

**DEMANDE D'AUTORISATION D'EXPLOITER
ETUDE DE DANGERS**

PARC EOLIEN DE COATJEGU



Rédigé par :



Préparé pour :

PARC EOLIEN NORDEX XXIV S.A.S.
23 RUE D'ANJOU
75008 PARIS

Février 2014

Sommaire

Liste des figures	5
Liste des tableaux	6
I. Préambule	7
I.1. Objectifs de l'étude de dangers	7
I.2. Contexte législatif et réglementaire	7
I.3. Nomenclature des installations classées	8
II. Informations générales concernant l'installation	10
II.1. Renseignements administratifs	10
II.2. Localisation du site.....	10
II.3. Définition de l'aire d'étude.....	12
III. Description de l'environnement de l'installation	13
III.1. Environnement humain.....	13
III.1.1. Zones urbanisées.....	13
III.1.2. Etablissement Recevant du Public (ERP)	14
III.1.3. Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et Installations nucléaires de base	14
III.1.4. Autres activités	14
III.2. Environnement naturel	15
III.2.1. Contexte climatique	15
III.2.2. Risques naturels	17
III.3. Environnement matériel	21
III.3.1. Voies de communication	21
III.3.2. Réseaux publics et privés	23
III.3.3. Autres ouvrages publics	23
III.4. Cartographie de synthèse.....	24
III.4.1. Equivalent personnes permanentes.....	24
III.4.2. Cartographie.....	27
IV. Description de l'installation	28
IV.1. Caractéristiques de l'installation	28
IV.1.1. Caractéristiques générales d'un parc éolien	28
IV.1.2. Activité de l'installation.....	30
IV.1.3. Composition de l'installation	30
IV.2. Fonctionnement de l'installation	32
IV.2.1. Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur	32
IV.2.2. Sécurité de l'installation.....	40
IV.2.3. Opération de maintenance de l'installation.....	45
IV.2.4. Stockage et flux dangereux	47
IV.3. Fonctionnement des réseaux de l'installation	47
IV.3.1. Réseaux électriques	47
IV.3.2. Autres réseaux	48
V. Identification des potentiels de dangers de l'installation	49
V.1. Potentiel de dangers liés aux produits	49

V.2. Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l’installation	51
V.3. Réduction des potentiels de dangers à la source	52
V.3.1. Réduction des potentiels de dangers liés aux produits.....	52
V.3.2. Réduction des potentiels de dangers liés au fonctionnement de l’installation	53
V.3.3. Utilisation des meilleures techniques disponibles	55
VI. Analyse des retours d’expérience.....	56
VI.1. Inventaire des accidents et incidents en France	56
VI.2. Inventaire des accidents et incidents à l’international.....	57
VI.3. Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d’expérience.....	59
VI.3.1. Analyse de l’évolution en France	59
VI.3.2. Analyse des typologies d’accidents les plus fréquents	59
VI.4. Limites d’utilisation de l’accidentologie	60
VII. Analyse préliminaire des risques	61
VII.1. Objectifs de l’analyse préliminaire des risques.....	61
VII.2. Recensement des évènements initiateurs exclus de l’analyse de risques	61
VII.3. Recensement des agressions externes possibles	62
VII.3.1. Agressions externes liées aux activités humaines.....	62
VII.3.2. Agressions externes liées aux phénomènes naturels	63
VII.4. Scénarios étudiés dans l’analyse préliminaire des risques	63
VII.5. Effets dominos.....	67
VII.6. Mise en place des mesures de sécurité	68
VII.7. Conclusion de l’analyse préliminaire des risques	77
VIII. Etude détaillée des risques	78
VIII.1. Rappel des définitions.....	78
VIII.1.1. Cinétique	78
VIII.1.2. Intensité	79
VIII.1.3. Gravité.....	79
VIII.1.4. Probabilité	80
VIII.2. Caractéristiques des scénarios retenus	81
VIII.2.1. Effondrement de l’éolienne	81
VIII.2.2. Chute de glace.....	84
VIII.2.3. Chute d’éléments de l’éolienne	86
VIII.2.4. Projection de pales ou de fragment de pales.....	88
VIII.2.5. Projection de glace.....	91
VIII.3. Synthèse de l’étude détaillée des risques	94
VIII.3.1. Tableau de synthèse des scénarios étudiés	94
VIII.3.2. Synthèse de l’acceptabilité des risques.....	94
VIII.3.3. Cartographie des risques.....	95
IX. Conclusion	102
X. Résumé non technique	104
X.1. Principes généraux de réduction des risques.....	104
X.1.1. Rôle central de l’étude de dangers.....	104
X.1.2. Priorité à la prévention et à la réduction des risques	104

X.1.3. Présentation de la société	104
X.1.4. Situation géographique du site	105
X.2. Situation règlementaire	105
X.3. Présentation générale du site	105
X.4. Analyse des risques.....	105
X.5. Description des mesures et moyens de prévention	106
X.5.1. Mesures et moyens de prévention relatifs aux scénarios de chutes et de projections de pale	106
X.5.2. Mesures et moyens de prévention relatifs aux scénarios d'effondrement d'éoliennes.....	107
X.5.3. Mesures et moyens d'intervention contre la projection de glace	107
X.5.4. Description des moyens de secours.....	107
X.5.5. Prévision des travaux de maintenance.....	107
X.6. Quantification des phénomènes dangereux	108
X.7. Grille de criticité	109
X.8. Conclusion	109
Annexes.....	111
Annexe 1 – Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne	111
Annexe 2 – Tableau de l'accidentologie française	114
Annexe 3 – Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques	120
Annexe 4 – Probabilité d'atteinte et Risque individuel	124
Annexe 5 – Glossaire.....	125
Annexe 6 – Bibliographie et références utilisées	130

LISTE DES FIGURES

<i>Figure 1 : Situation régionale du parc éolien</i>	11
<i>Figure 2 : Plan de situation du projet</i>	11
<i>Figure 3 : Périmètre de l'étude de dangers</i>	12
<i>Figure 4 : Habitations autour de la zone d'études</i>	14
<i>Figure 5 : Vue aérienne de la zone d'études</i>	15
<i>Figure 6 : Diagramme ombrothermique de la station de Quitenic (période 1984-2003)</i>	16
<i>Figure 7 : Potentiel éolien en France (source : étude d'impact)</i>	16
<i>Figure 8 : Rose des vents du site projeté (source : NORDEX France S.A.S.)</i>	17
<i>Figure 9 : Zonage sismique en France</i>	17
<i>Figure 10 : Risque inondation autour de la zone d'études (source : cartorisque / www.prim.net)</i>	18
<i>Figure 11 : Aléa retrait-gonflement des argiles (source BRGM / www.argiles.fr)</i>	19
<i>Figure 12 : Voies de communication autour de la zone d'études</i>	22
<i>Figure 13 : Cartographie de synthèse de l'environnement du parc éolien</i>	27
<i>Figure 14 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur</i>	29
<i>Figure 15 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne</i>	30
<i>Figure 16 : Vue d'ensemble de l'éolienne N100 R100</i>	31
<i>Figure 17 : Schéma d'implantation des éoliennes</i>	32
<i>Figure 18 : Vue d'ensemble de la nacelle de l'éolienne N100</i>	34
<i>Figure 19 : Vue d'ensemble du pied du mât de l'éolienne N100</i>	37
<i>Figure 20 : Consigne type d'urgence</i>	44
<i>Figure 21 : Raccordement électrique des installations</i>	47
<i>Figure 22 : Raccordement inter-éoliennes</i>	48
<i>Figure 23 : Localisation des lubrifiants utilisés dans l'éolienne N100</i>	51
<i>Figure 24 : Synthèse des enjeux</i>	53
<i>Figure 25 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées</i>	59
<i>Figure 26 : Synthèse des risques, éolienne E1</i>	96
<i>Figure 27 : Synthèse des risques, éolienne E2</i>	97
<i>Figure 28 : Synthèse des risques, éolienne E3</i>	98
<i>Figure 29 : Synthèse des risques, éolienne E4</i>	99
<i>Figure 30 : Synthèse des risques, éolienne E5</i>	100
<i>Figure 31 : Synthèse des risques, parc éolien de Coatjégu</i>	101

LISTE DES TABLEAUX

<i>Tableau 1 : Coordonnées géographiques des éoliennes (Lambert 2 étendu)</i>	32
<i>Tableau 2 : Synthèse des éléments constitutifs des aérogénérateurs</i>	40
<i>Tableau 3 : Recensement des produits lubrifiants</i>	50
<i>Tableau 4 : Dangers potentiels liés au fonctionnement de l'installation</i>	52
<i>Tableau 5 : Agressions externes liées aux activités humaines</i>	62
<i>Tableau 6 : Agressions externes liées aux phénomènes naturels</i>	63
<i>Tableau 7 : Analyse préliminaire des risques</i>	65
<i>Tableau 8 : Mesures de sécurité</i>	69
<i>Tableau 9 : Synthèse de l'analyse préliminaire du risque</i>	77
<i>Tableau 10 : Seuils de gravité</i>	80
<i>Tableau 11 : Seuils de probabilité</i>	80
<i>Tableau 12 : Matrice de criticité du parc éolien de Coatjégu</i>	94

I. PREAMBULE

I.1. OBJECTIFS DE L'ETUDE DE DANGERS

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par la société PARC EOLIEN NORDEX XXIV S.A.S. pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du projet de parc éolien dit de « Coatjégu », 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 de Coatjégu. 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 Coatjégu, qui réduisent le risque à l'intérieur et à l'extérieur des éoliennes à un niveau jugé acceptable par l'exploitant.

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

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

I.2. CONTEXTE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE

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

L'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation [10] fournit un cadre méthodologique pour les évaluations des scénarios d'accidents majeurs. Il impose une évaluation des accidents majeurs sur les personnes uniquement et non sur la totalité des enjeux identifiés dans l'article L. 511-1. En cohérence avec cette réglementation et dans le but d'adopter une démarche proportionnée, l'évaluation des accidents majeurs dans l'étude de dangers d'un parc d'aérogénérateurs s'intéressera prioritairement aux dommages sur les personnes. Pour les parcs éoliens, les atteintes à l'environnement, l'impact sur le fonctionnement des radars et les problématiques liées à la circulation aérienne feront l'objet d'une évaluation détaillée au sein de l'étude d'impact.

Ainsi, l'étude de dangers a pour objectif de démontrer la maîtrise du risque par l'exploitant. Elle comporte une analyse des risques qui présente les différents scénarios d'accidents majeurs susceptibles d'intervenir. Ces scénarios sont caractérisés en fonction de leur probabilité

d'occurrence, de leur cinétique, de leur intensité et de la gravité des accidents potentiels. Elle justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.

Selon le principe de proportionnalité, le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte tenu de son environnement et de sa vulnérabilité. Ce contenu est défini par l'article R. 512-9 du Code de l'environnement :

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

En complément, la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003 précise le contenu attendu de l'étude de dangers et apporte des éléments d'appréciation des dangers pour les installations classées soumises à autorisation.

I.3. NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSEES

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

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

Le parc éolien de Coatjégu comprend 5 aérogénérateurs d'une hauteur de tour + nacelle de 101,81 mètres, pour une puissance totale de 12.5 MW. 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.

II. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

II.1. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

La société « PARC EOLIEN NORDEX XXIV S.A.S. » est à la fois le porteur de projet et le futur exploitant du parc éolien de Coatjégu.

Les principaux renseignements administratifs la concernant sont synthétisés ci-dessous.

DENOMINATION	PARC EOLIEN NORDEX XXIV S.A.S.
N° SIREN	501 736 755
REGISTRE DE COMMERCE	R.C.S. Paris
FORME JURIDIQUE	Société par Actions Simplifiée (S.A.S.) au capital fixe de 37 000 €
PRESIDENT	Anna-Katharina DE TOURTIER
ADRESSE	23 RUE D'ANJOU – 75 008 PARIS
TELEPHONE / TELECOPIE	01.55.93.43.43

La société PARC EOLIEN NORDEX XXIV S.A.S. est une filiale du groupe NORDEX SE (*societas europaea*).

NORDEX est un constructeur d'éoliennes de grande puissance adaptées à la majorité des régions et climats à travers le monde. La société emploie plus de 2 500 personnes à travers le monde et réalisait en 2012 un chiffre d'affaires de plus de 1 100 millions d'euros.

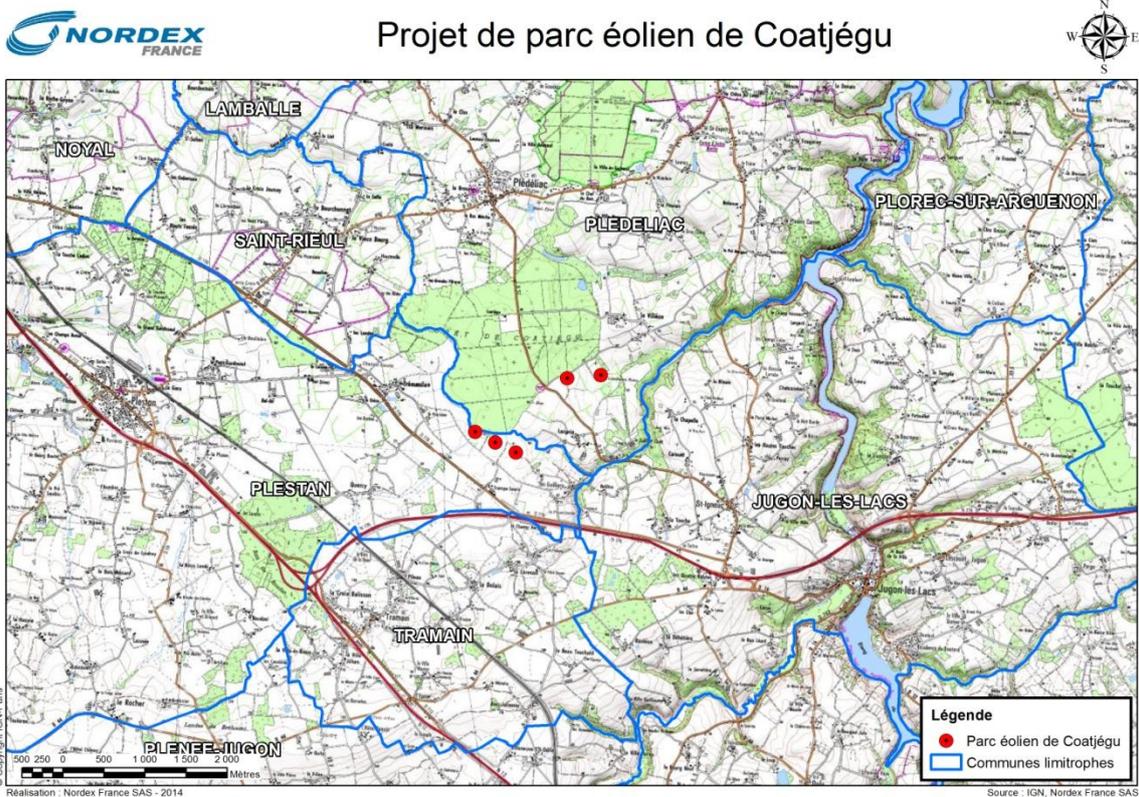
Aujourd'hui, il y a plus de 5500 éoliennes NORDEX en fonctionnement à travers le monde (34 pays), représentant une puissance totale de plus de 9000 MW. NORDEX est représenté à l'étranger grâce à un ensemble de filiales dans 19 pays.

NORDEX SE, dont le siège social est basé à Rostock en Allemagne, est la maison mère du groupe. Le siège de la direction et du conseil d'administration est à Hambourg. Le rôle de NORDEX SE est de contrôler et de coordonner les activités de ses filiales à 100%, notamment NORDEX Energy GmbH (construction et fourniture des éoliennes) et NORDEX Energy B.V. (filiales internationales).

La présente étude de dangers a été rédigée par le bureau d'études ECR Environnement (contributeurs : Olivier CLOAREC, Ingénieur environnement et Responsable Service Eau et Environnement, Fabien JOUAN, Chargé d'affaires environnement, et Nolwenn LE MENE, Chargée d'études environnement) et coordonnée par NORDEX France S.A.S., filiale à 100 % de NORDEX Energy B.V. (contributeurs : Tiphaine PENNARUN et Julien MADON, Ingénieurs développement de projets éoliens).

II.2. LOCALISATION DU SITE

Le parc éolien de Coatjégu, composé de 5 aérogénérateurs et un poste de livraison, est localisé sur les communes de Plestan et de Plédéliac, dans le département des Côtes d'Armor (22), en région Bretagne.



II.3. DEFINITION DE L'AIRE D'ETUDE

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

Chaque aire d'étude correspond à l'ensemble des points situés à une distance inférieure ou égale à 500 m à partir de l'emprise du mât de l'aérogénérateur. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection, telle que définie au paragraphe VIII.2.4.

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

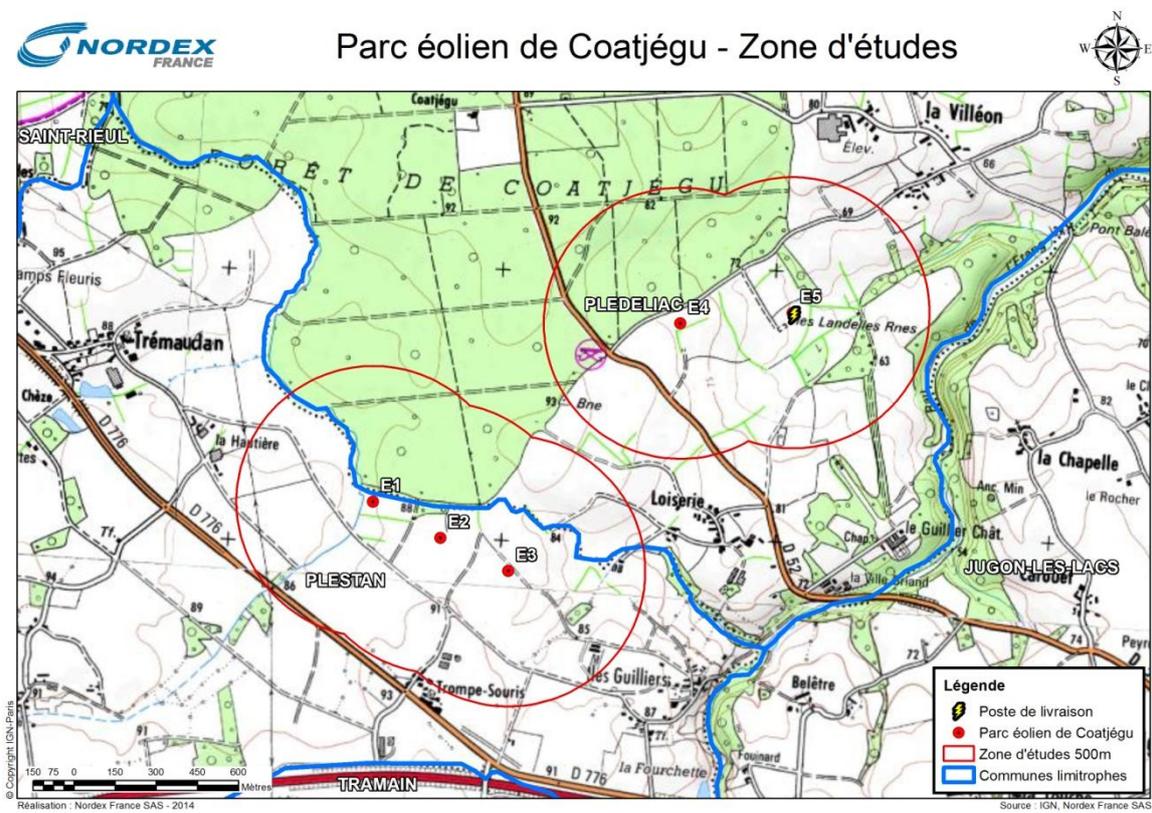


Figure 3 : Périmètre de l'étude de dangers

Seules les communes de Plestan (pour les éoliennes E1, E2, E3) et Plédéliac (pour les éoliennes E1 à E5 et le poste de livraison) sont concernées par la zone d'études globale du projet dans le cadre de l'étude de dangers. Il sera fait référence à l'ensemble de ces communes dans la suite de la présente étude.

III. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

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

III.1. ENVIRONNEMENT HUMAIN

L'article 3 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 n°2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement, prévoit que : *« l'installation est implanté de telle sorte que les aérogénérateurs sont situés à une distance minimale de [...] 500 mètres de toute construction à usage d'habitation, de tout immeuble habité ou de toute zone destinée à l'habitation telle que définie dans les documents d'urbanisme opposables en vigueur au 13 juillet 2010 ».*

III.1.1. Zones urbanisées

Conformément à l'article cité précédemment, le parc éolien de Coatjégu est implanté de telle sorte que les aérogénérateurs sont situés à une distance minimale de 500 mètres de toute construction à usage d'habitation et de tout immeuble habité.

Le parc éolien de Coatjégu concerne les communes de Plestan et de Plédéliac. Ces deux communes sont dotées d'un Plan Local d'Urbanisme.

- Le PLU de Plestan a été approuvé le 01 juillet 2004 et modifié par la suite le 09 mai 2005, le 01 juillet 2010 et le 16 mai 2013.
- Le PLU de Plédéliac a été approuvé le 28 février 2008.

La zone d'implantation des éoliennes est classée en secteur agricole (zone A). Cette zone correspond aux terrains agricoles ayant un caractère agricole marqué qu'il convient de protéger. Au sein de cette zone, les constructions et installations nécessaires aux services publics ou d'intérêt collectif et à l'exploitation agricole sont les seuls ouvrages autorisés.

Aucune zone constructible recensée dans ces documents d'urbanisme ne se situe dans la zone d'études.



Parc éolien de Coatlégu - Habitations environnantes

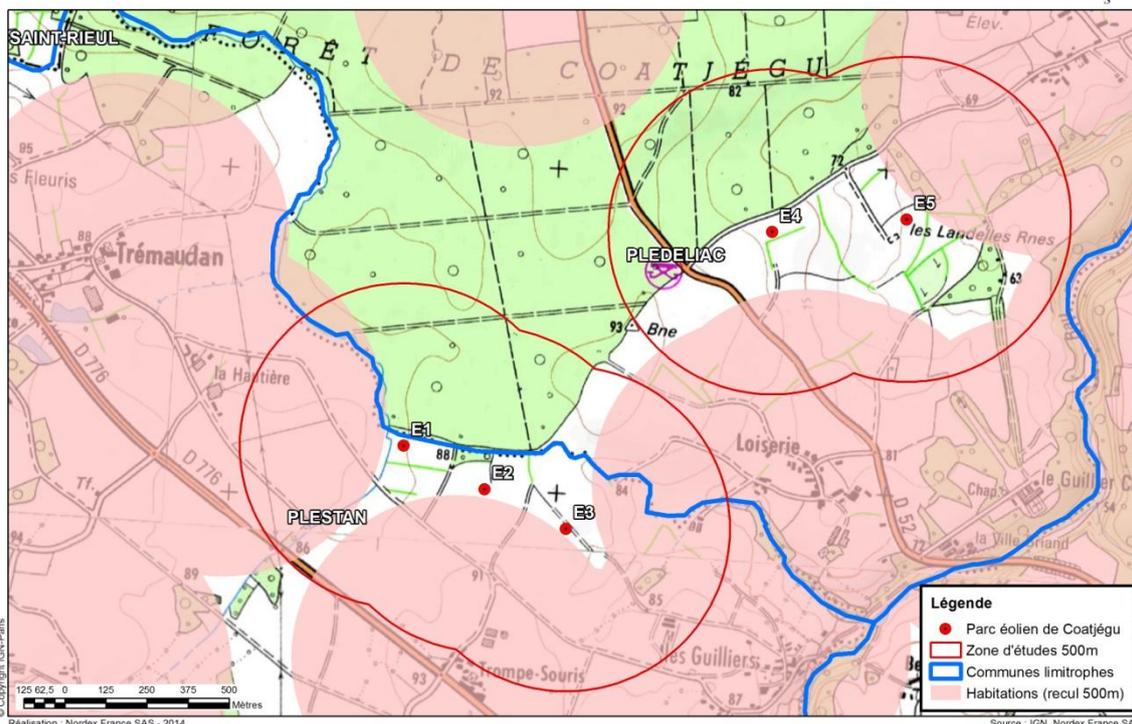


Figure 4 : Habitations autour de la zone d'études

III.1.2. Etablissement Recevant du Public (ERP)

Le terme Etablissement Recevant du Public (ERP), défini à l'article R. 123-2 du Code de la Construction et de l'Habitation, désigne en droit français les lieux publics ou privés accueillant des clients ou des utilisateurs autres que les employés (salariés ou fonctionnaires) qui sont, eux, protégés par les règles relatives à la santé et sécurité au travail.

Aucun ERP n'est recensé dans le périmètre de l'étude de dangers.

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

L'article 3 de l'arrêté du 26 août 2011 prévoit que : « l'installation est implantée de telle sorte que les aérogénérateurs sont situés à une distance minimale de [...] 300 mètres d'une installation nucléaire de base visée par l'article 28 de la loi n°2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire ou d'une installation classée pour l'environnement soumise à l'arrêté du 10 mai 2000 susvisé en raison de la présence de produits toxiques, explosifs, comburants et inflammables ».

Aucune ICPE ou installation nucléaires n'est recensée dans le périmètre de l'étude de dangers.

III.1.4. Autres activités

Aucune activité autre qu'agricole n'est recensée dans le périmètre d'étude. Seules des exploitations agricoles se situent dans la zone d'études, avec quelques bâtiments agricoles situés à plus de 375m de l'éolienne E3.



Parc éolien de Coatjégu - Vue aérienne

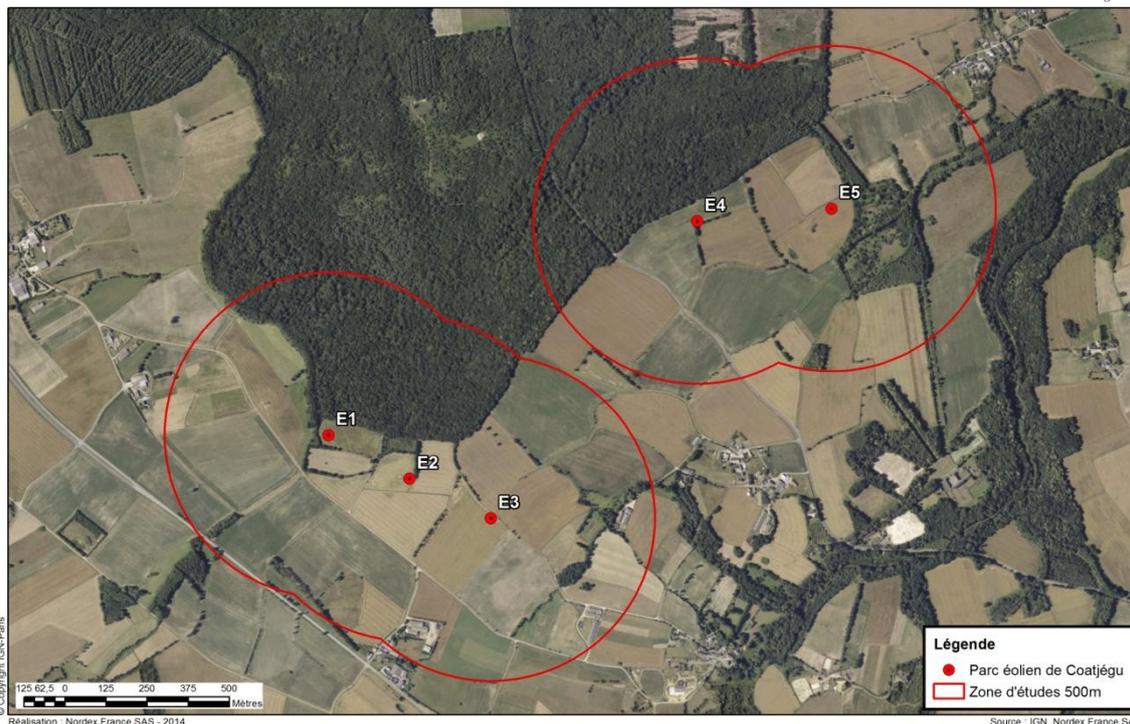


Figure 5 : Vue aérienne de la zone d'études

III.2. ENVIRONNEMENT NATUREL

III.2.1. Contexte climatique

III.2.1.1. Cadre climatique général

Le projet de parc éolien se situe dans le nord du département des Côtes d'Armor, les conditions climatiques relatives à ce département se caractérisent par un climat océanique avec des pluies fines et abondantes, et de faibles écarts de températures. Les données fiables disponibles les plus proches proviennent de la station météorologique de Quintenic, à 11 km au nord-ouest du projet, données disponibles sur la période 1984 à 2003.

