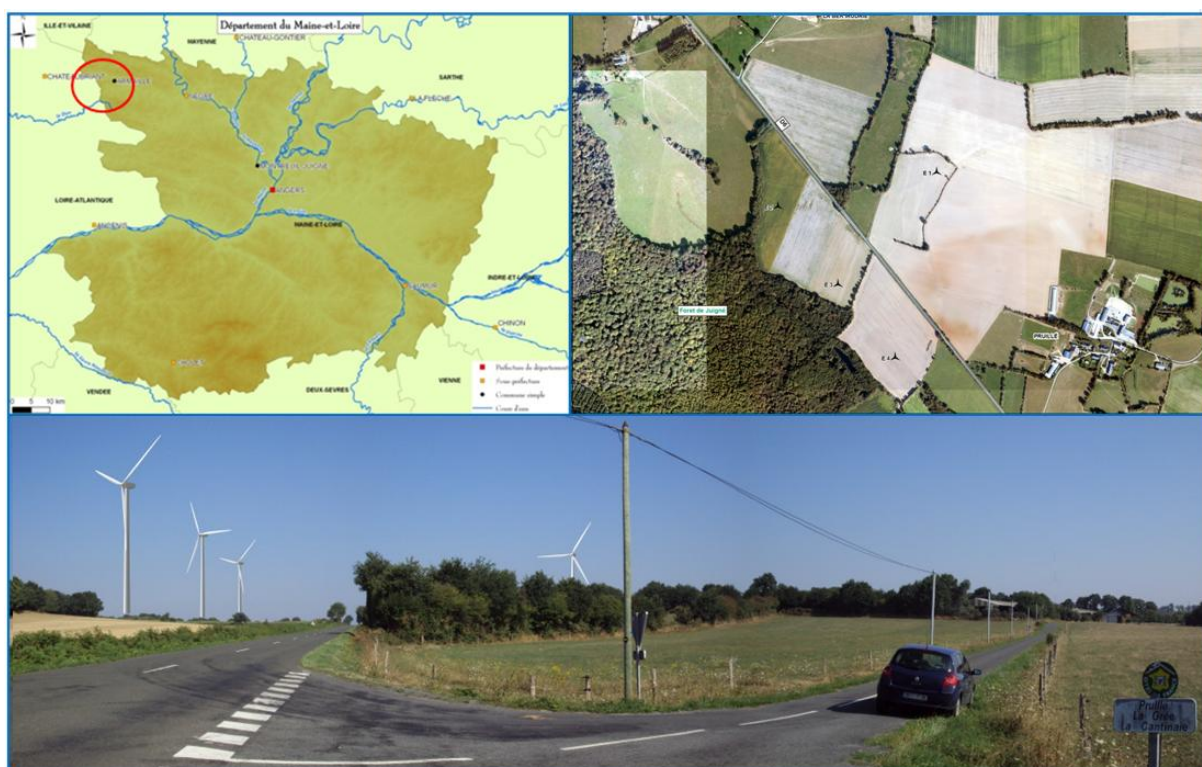


ETUDE DE DANGERS

Projet éolien des Landes de Pruillé Commune d'Armaillé, Maine et Loire (49)



Annexe I de la Demande d'autorisation d'exploiter

Futures Energies Landes de Pruillé

GDF SUEZ

- Décembre 2013 -

SOMMAIRE

I.	PREAMBULE	8
I.1.	Objectif de l'étude de dangers	8
I.2.	Contexte législatif et réglementaire	8
I.3.	Nomenclature des installations classées	9
II.	INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION	10
II.1.	Renseignements administratifs	10
II.2.	Localisation du site	11
II.3.	Définition de l'aire d'étude.....	11
III.	DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION	12
III.1.	Environnement humain	12
III.1.1.	<i>habitations et zones destinées à l'habitation</i>	12
III.1.2.	<i>Etablissements recevant du public (ERP)</i>	14
III.1.3.	<i>Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et installations nucléaires de base</i>	14
III.1.4.	<i>Autres activités</i>	14
III.2.	Environnement naturel	14
III.2.1.	<i>Contexte climatique</i>	14
III.2.2.	<i>Risques naturels</i>	16
III.3.	Environnement matériel.....	18
III.3.1.	<i>Voies de communication</i>	18
III.3.2.	<i>Réseaux publics et privés</i>	20
III.3.3.	<i>Autres ouvrages publics</i>	20
III.4.	Cartographie de synthèse.....	20
IV.	DESCRIPTION DE L'INSTALLATION	22
IV.1.	Caractéristiques de l'installation	22
IV.1.1.	<i>Caractéristiques générales d'un parc éolien</i>	22
IV.1.2.	<i>Activité de l'installation</i>	24
IV.1.3.	<i>Composition de l'installation</i>	24
IV.2.	Fonctionnement de l'installation.....	25
IV.2.1.	<i>Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur</i>	25
IV.2.2.	<i>Sécurité de l'installation</i>	26
IV.2.3.	<i>Opérations de maintenance de l'installation</i>	28
IV.2.4.	<i>Stockage et flux de produits dangereux</i>	28
IV.3.	Fonctionnement des réseaux de l'installation.....	29
IV.3.1.	<i>Raccordement électrique</i>	29
IV.3.2.	<i>Autres réseaux</i>	30
V.	IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION	30
V.1.	Potentils de dangers liés aux produits.....	30

