2011, des panneaux préventifs informant des risques de chute de glace seront mis en place au pied des éoliennes afin de limiter les risques pour le public.

## Annexe 1 : Accidentologie en France



Le tableau ci-dessous recense l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne entre 2000 et janvier 2017 (source : site ARIA) :

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance de l'éolienne (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Effondrement	Novembre 2000	Port la Nouvelle	Aude	0,5	1993	Non	Le mât d'une éolienne s'est plié lors d'une tempête suite à la perte d'une pale (coupure courant prolongée pendant 4 jours suite à la tempête)	Tempête avec foudre répétée	Rapport du CGM Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2001	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts)	?	Site Vent de Colère	Information peu précise
Effondrement	01/02/2002	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris d'hélice et mât plié	Tempête	Rapport du CGM Site Vent du Bocage	-
Maintenance	01/07/2002	Port la Nouvelle – Sigean	Aude	0,66	2000	Oui	Grave électrisation avec brûlures d'un technicien	Lors de mesures pour cartériser la partie haute d'un transformateur 690V/20kV en tension. Le mètre utilisé par la victime, déroulé sur 1,46m, s'est soudainement plié et est entré dans la zone du transformateur, créant un arc électrique.	Rapport du CGM	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	28/12/2002	Névian - Grande Garrigue	Aude	0,85	2002	Oui	Effondrement d'une éolienne suite au dysfonctionnement du système de freinage	Tempête + dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Site Vent de Colère Article de presse (Midi Libre)	-
Rupture de pale	25/02/2002	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pale en bois (avec inserts) sur une éolienne bipale	Tempête	Article de presse (La Dépêche du 26/03/2003)	Information peu précise
Rupture de pale	05/11/2003	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts) sur trois éoliennes. Morceaux de pales disséminés sur 100 m.	Dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Article de presse (Midi Libre du 15/11/2003)	-
Effondrement	01/01/2004	Le Portel – Boulogne sur Mer	Pas de Calais	0,75	2002	Non	Cassure d'une pale, chute du mât et destruction totale. Une pale tombe sur la plage et les deux autres dérivent sur 8 km.	Tempête	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (Windpower Monthly May 2004, La Voix du Nord du 02/01/2004)	-
Effondrement	20/03/2004	Loon Plage – Port de Dunkerque	Nord	0,3	1996	Non	Couchage du mât d'une des 9 éoliennes suite à l'arrachement de la fondation	Rupture de 3 des 4 micropieux de la fondation, erreur de calcul (facteur de 10)	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (La Voix du Nord du 20/03/2004 et du 21/03/2004)	-
Rupture de pale	22/06/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50 m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	-
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5m à 50m, mat intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	Incident identique à celui s'étant produit 15 jours auparavant
Chute de pale + effondrement du mât	28/12/2002	Névian	Aude	0,85	2003	-	Lors de la construction du parc, l'une des pales d'une éolienne se détache et entraîne l'effondrement du mât de 40 m.	Défaillance du système de freinage du rotor	ARIA (n°42882)	-
Rupture de pale	2004	Escales-Conilhac	Aude	0,75	2003	Non	Bris de trois pales		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale + chute de mât	01/01/2004	Le Portel	Pas-de-Calais	3	2002	-	Les trois pales tombent puis le mât se brise à mi-hauteur et la nacelle chute (deux des pales dérivent en mer et sont retrouvées à 8 km)	Défaut de conception	ARIA (n°26119)	-
Chute d'éolienne	20/03/2004	Dunkerque	Nord		1996	-	Une des 9 éoliennes tombe	Vent	ARIA (n°29388)	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance de l'éolienne (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	22/06/2004	Saint-Thégonnec	Finistère	0,30	2002	Non	Une pale se brise ne heurtant le mât	Vent	ARIA (n°42887)	-
Projection de morceaux de pale	08/07/2004	Saint-Thégonnec	Finistère	0,30	2002	Non	Projection de 3 morceaux de pale dans un champ (2 de 2,5 m et 1 de 1,5 m)	-	ARIA (n°42889)	-
Rupture de pale + incendie	22/12/2004	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne (survitesse de plus de 60 tr/min)	Survitesse due à une maintenance en cours, problème de régulation, et dysfonctionnement du système de freinage	Base de données ARIA (n°29385), Article de presse (La Tribune du 30/12/2004) Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2005	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris de pale		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale	08/10/2006	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2004	Non	Chute d'une pale de 20 m pesant 3 tonnes	Allongement des pales et retrait de sécurité (débridage), pas de REX suite aux précédents accidents sur le même parc	Site FED Articles de presse (Ouest France) Journal FR3 ARIA (n°42891)	-