La température moyenne relevée est de 11,3 °C. L'amplitude thermique est relativement peu élevée (11,9 °C). La moyenne des températures maximales est de 15,4 °C, et celle des températures minimales est de 7,1 °C. Le mois le plus froid est janvier (5,7 °C) et le plus chaud est août (17,6 °C).

Le nombre de jours de pluies est important avec environ 127 jours par an, dont 17,5 jours de pluies importantes. Ces précipitations assez conséquentes s'élèvent en moyenne à 726 mm sur une année, régulièrement réparties tout au long de l'année avec un maximum en novembre (78,5 mm) et un minimum en août (40,8 mm). Les précipitations hivernales (décembre à mars) représentent 254 mm.

Le nombre annuel de jours de gelée est significatif avec environ 33 jours connaissant des températures inférieures à 0°C. Le nombre de jours de forte chaleur (plus de 25 °C) est de l'ordre de 24 jours.

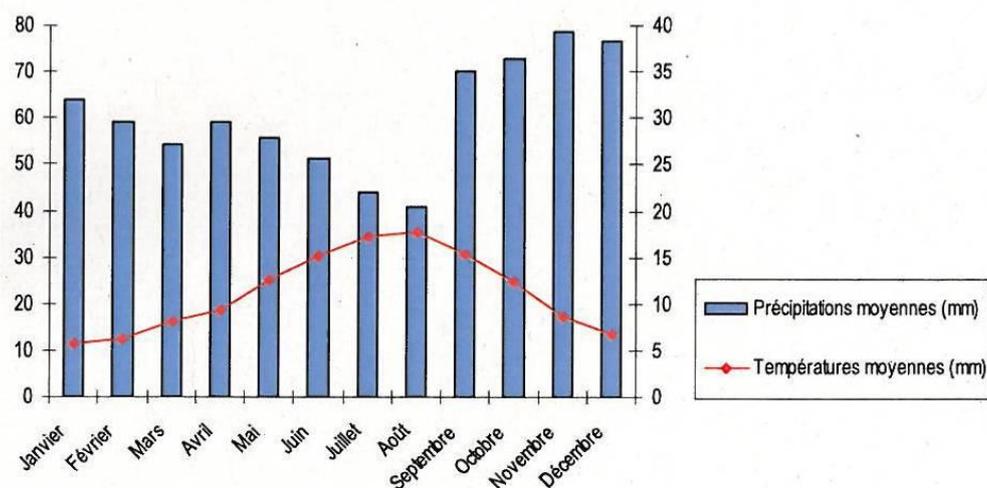


Figure 6 : Diagramme ombrothermique de la station de Quitenic (période 1984-2003)

III.2.1.2. Les vents

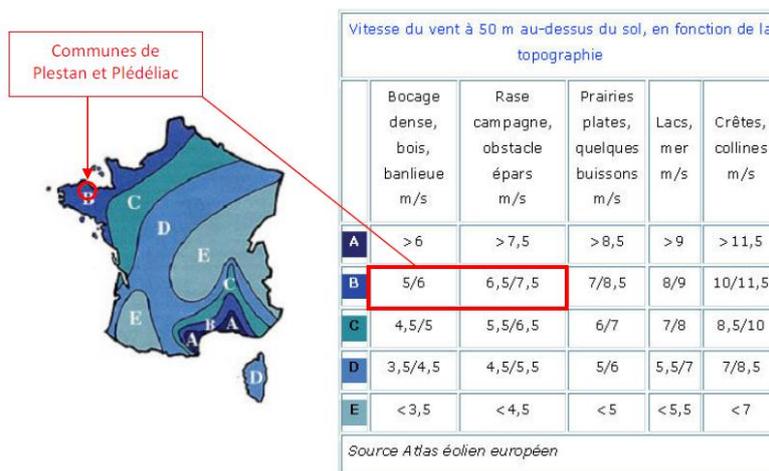


Figure 7 : Potentiel éolien en France (source : étude d'impact)

Les données de vents sur le parc de Coatjégu ont été obtenues par un mât de mesures de 80m de haut, équipé d'anémomètres et de girouettes à différentes hauteurs et différentes directions, entre août 2008 et octobre 2010.

Les résultats indiquent que les vents dominants proviennent du sud-ouest et du nord-est et secondairement du nord-ouest. La vitesse moyenne à 100 mètres de hauteur est de 6,2 m/s.

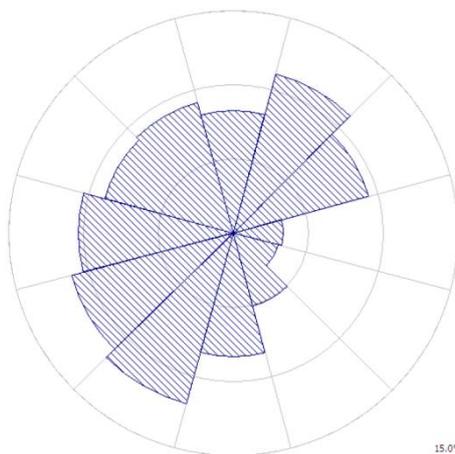


Figure 8 : Rose des vents du site projeté (source : NORDEX France S.A.S.)

III.2.2. Risques naturels

III.2.2.1. Sismicité

Le risque sismique est présent partout à la surface du globe, son intensité variant d'une région à une autre. La France n'échappe pas à la règle, puisque l'aléa sismique peut être très faible à moyen en métropole, et fort dans les DOM-TOM.

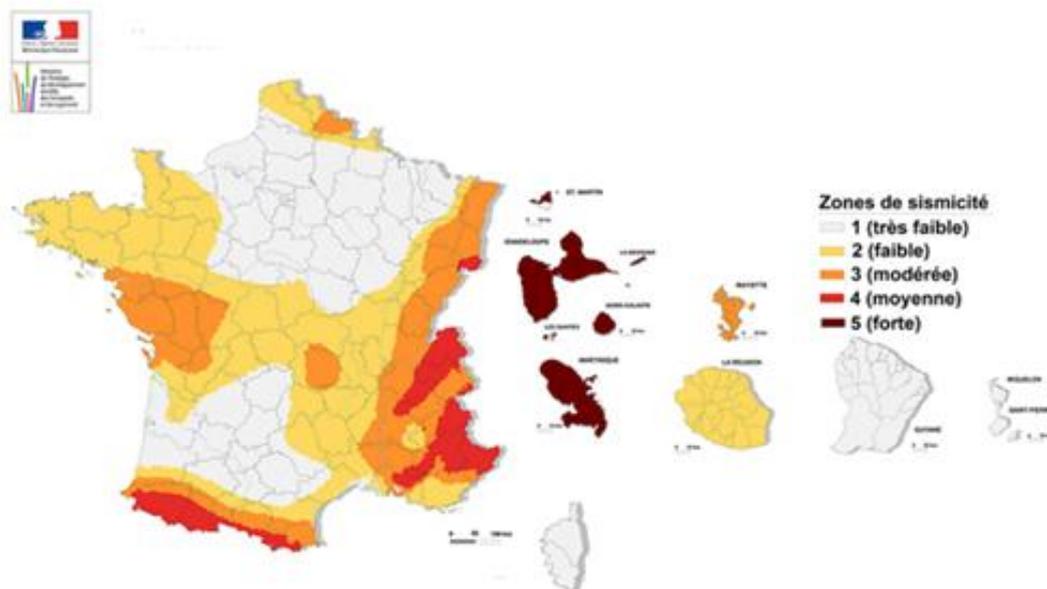


Figure 9 : Zonage sismique en France

Le risque sismique dans les Côtes d'Armor est considéré comme faible (zone 2) selon le décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français. Cette classification ne signifie cependant pas l'absence de tout phénomène sismique : des secousses ont déjà été ressenties dans certaines communes du département (source SiSFrance).

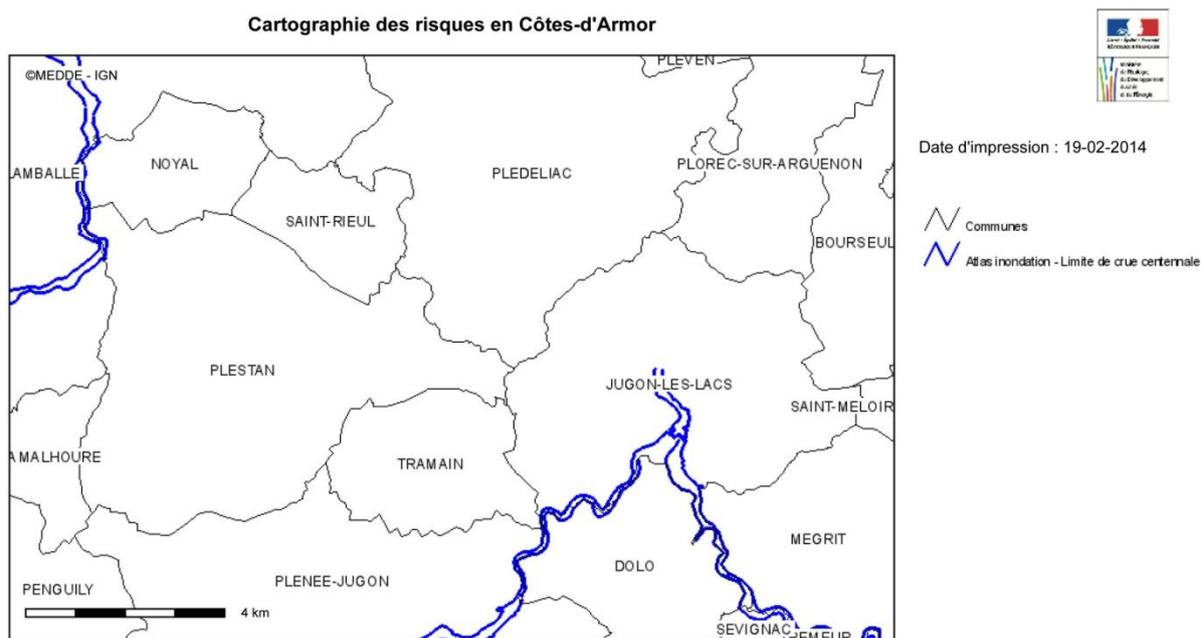
Dans une fenêtre proche autour des communes d'implantation, aucun épocentre n'est recensé par le BRGM (source SiSFrance). En tout état de cause l'intensité du risque sismique sera prise en compte dans l'élaboration des fondations des éoliennes.

III.2.2.2. Inondations

Plusieurs arrêtés relatifs à la reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle ont été prononcés sur les communes de Plestan et Plédéliac. Pour Plestan, le 22 octobre 1987 (tempête), le 07 avril 1988 (inondations et coulées de boue), le 29 décembre 1999 (inondations, coulées de boue, glissements et chocs mécaniques liés à l'action des vagues) et le 27 février 2002 (inondations et coulées de boue). Pour Plédéliac, le 22 octobre 1987 (tempête) et le 29 décembre 1999 (inondations, coulées de boue, glissements et chocs mécaniques liés à l'action des vagues).

Plestan est par ailleurs classée comme soumise au risque d'inondation mais pas Plédéliac (source : www.prim.net). Le plan de prévention du risque d'inondation du Gouessant a été prescrit par arrêté préfectoral du 22 décembre 2010 modifié le 6 juillet 2011. Ce PPRi concerne 3 communes riveraines du Gouessant et du Chiffrouët présentant des enjeux dans la zone inondable. Il s'agit des communes de Lamballe, Noyal et Plestan. L'enquête publique sur le projet de PPRi du Gouessant s'est déroulée du 16 décembre 2013 au 17 janvier 2014 inclus dans les mairies de Lamballe, Noyal et Plestan (source : préfecture des Côtes d'Armor).

Le secteur étudié dans ce PPRi concerne la limite nord-ouest du territoire communal de Plestan, très éloignée de la zone d'études située à l'est du territoire communal.



Description :
 Cartographie des risques en Côtes-d'Armor - Information Acquéreurs Locataires - Source : <http://cartorisque.prim.net>

Les documents officiels et opposables aux tiers peuvent être consultés à la mairie ou à la préfecture.

Figure 10 : Risque inondation autour de la zone d'études (source : [cartorisque / www.prim.net](http://cartorisque.prim.net))

La zone d'étude n'est pas localisée en zone inondable.

III.2.2.3. Foudroiement

La meilleure représentation de l'activité orageuse est la densité d'arcs (Da) qui est le nombre d'arcs de foudre au sol par km² et par an. Le réseau de détection de la foudre utilisé par Météorage permet une mesure directe de cette grandeur.

La valeur moyenne de la densité d'arcs en France est de 1,55 arcs/km²/an sur la période 2003 - 2012. En ce qui concerne les communes d'implantation, la densité d'arcs s'élève à 0,59 arc/km²/an pour Plestan et 0,38 arc/km²/an pour Plédéliac.

Du fait de la hauteur des éoliennes et malgré le faible niveau kéraunique sur le département, le projet est tout de même concerné par le risque foudre.

III.2.2.4. Retrait-gonflement d'argiles

Le phénomène de retrait – gonflement des formations argileuses est engendré par les propriétés argileuses des sols soumis à des phases successives de sécheresse et réhydratation.

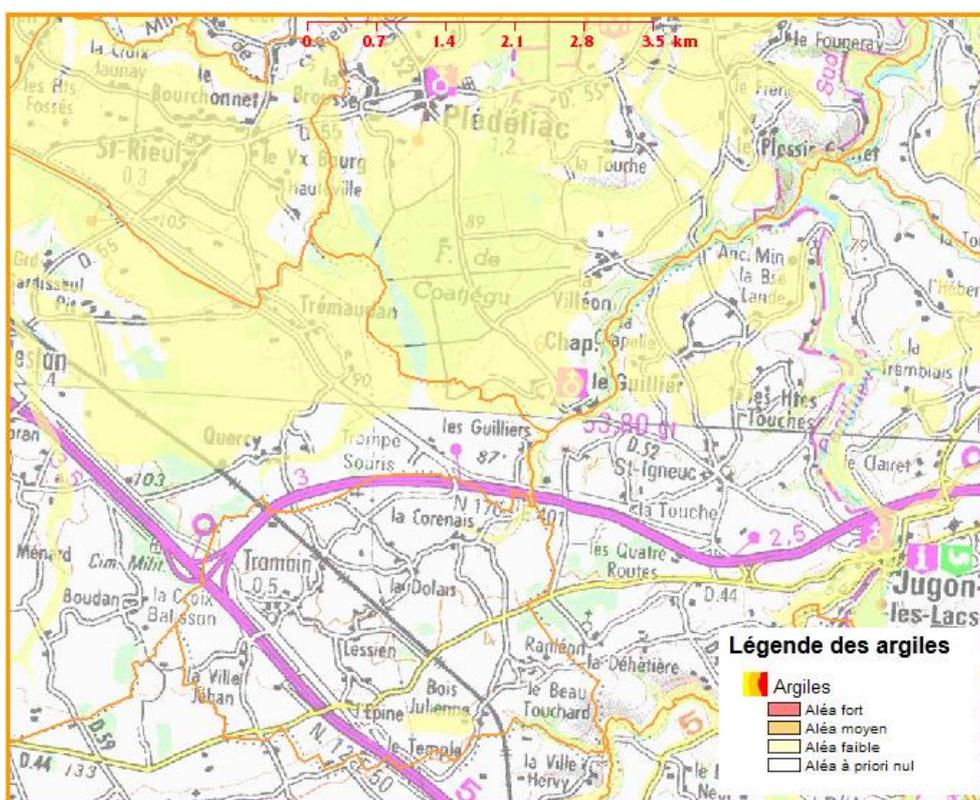


Figure 11 : Aléa retrait-gonflement des argiles (source BRGM / www.argiles.fr)

Sur la zone d'étude et les communes d'implantation l'aléa retrait – gonflement des argiles est nul à faible.

III.2.2.5. Feux de forêts

Le projet de parc éolien est situé dans une zone agricole fragmentée avec des haies relictuelles. Le massif le plus proche est la forêt de Coatjégu au nord de la zone d'études, massif d'environ 300 ha dont la lisière sud est à environ 50 mètres des éoliennes les plus proches.

Dans le département, on trouve des forêts humides pour lesquelles la probabilité de départ de feu est faible, mais la possibilité d'un incendie (provoqué par la foudre, un promeneur imprudent ou malveillant ou un problème électrique venant de l'éolienne elle-même, ...) ne peut être totalement exclue.

Le risque de feu de forêt est considéré comme faible sur la zone d'étude.

III.2.2.6. Mouvements de terrain

Les communes de Plestan et Plédéliac ne sont pas spécifiquement concernées par le risque de mouvement de terrain (sources www.prim.net / www.bdmvt.net).

Le risque de mouvements de terrain est globalement considéré comme faible sur la zone d'étude. En tout état de cause, des études géotechniques détaillées seront réalisées au droit de chaque éolienne préalablement à toute construction afin de qualifier les caractéristiques des sols, avant un dimensionnement au cas par cas des fondations.

III.2.2.7. Tempête

Les tempêtes concernent une large partie de l'Europe, et notamment la France métropolitaine. Celles survenues en décembre 1999 ont montré que l'ensemble du territoire est exposé, et pas uniquement sa façade atlantique et les côtes de la Manche, fréquemment touchées.

Les deux communes d'implantation sont concernées par le risque « Phénomènes météorologiques - Tempête et grains (vent) » (source : www.prim.net).

Le risque de tempête est considéré comme existant sur la zone d'étude. Les caractéristiques et certifications des éoliennes et les mesures mises en œuvre lors de leur construction et de leur exploitation répondent à ce risque, comme cela est détaillé plus loin dans l'étude de dangers.

III.2.2.8. Autres risques naturels

L'aléa remontée de nappe phréatique (socle) est fourni par la base de données du BRGM (www.inondationsnappes.fr). La zone d'études est majoritairement dans des secteurs de sensibilité très faible, avec néanmoins une partie ouest en zone de nappe sub-affleurante (éolienne E1).

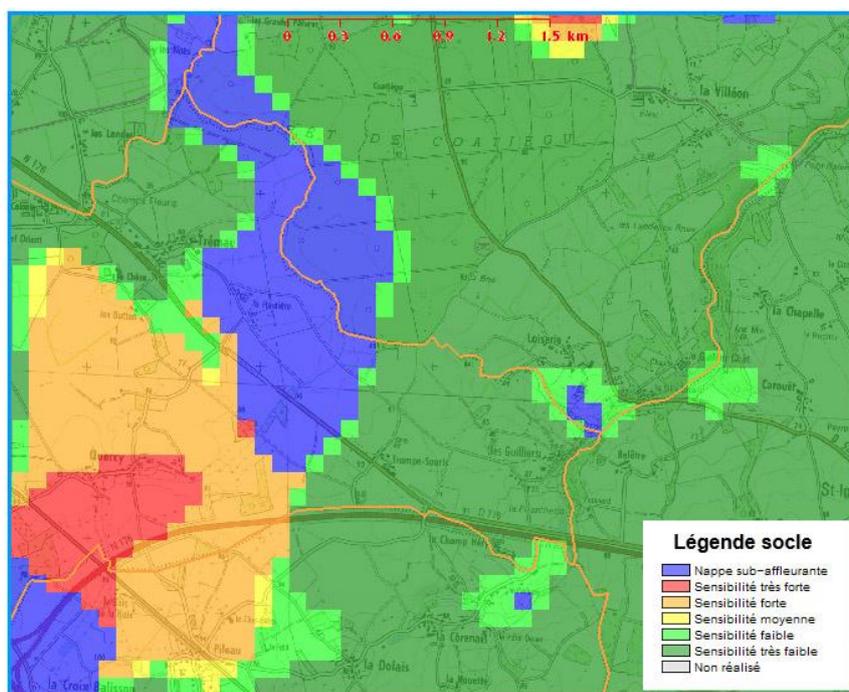


Figure 12 : Aléa de remontée de nappe (source : BRGM / www.inondationsnappes.fr)

Le risque d’inondation par remontée de nappe est considéré comme très faible sur la majorité de la zone d’étude, à l’exception de la partie ouest (éolienne E1). En tout état de cause, des études géotechniques détaillées seront réalisées au droit de chaque éolienne préalablement à toute construction afin de qualifier les caractéristiques des sols, avant un dimensionnement au cas par cas des fondations.

III.3. ENVIRONNEMENT MATERIEL

III.3.1. Voies de communication

III.3.1.1. Axes routiers

Plusieurs axes de communication sont situés dans la zone d’études du parc éolien de Coatjégu. Les principaux axes de communication sont :

- la route départementale 52 reliant Erquy à St-Igneuc, et traversant le site d’étude ;
- la route départementale 776 reliant Noyal à St-Igneuc, située à l’ouest du projet ;
- une route de desserte communale qui relie la D52 au niveau de l’entrée sud de la forêt de Coatjégu au hameau de La Villéon sur Plédéliac ;
- les voiries communales et chemins d’exploitations.

A titre informatif la route nationale 176 qui passe au sud du site et relie Lamballe (via la RN 12) à Dinan est située bien au-delà de l’aire d’études, au plus près à 770 mètres de l’éolienne E3.

Le tableau ci-après présente les distances séparant les éoliennes des routes départementales et communales lorsque celles-ci sont situées à moins de 500 m des éoliennes (zone d’études). Les distances sont données par rapport au bord de la chaussée goudronnée. Seules trois éoliennes sont concernées.

EOLIENNE	ROUTE	DISTANCE
E1	D776	475 m
E4	D52	214 m
E4	Route communale au sud de la forêt Coatljégu	55 m
E5	Route communale au sud de la forêt Coatljégu	233 m

Le trafic routier sur l'ensemble de ces axes de communication au droit de la zone d'étude est faible. Le Trafic Moyen Journalier sur la D52 entre Plédéliac et St-Igneuc s'élève à 892 véhicules/jour dont 8% de poids lourds, et le Trafic Moyen Journalier sur la D776 entre Plestan et Jugon-les-Lacs s'élève à 1007 véhicules/jour dont 4,7% de poids lourds. Le Trafic Moyen Journalier annuel étant inférieur à 2000 véhicules/jour, ces axes ne sont donc pas considérés comme « structurants » (source : informations obtenues auprès du Conseil Général des Côtes d'Armor par courrier électronique en date du 21 février 2014, fourni en annexe 6).

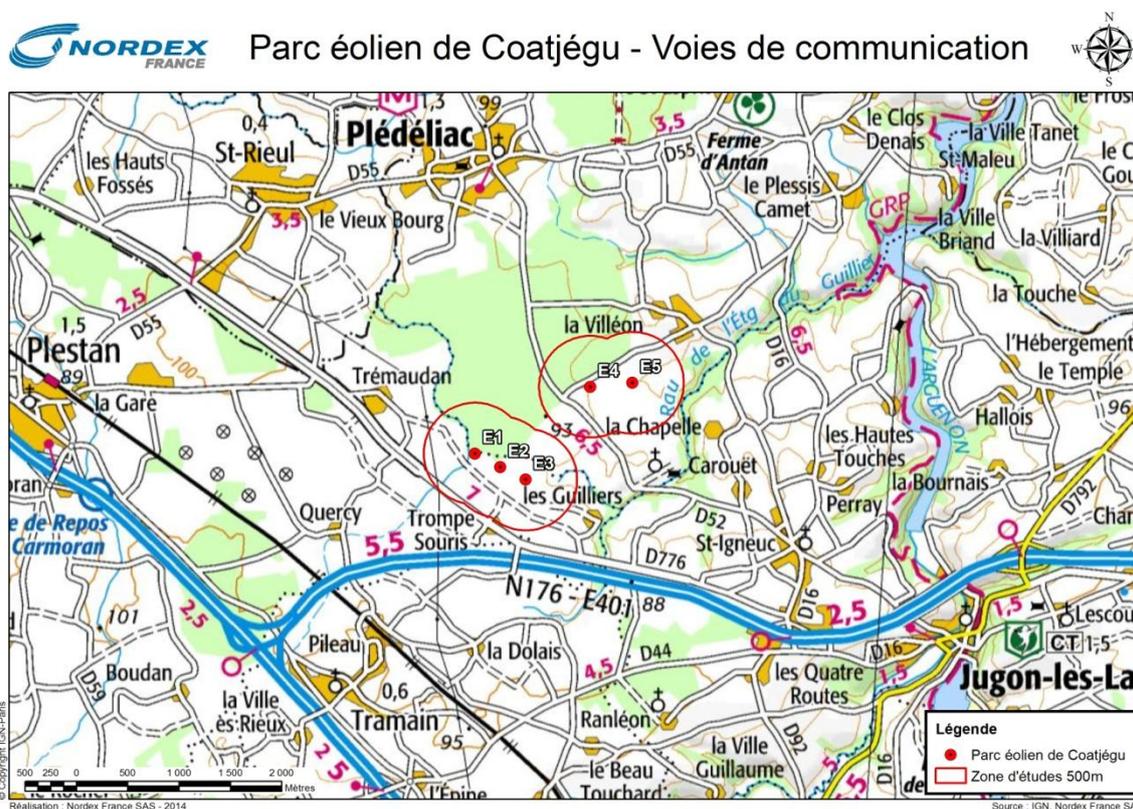


Figure 12 : Voies de communication autour de la zone d'études

III.3.1.2. Aérodomes

L'aérodrome le plus proche du site de Coatljégu est celui de Dinan-Trélivet à plus de 19 km à l'est de l'éolienne E5 (code OACI : LFEB). Le projet a reçu un avis favorable des services de la Direction Générale de l'Aviation Civile (annexé à l'étude d'impact).

III.3.1.3. Voies de chemin de fer

Aucune voie de chemin de fer n'est présente sur l'aire d'étude ou ses abords proches. La plus proche passe à Plestan à plus de 1900m au sud-ouest de l'éolienne E1.

III.3.1.4. Voies fluviales

Aucune voie fluviale n'est présente sur l'aire d'étude ou ses abords proches.