V.2.	Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation	30
V.3.	Réduction des potentiels de dangers à la source	31
V.3.1.	<i>Principales actions préventives</i>	31
V.3.2.	<i>Utilisation des meilleures techniques disponibles</i>	31
VI.	ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE	32
VI.1.	Inventaire des accidents et incidents en France	32
VI.2.	Inventaire des accidents et incidents à l'international.....	33
VI.3.	Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience	35
VI.3.1.	<i>Analyse de l'évolution des accidents en France</i>	35
VI.3.2.	<i>Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents</i>	36
VI.4.	Limites d'utilisation de l'accidentologie	36
VII.	ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES	37
VII.1.	Objectif de l'analyse préliminaire des risques.....	37
VII.2.	Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques.....	37
VII.3.	Recensement des agressions externes potentielles.....	37
VII.3.1.	<i>Agression externes liées aux activités humaines</i>	38
VII.3.2.	<i>Agressions externes liées aux phénomènes naturels</i>	38
VII.4.	Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques (APR)	39
VII.5.	Effets dominos.....	43
VII.6.	Mise en place des mesures de sécurité	43
VII.7.	Conclusion de l'analyse préliminaire des risques	50
VIII.	ETUDE DETAILLEE DES RISQUES	51
VIII.1.	Rappel des définitions	51
VIII.1.1.	<i>Cinétique</i>	51
VIII.1.2.	<i>Intensité</i>	51
VIII.1.3.	<i>Gravité</i>	52
VIII.1.4.	<i>Probabilité</i>	53
VIII.1.5.	<i>Acceptabilité</i>	54
VIII.2.	Caractérisation des scénarios retenus.....	55
VIII.2.1.	<i>Effondrement de l'éolienne</i>	55
VIII.2.2.	<i>Chute de glace</i>	57
VIII.2.3.	<i>Chute d'éléments de l'éolienne</i>	60
VIII.2.4.	<i>Projection de pales ou de fragments de pales</i>	62
VIII.2.5.	<i>Projection de glace</i>	65
VIII.3.	Synthèse de l'étude détaillée des risques	68
VIII.3.1.	<i>Tableaux de synthèse des scénarios étudiés</i>	68
VIII.3.2.	<i>Synthèse de l'acceptabilité des risques</i>	69
VIII.3.3.	<i>Cartographie des risques</i>	70
IX.	CONCLUSION	74

Annexe 1 – Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne	75
<i>Terrains non bâtis.....</i>	<i>75</i>
<i>Voies de circulation</i>	<i>75</i>
<i>Logements.....</i>	<i>76</i>
<i>Etablissements recevant du public (ERP)</i>	<i>76</i>
<i>Zones d'activité</i>	<i>77</i>
Annexe 2 – Tableau de l'accidentologie française	78
Annexe 3 – Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques	85
<i>Scénarios relatifs aux risques liés à la glace (G01 et G02)</i>	<i>85</i>
<i>Scénarios relatifs aux risques d'incendie (I01 à I07)</i>	<i>85</i>
<i>Scénarios relatifs aux risques de fuites (F01 à F02)</i>	<i>86</i>
<i>Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments (C01 à C03).....</i>	<i>87</i>
<i>Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales (P01 à P06)</i>	<i>87</i>
<i>Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E01 à E10).....</i>	<i>88</i>
Annexe 4 – Probabilité d'atteinte et Risque individuel.....	89
Annexe 5 – Glossaire.....	90
Annexe 6 – Bibliographie et références utilisées	94

Liste des Cartes :

Carte 1 : Localisation du site d'implantation.	11
Carte 2 : Carte de situation de l'aire d'étude (périmètre 500m autour des éoliennes).....	12
Carte 3 : Distances avec les villages proches	13
Carte 4 : Risques sismiques en France, carte entrée en vigueur en 2011. (Source BRGM)	16
Carte 5 : Les niveaux kérauniques en France en 2004 (nombre de jours d'orage par an en moyenne).....	17
Carte 6 : Données du trafic jour du réseau routier départemental 49. (Carte extraite du « recensement de la circulation en Maine et Loire – 2010 », Conseil Général du Maine et Loire).....	19
Carte 7 : Synthèse des enjeux humains à proximité du site	21
Carte 8 : Plan de l'installation	25
Carte 9 : localisation des voies d'accès et câblages inter éoliennes	29
Carte 10 : Périmètres d'étude de l'éolienne 1	70
Carte 11 : Périmètres d'étude de l'éolienne 2	71
Carte 12 : Périmètres d'étude de l'éolienne 3	72
Carte 13 : Périmètres d'étude de l'éolienne 4	73

Liste des figures :

Figure 1 : Distribution fréquentielle et énergétique des directions de vent. (07/2010-06/2011)	15
Figure 2 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur	23
Figure 3 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne	24
Figure 4 : Raccordement électrique des installations	29

Introduction

A la suite des accords du protocole de Kyoto et conformément à la directive européenne 2001/77/CE relative à la promotion de l'électricité produite à partir de sources d'énergies renouvelables, la France s'est engagée à augmenter la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité au niveau national.

En particulier, la loi n°2005-781 du 13 juillet 2005 fixant les orientations de la politique énergétique (loi POPE) a donné un cap à suivre pour les décennies suivantes. Cette loi s'était construite autour de quatre grands objectifs à long terme :

- l'indépendance énergétique du pays
- l'assurance de prix compétitifs de l'énergie
- la garantie de la cohésion sociale et territoriale par l'accès de tous à l'énergie
- la préservation de la santé, notamment en luttant contre l'aggravation de l'effet de serre

Les objectifs par filière ont été déclinés dans des arrêtés de programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité (arrêtés PPI). L'éolien représente une des technologies les plus prometteuses pour atteindre les objectifs fixés par la France. Ainsi, l'arrêté du 15 décembre 2009 a fixé des objectifs ambitieux pour l'éolien :

- 10 500 MW terrestres et 1 000 MW en mer en 2012,
- 19 000 MW terrestres et 6 000 MW en mer en 2020.

Dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, les engagements de la France en matière de production d'énergies renouvelables ont été confirmés, précisés et élargis. La loi n°2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement (loi Grenelle I) prévoit que la France porte la part des énergies renouvelables à au moins 23 % de sa consommation d'énergie finale d'ici 2020.

La publication de ces objectifs, dans un contexte mondial favorable au développement des énergies renouvelables, a donc permis un développement technologique spectaculaire. Alors que, dans les années 1980, une éolienne permettait d'alimenter environ 10 personnes en électricité, une éolienne de nouvelle génération fournit en moyenne de l'électricité pour 2 000 personnes hors chauffage (source : SER-FEE, ADEME).