Incendie	18/11/2006	Roquetaillade	Aude	0,66	2001	Oui	Acte de malveillance: explosion de bonbonne de gaz au pied de 2 éoliennes. L'une d'entre elles a mis le feu en pieds de mat qui s'est propagé jusqu'à la nacelle.	Malveillance / incendie criminel	Communiqués de presse exploitant Articles de presse (La Dépêche, Midi Libre) ARIA (n°42909)	-
Effondrement	03/12/2006	Bondues	Nord	0,08	1993	Non	Sectionnement du mât puis effondrement d'une éolienne dans une zone industrielle	Tempête (vents mesurés à 137Kmh)	Article de presse (La Voix du Nord)	-
Rupture de pale	31/12/2006	Ally	Haute-Loire	1,5	2005	Oui	Chute de pale lors d'un chantier de maintenance visant à remplacer les rotors	Accident faisant suite à une opération de maintenance	Site Vent de Colère ARIA (n°42895)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident pendant la phase chantier)
Rupture de pale	02/03/2007	Clitourps	Manche	0,66	2005	Oui	Rupture d'un morceau de pale de 4 m et éjection à environ 80 m de distance dans un champ	Cause pas éclaircie	Site FED Interne exploitant ARIA (n°43107)	-
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) ARIA (n°42896)	-
Emballlement	10/03/2008	Dinéault	Finistère	0,3	2002	Non	Emballlement de l'éolienne mais pas de bris de pale	Tempête + système de freinage hors service (boulon manquant)	Base de données ARIA (n°34340)	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (événement unique et sans répercussion potentielle sur les personnes)
Collision avion	04/04/2008	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) ARIA (n°42884)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident aéronautique)
Rupture de pale	19/07/2008	Erize-la-Brûlée - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale et projection de morceaux de pale suite à un coup de foudre	Foudre + défaut de pale	Communiqué de presse exploitant, Article de presse (l'Est Républicain 22/07/2008) ARIA (n°42904)	-
Incendie	28/08/2008	Vauvillers	Somme	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Problème au niveau d'éléments électroniques	Dépêche AFP 28/08/2008 ARIA (n°43109)	-
Rupture de pale	26/12/2008	Raival - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale		Communiqué de presse exploitant, Article de presse (l'Est Républicain)	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance de l'éolienne (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	26/01/2009	Clastres	Aisne	2,75	2004	Oui	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance	Accident électrique (explosion d'un convertisseur)	Base de données ARIA (n°35814)	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	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit dans transformateur sec embarqué en nacelle ?	Article de presse (Ouest-France) Communiqué de presse exploitant Site FED ARIA (n°42906)	-
Incendie	30/10/2009	Freyssenet	Ardèche	2	2005	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit faisant suite à une opération de maintenance (problème sur une armoire électrique)	Base de données ARIA Site FED Article de presse (Le Dauphiné) ARIA (n°37601)	-
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 ARIA (n°38999)	-
Maintenance	15/12/2010	Pouillé-les-Côteaux	Loire Atlantique	2,3	2010	Oui	Chute de 3 m d'un technicien de maintenance à l'intérieur de l'éolienne. L'homme de 22 ans a été secouru par le GRIMP de Nantes. Aucune fracture ni blessure grave.		Interne SER-FEE ARIA (n°39464)	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		Article de presse (Le Bien Public 01/06/2011)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident de transport hors site éolien)
Rupture de pale	14/12/2011	Non communiqué	Non communiqué	2,5	2003	Oui	Pale endommagée par la foudre. Fragments retrouvés par l'exploitant agricole à une distance n'excédant pas 300 m.	Foudre	Interne exploitant	Information peu précise sur la distance d'effet
Incendie	03/01/2012	Non communiqué	Non communiqué	2,3	2006	Oui	Départ de feu en pied de tour. Acte de vandalisme : la porte de l'éolienne a été découpée pour y introduire des pneus et de l'huile que l'on a essayé d'incendier. Le feu ne s'est pas propagé, dégâts très limités et restreints au pied de la tour.	Malveillance / incendie criminel	Interne exploitant	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'incendie)
Rupture de pale	05/01/2012	Widehem	Pas-de-Calais	0,75	2000	Non	Bris de pales, dont des fragments ont été projetés jusqu'à 380 m. Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne).	Tempête + panne d'électricité	Article de presse (La Voix du Nord 06/01/2012) Vidéo DailyMotion Interne exploitant ARIA (n°41578)	-
Maintenance	06/02/2012	Omissy	Aisne	2	2008		Un arc électrique blesse deux sous-traitants	-	ARIA (n°41628)	



Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance de l'éolienne (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
Projection d'un élément de la pale	11/04/2012	Corbières Maritimes	Aude	0,66	2000		Impact sur le mât et projection à 20 m d'un débris de pale long de 15 m.	Impact de foudre	ARIA (n°43841)	-
Rupture de pale	18/05/2012	Chemin d'Ablis	Eure-et-Loir	2	2008	Oui	Chute d'une pale de 9 tonnes et rupture du roulement raccordant la pale au hub.	Traces de corrosion dans les trous d'alésage traversant une des bagues du roulement	Articles de presse (le Figaro 22/05/2012) et ARIA (n°42919)	-
Effondrement de la tour	30/05/2012	Corbières Maritimes	Aude	0,2	1991	Non	Effondrement de la tour en treillis de 30 m de haut	Rafales de vent à 130 km/h observées durant la nuit	ARIA (n°43110)	-
Projection d'un élément de la pale	01/11/2012	Rézentières-Vieillespese	Cantal	2,5	2011	Oui	Projection d'un élément de 400 g constitutif d'une pale d'éolienne à 70 m du mât	-	ARIA (n°43120)	-
Incendie	05/11/2012	Corbières Maritimes	Aude	0,66	2000	-	Projections incandescentes enflamment 80 m <sup>2</sup> de garrigue environnante	Câbles électriques non résistants au feu à l'intérieur du mât	ARIA (n°43228)	-
Chute de pale	06/03/2013	Pic de Brau	Aude	0,85	2001		Arrêt d'une éolienne suite à un défaut de « vibration », une des pales était tombée et avait percuté le mât	Problème de fixation	ARIA (n°43576)	-
Incendie	17/03/2013	Fère-Champenoise-Euvy-Corroy	Marne	2,5	2011	Oui	Feu dans la nacelle d'une éolienne. Une des pales tombe au sol, une autre menace de tomber.	Défaillance électrique	ARIA (n°43630)	L'exploitant et la société chargée de la maintenance étudient la possibilité d'installer des détecteurs de fumées dans les éoliennes.
Impact de foudre	20/06/2013	La Bastide sur Besorgue	Ardèche	0,9	2009	-	Une pale est déchirée sur 6 m de longueur	Impact de foudre	ARIA (n°45016)	-
Maintenance	01/07/2013	Haut Languedoc	Hérault	1,3	2006		Opérateur blessé par la projection d'une partie amovible de l'équipement sur lequel il intervient	Défaillance organisationnelle	ARIA (n°44150)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Incendie	09/01/2014	Vents de Thiérarche	Champagne-Ardenne	2,5	-	-	Feu se déclarant vers 18 h au niveau de la partie moteur d'une éolienne.	Incident électrique	ARIA (n°44831)	-
Chute de pale	20/01/2014	Corbières Maritimes	Aude	0,66	2000		Arrêt d'une éolienne suite à un défaut de « vibration », une des pales était tombée	Fissures détectées sur la pièce en aluminium appelée « alu ring », située à la base de la pale. Cette pièce sert de jonction entre la pale en fibre de verre et le moyeu métallique	ARIA (n°44870)	-
Chute de pale	14/11/2014	Sources de la Loire	Ardèche	2,05	2011		L'élément principal a chuté au pied de l'éolienne mais des débris sont projetés à 150 m	Rafales de vents atteignant 130 km/h	ARIA (n°45960)	-
Chute d'éléments de l'éolienne	05/12/2014	Fitou	Aude	1,3	2002		Chute de l'extrémité de la pale constituant une partie de l'aérofrein (3 m)	Défaillance matérielle ou décollage sur les plaques en fibre de verre	ARIA (n°46030)	-
Incendie	29/01/2015	Remigny-Ly-Fontaine	Aisne	2,5	2015		Feu au sein d'une éolienne	Défaut d'isolation au niveau des connexions des conducteurs de puissance	ARIA (n°46304)	-
Incendie	06/02/2015	La Tourette	Deux-Sèvres	2	2010		Feu au niveau de l'armoire électrique d'une éolienne lors de la maintenance	-	ARIA (n°46237)	-
Incendie	24/08/2015	Le Champ-Besnard	Eure-et-Loire	2,5	2007		Un feu se déclare sur le moteur d'une éolienne à 90 m de hauteur	-	ARIA (n°47062)	-



Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance de l'éolienne (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	10/11/2015	Menil-la-Horgne	Meuse	1,5	2007		Les 3 pales et le rotor d'une éolienne chutent de 85 m, les débris sont disséminés sur 4000 m <sup>2</sup>	Défaut de fabrication de la pièce assurant la jonction entre le rotor et la multiplicatrice (défaut présent sur 2 autres éoliennes du parc)	ARIA (n°47377)	-
Chute d'éléments de l'éolienne	07/02/2016	Conilhac-Corbières	Aude	2,3	2014		L'aérovein d'une des 3 pales d'une éolienne se rompt et chute au sol	Un point d'attache du système mécanique de l'aérovein (système à câble) se serait rompu	ARIA (n°47675)	-
Chute d'éléments de l'éolienne	08/02/2016	Dinéault	29	0,3	1999		Lors d'une tempête, les vents de 160 km/h endommagent une éolienne : une pale chute au sol et une autre se déchire. La pale rompue est retrouvée à 40 m du pied du mât.	-	ARIA (n°47680)	-
Chute de pale	07/03/2016	Les Landes du Vieux Pavé	22	0,850	2009		Une pale se rompt et chute au pied du mât en endommageant celui-ci.	Défaillance du système d'orientation de la pale	ARIA (n°47763)	-
Pollution	28/05/2016	Janville	28	2,3	2005		Ecoulement d'huile sous la nacelle d'une éolienne	Défaillance d'un raccord sur le circuit de refroidissement de l'huile de la boîte de vitesse de l'éolienne	ARIA (n°48264)	-
Incendie	10/08/2016	Hescamps	80	0,5	2008		Feu dans une éolienne	Une défaillance électrique serait à l'origine du départ de feu.	ARIA (n°48426)	-
Incendie	18/08/2016	Dargies	60	12	2014		Feu dans une éolienne	Une défaillance électrique serait à l'origine de l'incendie. L'armoire électrique ou le pupitre de commande en serait le point de départ.	ARIA (n°48471)	-
Maintenance	14/09/2016	Les grandes-chapelles	10	13.8	2009		Électrisation d'un employé dans une éolienne	-	ARIA (n°48588)	-
Rupture de pale	11/01/2017	Le Quesnoy	59	8.2	2010		Fissure sur une pale d'éolienne	Selon l'exploitant, le défaut ne présente pas de caractère générique.	ARIA (n°49413)	-