III.3.1.5. Servitude aéronautique et militaire

La zone d'étude n'est pas concernée par une servitude aéronautique et militaire. Le projet a reçu un avis favorable des services de l'Armée de l'Air (annexé à l'étude d'impact).

III.3.1.6. Servitude aéronautique civile

Il n'y a pas de servitude aéronautique, un balisage des éoliennes sera néanmoins réalisé conformément aux réglementations applicables.

III.3.2. Réseaux publics et privés**III.3.2.1. Servitudes liées à l'eau potable**

La commune de Plédéliac possède deux captages destinés à l'alimentation en eau potable (AEP) associés à des périmètres de protection. La zone d'implantation potentielle des éoliennes se situe à l'extérieur des périmètres de protection.

III.3.2.2. Servitudes lignes électriques

Une ligne électrique aérienne 63 kV passe à plus de 415 mètres à l'ouest de l'éolienne E1. La zone d'implantation directe n'est toutefois pas concernée par une servitude liée à cette ligne électrique.

III.3.2.3. Servitudes canalisation de gaz ou hydrocarbures

L'aire d'études ne comporte aucun réseau de gaz ou d'hydrocarbure.

III.3.2.4. Servitudes radioélectriques

L'aire d'études n'est pas concernée par un décret de servitudes radioélectriques relevant des compétences de l'Agence Nationale des Fréquences (ANFR).

III.3.3. Autres ouvrages publics

La zone d'implantation potentielle des éoliennes n'est pas concernée par une servitude de protection des monuments historiques.

III.4. CARTOGRAPHIE DE SYNTHÈSE**III.4.1. Equivalent personnes permanentes**

La détermination du nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) permet d'identifier les enjeux à protéger dans une zone d'études.

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

Dans le cas du projet de Coatjégu, hormis les routes déjà recensées précédemment, sont pris en compte les chemins agricoles, les champs, prairies, et forêts. De manière toujours conservatrice, la largeur considérée pour les voies non structurantes est de 6 mètres pour les chemins agricoles, 8 mètres pour les routes communales et 10 mètres pour les routes départementales.

Quelques bâtiments agricoles sont également compris dans la zone d'études des éoliennes E4 et E5 aux lieux-dits Trompe-Souris et les Guilliers. Dans une approche majorante, il est totalisé 4 personnes supplémentaires pour chacun de ces lieux-dits, pour prendre en compte la présence éventuelle d'ouvriers agricoles. Cela ne concerne que les éoliennes E2 et E3 dans la zone d'effet de 500m.

Un décompte de l'équivalent personnes permanentes est ensuite réalisé selon l'emprise de ces différents secteurs et infrastructures pour chaque éolienne et chaque zone d'effet considérée dans l'étude détaillée des risques.

SECTEUR/INFRASTRUCTURE	TYPE	EQUIVALENT PERSONNES PERMANENTES	EOLIENNES CONCERNEES (AIRE D'ETUDE DE 500 M)
Route départementale D776	Voie de circulation automobile non structurante (<2 000 véhicules/jour) → Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 personne/10 hectares	E1
Route départementale D52	Voie de circulation automobile non structurante (<2 000 véhicules/jour) → Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 personne/10 hectares	E4
Routes de desserte communale	Voie de circulation automobile non structurante (<2 000 véhicules/jour) → Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 personne/10 hectares	Toutes les éoliennes
Chemins agricoles	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 personne/10 hectares	Toutes les éoliennes
Champs, prairies, forêts	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 personne/100 hectares	Toutes les éoliennes
Bâtiments agricoles Trompe-Souris	Zone d'activité	4 personnes	E2 / E3
Bâtiments agricoles Les Guilliers	Zone d'activité	4 personnes	E3

Les résultats sont les suivants :

Effondrement de l'éolienne							
Eolienne	Rayon zone d'effet (en m)	Surface zone d'effet (en ha)	Surface champs, prairies, forêts (en ha)	Surface voies non structurantes (en ha)	Personnes champ (1 personne pour 100 ha)	Personnes voies non structurantes (1 personne pour 10 ha)	Total personnes exposées
E1	149,9	7,059	6,971	0,088	0,070	0,009	0,079
E2	149,9	7,059	6,924	0,135	0,069	0,014	0,083
E3	149,9	7,059	7,015	0,045	0,070	0,004	0,075
E4	149,9	7,059	6,842	0,218	0,068	0,022	0,090
E5	149,9	7,059	6,991	0,068	0,070	0,007	0,077

Chute de glace / Chute d'éléments							
Eolienne	Rayon zone d'effet (en m)	Surface zone d'effet (en ha)	Surface champs, prairies, forêts (en ha)	Surface voies non structurantes (en ha)	Personnes champ (1 personne pour 100 ha)	Personnes voies non structurantes (1 personne pour 10 ha)	Total personnes exposées
E1	50,55	0,803	0,803	0,000	0,008	0,000	0,008
E2	50,55	0,803	0,803	0,000	0,008	0,000	0,008
E3	50,55	0,803	0,803	0,000	0,008	0,000	0,008
E4	50,55	0,803	0,803	0,000	0,008	0,000	0,008
E5	50,55	0,803	0,803	0,000	0,008	0,000	0,008

Projection d'éléments									
Eolienne	Rayon zone d'effet (en m)	Surface zone d'effet (en ha)	Surface champs, prairies, forêts (en ha)	Surface voies non structurantes (en ha)	Personnes champ (1 personne pour 100 ha)	Personnes voies non structurantes (1 personne pour 10 ha)	Sous-total personnes exposées	Personnes exposées bâtiments agricoles	Total personnes exposées
E1	500	78,540	76,855	1,685	0,769	0,168	0,937	0	0,937
E2	500	78,540	77,287	1,252	0,773	0,125	0,898	4	4,898
E3	500	78,540	76,697	1,843	0,767	0,184	0,951	8	8,951
E4	500	78,540	76,278	2,262	0,763	0,226	0,989	0	0,989
E5	500	78,540	76,874	1,665	0,769	0,167	0,935	0	0,935

Projection de glace							
Eolienne	Rayon zone d'effet (en m)	Surface zone d'effet (en ha)	Surface champs, prairies, forêts (en ha)	Surface voies non structurantes (en ha)	Personnes champ (1 personne pour 100 ha)	Personnes voies non structurantes (1 personne pour 10 ha)	Total personnes exposées
E1	299,7	28,218	27,716	0,502	0,277	0,050	0,327
E2	299,7	28,218	27,625	0,593	0,276	0,059	0,336
E3	299,7	28,218	27,726	0,492	0,277	0,049	0,326
E4	299,7	28,218	27,233	0,985	0,272	0,099	0,371
E5	299,7	28,218	27,730	0,488	0,277	0,049	0,326

III.4.2. Cartographie

La carte suivante permet d'identifier géographiquement les enjeux à protéger dans la zone d'étude pour les 5 aérogénérateurs. Cette dernière a été réalisée à partir des données des tableaux précédents.

Une cartographie détaillée des zones d'effets et des enjeux à protéger éolienne par éolienne est fournie au chapitre VIII.3.

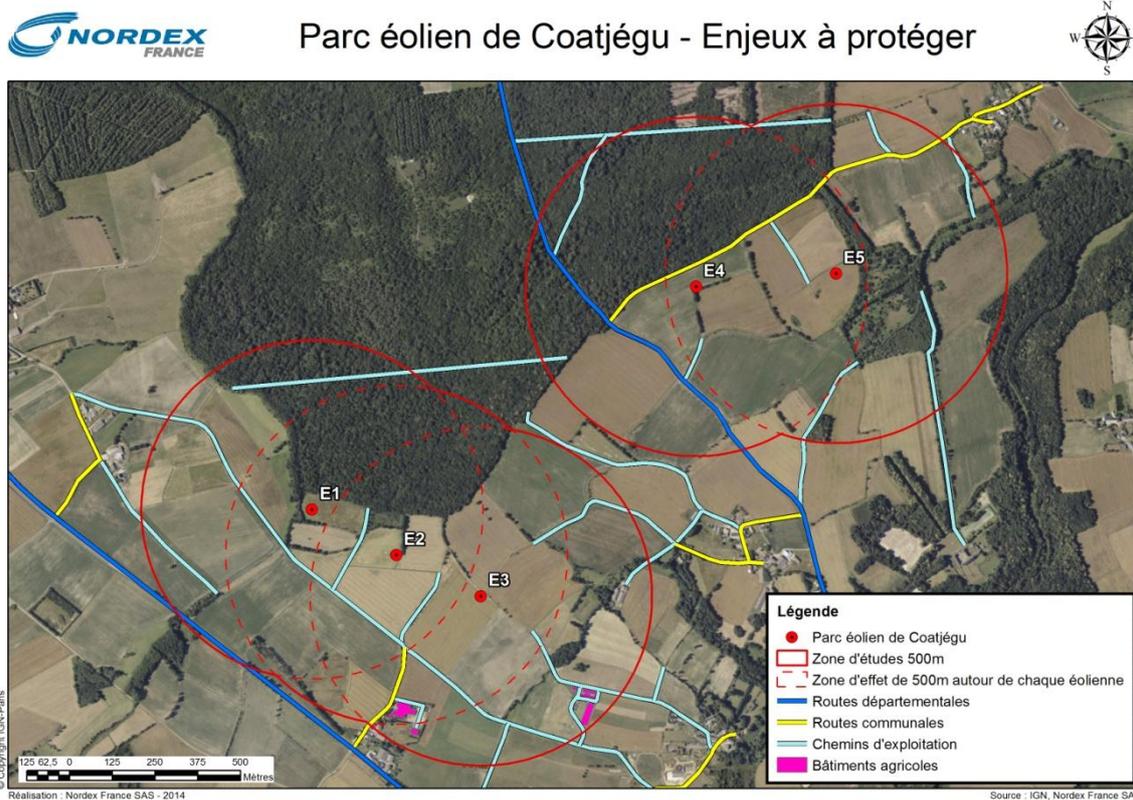


Figure 13 : Cartographie de synthèse de l'environnement du parc éolien

IV. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

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

IV.1. CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION

IV.1.1. Caractéristiques générales d'un parc éolien

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

- Plusieurs éoliennes fixées sur une fondation adaptée, accompagnée d'une aire stabilisée appelée « plateforme » ou « aire de grutage »
- Un réseau de câbles électriques enterrés permettant d'évacuer l'électricité produite par chaque éolienne vers le ou les poste(s) de livraison électrique (appelé « réseau inter-éolien »)
- Un ou plusieurs poste(s) de livraison électrique, collectant l'électricité des éoliennes et organisant son évacuation vers le réseau public d'électricité au travers du poste source local (point d'injection de l'électricité sur le réseau public)
- Un réseau de câbles enterrés permettant d'évacuer l'électricité regroupée au(x) poste(s) de livraison vers le poste source (appelé « réseau externe » et appartenant le plus souvent au gestionnaire du réseau de distribution d'électricité)
- Un réseau de fibres optiques pour la communication
- 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.

IV.1.1.1. Eléments 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) construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu. Il se prolonge dans la nacelle par l'arbre lent.
- **Le mât** est généralement composé de 3 à 4 tronçons en acier ou 15 à 20 anneaux de béton surmonté d'un ou plusieurs tronçons en acier. Dans la plupart des éoliennes, il abrite le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique.

- **La nacelle** abrite plusieurs éléments fonctionnels :
 - le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique ;
 - le multiplicateur (certaines technologies n'en utilisent pas) ;
 - le système de freinage mécanique ;
 - le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent pour une production optimale d'énergie ;
 - les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette),
 - le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique.

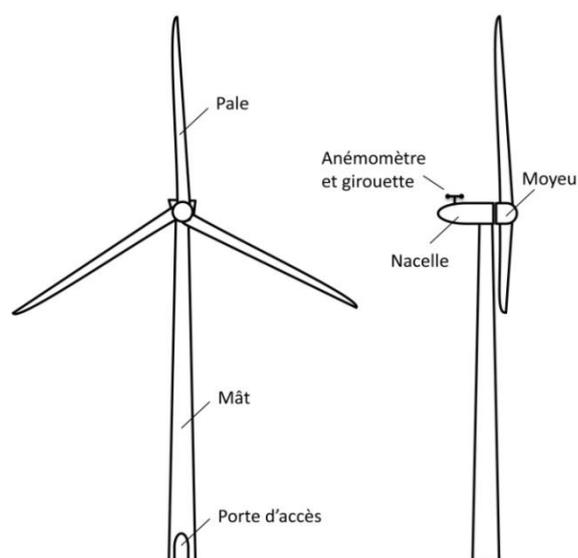


Figure 14 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

IV.1.1.2. Emprise au sol

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

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

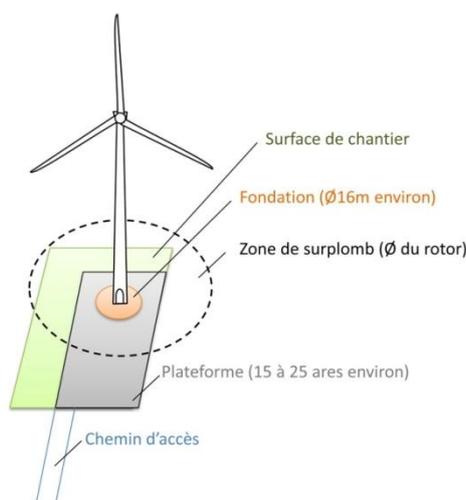


Figure 15 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne

(Les dimensions sont données à titre d'illustration pour une éolienne d'environ 150m de hauteur totale)

IV.1.1.3. Chemins d'accès

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

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

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

IV.1.2. Activité de l'installation

L'activité principale du parc éolien de Coatjégu est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur (mât + nacelle) de 101,81 mètres. Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

IV.1.3. Composition de l'installation

Le parc éolien de Coatjégu est composé de 5 aérogénérateurs et d'un poste de livraison. Chaque aérogénérateur a une hauteur de moyeu de 100 mètres (soit une hauteur de mât + nacelle de 101,81 mètres au sens de la réglementation ICPE) et un diamètre de rotor de 99,8 mètres, soit une hauteur totale en bout de pale de 149,9 mètres. Le diamètre de la zone de survol (disque balayé par les pales en projection verticale) est de 101,1 mètres du fait du déport du moyeu par rapport à l'axe de la tour. La longueur de chaque pale est de 48,7 mètres.

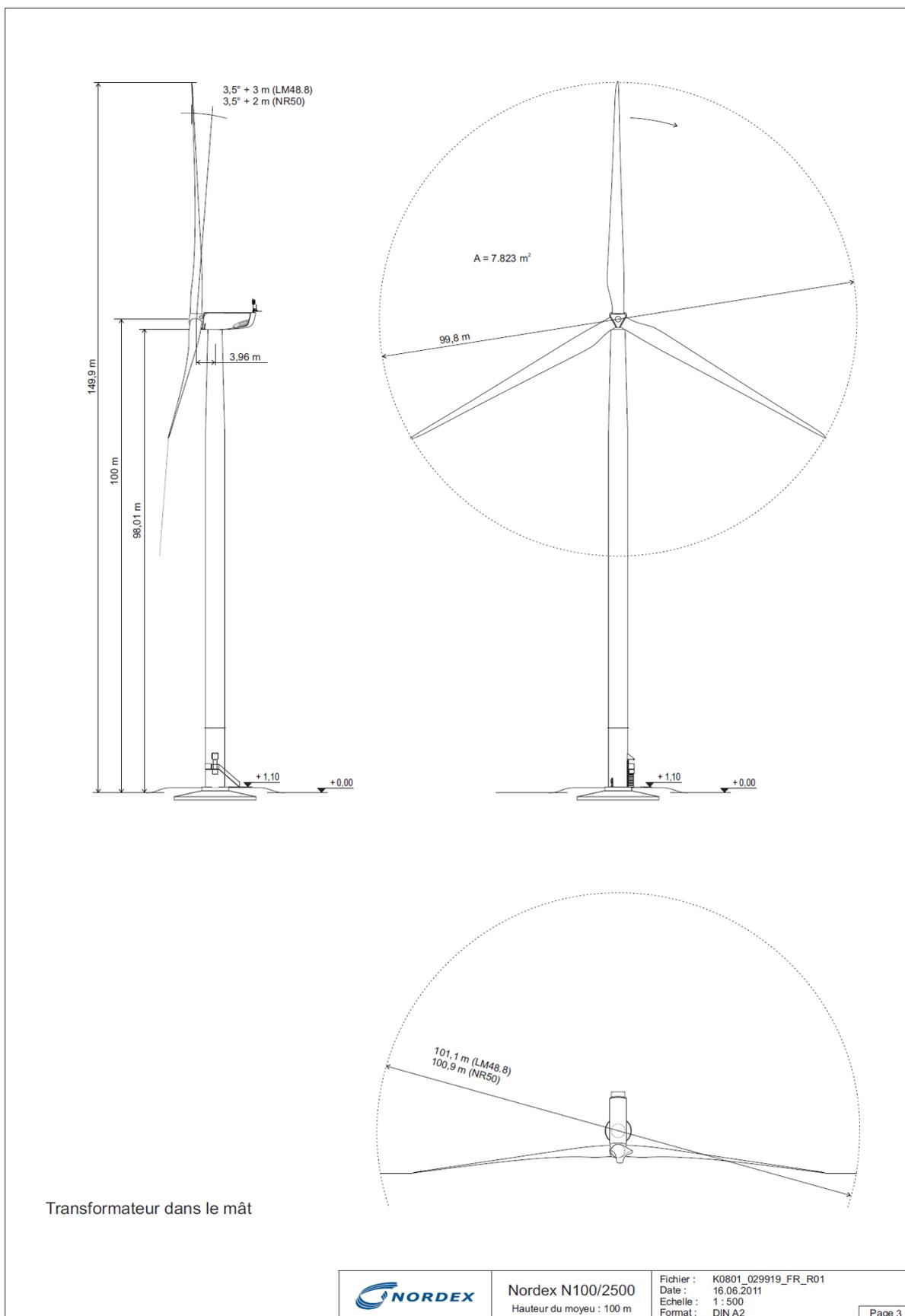


Figure 16 : Vue d'ensemble de l'éolienne N100 R100

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs (dans le système de coordonnées géographiques Lambert 2 étendu) :

Tableau 1 : Coordonnées géographiques des éoliennes (Lambert 2 étendu)

Numéro de l'éolienne	Longitude (X)	Latitude (Y)
E 1	250434,58	2390910,89
E 2	250682,28	2390778,86
E 3	250930,99	2390659,1
E 4	251553,31	2391578,25
E 5	251962,73	2391620,21

Le plan suivant permet de localiser les différents éléments du parc éolien de Coatjégu (éoliennes, poste de livraison, plateformes, chemins d'accès). A noter que des plans détaillés de chaque aménagement sont fournis dans l'étude d'impact et le permis de construire.

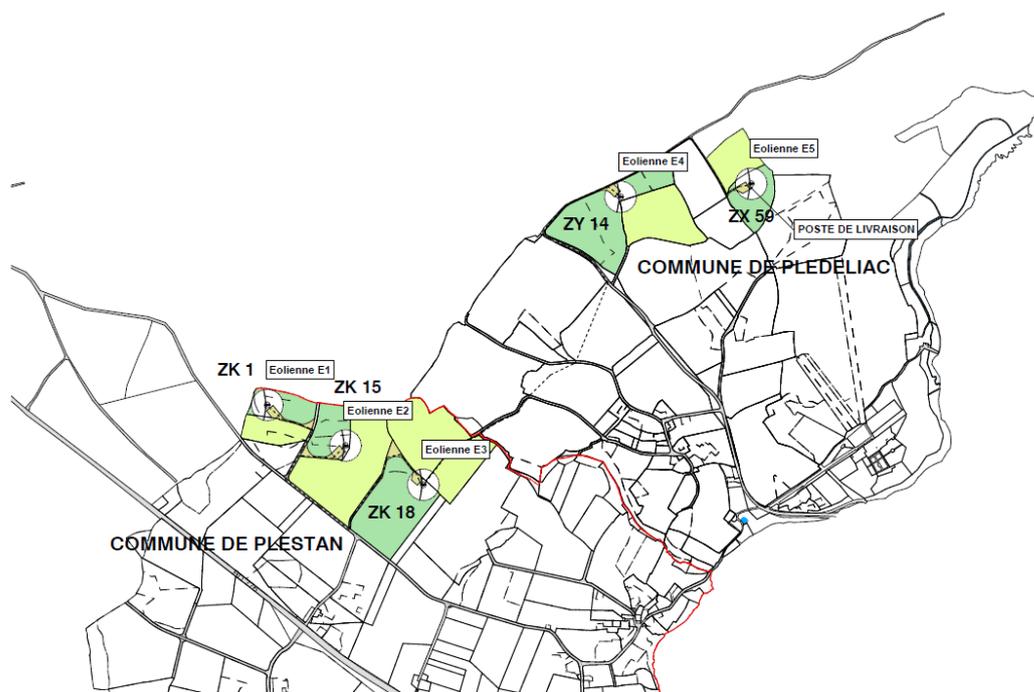


Figure 17 : Schéma d'implantation des éoliennes

IV.2. FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

IV.2.1. Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur

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

Les pales se mettent en mouvement lorsque l'anémomètre (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 10 km/h et c'est seulement à partir de 12 km/h que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor et l'arbre dit «lent» transmettent alors l'énergie mécanique à basse vitesse (entre 9,6 et 16,8 tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit «rapide»

tourne environ 80 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 produite par les pales en énergie électrique.

La puissance électrique produite varie en fonction de la vitesse du vent. Dès que le vent atteint environ 46,8 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 instantanée atteint 2 500 kW dès que le vent atteint environ 46,8 km/h. L'électricité produite par la génératrice correspond à un courant alternatif triphasé de fréquence 50 Hz avec une tension de 660 V. La tension est ensuite élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur placé dans chaque éolienne pour être ensuite injectée dans le réseau électrique public après passage par un convertisseur de puissance qui adapte l'électricité produite aux caractéristiques techniques définies par le gestionnaire de réseau.

Lorsque la mesure de vent, indiquée par l'anémomètre, atteint des vitesses de plus de 90 km/h (variable selon le type d'éoliennes), l'éolienne cesse de fonctionner pour des raisons de sécurité. Deux systèmes de freinage permettront d'assurer la sécurité de l'éolienne :

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

Les caractéristiques qui suivent sont les caractéristiques spécifiques aux éoliennes NORDEX de la gamme N100 plateforme Gamma, fournies par le constructeur.

IV.2.1.1. Rotor et pales

Le rotor permet de convertir l'énergie cinétique du vent en mouvement de rotation de l'éolienne. Il est composé de trois pales, d'un moyeu de rotor, de trois roulements et de trois entraînements pour l'orientation des pales.

- Le moyeu

Le moyeu du rotor est une construction en fonte modulaire et rigide. Le roulement d'orientation de pale et la pale sont montés dessus.

- Les pales

La longueur totale d'une pale est de 48,7 mètres. Elle est constituée de deux moitiés collées ensemble. Le matériau du noyau de cette construction à plusieurs couches est en balsa et mousse de PVC. La pale est en matériau composite à base de fibre de verre. Le profil aérodynamique des pales résiste bien aux salissures et à la glace, ce qui permet une réduction des pertes de puissance. Chaque pale est pourvue d'une pointe en aluminium qui dévie le courant de foudre par un câble vers le moyeu du rotor. Les pales sont fixées au roulement d'orientation du système Pitch à l'aide de boulons en T.

- Systeme à pas variable

Le système à pas variable déplace les pales du rotor dans les positions définies par le système de commande. Chaque pale est commandée et entraînée séparément par un entraînement électromagnétique avec moteur triphasé, un engrenage planétaire, et une unité de commande avec convertisseur de fréquence et alimentation électrique de secours. Le système à pas variable est le frein principal de l'éolienne. Les pales se tournent ainsi de 90° pour le freinage, ce qui interrompt la portance et crée une grande résistance de l'air provoquant ainsi le freinage du rotor (frein aérodynamique).

IV.2.1.2. Nacelle

Une vue d'ensemble de la nacelle est présentée sur la figure suivante :

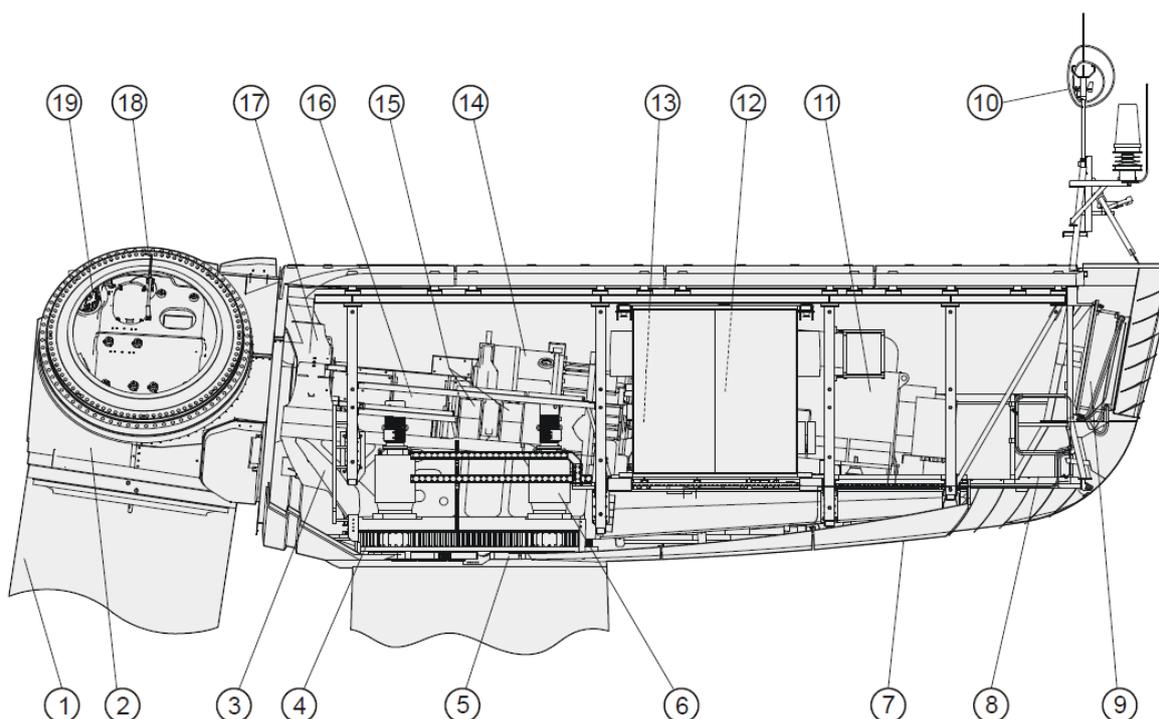


Figure 18 : Vue d'ensemble de la nacelle de l'éolienne N100

1. Pale de rotor 2. Moyeu de rotor 3. Châssis machine 4. Roulement de système d'orientation 5. Freins d'orientation 6. Entraînement de système d'orientation 7. Cabine de la nacelle 8. Écouteille pour la grue de bord 9. Échangeur thermique 10. Capteurs anémométriques 11. Génératrice 12. Coupleur 13. Frein de rotor 14. Multiplicateur 15. Appui du multiplicateur 16. Arbre de rotor 17. Palier de rotor 18. Roulement d'orientation de pale 19. Entraînement d'orientation de pale

- La couronne d'orientation

La direction du vent est mesurée de manière continue à hauteur de moyeu par deux appareils indépendants. L'un d'entre eux est un appareil ultrasonique. Tous les anémomètres sont chauffés.