Fin 2012, la puissance installée en France atteignait ainsi 7 450 MW, permettant la production de 14,9 TWh en 2012 (contre 12.1 TWh en 2011, 9.7 TWh en 2010 et 7.9 TWh en 2009). Le taux de couverture de la consommation électrique par la production éolienne a donc atteint 2,8 % sur l'année 2012.

Si les éoliennes ont évolué en taille et en puissance dans le monde entier, leur technologie actuelle est également sensiblement différente des premières éoliennes installées. Les technologies sont aujourd'hui plus sûres et plus fiables grâce à de nombreuses évolutions technologiques telles que :

- les freins manuels (sur le moyeu) de rotor qui ont été remplacés par des systèmes de régulation aérodynamiques (pitch), évitant l'emballement et assurant des vitesses de rotation nominales constantes ;
- l'évolution des matériaux des pales vers des fibres composites ;
- le développement de nouveaux systèmes de communication par fibre optique, satellites, etc. qui ont permis d'améliorer la supervision des sites et la prise de commande à distance ;
- l'installation de nouveaux systèmes de sécurité (détection de glace, vibrations, arrêt automatiques, etc.).

Ainsi, les premiers incidents qui ont été rencontrés (bris de pales, incendies, effondrement, etc.) ont amené les constructeurs à améliorer sans cesse leurs aérogénérateurs. Grâce à ces évolutions, et le retour d'expérience le montre bien, les incidents sont aujourd'hui très rares et concernent en majorité des éoliennes d'ancienne génération.

Il convient aussi de noter qu'à ce jour, en France et dans le monde, aucun accident n'a entraîné la mort d'une personne tierce (promeneurs, riverains) du fait de l'effondrement d'éoliennes, de bris de pales ou de projections de fragment de pales.

La loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (loi Grenelle II) réaffirme tout d'abord la nécessité du développement de la filière éolienne pour atteindre les objectifs nationaux fixés dans les PPI. En particulier, l'article 90 fixe l'objectif d'installer au moins 500 aérogénérateurs par an en France.

Cette loi prévoit d'autre part de soumettre les éoliennes au régime d'autorisation au titre de la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Conformément à cette nouvelle réglementation, les exploitants sont notamment amenés à formaliser leur savoir-faire en matière de maîtrise des risques.

Ces éléments font l'objet de la présente étude de dangers.

I. PREAMBULE

I.1. OBJECTIF DE L'ETUDE DE DANGERS

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par Futures Energies pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du parc éolien des Landes de Pruillé, 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 des Landes de Pruillé. 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 des Landes de Pruillé, 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 fournit un cadre méthodologique pour les évaluations des scénarios d'accident majeurs. Il impose une évaluation des accidents majeurs sur les personnes uniquement et non sur la totalité des enjeux identifiés dans l'article L. 511-1. En cohérence avec cette réglementation et dans le but d'adopter une démarche proportionnée, l'évaluation des accidents majeurs dans l'étude de dangers d'un parc d'aérogénérateurs s'intéressera prioritairement aux dommages sur les personnes. Pour les parcs éoliens, les atteintes à l'environnement, l'impact sur le fonctionnement des radars et les problématiques liées à la circulation aérienne feront l'objet d'une évaluation détaillée au sein de l'étude d'impact.

Ainsi, l'étude de dangers a pour objectif de démontrer la maîtrise du risque par l'exploitant. Elle comporte une analyse des risques qui présente les différents scénarios d'accidents majeurs susceptibles d'intervenir. Ces scénarios sont caractérisés en fonction de leur probabilité d'occurrence, de leur cinétique, de leur intensité et de la gravité des accidents potentiels. Elle justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.

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

- description de l'environnement et du voisinage
- description des installations et de leur fonctionnement
- identification et caractérisation des potentiels de danger
- estimation des conséquences de la concrétisation des dangers
- réduction des potentiels de danger
- enseignements tirés du retour d'expérience (des accidents et incidents représentatifs)
- analyse préliminaire des risques
- étude détaillée de réduction des risques
- quantification et hiérarchisation des différents scénarios en terme de gravité, de probabilité et de cinétique de développement en tenant compte de l'efficacité des mesures de prévention et de protection
- représentation cartographique
- résumé non technique de l'étude des dangers.

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

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 des Landes de Pruillé comprend au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure à 50 mètres (1) : 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

Le projet des Landes de Pruillé est porté à 100% par la SAS Futures Energies Landes de Pruillé, détenue à 100% par Futures Energies SARL.

Constituée d'une équipe pluridisciplinaire de 96 personnes, Futures Energies SARL, détenue à 100% par le groupe GDF SUEZ, met en œuvre ses compétences techniques, environnementales et financières pour concevoir des parcs éoliens en adéquation avec les diverses contraintes et sensibilités des milieux d'implantation. Futures Energies a contribué à la réalisation de 435 MW éoliens aujourd'hui en exploitation en France. Le portefeuille de projets de Futures Energies atteint 131 MW en construction ou autorisés, et plus de 124 MW de projets en instruction, et 680 MW en développement en France via ses différentes antennes (Lorient, Nantes, Caen, Châlons-en-Champagne, Montpellier, Nancy).

FUTURES ENERGIES

Société à responsabilité limitée, au capital social de 30 000 000 euros
Dont le siège social est situé au 2, Place Samuel de Champlain – 92400 COURBEVOIE
Immatriculée au Registre du Commerce et des Sociétés de Nanterre sous le numéro 478 826 753

A noter que le représentant légal est Pierre PARVEX (Gérant de la société).

Afin de permettre l'identification et le développement du projet des Landes de Pruillé, Futures Energies a créé une structure pétitionnaire de la demande de permis de construire : la SAS Futures Energies Landes de Pruillé.