## **Annexe 2 : Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne**



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

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

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

#### Terrains non bâtis

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

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

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

#### Voies de circulation

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

#### **Voies de circulation automobiles**

Dans le cas général, on comptera 0,4 personne permanente par kilomètre exposé par tranche de 100 véhicules/jour.

Exemple :  $20\ 000\ \text{véhicules/jour sur une zone de } 500\ \text{m} = 0,4 \times 0,5 \times 20\ 000/100 = 40\ \text{personnes}$ .

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

#### **Voies ferroviaires**

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

#### **Voies navigables**

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

#### **Chemins et voies piétonnes**

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

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

#### Logements

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

#### Etablissements recevant du public (ERP)

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

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

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

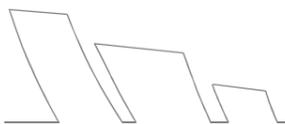
Les chiffres précédents peuvent être remplacés par des chiffres issus du retour d'expérience local pour peu qu'ils restent représentatifs du maximum de personnes présentes et que la source du chiffre soit soigneusement justifiée.

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

#### Zones d'activité

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

## Annexe 3 : Probabilité d'atteinte et risque individuel



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

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

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

$P_{\text{ERC}}$  = 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)

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

$P_{\text{atteinte}}$  = 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
<b>Effondrement</b>	$10^{-4}$	$10^{-2}$	$10^{-6}$ (E)
<b>Chute de glace</b>	1	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$ (A)
<b>Chute d'éléments</b>	$10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$ (D)
<b>Projection de tout ou partie de pale</b>	$10^{-4}$	$10^{-2}$	$10^{-6}$ (E)
<b>Projection de morceaux de glace</b>	$10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$ (E)

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

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



## GLOSSAIRE

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, compose des principaux éléments suivants : un mat, 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 rapport sont listés et explicités ci-dessous :

ANFR : Agence nationale des fréquences

APR : Analyse Préliminaire des Risques

ARS : agences régionales de santé

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CD22 : Conseil départemental des Côtes d'Armor

DREAL : Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement

DDTM : direction départementale des territoires et de la mer

DGAC : Direction générale de l'aviation civile

DRAC : Direction Régionale des Affaires Culturelles

EDD : Etude de dangers

ERP : Etablissement Recevant du Public

FEE : France Energie Eolienne

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques

INPN : Inventaire National du Patrimoine Naturel

INSEE : Institut national de la statistique et des études économiques

PDIPR : Plan départemental des itinéraires de promenade et de randonnée

PLU : Plan local d'urbanisme

PNR : Parc naturel régional

POS : Plan d'occupation des sols

RNU : Règlement national d'urbanisme

SDAP : services départementaux de l'architecture et du patrimoine

SDE 22 : Syndicat Départemental d'Énergie des Côtes d'Armor

SDIS : Service départemental d'incendie et de secours

ZIP : Zone d'Implantation Potentielle

ZNIEFF : Zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique

## BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES

L'évaluation des fréquences et des probabilités à partir des données de retour d'expérience (réf 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 ingenieuresgesellschaft, 2004

[7] Permitting setback requirements for wind turbine in California, California Energy Commission - Public Interest Energy Research Program, 2006

[8] Omega 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 General 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 Gutsch : 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 General des Mines - Guillet R., Leteurtois J.-P. - juillet 2004

[17] Risk analysis of ice throw from wind turbines, Seifert H., Westerhellweg A., Kroning J. - DEWI, avril 2003

[18] Wind energy in the BSR: impacts and causes of icing on wind turbines, Narvik University College, novembre 2005