Si la direction du vent relevée diffère du positionnement de la nacelle d'une valeur supérieure à la valeur limite, la nacelle est réorientée via quatre entraînements constitués d'un moteur électrique, d'un engrenage planétaire à plusieurs niveaux et de pignons d'entraînement. Les freins d'orientation sont activés.

- Le train d'entraînement

Le train d'entraînement transmet le mouvement de rotation du rotor à la génératrice. Il est constitué des composants principaux suivants :

- l'arbre de rotor : il transmet les forces radiales et axiales du rotor au châssis machine. Le roulement du rotor contient un dispositif de verrouillage mécanique du rotor ;
 - un multiplicateur : il augmente la vitesse de rotation au niveau nécessaire pour la génératrice. L'huile du multiplicateur assure non seulement la lubrification mais aussi le refroidissement du multiplicateur. La température des roulements du multiplicateur et de l'huile est surveillée en permanence ;
 - une frette de serrage qui relie entre eux l'arbre de rotor et le multiplicateur ;
 - un coupleur : il compense les décalages entre multiplicateur et génératrice. Une protection contre les surcharges (limitation prédéfinie de couple) est montée sur l'arbre de la génératrice. Elle empêche la transmission de pics de couple qui peuvent avoir lieu dans la génératrice en cas de panne de réseau. Le coupleur est isolé électriquement.
- La génératrice

La transformation de l'énergie éolienne en énergie électrique s'effectue grâce à une génératrice asynchrone à double alimentation de 2 500 kW à 50 Hz. Elle est maintenue à une température de fonctionnement optimale grâce au circuit de refroidissement. Son stator est directement relié au réseau du parc éolien, son rotor l'est via un convertisseur de fréquence à commande spéciale.

- Les freins

L'éolienne est équipée d'un frein aérodynamique disposant de deux niveaux de freinage. Ce frein est déclenché par rotation des pales. Il peut être couplé à un deuxième système de freinage mécanique disposant lui aussi de deux niveaux de freinage. La description et les conditions de déclenchement des différents systèmes de freinage sont présentées dans le tableau suivant :

Programme de freinage	Description
Freinage sans à coup (freinage aérodynamique) Déclenchement en cas d'erreur ou de défaut non critique	Rotation des pales (pitch) de façon à réduire la vitesse de rotation de la génératrice => Position finale des pales : drapeau (frein mécanique rotor ouvert) Paramètres surveillés : <ul style="list-style-type: none"> • Diminution de la vitesse de rotation de la génératrice • La vitesse de rotation ne doit pas excéder la vitesse de déconnexion Si une de ces conditions n'est pas satisfaite => Programme de freinage suivant (freinage critique) <ul style="list-style-type: none"> • En cas de défaut du réseau électrique ou si l'éolienne ne se trouve plus dans la plage de fonctionnement du convertisseur principal, le convertisseur principal est immédiatement déconnecté du réseau
Freinage critique (freinage aérodynamique) Déclenchement en cas d'erreur ou de défaut critique	Rotation des pales (pitch) à une vitesse définie => Position finale des pales : drapeau (frein mécanique rotor ouvert)

	<p>Paramètres surveillés :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La vitesse de rotation ne doit pas excéder la vitesse de déconnexion • Si cette condition n'est pas satisfaite => Programme de freinage suivant • En cas de défaut du réseau électrique ou si l'éolienne ne se trouve plus dans la plage de fonctionnement du convertisseur principal, le convertisseur principal est immédiatement déconnecté du réseau
<p>Freinage critique (freinage aérodynamique + freinage mécanique)</p> <p>Déclenchement en cas d'erreur ou de défaut critique nécessitant l'arrêt du rotor avec recours au frein mécanique</p>	<p>Rotation des pales (pitch) à une vitesse définie δ Position finale des pales : drapeau (frein mécanique rotor fermé)</p> <p>A une vitesse de rotation donnée, une durée définie après que les pales ont atteint leur position finale : fermeture du frein</p> <p>Paramètres surveillés :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La vitesse de rotation de la génératrice ne doit pas excéder la vitesse définie pour le déclenchement de la protection contre la survitesse • La vitesse de rotation du rotor ne doit pas excéder la vitesse définie pour le déclenchement de la protection contre la survitesse <p>Si une de ces conditions n'est pas satisfaite => Programme de freinage suivant (freinage d'urgence)</p>
<p>Freinage d'urgence (freinage aérodynamique + freinage mécanique)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Vitesse de rotation de la génératrice supérieure à la vitesse définie pour le déclenchement de la protection contre la survitesse • Vitesse de rotation du rotor supérieure à la vitesse définie pour le déclenchement de la protection contre la survitesse • Déclenchement de la chaîne de sécurité 	<p>Rotation des pales (pitch) à une vitesse définie</p> <p>Position finale des pales : drapeau</p> <p>Convertisseur principal et génératrice immédiatement déconnectés du réseau électrique</p> <p>Activation immédiate du frein rotor pour soutenir le freinage aérodynamique (rotor immobilisé dans un délai de 20 s)</p>

IV.2.1.3. Le pied du mât

Une vue d'ensemble du pied du mât est présentée sur la figure suivante :

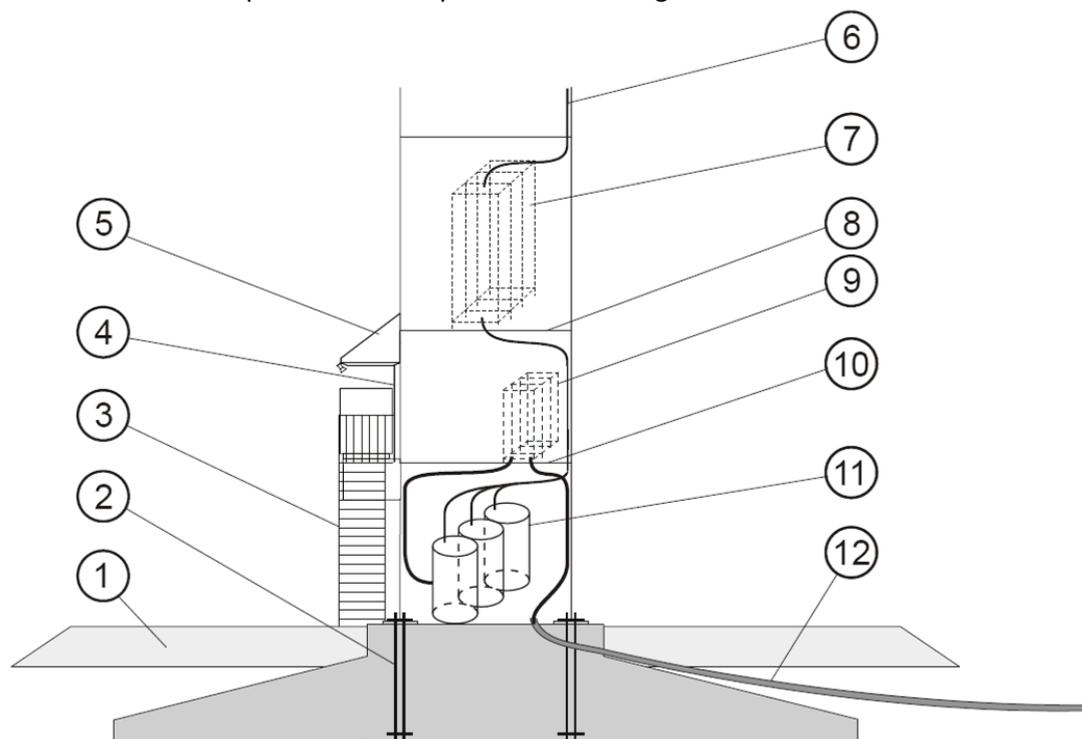


Figure 19 : Vue d'ensemble du pied du mât de l'éolienne N100

- | | | | |
|--------------------|----------------------------|------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 Remblai de terre | 4 Porte de mât | 7 Armoire électrique | 10 1 ^{er} plateforme du mât |
| 2 Ancrage du mât | 5 Aération/refroidissement | 8 2 ^e plateforme du mât | 11 Transformateur |
| 3 Escalier | 6 Câble électrique | 9 Commutation moyenne tension | 12 Gains |

Le mât est un mât tubulaire cylindrique en acier. L'échelle d'ascension avec son système de protection antichute et les plateformes de repos et de travail à l'intérieur du mât permettent un accès à la nacelle à l'abri de la météo.

- Fondation

La construction des fondations dépend de la nature du sol du site d'implantation prévu. Pour l'ancrage du mât, une cage d'ancrage est bétonnée dans les fondations. Le mât et la cage d'ancrage sont vissés ensemble.

- Le transformateur électrique

Le transformateur électrique sec (permettant d'élever la tension de 660 Volts en sortie de la génératrice à 20 000 Volts dans le réseau inter-éoliennes) est installé dans le mât de chaque éolienne. Il remplit les conditions de classe de protection incendie F1.

- L'armoire électrique

Les composants électroniques les plus importants sont situés dans l'armoire électrique dans le pied du mât. L'armoire électrique contient, séparément, le convertisseur de fréquence, l'ordinateur de gestion d'exploitation, l'écran de contrôle d'ordinateur, l'interrupteur principal, les fusibles ainsi que des connexions pour la communication et les câbles de puissance.

- Convertisseur de fréquence

Le convertisseur principal de l'éolienne est intégré dans l'armoire électrique dans le pied du mât. Il se trouve sur la deuxième plateforme la plus basse depuis le bas du mât et est pourvu d'un refroidissement à air et un à eau. Grâce à un système générateur-convertisseur à régime variable, les pics de charge et pointes de surtension sont limités.

IV.2.1.4. Systèmes auxiliaires

- Circuits de refroidissement et filtration

Le multiplicateur, la génératrice et le convertisseur de l'éolienne ont des systèmes de refroidissement indépendants les uns des autres.

Tous les systèmes sont conçus de manière à garantir des températures de fonctionnement optimales même en cas de températures extérieures élevées. La température de chaque roulement de multiplicateur, de l'huile du multiplicateur, des bobinages et des roulements de la génératrice ainsi que du réfrigérant est contrôlée en permanence et en partie de manière redondante par le système contrôle-commande.

Les trois systèmes de refroidissement sont présentés dans le tableau suivant :

Constituant de l'éolienne	Système de refroidissement			
	Réfrigérant	Système de refroidissement	de filtration	Pompe
Multiplicateur	Huile	Echangeur thermique huile/air avec 1 ventilateur à 2 étages (0,8/3 kW)	Oui (2 filtres 50 et 10 µm)	1 pompe avec deux étages de pompage (52 et 105 L/min)
Génératrice	Mélange antigel eau/glycol	Echangeur thermique eau/air avec 1 ventilateur à 2 étages (0,8/3 kW)	Non	1 pompe centrifugeuse (70L/min)
Convertisseur de fréquence	Mélange antigel eau/glycol	Echangeur thermique eau/air avec 1 ventilateur à 2 étages (0,8/3 kW)	Non	1 pompe centrifugeuse (50L/min)

Systèmes de refroidissement utilisés sur l'éolienne N100

- Système hydraulique

Le système hydraulique fournit en cours de fonctionnement la pression d'huile nécessaire pour le frein d'orientation et le frein mécanique du rotor. La puissance nominale de la pompe hydraulique est de 1,1 kW.

- Système de lubrification

Le palier de rotor, le multiplicateur, les deux roulements de la génératrice, les engrenages des trois roulements d'orientation de pale et les engrenages de roulement du système d'orientation de pale sont équipés de systèmes de lubrification automatiques et indépendants.

- Climatisation

Les armoires de commande dans le moyeu du rotor, la nacelle et le pied du mât de l'éolienne sont équipées de capteurs de température. Si certaines limites de température prédéfinies sont dépassées vers le haut ou le bas, des climatiseurs / chauffages s'activent pour garder la température de l'air dans l'armoire électrique à l'intérieur des limites de fonctionnement.

- Chauffage

Quand la température ambiante est basse, certains composants doivent être chauffés avant de pouvoir être utilisés. Le multiplicateur, la génératrice, l'agrégat hydraulique, les diverses armoires de commande et la nacelle sont équipés de chauffages qui s'enclenchent automatiquement en cas de besoin.

- Réseau électrique basse tension

Il y a deux réseaux basse tension dans l'éolienne. Le réseau de 660 V transporte le courant produit vers le point de transfert du réseau d'alimentation via le transformateur moyenne tension. Le réseau à 400 V alimente tous les systèmes électriques de l'éolienne.

- Mise à la terre

L'installation de mise à la terre est nécessaire pour la compensation de potentiel entre les parties de l'installation électrique et représente une partie importante du système de protection contre la foudre. Elle est fabriquée conformément à la norme IEC 61400-24 et aux schémas des fondations. La résistance de mise à la terre de l'éolienne ne dépasse pas 10 Ω .

Tableau 2 : Synthèse des éléments constitutifs des aérogénérateurs

Élément De L'installation	Fonction	Caractéristiques
Fondation	Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol	<ul style="list-style-type: none"> ▪ En béton armé, de forme circulaire ▪ <u>Dimension</u> : design adapté en fonction des études géotechnique et hydrogéologique réalisées avant la construction. En standard, 19 m de diamètre à leur base et se resserre jusqu'à 4,90 m de diamètre représentant environ 520 m³ ▪ <u>Profondeur</u> : en standard 2,70 m
Mât	Supporter la nacelle et le rotor	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tubulaire en acier ▪ Hauteur de 98,01 m (100 m au moyeu) ▪ Composé de 5 tronçons
Nacelle	Supporter le rotor Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice, etc.) Ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité	<ul style="list-style-type: none"> ▪ <u>Un arbre en rotation</u>, entraîné par les pales ▪ <u>Le multiplicateur</u>, à engrenage cylindrique à 3 trains planétaires, a pour objectif d'augmenter le nombre de rotation de l'arbre – Tension nulle ▪ <u>La génératrice annulaire</u>, asynchrone, à double alimentation, qui produit l'électricité – Tension de 660 V
Rotor / Pales	Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 3 pales par machine ▪ Longueur : 48,7 m ▪ Pales constituées de plastique armé à fibre de verre (résine époxyde)
Transformateur	Elever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tension de 20 kV à la sortie
Poste de Livraison	Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Equipé de différentes cellules électriques et automates qui permettent la connexion et la déconnexion du parc éolien au réseau 20 kV

IV.2.2. Sécurité de l'installation

IV.2.2.1. Règles de conception et système qualité

La société Nordex, fournissant les machines et en assurant la maintenance, est certifiée ISO 9001. Le système de management de la qualité et tous les processus de production sont conformes à la norme ISO 9001.

Les aérogénérateurs N100 font l'objet d'évaluations de conformité (tant lors de la conception que lors de la construction), de certifications de type (certifications CE) par un organisme agréé et de déclarations de conformité aux standards et directives applicables. Les équipements projetés répondront aux normes internationales de la Commission électrotechnique internationale (CEI) et Normes françaises (NF) homologuées relatives à la sécurité des éoliennes, et notamment :

- la norme IEC 61400-1 / NF EN 61400-1 Juin 2006 intitulée « Exigence de conception », qui spécifie les exigences de conception essentielles pour assurer l'intégrité technique des éoliennes. Elle a pour objet de fournir un niveau de protection approprié contre les dommages causés par tous les risques pendant la durée de vie prévue. Elle concerne tous les sous-systèmes des éoliennes tels que les mécanismes de commande et de protection, les systèmes électriques internes, les systèmes mécaniques et les structures de soutien.
- la norme IEC 61400-22 / NF EN 61400-22 Avril 2011 intitulée « essais de conformité et certification », qui définit les règles et procédures d'un système de certification des éoliennes comprenant la certification de type et la certification des projets d'éoliennes installées sur terre ou en mer. Ce système spécifie les règles relatives aux procédures et à la gestion de mise en œuvre de l'évaluation de la conformité d'une éolienne et des parcs éoliens, avec les normes spécifiques et autres exigences techniques en matière de sécurité, de fiabilité, de performance, d'essais et d'interaction avec les réseaux électriques.
- la norme CEI/TS 61400-23:2001 Avril 2001 intitulée « essais en vraie grandeur des structures des pales » relative aux essais mécaniques et essais de fatigue.

D'autres normes de sécurité sont applicables :

- la génératrice est construite suivant le standard IEC 60034 et les équipements mécaniques répondent aux règles fixées par la norme ISO 81400-4.
- la protection foudre de l'éolienne répond au standard IEC61400-24 et aux standards non spécifiques aux éoliennes comme IEC 62305-1, IEC 62305-3 et IEC 62305-4.
- la directive 2004/108/CE du 15 décembre 2004 relative aux réglementations qui concernent les ondes électromagnétiques.
- le traitement anticorrosion des éoliennes répond à la norme ISO 9223.

Au cours de la construction de l'éolienne, le maître d'ouvrage mandatera un bureau de vérification pour le contrôle technique de construction.

Les performances des éoliennes sont garanties dans la mesure où les conditions d'installation sont conformes aux spécifications Nordex.

IV.2.2.2. Conformité aux prescriptions de l'arrêté ministériel

L'installation est conforme aux prescriptions de l'arrêté ministériel relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées relatives à la sécurité de l'installation ainsi qu'aux principales normes et certifications applicables à l'installation.

Cela concerne notamment :

- L'éloignement de 500 mètres de toute construction à usage d'habitation, de tout immeuble habité ou de toute zone destinée à l'habitation telle que définie dans les documents d'urbanisme opposables en vigueur au 13 juillet 2010 et de 300 mètres d'une installation nucléaire de base,
- 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 NF C 15-100 (version compilée de 2008), NF C 13-100 (version de 2001) et NF C 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.

IV.2.2.3. Gestion à distance et fonctionnement des éoliennes

L'exploitation des éoliennes ne fera pas l'objet d'une présence permanente sur site, mis à part lors des opérations de maintenance. Le fonctionnement du parc éolien est entièrement automatisé et contrôlé à distance depuis le centre de commande du parc éolien à Rostock en Allemagne.

L'exploitation des éoliennes s'effectue grâce à un Automate Programmable Industriel (API) qui analyse en permanence les données en provenance des différents capteurs de l'installation et de l'environnement (conditions météorologiques, vitesse de rotation des pales, production électrique, niveau de pression du réseau hydraulique, etc.) et qui contrôle les commandes en fonction des paramètres.

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

De plus, les éoliennes N100 sont équipées d'un système de contrôle à distance des données. La supervision peut s'effectuer à distance par accès sécurisé depuis un ordinateur équipé d'une connexion internet. Le logiciel de supervision (SCADA – Supervising Control And Data Acquisition) utilisé est le Nordex Control 2.

Le SCADA constitue un terminal de dialogue entre l'automate et son système d'entrée/sortie, connecté en réseau au niveau des armoires de contrôle placées dans la nacelle et dans le pied de l'éolienne.

IV.2.2.4. Balisage des éoliennes

Le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, du Transport et du Logement a publié un arrêté, en date du 13 novembre 2009, relatif à la réalisation du balisage des éoliennes. Le nouvel arrêté ministériel indique que l'ensemble du parc éolien doit être balisé.

Le jour : chaque éolienne est dotée d'un balisage lumineux, assuré par des feux d'obstacle moyen intensité de type A (feux à éclats blancs de 20 000 candelas [cd]). Ces feux doivent être installés sur le sommet de la nacelle et doivent assurer la visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts.

La nuit : chaque éolienne est dotée d'un balisage lumineux de nuit assuré par des feux d'obstacle moyenne intensité de type B (feux à éclats rouges de 2 000 candelas). Ces feux doivent être installés sur le sommet de la nacelle et doivent assurer une visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts.

Passage du balisage lumineux de jour au balisage de nuit : le jour est caractérisé par une luminance de fond supérieure à 500 cd/m², le crépuscule est caractérisé par une luminance de fond comprise entre 50 cd/m² et 500 cd/m², et la nuit est caractérisée par une luminance de fond inférieure à 50 cd/m². Le balisage actif lors du crépuscule est le balisage de jour, le balisage de nuit est activé lorsque la luminance de fond est inférieure à 50cd/m².

Les feux seront synchronisés et agréés par le Service Technique de l'Aviation Civile.

Les feux de balisage font l'objet d'un certificat de conformité, délivré par le service technique de l'aviation civile de la direction générale de l'aviation civile (STAC), en fonction des spécifications techniques correspondantes.

IV.2.2.5. Méthodes et moyens d'intervention

En cas de sinistre, les pompiers seront prévenus par le personnel du site ou les riverains directement par le 18. L'appel arrivera au Centre de Traitement des Appels (CTA), qui est capable de mettre en œuvre les moyens nécessaires en relation avec l'importance du sinistre. Cet appel sera ensuite répercuté sur le Centre de Secours disponible et le plus adapté au type du sinistre.

Une voie d'accès donne aux services d'interventions un accès facilité au site du parc éolien.

Les moyens d'intervention une fois l'incident ou accident survenu sont des moyens de récupération des fragments : grues, engins, camions.

En cas d'incendie avancé, les sapeurs-pompiers se concentreront sur le barrage de l'accès au foyer d'incendie. Une zone de sécurité avec un rayon de 500 mètres autour de l'éolienne devra être respectée.

Enfin, des consignes en cas d'urgence sont implantées au niveau du pied de la tour ainsi qu'au niveau des nacelles, afin de donner la procédure à suivre aux personnes présentes dans l'éolienne en cas d'accident. Ci-après, un modèle de ces consignes, qui sera bien entendu adapté à chaque éolienne du parc.

On rappelle enfin la présence d'extincteurs ainsi que de trousse de premiers soins, au pied de la tour ainsi que dans la nacelle. Les véhicules des techniciens de maintenance sont également équipés de trousse de premiers soins.

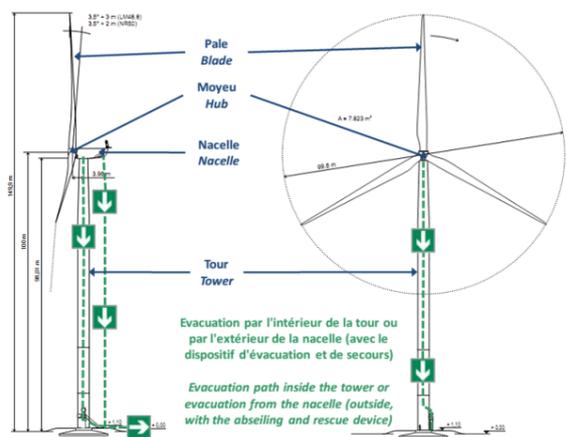
CONSIGNES EN CAS D'URGENCE
EMERGENCY INSTRUCTIONS

[NOM DU PARC EOLIEN]			
[Adresse du parc éolien]			
Identifiant Eolienne / WTG ID		Coordonnées GPS (WGS 84) / GPS Coordinates (WGS 84)	
00	NX	00000	Latitude [N/S 00.000000]
Position sur parc éolien Position on wind farm	N°Série (affiché sur l'éolienne) Serial Nr. (mentioned on the WTG)		Longitude [E/W 00.000000]

ACCIDENT - URGENCE MÉDICALE
ACCIDENT - MEDICAL EMERGENCY

- Appeler ou faire appeler le **112**
Dial or ask someone to dial 112
- Préciser :
Precise :
 - Le lieu de l'accident: au moins nom et adresse du parc éolien et numéro de l'éolienne
The accident place: at least name and location of the wind farm and WTG identification number
 - La nature de l'accident (chute de hauteur, électrisation...)
The type of accident (fall from height, electrical accident...)
 - Le nombre de victimes
The number of injured persons
 - L'état de la (des) victime(s) : saignement, conscience, nature et siège des lésions...
The status of the injured person(s): bleeding, awareness, kind of injuries, parts of body injured...
 - La position de la ou des victime(s) : dans la nacelle, au sol, dans la tour, suspendu dans son harnais... Dans le cas d'une intervention en hauteur, demander l'intervention du GRIMP et préciser si la porte de l'éolienne doit être forcée
The location of the victim(s): in the nacelle, on the ground, in the tower, suspended in harness... In case of rescue at height, request "GRIMP" intervention and precise if the WTG door has to be broken
 - S'il persiste un danger pour les équipes de secours
If there is still a danger for the emergency services
- Suivre les instructions
Follow the instructions

NE JAMAIS RACCROCHER AVANT LES SECOURS
DO NOT HANG UP BEFORE THE OPERATOR TELLS YOU TO
- Si possible, organiser l'accueil des secours
If possible, prepare for the arrival of emergency services

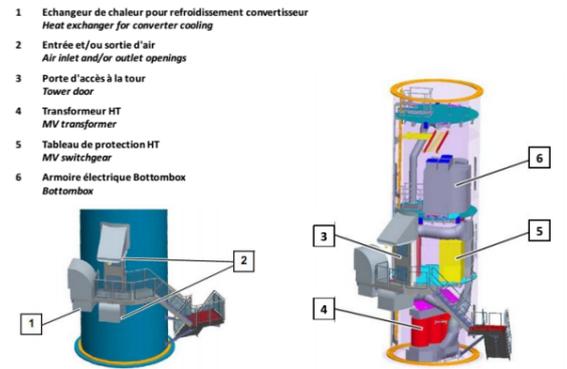


INCENDIE
FIRE

- Si possible, déconnecter l'éolienne du réseau électrique
If possible, disconnect the wind turbine from the grid
- Dans la mesure du possible, attaquer le feu. Sinon, évacuer l'éolienne.
If possible, fight the fire. Otherwise, evacuate the wind turbine.
- Appeler ou faire appeler le **112**
Dial or ask someone to dial 112
- Préciser le lieu de l'incident
Precise the incident place
- Suivre les instructions
Follow the instructions

NE JAMAIS RACCROCHER AVANT LES SECOURS
DO NOT HANG UP BEFORE THE OPERATOR TELLS YOU TO
- Si possible, organiser l'accueil des secours
If possible, prepare for the arrival of emergency services

PERIMETRE DE SECURITE A ETABLIR AUTOUR DE L'EOLIENNE
DANGER AREA TO BE DEFINED AROUND THE WIND TURBINE



EXPLOITANT DU PARC ÉOLIEN / WIND FARM OPERATOR

[Nom de la société exploitante / Company name]
[N°, rue, avenue... / Street, Nr.]
[Code postal et Commune / Zip code & City]

Contact : [Numéro de téléphone / Phone number]

NUMERO D'URGENCE NORDEX (24 / 7) - Urgence sur une éolienne Nordex
NORDEX EMERGENCY NUMBER (24 / 7) - Emergency on or by Nordex wind turbines **+ 49 381 6663 3727**

Figure 20 : Consigne type d'urgence

IV.2.3. Opération de maintenance de l'installation**IV.2.3.1. Gestion du fonctionnement de l'installation**

Au quotidien, l'exploitation des éoliennes ne fait pas l'objet d'une présence humaine sur le site considéré. En effet, le fonctionnement du parc éolien est entièrement automatisé et contrôlé à distance grâce à un Automate Programmable Industriel.

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

La SCADA constitue un terminal de dialogue entre l'automate et son système d'entrée/sortie, connecté en réseau au niveau des armoires de contrôle placées dans la nacelle et dans le pied de l'éolienne.

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

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

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

En outre, conformément à l'article 13 de l'arrêté du 26 août 2011, les personnes étrangères à l'installation n'auront pas d'accès libre à l'intérieur des aérogénérateurs. De même les accès à l'intérieur de chaque aérogénérateur et du poste de livraison seront maintenus fermés à clef afin d'empêcher les personnes non-autorisées d'accéder aux équipements.