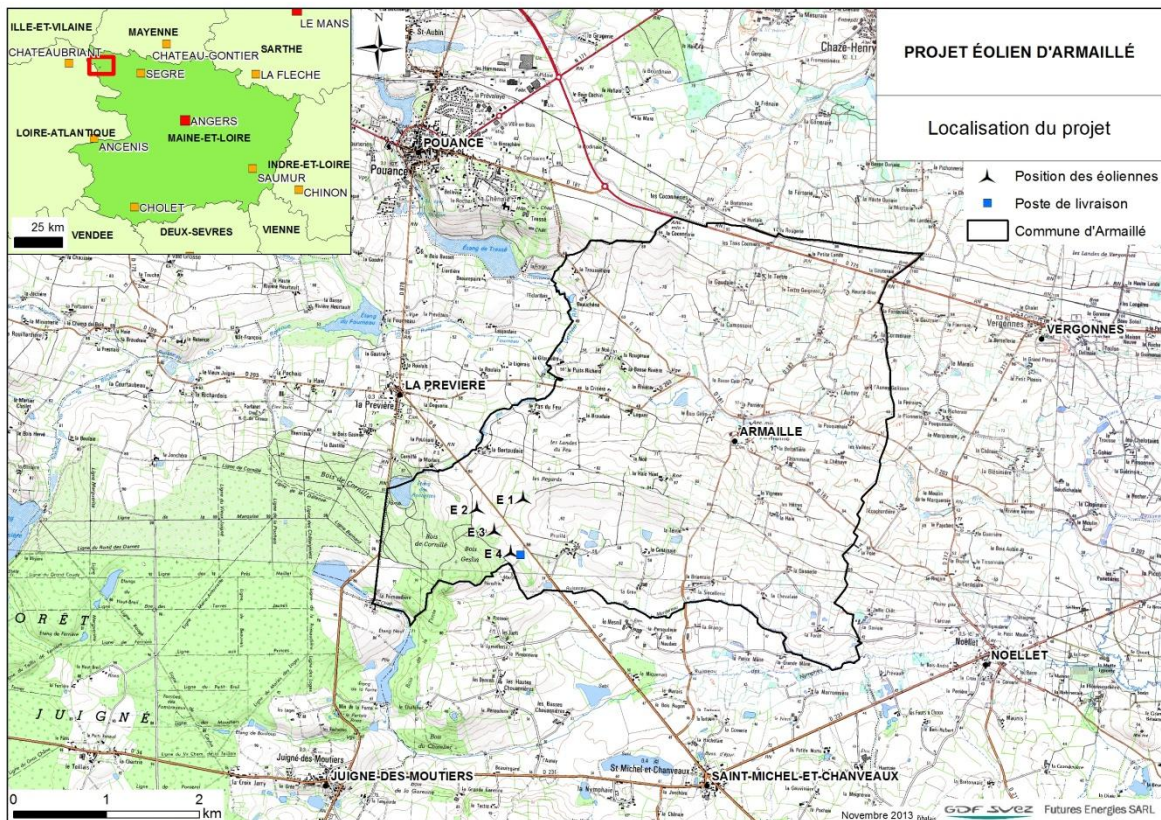
Il s'agit d'une société par actions simplifiée à associé unique et capital variable de 40 000 euros, elle est inscrite au RCS de Nanterre sous le SIRET : 793 040 296 00014. Son adresse de correspondance est : Futures Energies Landes de Pruillé, 2 place Samuel de Champlain 92400 Courbevoie.

L'équipe du projet :

<i>Nom Prénom</i>	<i>Société</i>	<i>Fonction</i>	<i>Dernier diplôme obtenu</i>
<i>Agathe DU PLESSIS</i>	<i>FUTURES ENERGIES</i>	<i>Juriste</i>	<i>Master droit privé-droit notarial Université de Rennes 1</i>
<i>Claire LEBAS</i>	<i>FUTURES ENERGIES</i>	<i>Responsable antenne ouest</i>	<i>Mastère spécialisé « Evaluation environnementale et conduite de projet » Ecole supérieure d'Agriculture d'Angers</i>
<i>Vianney DIGUERHER</i>	<i>FUTURES ENERGIES</i>	<i>Chef de projets</i>	<i>Magistère Matériaux et Entreprises Université Rennes 1</i>
<i>Hélène DERSOIR</i>	<i>FUTURES ENERGIES</i>	<i>Chef de projets</i>	<i>Ingénieur en Agriculture, Ecole Supérieur d'Agriculture d'Angers</i>
<i>Nicolas POSTIC</i>	<i>FUTURES ENERGIES</i>	<i>Chef de projets</i>	<i>Master Environmental Policy Sciences Po Paris</i>
<i>Alexandre CHAILLOUX</i>	<i>FUTURES ENERGIES</i>	<i>Cartographe SIGiste</i>	<i>DESS en Géomatique Université d'Orléans</i>
<i>Gwenael SEVENO</i>	<i>FUTURES ENERGIES</i>	<i>Chef d'agence ouest</i>	<i>Ingénieur généraliste-EI CESI EI CESI Saint-Nazaire</i>

II.2. LOCALISATION DU SITE

Le parc éolien des Landes de Pruillé, composé de 4 aérogénérateurs et un poste de livraison, est localisé sur la commune d'Armaillé, dans le département du Maine et Loire (49), en région Pays de la Loire.



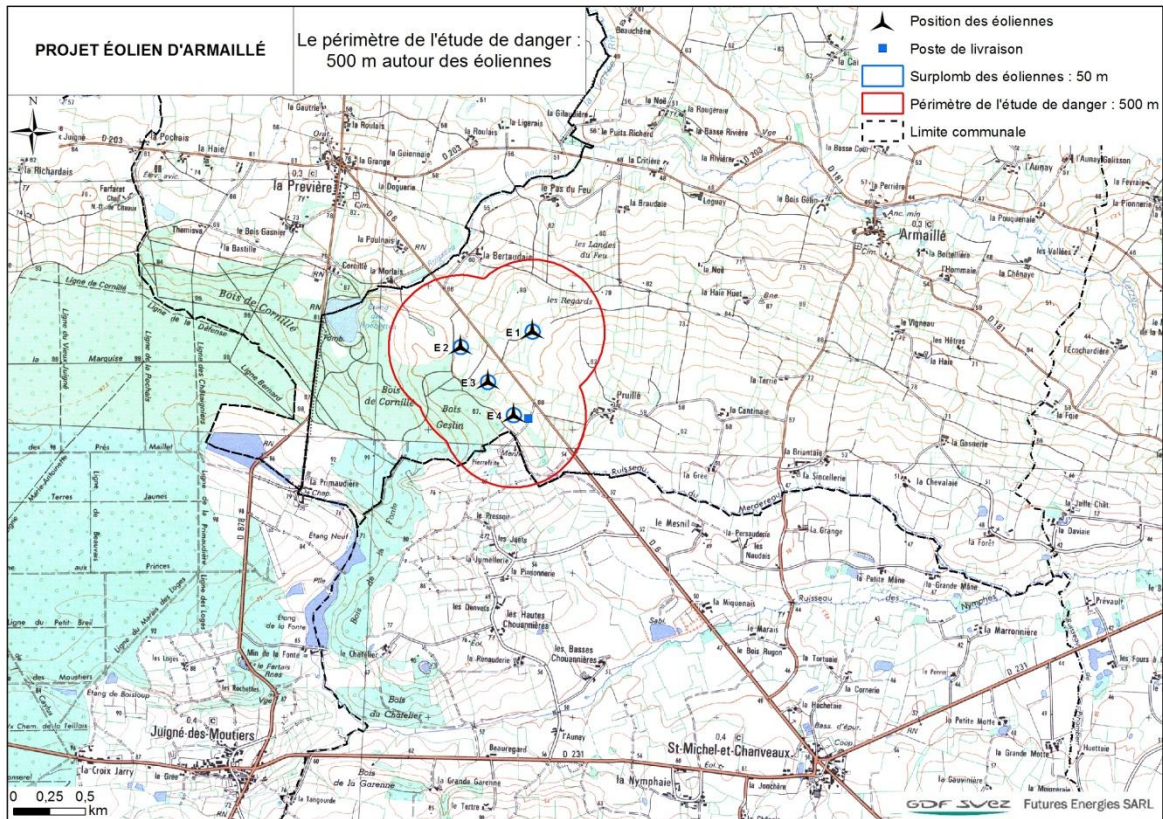
Carte 1 : Localisation du site d'implantation.

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.



Carte 2 : Carte de situation de l'aire d'étude (périmètre 500m autour des éoliennes)

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

III.1.1. HABITATIONS ET ZONES DESTINEES A L'HABITATION

- *Les habitations et zones destinées à l'habitation les plus proches*

La zone d'implantation potentielle a été définie à 500 mètres des zones destinées à l'habitation. Les habitations ou hameaux les plus proches du projet de parc éolien sont : La Bretauiaie, la Morlaie, Le Pas du Feu, La Braudaie, la Haie Huet, Pruillet et le Pressoir.

Le tableau ci après indique la distance entre les éoliennes et chacune de ces habitations :

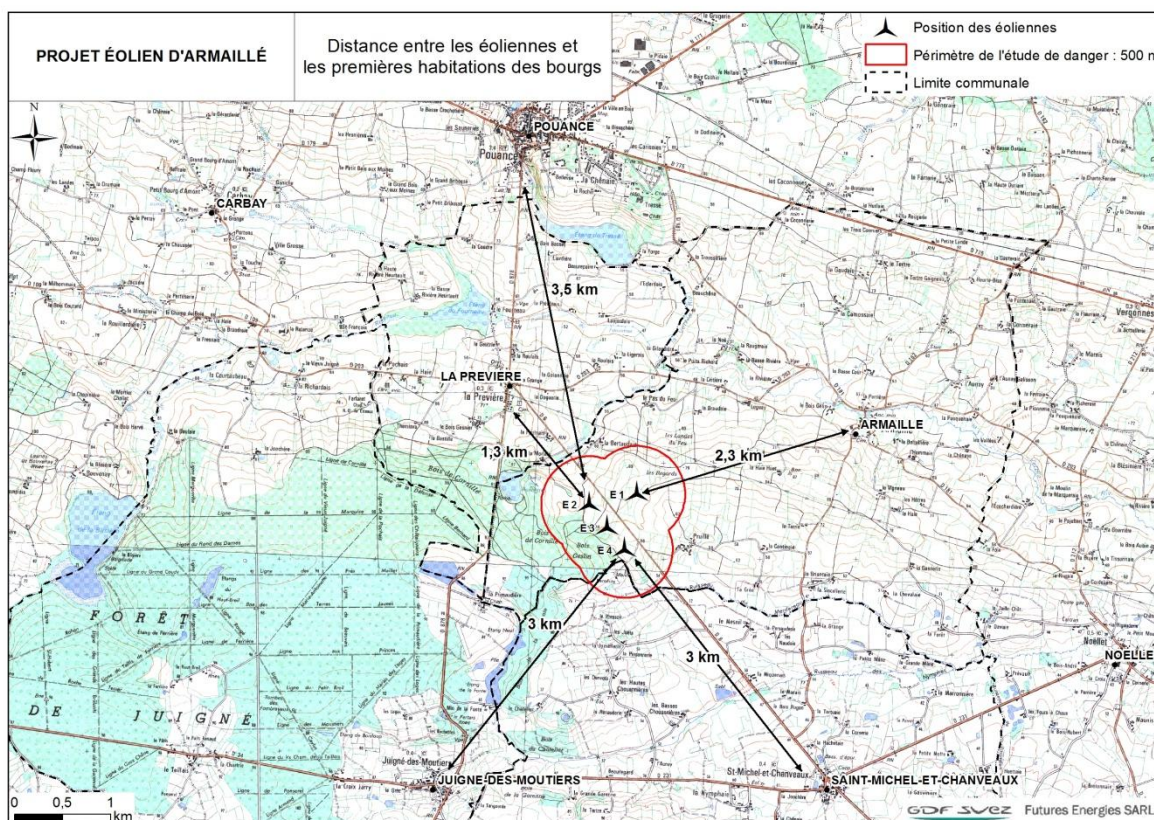
	Distance aux habitations (mètres)			
	Eolienne 1	Eolienne 2	Eolienne 3	Eolienne 4
La Morlais	1025	650	955	1245
La Bertaudaie	625	595	860	1135
Le Pas du Feu	895	1195	1325	1490
La Braudaie	1029	1450	1495	1595
La Haie Huet	1480	1990	1865	1790
Pruillé	750	1080	820	610
La Primaudière	1885	1430	1435	1500
Le Pressoir	1365	1225	973	768

Distances entre les éoliennes et les habitations les plus proches

Le tableau ci après indique le nombre d'habitants dans les communes les plus proches du parc éolien :

Commune	Nombre d'habitants	Distance au parc éolien
Armaille	287	2.3 km
La Prévière	256	1.3 km
Saint Michel et Chanveaux	361	3 km
Pouancé	3162	3.5 km

Nombre d'habitants et distances au parc éolien par commune (Sources INSEE, 2008.).