Enfin, conformément à l'article 17 de l'arrêté du 26 août 2011, le fonctionnement de l'installation sera assuré par un personnel compétent disposant d'une formation portant sur les risques présentés par l'installation, ainsi que sur les moyens mis en œuvre pour les éviter. Le personnel connaîtra les procédures à suivre en cas d'urgence et procède à des exercices d'entraînement, le cas échéant, en lien avec les services de secours.

IV.2.3.2. Maintenance des aérogénérateurs

La maintenance des éoliennes sera assurée par le constructeur NORDEX qui, dans le cadre d'un contrat global de performances, garantit entre autre la fiabilité et la disponibilité de ses machines. La première année d'exploitation est sujette à un plus grand nombre d'interventions qui servent à affiner les paramètres de réglages des éoliennes. Un entretien préventif des aérogénérateurs aura lieu ensuite en moyenne tous les six mois.

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

- type 1 : vérification après 300 à 500 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 semestrielle des équipements mécaniques et hydrauliques ;
- type 3 : vérification annuelle des matériaux (soudures, corrosions), de l'électrotechnique et des éléments de raccordement électrique ;
- type 4 : vérification quinquennale de forte ampleur pouvant inclure le remplacement de pièces ;

Les différents types de maintenance comprennent selon le type considéré (T1, T2, T3, T4) des inspections visuelles, des nettoyages, des tests d'étanchéité, des remplacements de filtres, des mises à niveau ou remplacement des lubrifiants, des vérifications des couples de serrage des différents organes, des tests des différents capteurs et des moyens d'alimentation électrique de secours, des vérifications des dispositifs de protection, des examens approfondis des pales...Le descriptif complet de ces quatre types de maintenance est décrit en détail dans une documentation technique conséquente de plus de 120 pages qu'il est impossible de reprendre en détail dans l'étude de dangers, et qui présente de plus un caractère confidentiel de la part du constructeur.

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, une équipe de techniciens spécialisés est implantée à Chateaulin (29). Cette antenne a pour l'instant en charge l'entretien de tous les parcs éoliens équipés par Nordex en Bretagne. En cas de déviance sur la production ou d'avaries techniques, une équipe de maintenance interviendra sur le site.

Eu outre, conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011, suivant une périodicité qui ne pourra excéder 1 an, l'exploitant réalisera 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.

De même, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011, trois mois, puis un an après la mise en service industrielle, puis suivant une périodicité qui ne peut excéder trois ans, l'exploitant procédera à un contrôle de l'aérogénérateur consistant en un contrôle des brides de fixations, des brides de mât, de la fixation des pâles et un contrôle visuel du mât. Selon une périodicité qui ne peut excéder un an, l'exploitant procédera à un contrôle des systèmes instrumentés de sécurité. Ces contrôles feront l'objet d'un rapport qui sera tenu à la disposition de l'inspection des installations classées.

Enfin, conformément à l'article 19 de l'arrêté du 26 août 2011, l'exploitant disposera d'un manuel d'entretien de l'installation dans lequel seront précisées la nature et les fréquences des opérations d'entretien afin d'assurer le bon fonctionnement de l'installation. L'exploitant tiendra à jour pour chaque installation un registre dans lequel seront consignées les opérations de maintenance ou d'entretien et leur nature, les défaillances constatées et les opérations correctives engagées.

IV.2.4. Stockage et flux dangereux

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

De même, conformément à l'article 20 de l'arrêté du 26 août 2011, l'exploitant éliminera ou fera éliminer les déchets produits dans des conditions propres à garantir les intérêts visés à l'article L. 511-1 du code de l'environnement. L'exploitant s'assurera que les installations utilisées pour cette élimination sont régulièrement autorisées à cet effet. Le brûlage des déchets à l'air libre sera interdit.

Enfin, conformément à l'article 21 de l'arrêté du 26 août 2011, les déchets non dangereux (par exemple bois, papier, verre, textile, plastique, caoutchouc) et non souillés par des produits toxiques ou polluants seront récupérés, valorisés ou éliminés dans des installations autorisées. Les seuls modes d'élimination qui seront autorisés pour les déchets d'emballage seront la valorisation par réemploi, recyclage ou toute autre action visant à obtenir des matériaux utilisables ou de l'énergie.

IV.3. FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE L'INSTALLATION

IV.3.1. Réseaux électriques

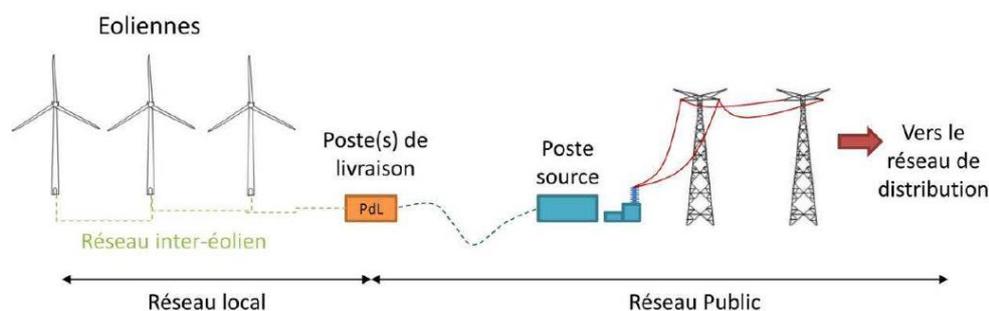


Figure 21 : Raccordement électrique des installations

IV.3.1.1. Réseau inter-éolien

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur, intégré dans le mât de chaque éolienne, au point de raccordement avec le réseau public. Ce réseau comporte également une liaison de télécommunication qui relie chaque éolienne au terminal de télésurveillance. Ces câbles constituent le réseau interne de la centrale éolienne. L'ensemble est réalisé en lignes de 20 000 volts enterrées à une profondeur de 1 m. Pour chaque câble, des gaines blindées seront utilisées pour assurer la protection et réduire le niveau de rayonnement électromagnétique.

Dans le cas du parc éolien de Coatjégu, les câbles emprunteront, depuis le transformateur situé au pied du mat, les bas-côtés du chemin d'accès qui aura été créé.

Les installations électriques extérieures respecteront les normes NF C15-100 (version compilée de 2008), NF C13-100 (version de 2001) et NF C13-200 (version de 2009).

IV.3.1.2. 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.

Il comprend :

- un compteur électrique,
- des cellules de protection,
- des sectionneurs,
- des filtres électriques.

La tension limitée de cet équipement (20 000 volts, ce qui correspond à la tension des lignes électriques sur pylônes bétonnés standards des réseaux communs de distribution de l'électricité) n'entraîne pas de risque électromagnétique important.

Le parc éolien de Coatjégu possède un poste de livraison situé à proximité de l'éolienne E5.

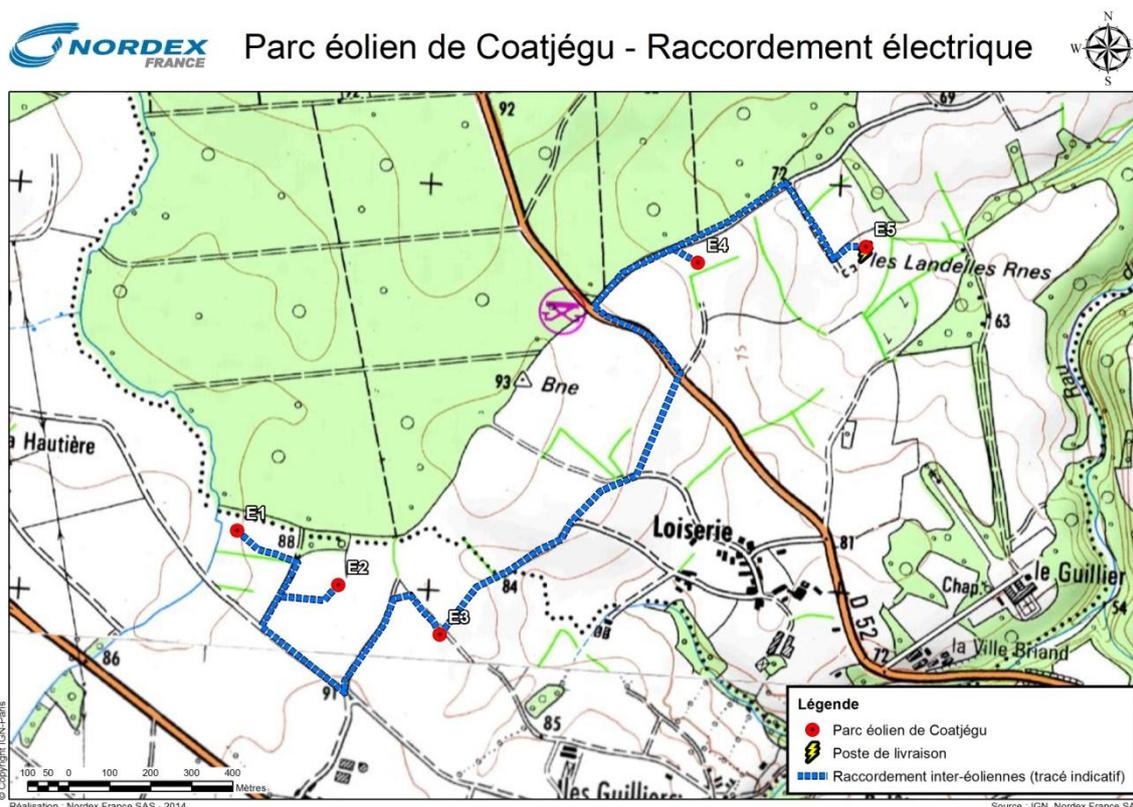


Figure 22 : Raccordement inter-éoliennes

IV.3.1.3. Réseau électrique externe

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

IV.3.2. Autres réseaux

Le parc éolien de Coatjégu 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.

V. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION

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

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

V.1. POTENTIEL DE DANGERS LIES AUX PRODUITS

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

Les produits identifiés dans le cadre du parc éolien de Coatjégu 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 inflammable ou combustible n'est stocké dans les aérogénérateurs ou le poste de livraison.

Les potentiels de danger liés aux produits sont caractérisés par le couple :

- quantité de produit,
- dangerosité du produit.

Dans cette optique, tous les produits capables de conduire à un accident majeur sont recensés.

La majorité des produits entrants sont des lubrifiants permettant le bon fonctionnement des machines. Ils ne sont pas classés comme des produits inflammables mais restent cependant combustibles.

Tableau 3 : Recensement des produits lubrifiants

	LIEU DE LUBRIFICATION	DESIGNATION	LUBRIFIANT	QUANTITE	CLASSE DE MATIERE DANGEREUSE
1	Système de refroidissement (génératrice, convertisseur)	Varidos FSK 45	Liquide de refroidissement	Environ 70 L	Xn
2	Roulements de la génératrice	Klüberplex BEM 41-132	Graisse	9,4 kg	-
3	Multiplicateurs, circuit de refroidissement inclus	Mobilgear XMP 320 Mobilgear SHC XMP 320 Castrol Optigear Synthetic X320	Huile minérale Huile synthétique Huile synthétique	Environ 455 L à 650 L selon modèle de multiplicateur	-
4	Système Hydraulique	Shell Tellus S4 VX 32	Huile minérale	Environ 25 L	-
5	Palier de rotor	Mobil SHC Grease 460 WT	Graisse	Environ 30 kg	-
6	Système d'orientation des pales - Voie de roulement	Mobil SHC Grease 460 WT	Graisse	3 x 4,9 kg	-
7	Système d'orientation des pales - Engrenage	Ceplattyn BL	Graisse	Environ 0,5 kg	
8	Engrenages du mécanisme d'orientation des pales	Mobil SHC 629	Huile synthétique	3 x 11 L	-
9	Engrenages du système d'orientation de la nacelle	Mobil SHC 629	Huile synthétique	4 x 21 L	-
10	Système d'orientation de la nacelle - Voie de roulement	Mobil SHC Grease 460 WT	Graisse	Environ 3,8 kg	-
11	Système d'orientation de la nacelle - Engrenage	Ceplattyn BL	Graisse	Environ 0,5 kg	

Nota : Graisse = lubrifiant solide ; huile = lubrifiant liquide.

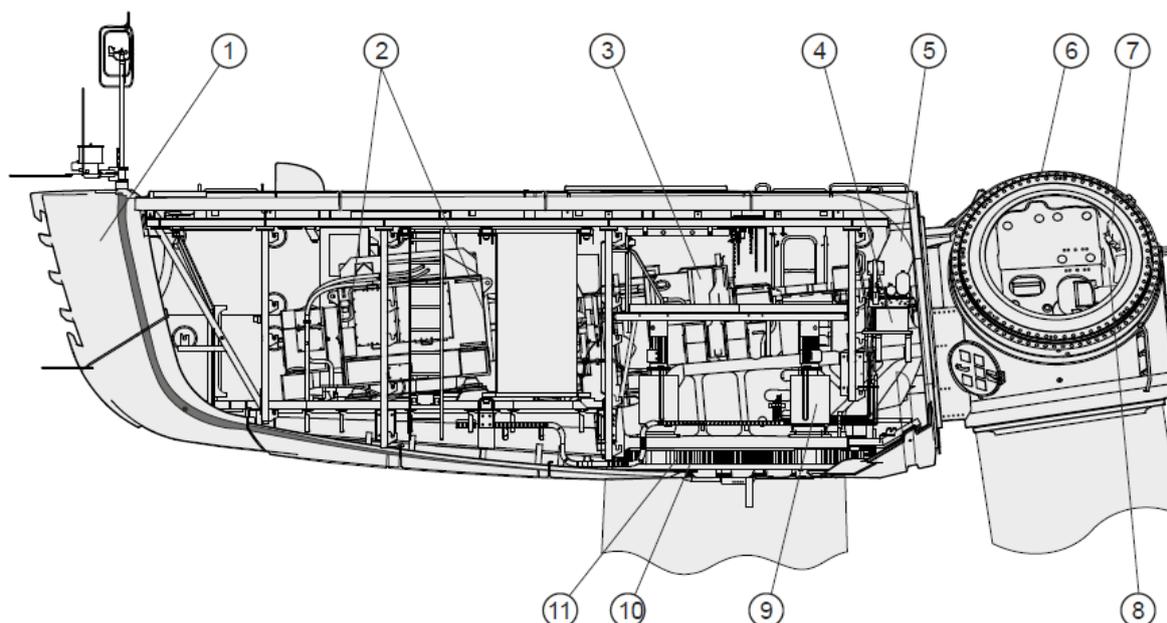


Figure 23 : Localisation des lubrifiants utilisés dans l'éolienne N100

Ces produits, utilisés dans de faibles quantités en circuit fermé, ont une toxicité limitée. En cas de fuite, leur impact ne dépassera pas les limites intérieures de l'éolienne.

Les huiles peuvent cependant être considérées comme des produits combustibles. Nous retiendrons par conséquent le risque d'incendie sur le circuit de refroidissement du multiplicateur (inventaire le plus important).

Il est rappelé que conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, aucun produit inflammable ou combustible ne sera stocké dans les aérogénérateurs ou le poste de livraison.

En conclusion, il ressort que les produits ne présentent pas de réel danger, si ce n'est lorsqu'ils sont soumis à un incendie, ils vont entretenir cet incendie.

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

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien de Coatjégu 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 :

Tableau 4 : Dangers potentiels liés au fonctionnement de l'installation

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

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

V.3. REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS A LA SOURCE

V.3.1. Réduction des potentiels de dangers liés aux produits

Les produits présents sur chaque éolienne (huile, fluide de refroidissement) sont des produits classiques utilisés dans ce type d'activité.

Ils ne présentent pas de caractère dangereux marqué et les quantités mises en œuvre sont adaptées aux volumes des équipements.

La gravité de cet évènement étant minime, il ne sera pas étudié plus en détail dans la suite de l'analyse de risque.

V.3.2. Réduction des potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

Dans le cadre de la définition de son projet, la maître d'ouvrage a pris en compte les contraintes sécuritaires du site d'étude et a décidé d'implanter les aérogénérateurs à une distance sécuritaire minimale de :

- Plus de 200 mètres de part et d'autre des axes de circulation de type route départementale ;
- 500 mètres vis-à-vis des premières habitations.
-

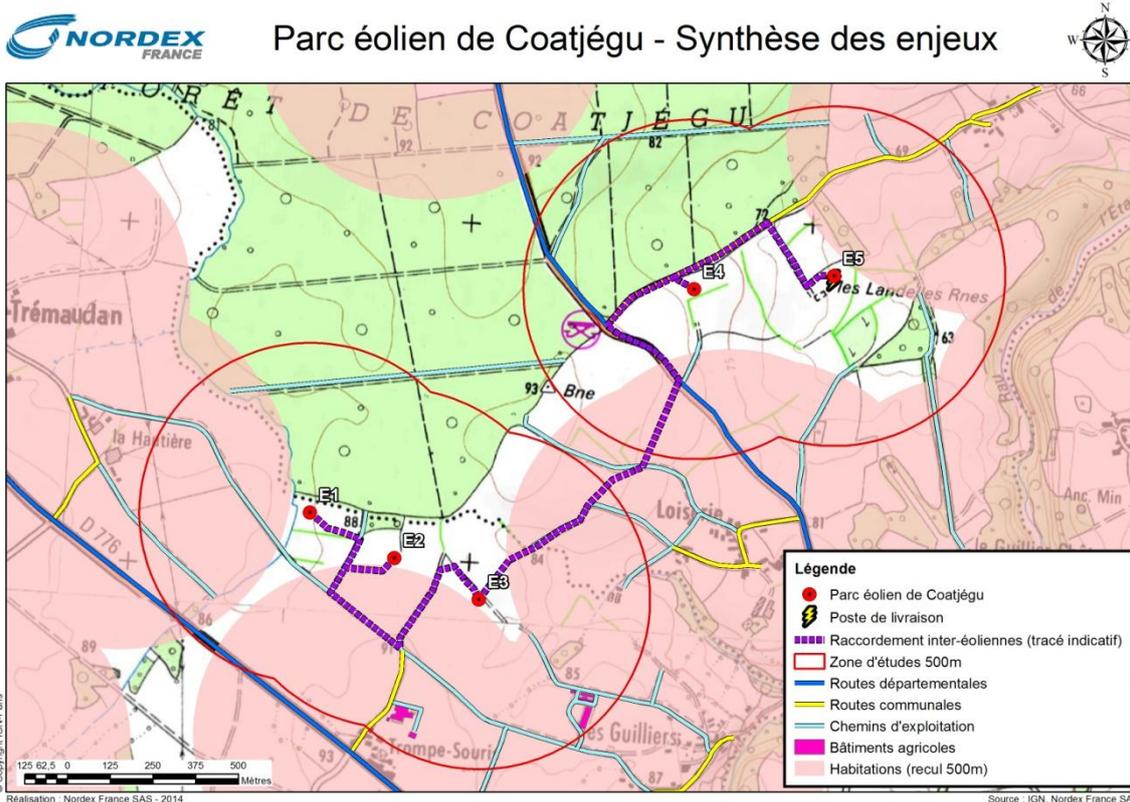


Figure 24 : Synthèse des enjeux

En outre, les mesures générales de prévention limitant les risques d'accident sur le parc éolien de Coatlégou sont les suivantes :

- Le balisage des éoliennes permet de les distinguer plus facilement de jour comme de nuit et permet d'éviter des collisions.
- Une maintenance régulière permet de prévenir les accidents type bris de pales, chute d'objets.
- NORDEX, fournisseur des éoliennes et assureur leur maintenance, dispose d'un système de management HSE respecté par tous ses salariés.
- Le respect des règles de conduite et la limitation de la vitesse de circulation des engins et véhicules seront imposés. Un plan de circulation sera établi pour l'accès depuis les routes les plus proches.

- Les interventions se font par du personnel possédant l'habilitation électrique et la législation du travail dans les installations en hauteur, après visite de conformité par un organisme de contrôle agréé. Les techniciens de NORDEX sont formés, entraînés et autorisés.
- Des procédures d'installation et de maintenance claires et détaillées seront disponibles pour chacun des équipements.
- Le design et l'assemblage des équipements respectent les normes en vigueur et normes constructeur.
- Le port des EPI adaptés (et vêtements de travail) et le respect des règles de sécurité lors des interventions sur site sont définis et doivent être respectés pour éviter des accidents de type électrocution, chute de grande hauteur. Des formations sécurité pour les techniciens intervenants sur le site seront dispensées. On notera également la présence sur le site de trousse de premiers secours, et d'un système d'éclairage d'urgence. Des protections antibruit sont apportées par le personnel intervenant lors de leurs interventions sur site.
- Les marches d'accès à l'éolienne seront dotées d'un système anti-dérapage.
- Des systèmes anti-chutes ainsi que des points d'ancrages seront présents dans le mât de l'éolienne.
- Une surveillance constante effectuée via les capteurs placés sur l'éolienne permet de détecter les dérives de fonctionnement du système.
- Concernant les incendies, la majorité des matériaux composants les éoliennes sont incombustibles. La maintenance permettra également de repérer et d'endiguer (si besoin est) les fuites de lubrifiants. La voie d'accès sera entretenue de manière régulière pour faciliter le passage des pompiers. On notera également la présence d'extincteurs et de systèmes de protection anti-incendie dans chaque éolienne.
- Concernant les risques d'emballement du rotor en cas de vents violents/tempêtes, les éoliennes sont équipées d'un système de sécurité et de capteurs de vibration qui bloquent leur fonctionnement dès lors que la vitesse du vent dépasse 25 m/s. En cas de défaut du système de freinage, elles sont également conçues pour résister à des pointes de vent de 59,5 m/s pendant au moins 3 s.
- Concernant les dangers associés à la foudre, des systèmes parafoudres internes et externes (paratonnerre) sont prévus pour chaque éolienne.
- Concernant la projection de glace, la réduction des dangers est assurée via l'installation de détecteurs de givre sur les pales, la mise en place de périmètres de sécurité voire l'arrêt complet de la machine en cas de gel sévère. Des panneaux d'information doivent être mis en place pour informer les riverains des risques éventuels.
- Aucune mesure de réduction de danger particulière n'est mise en place pour des phénomènes naturels de type sismiques car ces risques sont considérés comme faibles dans la région. Concernant les inondations dues à la remontée du niveau de la nappe phréatique, ce risque doit être pris en compte dans le dimensionnement des installations.

V.3.3. Utilisation des meilleures techniques disponibles

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

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

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

VI. ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE

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

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

VI.1. INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS EN FRANCE

Un inventaire des incidents et accidents en France a été réalisé afin d'identifier les principaux phénomènes dangereux potentiels pouvant affecter le parc éolien de Coatjégu. 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 (mai 2012).

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

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

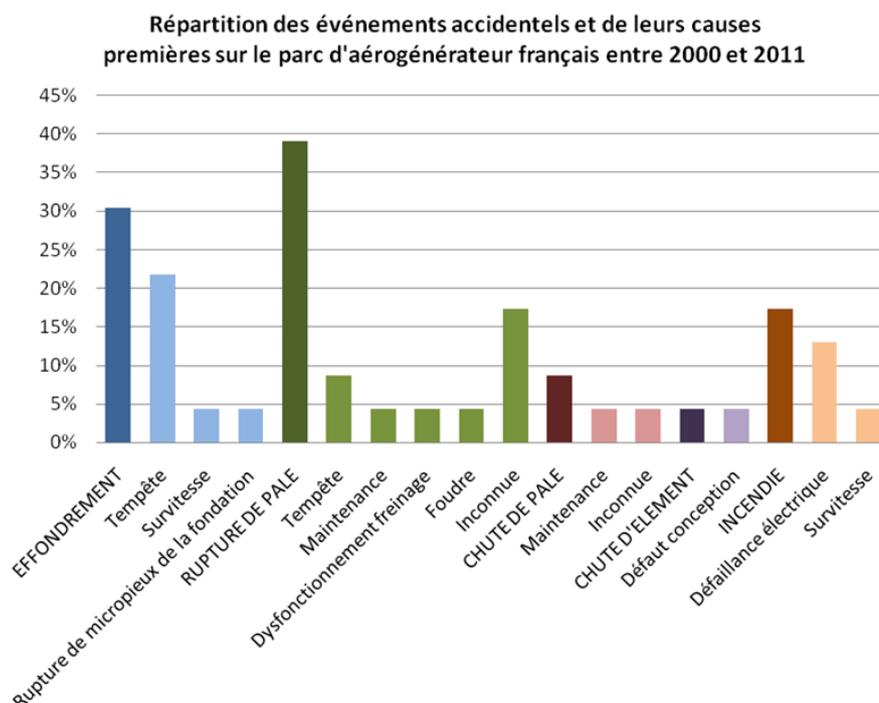
Dans le cadre de ce recensement, il n'a pas été réalisé d'enquête exhaustive directe auprès des exploitants de parcs éoliens français. Cette démarche pourrait augmenter le nombre d'incidents recensés, mais cela concernerait essentiellement les incidents les moins graves.

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

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

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et 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. Ils sont représentés par des histogrammes de couleur foncée ;
- La répartition des causes premières pour chacun des événements décrits ci-dessus. Celle-ci est donnée par rapport à la totalité des accidents observés en France. Elles sont représentées par des histogrammes de couleur claire.



Par ordre d'importance, les accidents les plus recensés sont les ruptures de pale, les 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.

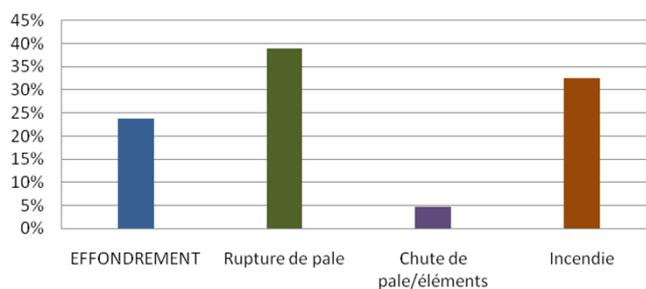
VI.2. INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS A L'INTERNATIONAL

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.

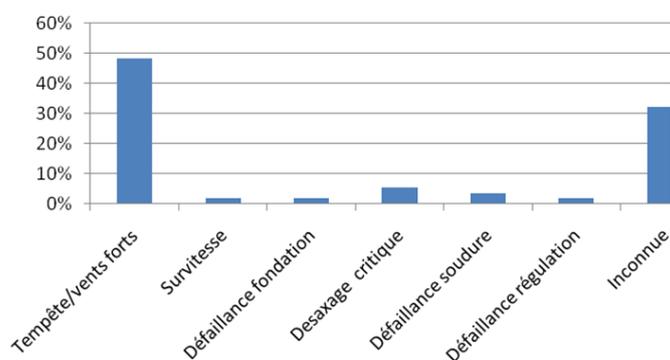
Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels par rapport à la totalité des accidents analysés.

Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2011

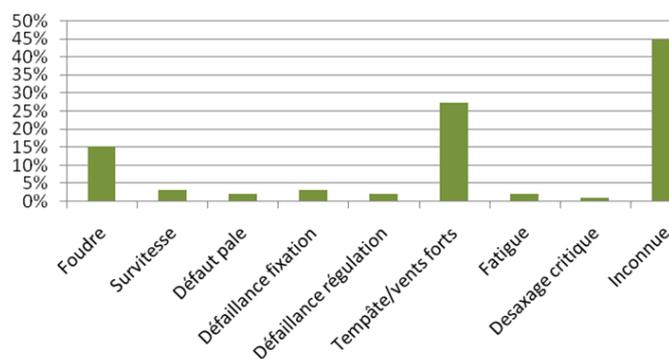


Ci-après, est présenté le recensement des causes premières pour chacun des événements accidentels recensés (données en répartition par rapport à la totalité des accidents analysés).

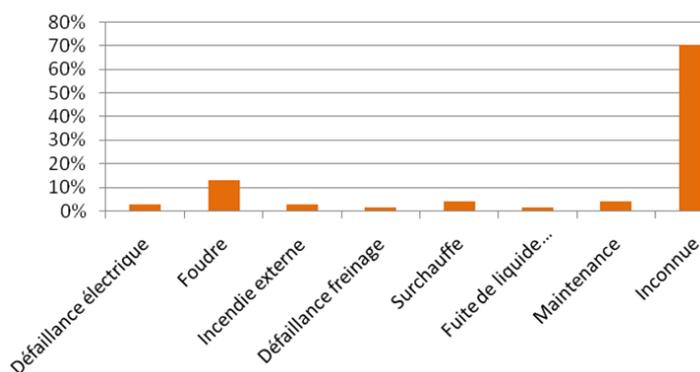
Répartition des causes premières d'effondrement



Répartition des causes premières de rupture de pale



Répartition des causes premières d'incendie



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

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

VI.3.1. Analyse de l'évolution 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.

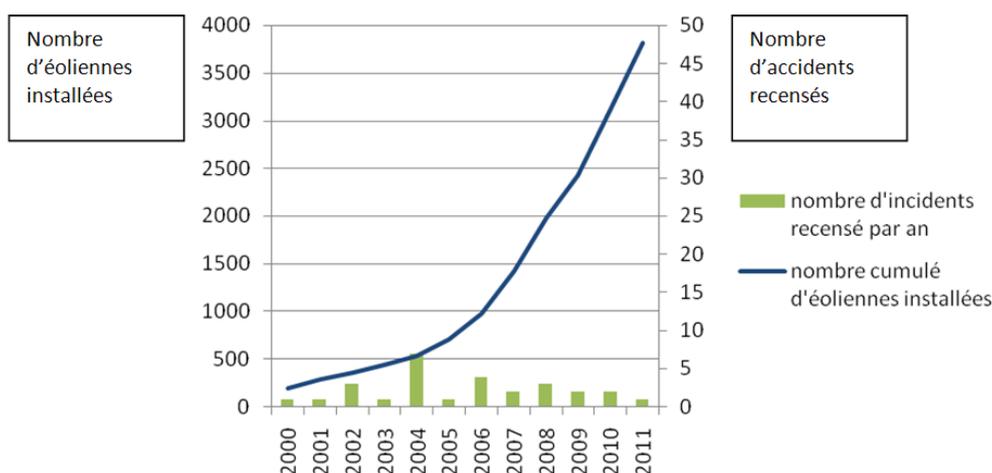


Figure 25 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées

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

VI.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

VI.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.

VII. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

VII.1. OBJECTIFS 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.

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

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

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

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

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

VII.3. RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POSSIBLES

VII.3.1. Agressions externes liées aux activités humaines

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

Tableau 5 : Agressions externes liées aux activités humaines

Infrastructure	Fonction	Événement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Distance par rapport au mât des éoliennes (m)				
					E1	E2	E3	E4	E5
Voies de circulation	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	/	/	/	55	/
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2000 m	/	/	/	/	/
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	/	/	/	/	/
Autres aérogénérateurs	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	/	/	/	/	/

Dans le cadre du parc éolien de Coatjégu, la route de desserte communale qui relie la D52 à l'entrée sud de la forêt de Coatjégu au hameau de La Villéon sur la commune de Plédéliac se situe à moins de 200m de l'éoliennes E4. Elle n'est toutefois pas considérée comme un axe structurant du fait de sa très faible fréquentation.

Il n'y a pas d'aérodrome à moins de 2000m, pas de ligne haute tension à moins de 200m et pas d'éoliennes construites, autorisées ou en projet à moins de 500m du projet éolien de Coatjégu.

VII.3.2. Agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

Tableau 6 : Agressions externes liées aux phénomènes naturels

Agression externe	Intensité
Vents et tempête	Les vents dominants proviennent du sud-ouest et du nord-est et secondairement du nord-ouest. La vitesse moyenne à 100m de hauteur est de 6,2 m/s. Les communes de Plestan et de Plédéliac ne sont pas dans une zone concernée par les cyclones tropicaux.
Foudre	Densité de foudroiement des Côtes d’Armor : 0.23 arc/km ² /an Fréquence annuelle moyenne de coups sur la structure : 4.915 x 10 ⁻⁵ Fréquence acceptée de coups directs sur la structure : 1.10 x 10 ⁻²
Glissement de sols/ affaissement miniers	Les communes de Plestan et de Plédéliac sont concernées par l’aléa de retrait-gonflement des argiles. Cet aléa est nul à faible selon les secteurs.

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. Ces normes sont respectées par les installations du parc éolien de Coatjégu.

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

VII.4. SCENARIOS ETUDIÉS DANS L’ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

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

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

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

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

Les différents scénarios listés dans le tableau générique de l'APR sont regroupés et numérotés par thématique, en fonction des typologies d'événements 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).

Tableau 7 : Analyse préliminaire des risques

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Intensité
G01	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales, le mât et la nacelle	Chute de glace lorsque les éoliennes sont arrêtées	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace (N°2)	Impact de glace sur les enjeux	1
G02	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	Projection de glace lorsque les éoliennes sont en mouvement	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de la glace (N°1)	Impact de glace sur les enjeux	2
I01	Humidité / Gel	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I02	Dysfonctionnement électrique	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I03	Survitesse	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3) Prévenir la survitesse (N°4)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I04	Désaxage de la génératrice / Pièce défectueuse / Défaut de lubrification	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I05	Conditions climatiques humides	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I06	Rongeur	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I07	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2

F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur Fuite transformateur	Ecoulement hors de la nacelle et le long du mât, puis sur le sol avec infiltration	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Ecoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
C01	Défaut de fixation	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	1
C02	Défaillance fixation anémomètre	Chute anémomètre	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
C03	Défaut fixation nacelle – pivot central – mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop importante sur les pales	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la sur vitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Impact sur cible	2
P03	Serrage inapproprié Erreur maintenance – desserrage	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	2
E01	Effets dominos autres installations	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E02	Glissement de sol	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2

E05	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E07	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du plan de prévention (N°13)	Chute fragments et chute mât	2
E08	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°12)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

Ce tableau présentant le résultat d'une analyse des risques peut être considéré comme représentatif des scénarios d'accident pouvant potentiellement se produire sur les éoliennes.

VII.5. EFFETS DOMINOS

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

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

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

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

VII.6. MISE EN PLACE DES MESURES DE SECURITE

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

- **Fonction de sécurité** : il est proposé ci-dessous un tableau par fonction de sécurité. Cet intitulé décrit l'objectif de la ou des mesure(s) de sécurité : il s'agira principalement de « empêcher, éviter, détecter, contrôler ou limiter » et sera en relation avec un ou plusieurs événements conduisant à un accident majeur identifié dans l'analyse des risques. Plusieurs mesures de sécurité peuvent assurer une même fonction de sécurité.
- **Numéro de la fonction de sécurité** : ce numéro vise à simplifier la lecture de l'étude de dangers en permettant des renvois à l'analyse de risque par exemple.
- **Mesures de sécurité** : cette ligne permet d'identifier les mesures assurant la fonction concernée. Dans le cas de systèmes instrumentés de sécurité, tous les éléments de la chaîne de sécurité sont présentés (détection + traitement de l'information + action).
- **Description** : cette ligne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires.
- **Indépendance** (« oui » ou « non ») : cette caractéristique décrit le niveau d'indépendance d'une mesure de maîtrise des risques vis-à-vis des autres systèmes de sécurité et des scénarios d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner « oui ») ou non (renseigner « non »).
- **Temps de réponse** (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité.
- **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.

Tableau 8 : Mesures de sécurité

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
Mesures de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage.		
Description	<p>Chaque aérogénérateur est équipé en standard d'un système de détection, qui permet d'efficacement détecter la présence de givre aussi bien sur une éolienne en rotation que sur une éolienne à l'arrêt.</p> <p>Les trois méthodes redondantes de détection utilisées sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ comparaison des mesures de vent par deux anémomètres sur la nacelle, l'un étant chauffé, l'autre non, associé à des paramètres climatiques additionnels (notamment critère de température) ; ▪ analyse de données de fonctionnement de l'éolienne, le dépôt de givre modifiant le profil aérodynamique de la pale et impactant par conséquent la production électrique de la machine ; ▪ système de mesure des oscillations et des vibrations qui sont causées par le balourd provoqué par la formation de glace sur les pales qui peuvent, en cas extrême, déclencher un arrêt d'urgence (intégré dans la chaîne de sécurité de l'éolienne, cf. fonction de sécurité « <i>survitesse</i> » ci-après). <p>Ces trois méthodes sont associées à l'envoi de codes d'état et d'information via le système SCADA.</p> <p>En cas de danger particulièrement élevé sur un site, des systèmes de détection redondants additionnels peuvent être envisagés, en sus des trois précédemment cités (par exemple système de mesure des fréquences propres d'oscillation des pales ou bien azimuth de l'éolienne dans une position prédéfinie suite à la détection de givre).</p> <p>En cas de détection de glace, l'aérogénérateur est automatiquement mis à l'arrêt.</p> <p>Le redémarrage peut se faire :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ soit automatiquement après disparition des conditions de givre (ie. lorsque le système de détection conclut à l'absence de glace) ; ▪ soit manuellement sur site, au terme d'une inspection visuelle concluant à l'absence de glace sur l'aérogénérateur. <p>Tous les arrêts et redémarrages des éoliennes sont enregistrés et répertoriés dans le système SCADA.</p>		
Indépendance	Oui. Le système se base sur trois procédés de détections, dont deux indépendants. Ces procédés fonctionnent en redondance.		
Temps de réponse	Immédiat (l'alarme est déclenchée dès que le capteur est gelé ou détecte de la neige).		
Efficacité	100 %		
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne		
Maintenance	Vérification des capteurs du système de détection de givre lors des maintenances préventives annuelles puis maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement		

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

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
Mesures de sécurité	Capteurs de température des pièces mécaniques Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement Systèmes de refroidissement indépendants pour le multiplicateur et la génératrice		
Description	Tous les principaux composants sont équipés de capteurs de température. Un certain nombre de seuils sont prédéfinis dans le système de contrôle de l'éolienne. En cas de dépassement de seuils (caractéristiques et prédéfinis sur chaque type d'aérogénérateur et type de composant), des codes d'état associés à des alarmes sont activés et peuvent, le cas échéant, entraîner un ralentissement de la machine (bridage préventif) voire un arrêt de la machine. Tout phénomène anormal est ainsi automatiquement répertorié, tracé via le système SCADA du parc et donne lieu à des analyses et si nécessaire interventions de maintenance sur site afin de corriger les problèmes constatés		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	Vérification à chaque maintenance de la cohérence des valeurs des capteurs dédiés.		
Maintenance	Maintenance préventive semestrielle de la génératrice et de son système de refroidissement, ainsi que du multiplicateur (y compris le système de refroidissement de l'huile du multiplicateur). Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage. Eléments du système de protection contre la survitesse conformes aux normes IEC 61508 (SIL 2) et EN 954-1.		
Description	<p>Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande.</p> <p>Le système de freinage comprend un frein aérodynamique principal et un frein mécanique auxiliaire. Le frein aérodynamique est assuré par trois pales de l'éolienne, chacune équipée de contrôleurs indépendants, de moteurs de calage et d'alimentation de secours, assurant un niveau élevé de redondance.</p> <p>Le freinage aérodynamique devient effectif en pivotant les pales jusqu'à la position dite en drapeau, avec la possibilité d'obtenir différentes vitesses de calage pour éviter les efforts trop importants. Chaque système de calage est complètement indépendant. En cas de perte de réseau, les moteurs de calage sont alimentés par des jeux d'accumulateurs. La force de freinage liée au réglage d'une seule pale est suffisante pour ralentir l'éolienne à une vitesse sécurisée. Le système de freinage est donc trois fois redondant.</p> <p>Le système de freinage du rotor mécanique est installé sur l'arbre rapide. Il est activé en cas de défaillance partielle ou totale des systèmes de sécurité principaux et arrête le rotor conjointement au système de réglage des pales. Il est également utilisé pour immobiliser le rotor une fois celui-ci arrêté par le système de freinage aérodynamique afin de sécuriser les opérations de maintenance. Le système de freinage est conçu pour remplir la fonction « <i>fail safe</i> ». Cela signifie qu'en cas de dysfonctionnement d'un composant du système, l'éolienne est arrêtée en toute sécurité.</p> <p>Des systèmes de coupure au niveau du rotor et au niveau du multiplicateur s'enclenchant en cas de dépassement de seuils de vitesse prédéfinis sont directement intégrés à la chaîne de sécurité de l'aérogénérateur.</p> <p>La chaîne de sécurité de l'aérogénérateur est un circuit à câblage direct dans lequel tous les contacts sont couplés en série pour déclencher un arrêt d'urgence, indépendamment du bon fonctionnement du système de contrôle commande. Lorsque la chaîne de sécurité est interrompue, l'éolienne s'arrête immédiatement. La remise en marche n'est admissible que si la cause qui a entraîné son déclenchement a été éliminée.</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	15 à 60s (arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage adapté). L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011.		
Efficacité	100 %		
Tests	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procédure d'arrêt en cas de survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011.		
Maintenance	Maintenance préventive annuelle de l'éolienne avec notamment contrôle de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir les courts-circuits	N° de la fonction de sécurité	5
Mesures de sécurité	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.		
Description	Les organes et armoires électriques de l'éolienne sont équipés d'organes de coupures et de protection adéquats et correctement dimensionnés. Tout déclenchement ou fonctionnement anormal des composants électriques donne lieu à l'envoi de codes d'état et, le cas échéant, d'alarmes via le système SCADA.		
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	L'éolienne est pourvue d'une installation de protection anti-foudre et satisfait au degré de protection défini dans la norme IEC 61 400-24 (juin 2010). La foudre est capturée par des récepteurs dans les pales du rotor et déviée depuis le rotor vers le mât via des contacts glissants et des éclateurs au niveau du moyeu et du châssis de la nacelle. Le courant de foudre est ainsi évacué dans le sol via des prises de terre de fondation. Parasurtenseurs sur les circuits électriques. Mise à la terre (nacelle/mât, sections de mât, mât/fondation). La valeur de mise à la terre est contrôlée avant la mise en service.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat - dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011. 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	<p>Capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne pouvant permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de la machine</p> <p>Système de détection incendie relié à une alarme transmise à un poste de contrôle</p> <p>Intervention des services de secours</p>		
Description	<p>Le design global d'une éolienne est fait pour minimiser les risques d'incendie :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ utilisation de transformateurs secs dans un compartiment dédié et condamné, en pied de tour ; ▪ transport de l'énergie produite par l'éolienne entre nacelle et pied de mât par gaine –barres, afin d'assurer une protection optimale en cas de court-circuit ; ▪ capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne agissant si nécessaire, en cas de dépassements de seuils, sur le fonctionnement de la machine (bridage voire mise à l'arrêt automatique et envoi d'alarme via le système SCADA). <p>En outre, un système de détection incendie relié à une alarme est mis en œuvre : des détecteurs sont placés au voisinage des principaux composants électriques (transformateur, convertisseur, génératrice) et permettent, en cas de détection :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ d'arrêter l'éolienne ; ▪ d'émettre une alarme sonore afin d'informer les éventuelles équipes de maintenance en cours d'intervention dans l'éolienne ; ▪ d'émettre une alarme informant immédiatement de la survenance de l'incendie, ce qui permet d'informer les services de secours. <p>Il est enfin à noter que si un incendie se déclare en nacelle ou dans le mât, le système de freinage principal de l'éolienne (frein aérodynamique par pitch) reste fonctionnel et permet la mise en arrêt de l'éolienne. Si un incendie se déclare dans le moyeu, il est considéré comme improbable qu'il entraîne simultanément, sans défaillance préalable et sans signe avant-coureur, la mise hors d'état des trois systèmes autonomes et indépendants de pitch. De plus, le système de freinage secondaire d'urgence par le frein mécanique sur l'arbre du rotor ne pourrait être affecté instantanément par un incendie dans le moyeu et dans la nacelle. Par conséquent, quelle que soit la situation, une éolienne à l'intérieur de laquelle un incendie se déclarerait serait arrêtée et mise en position de sécurité, sans redémarrage incontrôlé possible.</p> <p>L'éolienne est également équipée d'extincteurs qui peuvent être utilisés par les personnels d'intervention (cas d'un incendie se produisant en période de maintenance)</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	< 1 minute pour les détecteurs et l'enclenchement de l'alarme L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur. Le temps d'intervention des services de secours est quant à lui dépendant de la zone géographique.		
Efficacité	100 %		
Tests	Vérification de la plausibilité des mesures de température		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle		

	<p>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.</p>
--	--

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	<p>Détecteurs de niveau d'huiles Procédure d'urgence Kit antipollution Bacs de rétention</p>		
Description	<p>Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. Présence de plusieurs bacs collecteurs au niveau des principaux composants. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange. Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; - d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...) ; - de récupérer les déchets absorbés. <p>Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, une société spécialisée récupérera et traitera le gravier souillé via les filières adéquates, puis le remplacera par un nouveau revêtement.</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Dépendant du débit de fuite		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Inspection des niveaux d'huile plusieurs fois par an		

Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	N° de la fonction de sécurité	9
Mesures de sécurité	Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides, joints, etc.) Procédures qualité Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)		
Description	La norme IEC 61 400-1 « <i>Exigence pour la conception des aérogénérateurs</i> » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi la nacelle, le moyeu, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23. Les éoliennes sont équipées de capteurs de vibration, qui entraînent l'arrêt en cas de dépassement des seuils définis. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223 (peinture et revêtement anti-corrosion). Les procédures de certification-type des aérogénérateurs, couplées aux procédures de qualification fournisseurs, contrôles qualité, respect scrupuleux des instructions de montage et maintenance des machines, permettent d'assurer un niveau de sécurité important.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	Déclenchement manuel des capteurs de vibration et vérification de la réponse du système		
Maintenance	Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du système d'orientation des pales, couronne d'orientation de la nacelle, boulons de fixation de la nacelle...) sont vérifiés au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Inspection visuelle du mât et, si besoin, nettoyage lors des maintenances préventives annuelles.		

Fonction de sécurité	Prévenir les erreurs de maintenance	N° de la fonction de sécurité	10
Mesures de sécurité	Procédure maintenance		
Description	Préconisations du manuel de maintenance Formation du personnel		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Recyclage périodique des formations des techniciens de maintenance		

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 vent 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	15 à 60 s suivant le programme de freinage		
Efficacité	100 %.		
Tests	Test des programmes de freinage lors de la mise en service de l'éolienne. Test automatique du système de freinage mécanique et du fonctionnement de chaque système pitch (freinage aérodynamique) lors de la séquence de démarrage de l'éolienne.		
Maintenance	Maintenance préventive du système pitch (les points contrôlés varient suivant le type de maintenance – T1 / T2 / T3 / T4), notamment vérification du câblage et du système de lubrification automatique, graissage des roulements de pitch. Maintenance préventive du frein mécanique (les points contrôlés varient suivant le type de maintenance – T1 / T2 / T3 / T4), notamment inspection visuelle, vérification de l'épaisseur des plaquettes de frein et des capteurs du frein mécanique.		

Fonction de sécurité	Empêcher la perte de contrôle de l'éolienne en cas de défaillance réseau	N° de la fonction de sécurité	12
Mesures de sécurité	Détection des défaillances du réseau électrique Batteries pour chaque système pitch Système d'alimentation sans interruption		
Description	Surveillance du réseau + surveillance des défaillances réseau par le convertisseur principal qui entraîne la déconnexion de l'éolienne du réseau électrique. Commande de l'éolienne et communication externe assurées pendant environ 10 min, permettant l'arrêt automatique de l'éolienne.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	150 ms pour identifier une défaillance réseau 15 à 60 s pour l'arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage		
Efficacité	100%		
Tests	Vérification de la charge des batteries d'alimentation de secours des systèmes pitch lors de la séquence de démarrage de l'éolienne		
Maintenance	Remplacement des batteries du système pitch au cours de la maintenance quinquennal. Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.		

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

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

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

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 :

Tableau 9 : Synthèse de l'analyse préliminaire du risque

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

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

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

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

VIII. ETUDE 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.

VIII.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.

VIII.1.1. Cinétique

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

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

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

VIII.1.2. Intensité

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

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

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

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

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

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

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

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

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

VIII.1.3. Gravité

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

Tableau 10 : Seuils de gravité

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 »

VIII.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 :

Tableau 11 : Seuils de probabilité

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

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

- de la bibliographie relative à l'évaluation des risques pour des éoliennes
- du retour d'expérience français
- des définitions qualitatives de l'arrêté du 29 septembre 2005

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

VIII.2. CARACTERISTIQUES DES SCENARIOS RETENUS

VIII.2.1. Effondrement de l'éolienne

VIII.2.1.1. 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 149,9 m** dans le cas des éoliennes du parc de Coatjégu.

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

VIII.2.1.2. Intensité

Pour le phénomène d’effondrement de l’éolienne, le degré d’exposition correspond au ratio entre la surface projetée au sol des pales et du mât, 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 Coatjégu. R est le rayon du rotor (R = 49,9 m), H la hauteur du moyeu (H = 100 m), L la plus grande largeur du mât (L = 4,05 m), LB la plus grande largeur à la base de la pale (LB = 3,7 m).

Effondrement de l’éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l’éolienne en bout de pale)			
<i>Zone d’impact en m²</i>	<i>Zone d’effet du phénomène étudié en m²</i>	<i>Degré d’exposition du phénomène étudié en %</i>	<i>Intensité</i>
$Z_i = (H) \times L + 3 \times R \times LB / 2$ La zone d’impact Z_i est de 681,95 m²	$Z_e = \pi \times (H+R)^2$ La zone d’effet est de 70 591,6 m²	$d = Z_i / Z_e = 0,97 \%$ (< 1 %)	exposition modérée

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

VIII.2.1.3. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l’arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène d’effondrement, dans le rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l’éolienne :

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

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

Effondrement de l’éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l’éolienne en bout de pale)		
<i>Eolienne</i>	<i>Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)</i>	<i>Gravité</i>
E 1	0,079	Modérée
E 2	0,083	Modérée
E 3	0,075	Modérée
E 4	0,090	Modérée
E 5	0,077	Modérée

VIII.2.1.4. Probabilité

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

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

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

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C ». En effet, il a été recensé seulement 7 événements pour 15 667 années d'expérience², soit une probabilité de $4,47 \times 10^{-4}$ par éolienne et par an.

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 septembre 2005 d'une probabilité « C », à savoir : « *Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité* ».

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

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

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

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

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011 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 ».

² 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.

VIII.2.1.5. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc de Coatjégu, 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)		
<i>Eolienne</i>	<i>Gravité</i>	<i>Niveau de risque</i>
E 1	Modérée	Acceptable
E 2	Modérée	Acceptable
E 3	Modérée	Acceptable
E 4	Modérée	Acceptable
E 5	Modérée	Acceptable

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

VIII.2.2. Chute de glace**VIII.2.2.1. Considérations générales**

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

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

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

VIII.2.2.2. 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 balayé par le rotor autour du mât de l'éolienne en projection verticale. Pour le parc éolien de Coatjégu, **la zone d'effet à donc un rayon de 50,55 mètres**. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

VIII.2.2.3. Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace dans le cas du parc éolien de Coatjégu. Z_i est la zone d'impact, Z_e est la zone d'effet, R est le rayon égal à un demi-

diamètre balayé par le rotor autour du mât de l'éolienne en projection verticale ($R = 50,55 \text{ m}$), SG est la surface du morceau de glace majorant ($SG = 1 \text{ m}^2$).

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)			
<i>Zone d'impact en m²</i>	<i>Zone d'effet du phénomène étudié en m²</i>	<i>Degré d'exposition du phénomène étudié en %</i>	<i>Intensité</i>
$Z_i = SG$ La zone d'impact Z_i est de 1 m^2	$Z_E = \pi \times R^2$ La zone d'effet est de $8027,7 \text{ m}^2$	$d = Z_i/Z_E = 0,0125 \%$ ($< 1 \%$)	exposition modérée

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

VIII.2.2.4. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute de glace, dans la zone de survol de l'éolienne :

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

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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
<i>Eolienne</i>	<i>Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)</i>	<i>Gravité</i>
E 1	0,008	Modérée
E 2	0,008	Modérée
E 3	0,008	Modérée
E 4	0,008	Modérée
E 5	0,008	Modérée

VIII.2.2.5. Probabilité

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

VIII.2.2.6. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc de Coatjégu, 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)		
<i>Eolienne</i>	<i>Gravité</i>	<i>Niveau de risque</i>
E 1	Modérée	Acceptable
E 2	Modérée	Acceptable
E 3	Modérée	Acceptable
E 4	Modérée	Acceptable
E 5	Modérée	Acceptable

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

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

VIII.2.3. Chute d'éléments de l'éolienne

VIII.2.3.1. Zone d'effet

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

Le risque de chute d'élément est cantonné à la zone de survol des pales, c'est-à-dire une zone d'effet correspondant à un disque de rayon égal à un demi-diamètre balayé par le rotor autour du mât de l'éolienne en projection verticale **soit 50,55 m**.

VIII.2.3.2. Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Coatjégu. d est le degré d'exposition, Z_i la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R_{PALE} la longueur d'une pale ($R = 48,7$ m), R_{SURVOL} le rayon égal à un demi-diamètre balayé par le rotor autour du mât de l'éolienne en projection verticale ($R = 50,55$ m) et LB la plus grande largeur à la base de la pale ($LB = 3,7$ m).

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)			
<i>Zone d'impact en m²</i>	<i>Zone d'effet du phénomène étudié en m²</i>	<i>Degré d'exposition du phénomène étudié en %</i>	<i>Intensité</i>
$Z_I = R_{PALE} * LB / 2$ La zone d'impact Z_I est de 90,095 m²	$Z_E = \pi \times R_{SURVOL}^2$ La zone d'effet est de 8027,72 m²	$d = Z_I / Z_E = 1,12 \%$ (> 1 %)	exposition forte

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

VIII.2.3.3. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute de glace, dans la zone de survol de l'éolienne :

- Plus de 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 d'éléments et la gravité associée.

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
<i>Eolienne</i>	<i>Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)</i>	<i>Gravité</i>
E 1	0,008	Sérieuse
E 2	0,008	Sérieuse
E 3	0,008	Sérieuse
E 4	0,008	Sérieuse
E 5	0,008	Sérieuse

VIII.2.3.4. Probabilité

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

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

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 septembre 2005 d'une probabilité « C » : « *Evénement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité* ».