Carte 3 : Distances avec les villages proches

III.1.2. ETABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC (ERP)

Dans la zone d'étude définie au point II.3 et illustrée par cartographie, il apparaît qu'aucun établissement recevant du public (ERP) n'est à recenser.

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

La consultation de la liste de la DREAL des établissements classés SEVESO et autres installations à risques (stockages d'engrais, ammoniac, silos et tours aéroréfrigérantes) indique qu'il n'existe aucune installation de ce type dans les limites de la zone d'étude.

Sur la commune d'Armaillé, une installation classée est soumise à autorisation. Celle-ci a été délivrée le 25 Janvier 2011 par arrêté préfectoral au bénéfice du GAEC des Sables de Beauchêne, portant sur l'exploitation d'un élevage porcin au lieu-dit « La Trousselière ». Cette installation classée est située à plus de 2 km du site d'implantation.

III.1.4. AUTRES ACTIVITES

- Activité agricole

Il existe aux alentours du projet éolien plusieurs exploitations agricoles ayant des activités variées. Dans la zone d'étude, la majorité des parcelles sont destinées aux cultures. Cependant, des pâtures et bâtiments d'élevage sont également à recenser.

Les bâtiments recensés dans l'aire d'étude sont :

- un hangar agricole, situé à 470 mètres à l'est de l'éolienne E4, la plus proche, qui sera considéré pour l'étude comme bâtiment d'activité agricole
- un autre situé à 300 m au sud-ouest de E4, la plus proche, qui ne recèle cependant aucune activité, et sera donc considéré comme simple terrain peu fréquenté.

A noter qu'un bâtiment de poules pondeuses se trouve en bordure de l'aire d'étude, à plus de 500 m (510 m) de l'éolienne E4. Il ne sera donc pas considéré pour l'étude.

- Activité touristique

Le gîte dit « Gîte de Pruillé » est respectivement distant de 690 et 790 mètres des éoliennes E4 et E1 (les plus proches).

Un chemin de randonnée traverse l'aire d'étude. L'éolienne la plus proche de ce chemin se trouve à 50 mètres de celui-ci, très peu fréquenté. Ce chemin permet l'accès au menhir de Pierre Frite (distant de 185 mètres de l'éolienne 4).

III.2. ENVIRONNEMENT NATUREL

III.2.1. CONTEXTE CLIMATIQUE

Les données météo ci-après proviennent :

- de la station météo France la plus proche : Beaucouzé (à 45km au sud-Est d'Armaillé) pour les données de températures et de précipitations
- du mât de mesure de vent de 100 mètres installé sur le site pendant 12 mois.

	jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Températures Moyennes Mensuelles (en °C)	5.2	5.9	8.2	10.2	14	17	19.4	19.4	16.6	12.6	8.0	6.0
Températures maximales (Moyenne en °C)	8.0	9.4	12.5	14.9	18.8	22.2	24.9	25.1	21.8	16.8	11.4	8.8
Températures minimales (Moyenne en °C)	2.4	2.5	4	5.5	9.2	11.8	13.9	13.8	11.3	8.4	4.6	3.3
	jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Nombre de jours de brouillards	4.8	4.1	2.6	2.0	1.5	1.7	1.4	2.0	3.3	5.5	6.1	5.5
Nombre de jours avec orage	0.2	0.1	0.6	1.4	3.0	2.3	2.8	2.8	1.4	0.9	0.3	0.3
Nombre de jours avec Neige	1.7	2.0	0.7	0.3	0.1	0.3	0.1
Nombre de jours avec grêle	0.2	0.1	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2	0.0	.	0.1	0.1	0
Nombre de jours avec une des températures égale ou inférieures à 0°C	9.3	8.4	4.5	1.6	-	-	-	-	-	0.4	5.3	8.2
	jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Durée d'insolation (en heure)	65.7	90.1	129.1	150.6	187.8	206.4	223.2	230.1	164.5	112.3	75.4	55.0
Précipitations moyennes (mm)	68.0	58.6	50.2	51.4	59.2	44.4	48.4	38.6	55.2	61.4	62.8	69.3

Données météorologiques. Source: station météo France de Beaucauzé.

- Vent (Fréquence et direction des vents – rose des vents)

Sur la rose des vents ci-dessous, nous pouvons observer la prédominance des vents du sud-ouest et du nord-est (étude vent interne à Futures Energies).

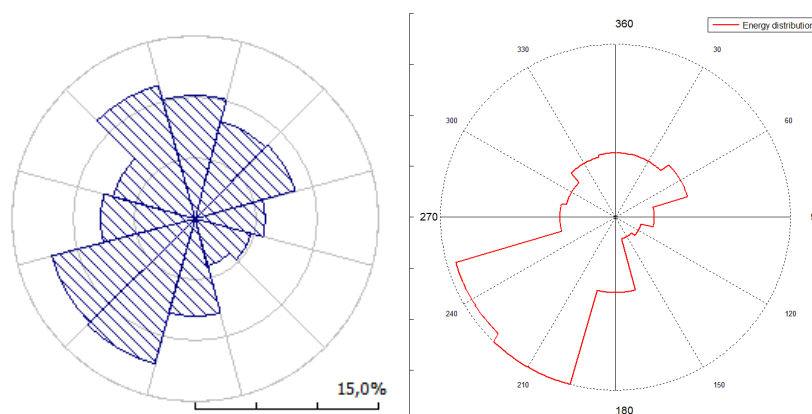


Figure 1 : Distribution fréquentielle et énergétique des directions de vent. (07/2010-06/2011)

III.2.2. RISQUES NATURELS

Les risques naturels sont susceptibles de constituer des agresseurs potentiels pour les éoliennes et seront donc pris en compte dans l'analyse préliminaire des risques.