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

VIII.2.3.5. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc de Coatjégu, 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)		
<i>Eolienne</i>	<i>Gravité</i>	<i>Niveau de risque</i>
E 1	Sérieuse	Acceptable
E 2	Sérieuse	Acceptable
E 3	Sérieuse	Acceptable
E 4	Sérieuse	Acceptable
E 5	Sérieuse	Acceptable

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

VIII.2.4. Projection de pales ou de fragment de pales

VIII.2.4.1. Zone d'effet

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

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

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.

VIII.2.4.2. Intensité

Pour le phénomène de projection de pale ou de fragment de pale, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un élément (cas majorant d'une pale entière) et la superficie de la zone d'effet du phénomène (disque de rayon 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 Coatlégu. d est le degré d'exposition, Z_i la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R la longueur de pale ($R = 48,7$ m) et LB la plus grande largeur à la base de la pale ($LB = 3,7$ m).

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
<i>Zone d'impact en m²</i>	<i>Zone d'effet du phénomène étudié en m²</i>	<i>Degré d'exposition du phénomène étudié en %</i>	<i>Intensité</i>
$Z_i = R \cdot LB / 2$ La zone d'impact Z_i est de 90,095 m²	$Z_E = \pi \times 500^2$ La zone d'effet est de 785 398 m²	$d = Z_i / Z_E = 0,012\%$ ($< 1\%$)	exposition modérée

VIII.2.4.3. Gravité

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

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

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

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
<i>Eolienne</i>	<i>Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)</i>	<i>Gravité</i>
E 1	0,937	Modérée
E 2	4,898	Sérieuse
E 3	8,951	Sérieuse
E 4	0,989	Modérée
E 5	0,935	Modérée

VIII.2.4.4. Probabilité

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

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

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

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

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 septembre 2005 d'une probabilité « C » : « *Evénement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité* ».

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

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

- les dispositions de la norme IEC 61 400-1
- les dispositions des normes IEC 61 400-24 et EN 62 305-3 relatives à la foudre
- système de détection des survitesses et un système redondant de freinage
- système de détection des vents forts et un système redondant de freinage et de mise en sécurité des installations
- 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 donc 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* ».

VIII.2.4.5. Acceptabilité

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

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
<i>Eolienne</i>	<i>Gravité</i>	<i>Niveau de risque</i>
E 1	Modérée	Acceptable
E 2	Sérieuse	Acceptable
E 3	Sérieuse	Acceptable
E 4	Modérée	Acceptable
E 5	Modérée	Acceptable

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

VIII.2.5. Projection de glace**VIII.2.5.1. Zone d'effet**

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

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

$$\text{Distance d'effet} = 1,5 \times (\text{hauteur de moyeu} + \text{diamètre de rotor}) = 299,7 \text{ m}$$

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.

VIII.2.5.2. Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du parc éolien de Coatjégu. d est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R est le rayon du rotor ($R = 49,9$ m), H la hauteur au moyeu ($H = 100$ m), et SG la surface majorante d'un morceau de glace (1 m²).

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de 299,7 m)			
<i>Zone d'impact en m²</i>	<i>Zone d'effet du phénomène étudié en m²</i>	<i>Degré d'exposition du phénomène étudié en %</i>	<i>Intensité</i>
$Z_I = SG$ La zone d'impact Z_I est de 1 m²	$Z_E = \pi \times [1,5 \times (H + 2 \times R)]^2$ La zone d'effet est de 282 178 m²	$d = Z_I / Z_E = 3,54 \times 10^{-6}$ (< 1 %)	exposition modérée

VIII.2.5.3. Gravité

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

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

Il a été observé dans la littérature disponible [17] 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 299,7 m autour de l'éolienne)		
<i>Eolienne</i>	<i>Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)</i>	<i>Gravité</i>
E 1	0,327	Modérée
E 2	0,336	Modérée
E 3	0,326	Modérée
E 4	0,371	Modérée
E 5	0,326	Modérée

VIII.2.5.4. Probabilité

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

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

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

VIII.2.5.5. 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 de Coatjégu, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de 299,7 m autour de l'éolienne)			
<i>Eolienne</i>	<i>Gravité</i>	<i>Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage</i>	<i>Niveau de risque</i>
E 1	Modérée	Oui	Acceptable
E 2	Modérée	Oui	Acceptable
E 3	Modérée	Oui	Acceptable
E 4	Modérée	Oui	Acceptable
E 5	Modérée	Oui	Acceptable

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

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

VIII.3.1. Tableau de synthèse des scénarios étudiés

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

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale d'éolienne bout de pale = 149,9 m	Rapide	exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes) ³	Modérée pour toutes les éoliennes
Chute de glace	Zone de survol = disque de 50,55 m de rayon	Rapide	exposition modérée	A	Modérée Pour toutes les éoliennes
Chute d'éléments de l'éolienne	Zone de survol = disque de 50,55 m de rayon	Rapide	exposition forte	C	Sérieuse pour toutes les éoliennes
Projection de pale ou fragment de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes) ⁴	Modérée pour E1 / E4 / E5 Sérieuse pour E2 / E3
Projection de glace	299,7 m autour de l'éolienne	Rapide	exposition modérée	B	Modérée pour toutes les éoliennes

VIII.3.2. Synthèse de l'acceptabilité des risques

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

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.

Tableau 12 : Matrice de criticité du parc éolien de Coatjégu

³ Voir paragraphe VIII.2.1

⁴ Voir paragraphe VIII.2.4

Conséquence	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		E2 à E3 (projection de pale)	E1 à E5 (chute d'éléments)		
Modéré		E1 à E5 (effondrement), E1, E4, E5 (projection de pale)		E1 à E5 (projection de glace)	E1 à E5 (chute de glace)

Légende de la matrice

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

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice ;
- deux accidents (chute de glace, chute d'éléments) 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.

VIII.3.3. Cartographie des risques

Les cartes ci-après présentent la synthèse des risques concernant chaque éolienne. Une carte de synthèse sur l'ensemble du parc est également proposée. Tous les enjeux à protéger et en particulier l'affectation des bâtiments n'ont pas été représentés au-delà de la zone d'effet de 500m.



Parc éolien de Coatjégu Synthèse des risques E1

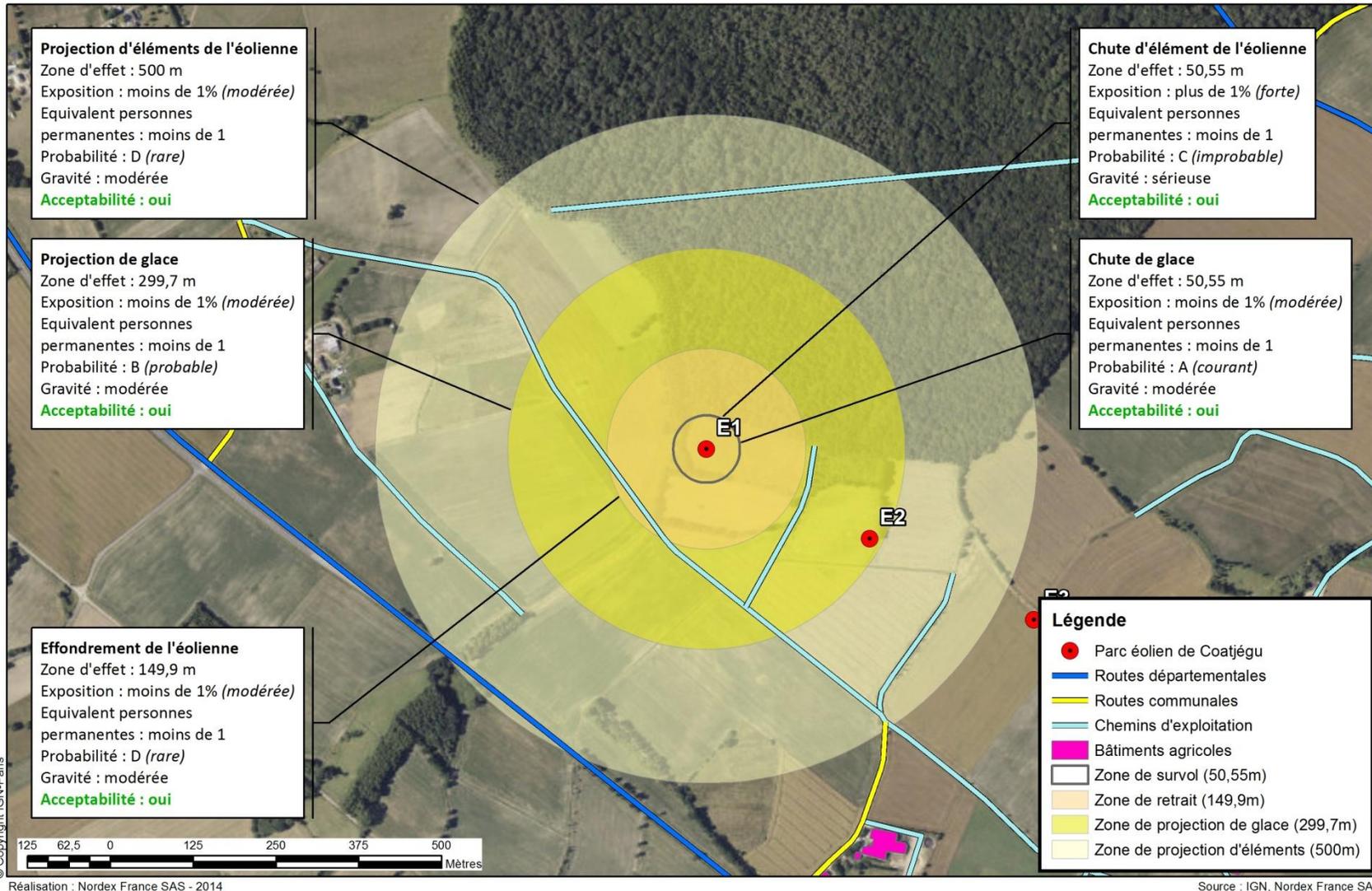
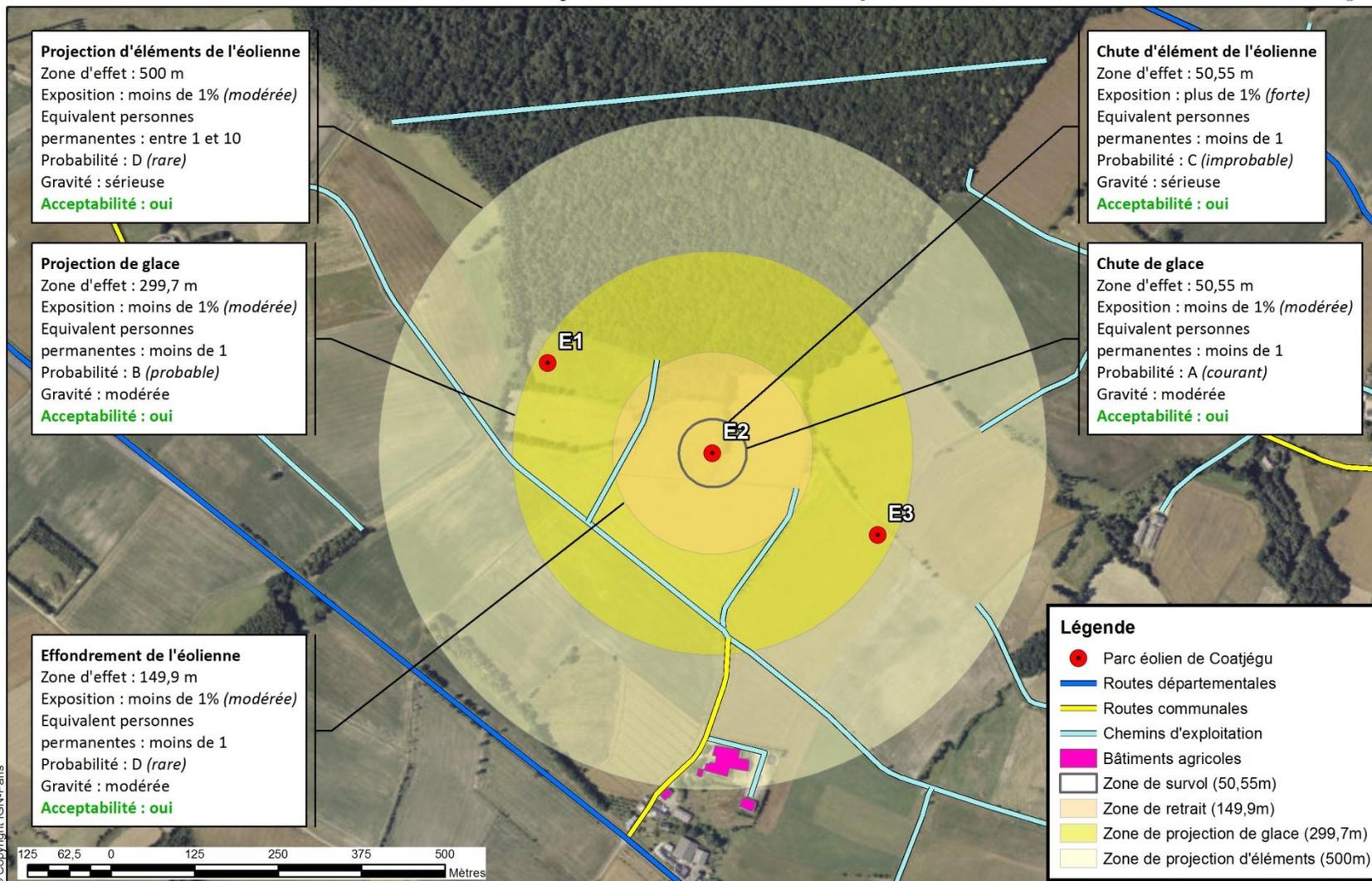


Figure 26 : Synthèse des risques, éolienne E1



Parc éolien de Coatjégu Synthèse des risques E2



© Copyright IGN-Paris



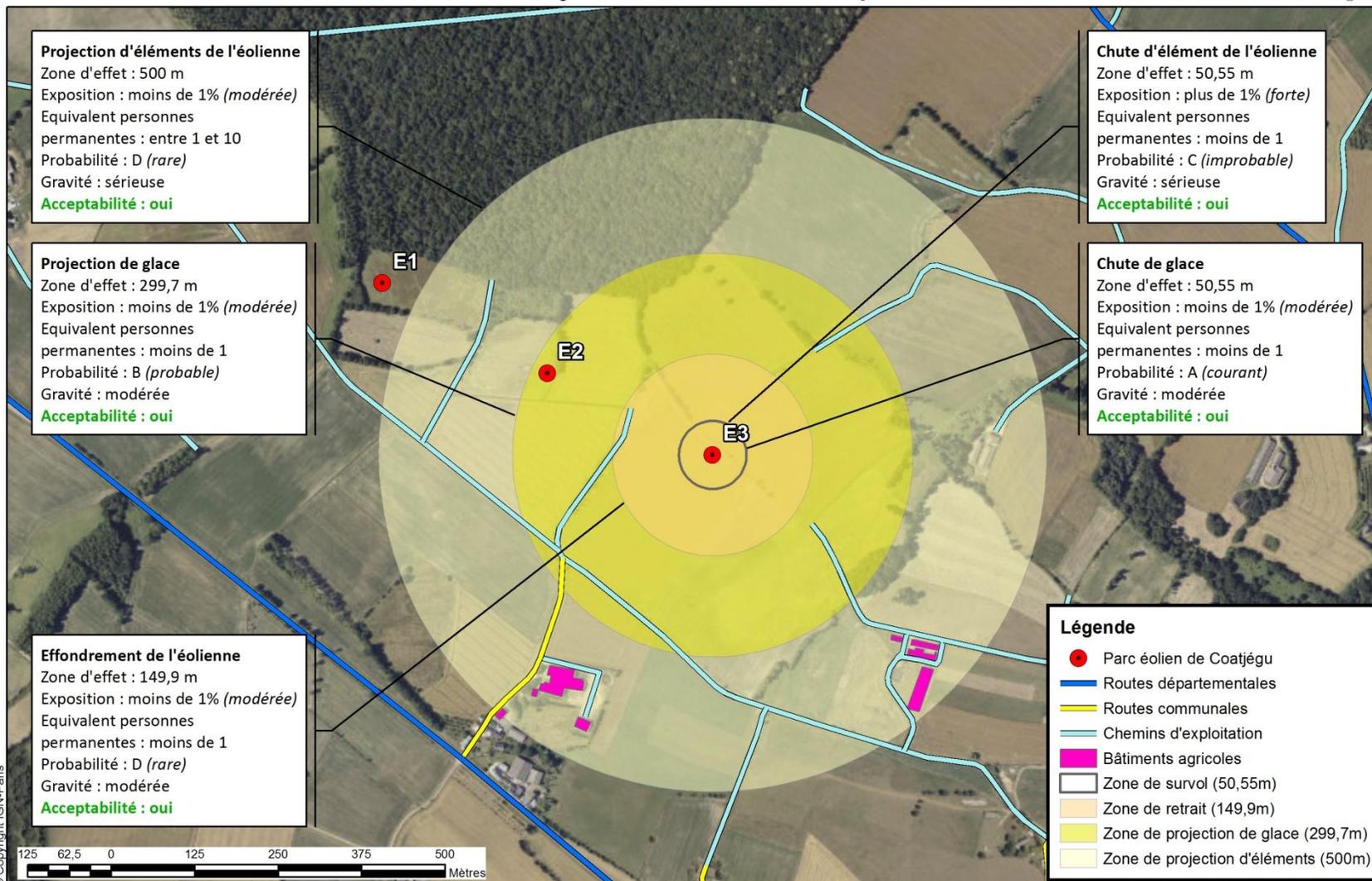
Réalisation : Nordex France SAS - 2014

Source : IGN, Nordex France SAS

Figure 27 : Synthèse des risques, éolienne E2



Parc éolien de Coatjégu Synthèse des risques E3



© Copyright IGN-Paris

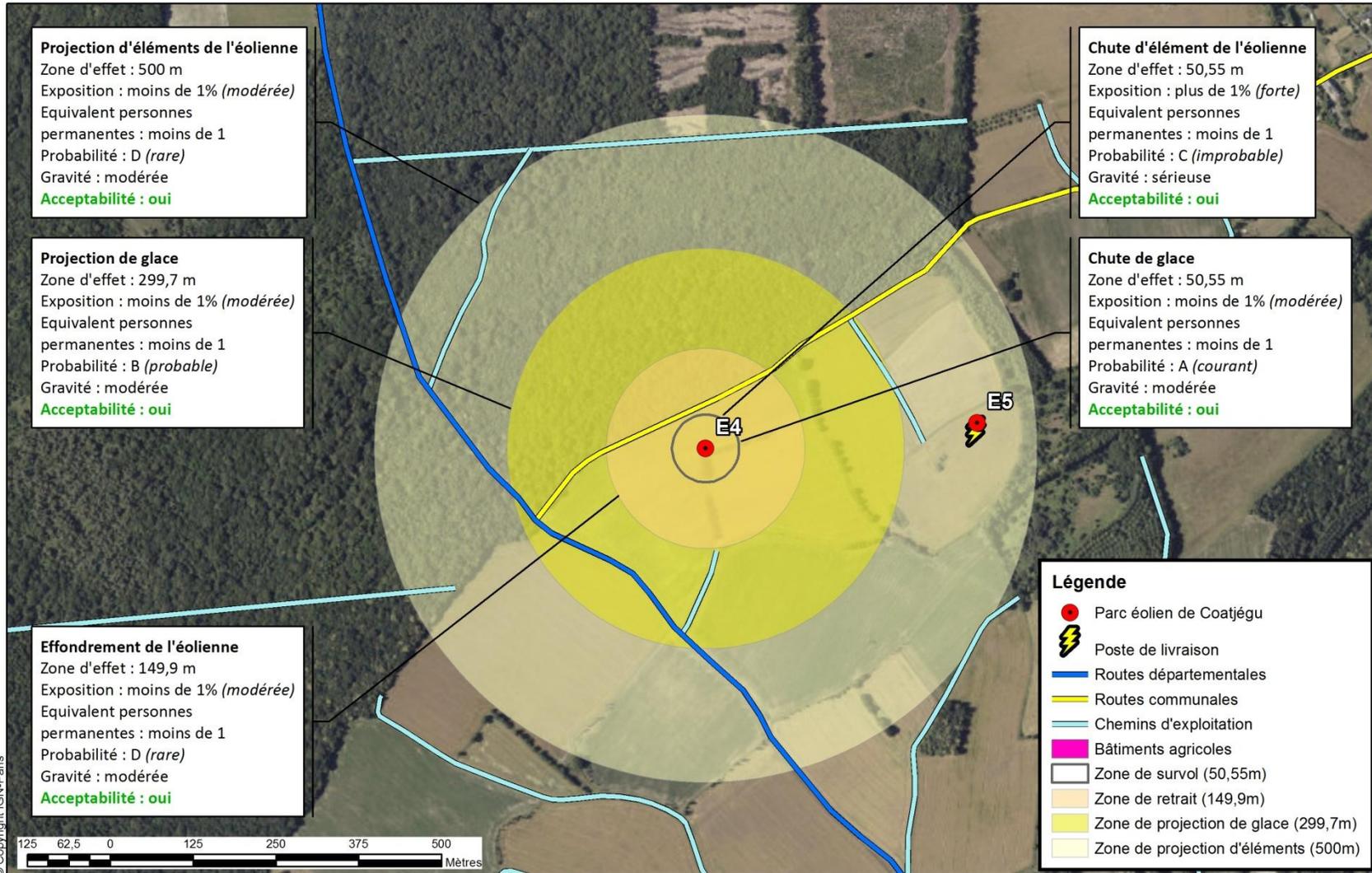
Réalisation : Nordex France SAS - 2014

Source : IGN, Nordex France SAS

Figure 28 : Synthèse des risques, éolienne E3



Parc éolien de Coatjégu Synthèse des risques E4



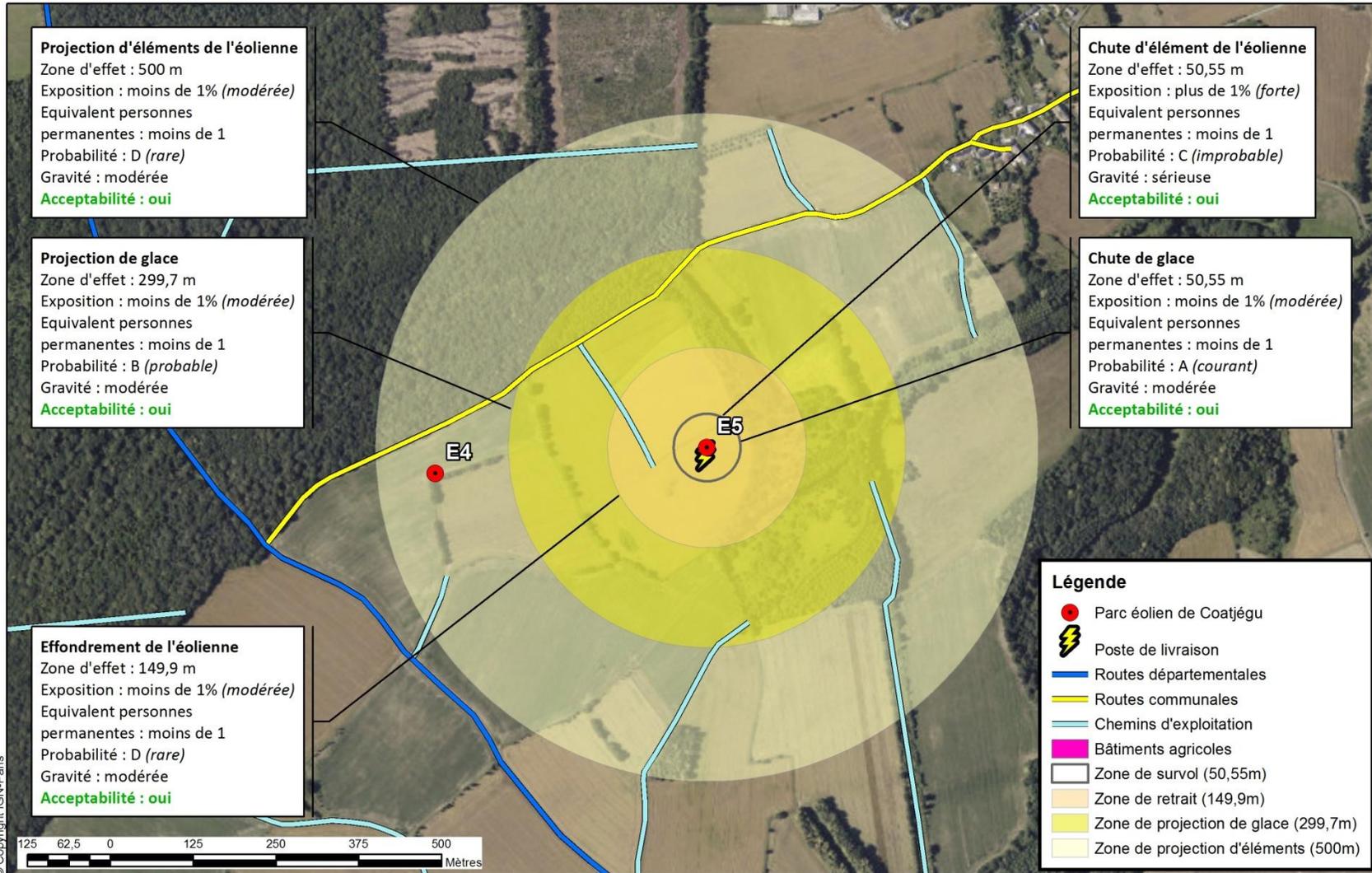
Réalisation : Nordex France SAS - 2014

Source : IGN, Nordex France SAS

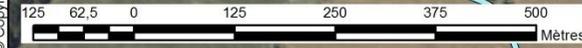
Figure 29 : Synthèse des risques, éolienne E4



Parc éolien de Coatjégu Synthèse des risques E5



© Copyright IGN-Paris



Réalisation : Nordex France SAS - 2014

Source : IGN, Nordex France SAS

Figure 30 : Synthèse des risques, éolienne E5



Parc éolien de Coatlégu Synthèse des zones d'effet

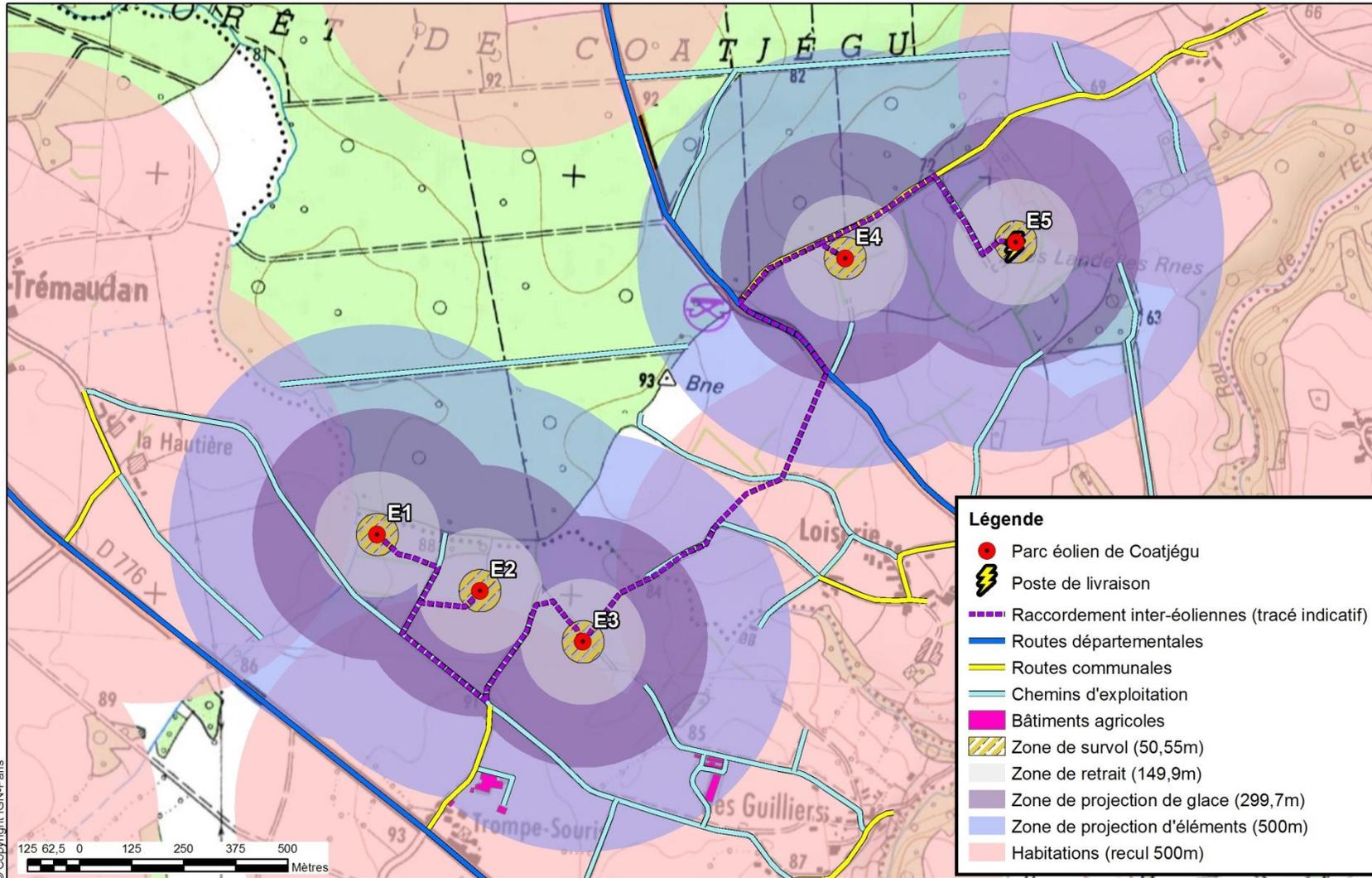


Figure 31 : Synthèse des risques, parc éolien de Coatlégu

IX. CONCLUSION

Il est avant tout important de remarquer que le projet de parc éolien de Coatjégu s'inscrit sur un territoire très largement dominé par des terres agricoles et des espaces naturels très peu fréquentés. Aucune habitation n'est recensée dans un périmètre de 500m. Les routes communales à proximité du parc ne sont que peu fréquentées, elles n'augmentent donc pas le risque d'accident.