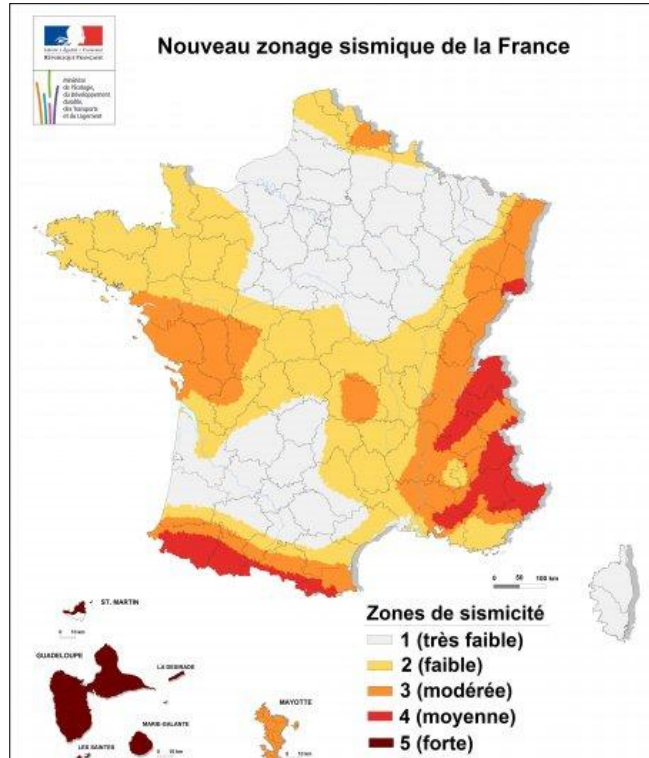
III.2.2.1. ACTIVITE SISMIQUE

Afin de prévoir le risque sismique et de pouvoir appliquer les règles de construction parasismiques, un zonage sismique de la France a été réalisé. Ce zonage classe les zones sur une échelle de 5 niveaux :

- Niveau très faible
- Niveau faible
- Niveau modéré
- Niveau moyen
- Niveau fort

La carte ci-après présente l'état du risque sismique en France. La zone d'étude est classée en zone de sismicité 2, c'est-à-dire que le risque sismique est faible sans pour autant être nul.

Carte 4 : Risques sismiques en France, carte entrée en vigueur en 2011. (Source BRGM)



III.2.2.2. MOUVEMENTS DE TERRAIN

L'arrêté préfectoral du 29/12/99 porte connaissance d'un mouvement de terrain sur la commune d'Armaillé suite à une inondation et une coulée de boue (du 25/12/99 au 29/12/99). Il n'existe pas de description précise de cet événement, toutefois, au regard de la localisation de la zone d'implantation située dans un des endroits les plus hauts de la commune, il paraît très peu probable que le site soit sujet à ce type de catastrophes naturelles qui était ici liée à une inondation.

Il n'y a pas de trace d'existence de cavités souterraines ou de risques miniers sur la zone d'étude. Selon les données géoscientifiques du BRGM et le courrier de la DIRE en date du 24 juillet 2008, il existe une ancienne activité minière nommée « Chazé Henry » au Nord de la commune d'Armaillé.

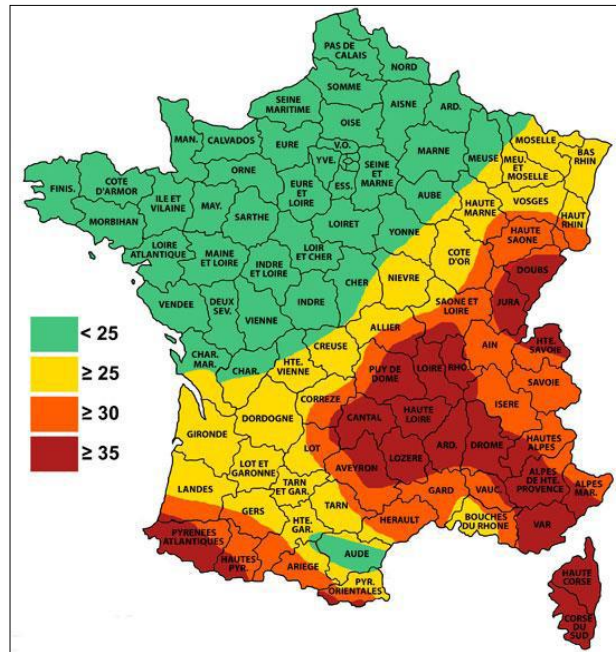
III.2.2.3. RISQUES DE Foudre

Le niveau kéraunique (nombre moyen de jours où le tonnerre est entendu) dans le département du Maine-et-Loire est inférieur à 25 (source : Clear Connect Electronics) - Cf Carte 5 -.

Le nombre moyen de jour d'orage mensuel sur le site varie d'un minimum de 0.1 pour février à un maximum de 3 pour Mai. (Source station météo France de Beaucozé).

La notion de densité de coup de foudre est moins rudimentaire. En France, cette densité serait de 1 à 3 par km² et par an.

On évalue que 6 % des arrêts de fonctionnement d'une éolienne ont pour origine des orages. Nous verrons quelles installations techniques équipent les éoliennes pour éviter les dommages dus à l'environnement.



Carte 5 : Les niveaux kérauniques en France en 2004 (nombre de jours d'orage par an en moyenne).