Les principaux accidents majeurs identifiés pour le parc de Coatjégu sont ceux retenus par le guide de l'étude de dangers réalisé par l'INERIS/SER/FEE à savoir :

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

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

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

Il n'y a aucune voie de circulation considérée comme structurante dans la zone d'étude du parc éolien de Coatjégu.

Pour chacun des événements étudiés, **la gravité s'avère être selon les cas modérée à sérieuse** et le niveau de risque reste **acceptable dans tous les cas**.

Toutefois il convient de définir des mesures pour maîtriser les risques potentiels. **Les principales mesures de maîtrise des risques** mises en place pour prévenir ou limiter les conséquences de ces accidents majeurs sont :

- Des barrières de prévention avec :
 - ✓ Des balisages des éoliennes ;
 - ✓ Des détecteurs de feux ;
 - ✓ Des détecteurs de survitesse ;
 - ✓ Un système antifoudre ;
 - ✓ Des protections contre la projection de glace ;
 - ✓ Des panneaux d'information du risque de chute de glace ;
 - ✓ Des protections contre l'échauffement des pièces mécaniques ;
 - ✓ Des protections contre les courts-circuits ;
 - ✓ Des protections contre la pollution environnementale.

- Une maintenance préventive et de vérification :
 - ✓ Planning de maintenance préventive ;
 - ✓ Maintenance des installations électriques ;
 - ✓ Vérifications électrique et incendie annuelles par un organisme agréé.

- Un personnel formé ;
- Des machines certifiées ;

L'ensemble des scénarios étudiés conclut à des risques pour lesquels les mesures de sécurité sont jugées suffisantes et la maîtrise des risques concernés est assurée et démontrée par l'exploitant (contrôles appropriés pour éviter tout écart dans le temps).

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

X. RESUME NON TECHNIQUE

Le projet de parc éolien de Coatjégu est implanté dans le département des Côtes d'Armor, à une trentaine de kilomètres de Saint-Brieuc. Le maître d'œuvre du projet est la société NORDEX France SAS, producteur d'énergie renouvelable, dont le siège social est installé à La Plaine Saint-Denis.

Ce parc éolien est constitué de 5 éoliennes numérotées de E1 à E5, totalisant une puissance de 12,5 MW.

Le présent chapitre constitue le résumé non technique de l'étude de dangers relative au projet de Coatjégu.

X.1. PRINCIPES GENERAUX DE REDUCTION DES RISQUES

X.1.1. Rôle central de l'étude de dangers

La connaissance des risques constitue la clé de voûte de l'ensemble des actions de réduction des risques. L'étude de dangers est réalisée sous la responsabilité de l'exploitant. Un même établissement comporte souvent plusieurs installations ; il fait l'objet d'une étude de dangers globale parfois complétée par des études de dangers individuelles (sur les sites industriels complexes). Les informations qui y sont contenues doivent notamment permettre d'identifier les sources de risques, les scénarios d'accident envisageables et leurs effets sur les personnes et l'environnement.

Dans l'étude de dangers, l'identification et l'évaluation des risques doivent être systématiques et exhaustives. L'exploitant doit mener une réflexion approfondie sur la façon de les réduire à la source, de les maîtriser, d'en limiter les effets.

X.1.2. Priorité à la prévention et à la réduction des risques

La recherche d'une réduction du risque à la source est effectuée par l'exploitant dans son étude de dangers avec en perspective plusieurs objectifs inscrits dans une démarche de progrès :

- remplacement des substances dangereuses par des substances moins dangereuses (réflexion sur le procédé de fabrication) ;
- réduction des quantités stockées, optimisation des conditions de stockage et de transfert afin de diminuer les quantités de substances relâchées en cas de fuite accidentelle ;
- réduction de la probabilité d'accident ; cela nécessite des mesures de prévention dont l'efficacité et la disponibilité sont garanties par un système de gestion de la sécurité qui va être mis en place ;
- recherche du meilleur confinement d'une fuite ou d'une explosion éventuelle dont l'efficacité et la disponibilité sont garanties par un système de gestion de la sécurité qui va être mis en place.

X.1.3. Présentation de la société

La société PARC EOLIEN NORDEX XXIV S.A.S. est la société exploitante au capital de 37 000 € qui a été créée spécifiquement pour assurer l'exploitation du parc de Coatjégu.

X.1.4. Situation géographique du site

Le projet de Coatjégu se compose de cinq éoliennes et d'un poste de livraison situés dans le département des Côtes d'Armor (22). Ces cinq aérogénérateurs sont organisés selon deux entités respectivement de trois et de deux éoliennes, globalement orientées selon un axe NO-SE et NNE-SSO. Les éoliennes sont séparées par des distances variant entre 280 m et 1100 m environ.

Les 5 éoliennes sont réparties sur les communes de Plestan et de Plédéliac.

X.2. SITUATION REGLEMENTAIRE

Le projet éolien de Coatjégu est soumis à autorisation par rapport aux rubriques de la nomenclature ICPE modifiées par l'arrêté du 26 août 2011.

Il a été considéré par analogie avec la réglementation ICPE que le périmètre de mesure de bruit égal à 1,2 fois la hauteur totale constitue la limite de propriété fictive du parc éolien (limite fictive puisque foncièrement la limite n'est pas celle-ci).

Le périmètre du rayon d'affichage a été tracé, dans une vision majorante, à partir de cette limite de propriété.

Au total 13 communes sont concernées par le périmètre d'enquête publique dans un rayon de 6km. Il s'agit des communes de BOURSEUL, DOLO, JUGON-LES-LACS, LAMBALLE, MEGRIT, NOYAL, PLEDELIAC, PLENEE-JUGON, PLESTAN, PLEVEN, PLOREC-SUR-ARGUENON, SAINT-RIEUL, TRAMAIN, toutes situées dans le département des Côtes d'Armor.

X.3. PRESENTATION GENERALE DU SITE

Comme précisé précédemment, ces cinq aérogénérateurs sont organisés selon deux lignes respectivement de trois et de deux éoliennes, globalement orientées selon un axe NO-SE et NNE-SSO. On trouve également un poste de livraison à proximité de l'éolienne n°5.

L'accès aux machines se fait par voies privatisées.

X.4. ANALYSE DES RISQUES

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

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

L'analyse préliminaire des risques développe six types de scénarios :

- La formation de glace ;
- Les incendies ;
- Les fuites de fluides ;
- Les chutes d'éléments ;
- Les projections ;
- L'effondrement.

A l'issue de l'analyse préliminaire des risques, certains scénarios sont apparus comme étant de très faibles intensités. Ils ont donc été exclus de l'analyse détaillée.

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.

X.5. DESCRIPTION DES MESURES ET MOYENS DE PREVENTION

X.5.1. Mesures et moyens de prévention relatifs aux scénarios de chutes et de projections de pale

Plusieurs moyens sont mis en place en matière de prévention :

- concernant le défaut de conception et fabrication : Contrôle qualité ;
- concernant le non-respect des instructions de montage et/ou de maintenance : Formation du personnel intervenant, Contrôle qualité (inspections) ;
- concernant les causes externes dues à l'environnement : Mise en place de solutions techniques visant à réduire l'impact. maintenance préventive (inspection régulière des pales, réparations si nécessaires) ;
- présence d'un système d'arrêt automatique de l'éolienne ;
- application des instructions de montage des pales, maintenance préventive (contrôle de serrage) ;
- présence de systèmes de détection incendie ;
- présence de systèmes de protection anti-foudre.

X.5.2. Mesures et moyens de prévention relatifs aux scénarios d'effondrement d'éoliennes

Plusieurs procédures/systèmes sont mis en place en matière de prévention :

- contrôle qualité, respect des spécifications techniques du constructeur de l'éolienne, étude de sol, contrôle technique de construction ;
- formation du personnel intervenant ;
- intégration des risques d'inondation dans le dimensionnement de la fondation ;
- maintenance préventive ;
- utilisation de matériaux non-inflammables pour la construction du mât.

X.5.3. Mesures et moyens d'intervention contre la projection de glace

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

- système de détection de vibration ;
- arrêt préventif en cas de déséquilibre du rotor ;
- arrêt préventif en cas de givrage de l'anémomètre.

X.5.4. Description des moyens de secours

En cas de sinistre, les pompiers seront prévenus par le personnel du site ou les riverains directement par le 18. L'appel arrivera au Centre de Traitement des Appels (CTA), qui est capable de mettre en œuvre les moyens nécessaires en relation avec l'importance du sinistre. Cet appel sera ensuite répercuté sur le Centre de Secours disponible et le plus adapté au type du sinistre.

Une voie d'accès donne aux moyens d'interventions un accès facilité au site du parc éolien. Les moyens d'intervention une fois l'incident ou accident survenu sont des moyens de récupération des fragments : grues, engins, camions.

En cas d'incendie au niveau de la nacelle de l'éolienne, les secours sécuriseront la zone dans l'éventualité d'une chute de la machine mais l'extinction de l'incendie n'est pas envisagée du fait de la hauteur de la nacelle et des faibles quantités de combustible présentes.

X.5.5. Prévision des travaux de maintenance

La maintenance des éoliennes sera assurée par le constructeur NORDEX qui, dans le cadre d'un contrat global de performances, garantit entre autre la fiabilité et la disponibilité de ses machines. La première année d'exploitation est sujette à un plus grand nombre d'interventions qui servent à affiner les paramètres de réglages des éoliennes. Un entretien préventif des aérogénérateurs aura lieu ensuite en moyenne tous les six mois.

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

- type 1 : vérification après 300 à 500 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 semestrielle des équipements mécaniques et hydrauliques ;
- type 3 : vérification annuelle des matériaux (soudures, corrosions), de l'électrotechnique et des éléments de raccordement électrique ;
- type 4 : vérification quinquennale de forte ampleur pouvant inclure le remplacement de pièces ;

Les différents types de maintenance comprennent selon le type considéré (T1, T2, T3, T4) des inspections visuelles, des nettoyages, des tests d'étanchéité, des remplacements de filtres, des mises à niveau ou remplacement des lubrifiants, des vérifications des couples de serrage des différents organes, des tests des différents capteurs et des moyens d'alimentation électrique de secours, des vérifications des dispositifs de protection, des examens approfondis des pales...Le descriptif complet de ces quatre types de maintenance est décrit en détail dans la documentation technique du constructeur.

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, une équipe de techniciens spécialisés est implantée à Chateaulin (29). Cette antenne a pour l'instant en charge l'entretien de tous les parcs éoliens équipés par Nordex en Bretagne. En cas de déviance sur la production ou d'avaries techniques, une équipe de maintenance interviendra sur le site.

X.6. QUANTIFICATION DES PHENOMENES DANGEREUX

L'analyse quantitative des scénarios a pour objet :

- l'attribution d'un niveau de **probabilité** pour chaque scénario étudié,
- l'attribution d'un niveau de **gravité** pour chaque scénario étudié,
- la détermination de la **cinétique** des phénomènes étudiés,
- l'attribution d'un **niveau de risque** pour chaque scénario étudié, défini par un couple niveau de gravité / niveau de probabilité.

L'analyse quantitative doit ainsi permettre la confrontation des scénarios avec les mesures de prévention, de protection et d'intervention, et la définition de mesures compensatoires éventuelles, jusqu'à atteindre un niveau de risque acceptable.

Les échelles de probabilité et de gravité des conséquences des accidents sont basées sur l'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et 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.

X.7. GRILLE DE CRITICITE

Cette étude prend en compte l'ensemble des dispositifs de prévention et de protection actuellement en place pour le parc éolien de Coatlégu. La matrice de criticité réalisée pour cette étude de dangers est présentée ci-après.

Conséquence	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		E2 à E3 (projection de pale)	E1 à E5 (chute d'éléments)		
Modéré		E1 à E5 (effondrement), E1, E4, E5 (projection de pale)		E1 à E5 (projection de glace)	E1 à E5 (chute de glace)

Aucun accident n'est situé en zone de risque « non acceptable ».

Le site du parc éolien de Coatlégu présente donc un niveau de risque acceptable.

X.8. CONCLUSION

Il est avant tout important de remarquer que le projet de parc éolien de Coatlégu s'inscrit sur un territoire très largement dominé par des terres agricoles et des espaces naturels très peu fréquentés. Aucune habitation n'est recensée dans un périmètre de 500m. Les routes communales à proximité du parc ne sont que peu fréquentées, elles n'augmentent donc pas le risque d'accident.

Les principaux accidents majeurs identifiés pour le parc de Coatlégu sont ceux retenus par le guide de l'étude de dangers réalisé par l'INERIS/SER/FEE à savoir :

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

Il n'y a aucune voie de circulation considérée comme structurante dans la zone d'étude du parc éolien de Coatlégu.

Pour chacun des événements étudiés, **la gravité s'avère être selon les cas modérée à sérieuse** et le niveau de risque reste **acceptable dans tous les cas.**

Toutefois il convient de définir des mesures pour maîtriser les risques potentiels. **Les principales mesures de maîtrise des risques** mises en place pour prévenir ou limiter les conséquences de ces accidents majeurs sont :

- Des barrières de prévention avec :
 - ✓ Des balisages des éoliennes ;
 - ✓ Des détecteurs de feux ;
 - ✓ Des détecteurs de survitesse ;
 - ✓ Un système antifoudre ;
 - ✓ Des protections contre la projection de glace ;
 - ✓ Des panneaux d'information du risque de chute de glace ;
 - ✓ Des protections contre l'échauffement des pièces mécaniques ;
 - ✓ Des protections contre les courts-circuits ;
 - ✓ Des protections contre la pollution environnementale.

- Une maintenance préventive et de vérification :
 - ✓ Planning de maintenance préventive ;
 - ✓ Maintenance des installations électriques ;
 - ✓ Vérifications électrique et incendie annuelles par un organisme agréé.

- Un personnel formé ;
- Des machines certifiées ;

L'ensemble des scénarios étudiés conclut à des risques pour lesquels les mesures de sécurité sont jugées suffisantes et la maîtrise des risques concernés est assurée et démontrée par l'exploitant (contrôles appropriés pour éviter tout écart dans le temps).

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

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

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

Dans le cadre de l'étude de dangers des parcs éoliens, cette méthode permet tout d'abord, au stade de la description de l'environnement de l'installation, 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 véhicules/jour) sont déjà comptées dans la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés.

Voies de circulation automobiles

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

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

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

Voies ferroviaires

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

Voies navigables

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

Chemins et voies piétonnes

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

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

Logements

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

Etablissements recevant du public (ERP)

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

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

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

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

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

Zones d'activité

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

ANNEXE 2 – TABLEAU DE L'ACCIDENTOLOGIE FRANÇAISE

Le tableau ci-dessous a été établi par le groupe de travail constitué pour la réalisation du présent guide. Il recense l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne entre 2000 et fin 2011. L'analyse de ces données est présentée dans la partie VI. de l'étude de dangers.

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

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

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

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

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Incendie	21/10/2009	Froidfond - Espinassière	Vendée	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit dans transformateur sec embarqué en nacelle ?	Article de presse (Ouest-France) Communiqué de presse exploitant Site FED	-
Incendie	30/10/2009	Freysenet	Ardèche	2	2005	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit faisant suite à une opération de maintenance (problème sur une armoire électrique)	Base de données ARIA Site FED Article de presse (Le Dauphiné)	-
Maintenance	20/04/2010	Toufflers	Nord	0,15	1993	Non	Décès d'un technicien au cours d'une opération de maintenance	Crise cardiaque	Article de presse (La Voix du Nord 20/04/2010)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	30/05/2010	Port la Nouvelle	Aude	0,2	1991	Non	Effondrement d'une éolienne	Le rotor avait été endommagé par l'effet d'une survitesse. La dernière pale (entière) a pris le vent créant un balourd. Le sommet de la tour a plié et est venu buter contre la base 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	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Maintenance	15/12/2010	Pouillé-les-Côteaux	Loire Atlantique	2,3	2010	Oui	Chute de 3 m d'un technicien de maintenance à l'intérieur de l'éolienne. L'homme de 22 ans a été secouru par le GRIMP de Nantes. Aucune fracture ni blessure grave.		Interne SER-FEE	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
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	-

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

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

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

La numérotation des scénarios ci-dessous reprend celle utilisée dans le tableau de l'analyse préliminaire des risques, avec un regroupement des scénarios par thématique, en fonction des typologies d'événement redoutés centraux identifiés grâce au retour d'expérience par le groupe de travail précédemment cité (« G » pour les scénarios concernant la glace, « I » pour ceux concernant l'incendie, « F » pour ceux concernant les fuites, « C » pour ceux concernant la chute d'éléments de l'éolienne, « P » pour ceux concernant les risques de projection, « E » pour ceux concernant les risques d'effondrement).

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

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

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

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

Scénario G02

La projection de glace depuis une éolienne en mouvement interviendra lors d'éventuels redémarrage de la machine encore « glacée », ou en cas de formation de glace sur le rotor en mouvement simultanément à une défaillance des systèmes de détection de givre et de balourd.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Scénarios relatifs aux risques de fuites (F01 à F02)

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

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

Scénario F01

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

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

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

Deux événements peuvent être aggravants :

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

Scénario F02

Lors d'une maintenance, les opérateurs peuvent accidentellement renverser un bidon d'huile, une bouteille de solvant, un sac de graisse ... Ces produits dangereux pour l'environnement peuvent s'échapper de l'éolienne ou être renversés hors de cette dernière et infiltrer les sols environnants. Plusieurs procédures/actions permettront d'empêcher le renversement et l'écoulement de ces produits :

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

Ce scénario est à adapter en fonction des produits utilisés.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Scénario P01

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

Scénario P02

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

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

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

Scénarios P03

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

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

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

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

Causes externes dues à l'environnement : séisme, ...

ANNEXE 4 – PROBABILITE D’ATTEINTE ET RISQUE INDIVIDUEL

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

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

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

- P_{ERC} = probabilité que l’événement redouté central (défaillance) se produise = probabilité de départ
- $P_{\text{orientation}}$ = probabilité que l’éolienne soit orientée de manière à projeter un élément lors d’une défaillance dans la direction d’un point donné (en fonction des conditions de vent notamment)
- P_{rotation} = probabilité que l’éolienne soit en rotation au moment où l’événement redouté se produit (en fonction de la vitesse du vent notamment)
- P_{atteinte} = probabilité d’atteinte d’un point donné autour de l’éolienne (sachant que l’éolienne est orientée de manière à projeter un élément en direction de ce point et qu’elle est en rotation)
- $P_{\text{présence}}$ = probabilité de présence d’un enjeu donné au point d’impact sachant que l’élément est projeté en ce point donné

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

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

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

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

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

ANNEXE 5 – GLOSSAIRE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Attention aux confusions possibles :

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

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

- Réduction de la probabilité : par amélioration de la prévention, par exemple par ajout ou fiabilisation des mesures de sécurité
- Réduction de l'intensité :
 - par action sur l'élément porteur de danger (ou potentiel de danger), par exemple substitution par une substance moins dangereuse, réduction des vitesses de rotation, etc.
 - réduction des dangers: la réduction de l'intensité peut également être accomplie par des mesures de limitation

La réduction de la probabilité et/ou de l'intensité correspond à une réduction du risque « à la source ».

- Réduction de la vulnérabilité : par éloignement ou protection des éléments vulnérables (par exemple par la maîtrise de l'urbanisation, ou par des plans d'urgence).

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

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

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

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

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

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

Enfin, les acronymes employés dans le présent guide sont listés et explicités ci-dessous :

AEP : Alimentation en Eau Potable

AFP : Agence France Presse

APR : Analyse Préliminaire des Risques

ARIA : base de données Analyse, Recherche et Information sur les Accidents

BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

CE : Conformité Européenne

CEI : Commission Electrotechnique Internationale

CGM : Conseil Général des Mines

CTA : Centre de Traitement des Appels

CWIF : association Caithness Wind Information Forum

DGAC : Direction Générale de l'Aviation Civile

EDD : Etude De Dangers

EN : Standard européen

EPI : Equipement de Protection Individuel

ERC : Evènement Redouté Central

ERDF : Électricité Réseau Distribution France

ERP : Etablissement Recevant du Public

FED : Fédération Environnement Durable

FEE : association France Energie Eolienne

GRIMP : Groupe de Reconnaissances et d'Intervention en Milieu Périlleux

ICPE : Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

IEC : International Electrotechnical Commission

INB : Installation Nucléaire de Base

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

INSEE : Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques

IPPC : Integrated Pollution Prevention and Control

ISO : International Organization for Standardization

kV : kilovolt, unité de mesure de la tension électrique

MW : mégawatts, unité de mesure de puissance électrique

NA : Non Applicable

NF : Norme Française

OACI : Organisation de l'Aviation Civile Internationale

PERC : Probabilité que l'évènement redouté central se produise

PPRT : Plan de Prévention des Risques Technologiques

REX : Retour d'Expérience

RTE : Réseau de transport d'électricité

SAS ou S.A.S. : Société par Actions Simplifiée

SCADA : Supervising Control And Data Acquisition

SE : Société Européenne (*societas europaea*)

SER : Syndicat des Energies Renouvelables

TWh : térawattheure, unité de mesure de l'énergie électrique produite

ANNEXE 6 – BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES UTILISEES**Bibliographie principale :**

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

Principales références réglementaires citées dans l'étude de dangers :

Directive 96/61/CE du Conseil du 24 septembre 1996 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution

Directive 2001/77/CE du Parlement européen et du Conseil du 27 septembre 2001 relative à la promotion de l'électricité produite à partir de sources d'énergie renouvelables sur le marché intérieur de l'électricité

Directive 2004/108/CE du Parlement européen et du Conseil du 15 décembre 2004 relative au rapprochement des législations des États membres concernant la compatibilité électromagnétique et abrogeant la directive 89/336/CEE

Directive 2006/42/CE du Parlement européen et du Conseil du 17 mai 2006 relative aux machines et modifiant la directive 95/16/CE (refonte)

Directive 2009/28/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 avril 2009 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables et modifiant puis abrogeant les directives 2001/77/CE et 2003/30/CE

Loi n° 2000-108 du 10 février 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité

Loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages

Loi n° 2005-781 du 13 juillet 2005 de programme fixant les orientations de la politique énergétique

Loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire

Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement

Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement

Décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français

Décret n° 2011-984 du 23 août 2011 modifiant la nomenclature des installations classées

Arrêté du 10 mai 2000 relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation

Arrêté du 29 septembre 2005 modifiant l'arrêté du 10 mai 2000 modifié relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation

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

Arrêté du 15 décembre 2009 relatif à la programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité

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

Circulaire du 29 septembre 2005 relative aux critères d'appréciation de la démarche de maîtrise des risques d'accidents susceptibles de survenir dans les établissements dits « SEVESO », visés par l'arrêté du 10 mai 2000 modifié

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

Autres références bibliographiques citées :

Atlas de la sismicité de la France, www.sisfrance.net
Base de données aléa retrait-gonflement des argiles du BRGM, www.argiles.fr
Base de données ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents), www.aria.developpement-durable.gouv.fr
Base de données des installations classées, www.installationsclassées.developpement-durable.gouv.fr/
Base de données INSEE, www.insee.fr
Base de données mouvements de terrains du BRGM, www.bdmvt.net
Guide technique - Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens, INERIS/SER/FEE, mai 2012
Portail de la prévention des Risques Majeurs, www.prim.net
Portail d'information géographique Infoterre, BRGM, infoterre.brgm.fr
Réseau français de détection de la foudre, www.meteorage.fr
Site internet de l'association Caithness Wind Information Forum, www.caithnesswindfarms.co.uk
Site internet Infoclimat, www.infoclimat.fr
Zonage sismique de la France, www.planseisme.fr

Email du Conseil Général des Côtes d'Armor relatif au Trafic Moyen Journalier aux abords de la zone d'études :

De : CHARLES Sylvain [<mailto:CHARLESSylvain@cg22.fr>]
Envoyé : vendredi 21 février 2014 14:55
À : Madon, Julien
Objet : RE : Cartes trafic CG22

Bonjour,

Voici les informations :

- D52 entre Plédéliac et St Igneuc : 892 véh/jour dont 8% de PL (...)
- D776 entre Plestan et Jugon : 1007 véh/jour dont 4,7% de PL

Cordialement

Sylvain CHARLES

Accidentologie – Trafic – Actions de sécurité routière

Conseil général des Côtes d'Armor

Direction Infrastructures Déplacements – Service Circulation Sécurité
9 place du Général de Gaulle CS 42371 – 22023 Saint-Brieuc cedex 1
Tel. 02 96 77 32 78