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jui	Jui	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec
Nombre de jours avec orage	0.2	0.1	0.6	1.4	3.0	2.3	2.8	2.8	1.4	0.9	0.3	0.3

Nombre de jour d'orages moyens mensuel. Source : station météo France de Beaucauzé

III.2.2.4. TEMPETES

Le Maine et Loire n'est pas répertorié zone sensible aux tempêtes, toutefois comme l'ensemble du territoire français, le département a pu vivre à différentes reprises des vents forts à l'origine d'accidents ou d'incidents (coupure électricité, chutes d'arbres, etc ...).

Chaque année au moins une tempête ou évènement de vents forts est recensée sur le territoire français.

Nous noterons la tempête de décembre 1999 comme principal évènement de tempête, dont la station Météo France de La Noe Blanche (35) située à environ 45 km du site d'implantation, nous permet de disposer d'un historique conséquent.

Ainsi, les données disponibles via la station de la Noe Blanche précisent comme valeurs maximales, un enregistrement de 24 m/s sur 10 min le 26/12/1999 à 4h UTC.

Du fait de l'éloignement aux stations de Météo France, il est donc très difficile d'évaluer la vitesse qui aurait été recensée sur le site d'implantation d'éoliennes lors de la tempête de 1999.

III.2.2.5. INCENDIES

Aucun incendie n'a été répertorié.

III.2.2.6. INONDATIONS ET COULEES DE BOUES

Plusieurs ruisseaux sinuent le territoire de la commune d'Armaillé. Le cours d'eau principal est la rivière de la Verzée. Elle se situe à 1580 mètres de l'éolienne la plus proche, E1.

La commune d'Armaillé est classée dans l'AZI (Atlas Zone Inondables) affluents de l'Oudon mais n'est pas concernée par le Plan de Prévention des Risques d'Inondation des affluents de l'Oudon.

Trois arrêtés préfectoraux portent connaissance de catastrophes naturelles relatives à des inondations et des coulées de boues :

- Arrêté préfectoral du 11/01/1983
- Arrêté préfectoral du 29/12/1999
- Arrêté préfectoral du 25/06/2003

Au regard de la localisation de la zone d’implantation, située dans les endroits les plus hauts de la commune, (à une altitude de plus de 60 mètres, distante de plus d’un kilomètre de la Verzée qui est à une altitude de moins de 50 mètres sur la commune), il paraît très peu probable que le site soit sujet à ce type de catastrophes naturelles.

III.3. ENVIRONNEMENT MATERIEL

III.3.1. VOIES DE COMMUNICATION

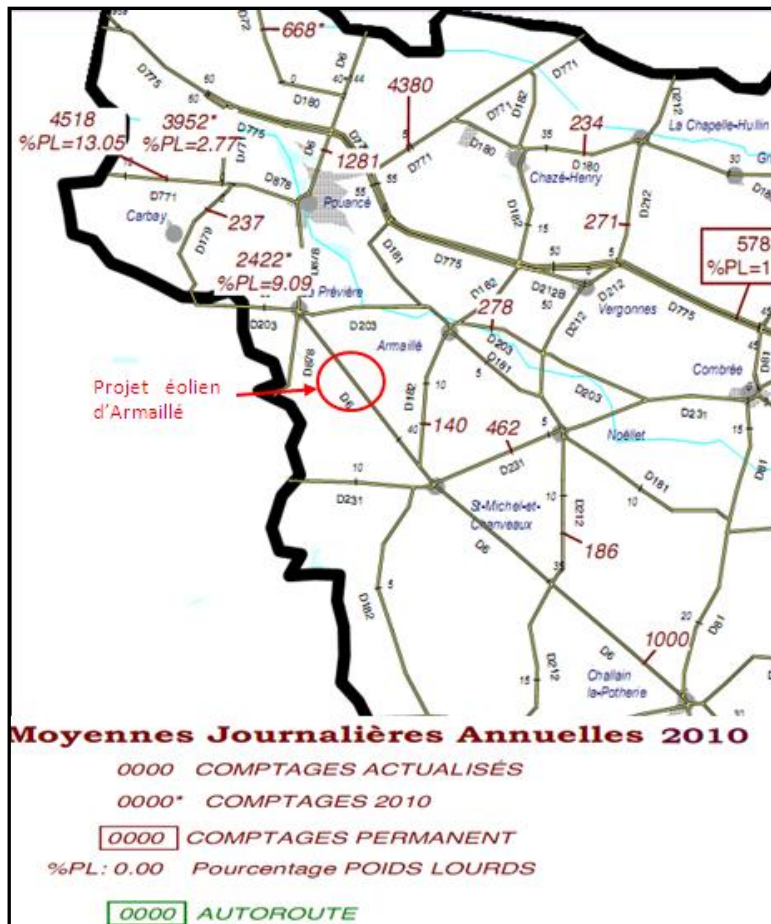
III.3.1.1. LE RESEAU ROUTIER

Plusieurs voies de communication sont présentes dans l’aire d’étude :

- Le site éolien est traversé par une route départementale la RD 6 dont le trafic journalier est estimé à 1000 passages (cf. Carte 6).
- Des routes communales, utilisées par les riverains et exploitants agricoles.
- Chemins communaux, principalement utilisés par les exploitants agricoles. Un des chemins est ponctuellement emprunté par des promeneurs pour se rendre au menhir de Pierre Frite.

Distances en mètres	E1	E2	E3	E4
Route Départementale D6	290	146	150	150
Voies communales	680 de la route de la Bertaudaie/ 720 de celle de Pruillé	420 de la route de la Bertaudaie	715 de la route de la Bertaudaie et 770 de celle de Pruillé	500 de la route de Pruillé
Chemin rural « de la Prévière à Armaillé »	40	285	170	370
Chemin rural du Menhir	545	50	140	95

Tableau 1 : Distance entre les éoliennes et les voies du réseau routier



Carte 6 : Données du trafic jour du réseau routier départemental 49. (Carte extraite du « recensement de la circulation en Maine et Loire – 2010 », Conseil Général du Maine et Loire)

De par le trafic journalier des voies de communication routière présentes dans la zone d'étude (inférieur à 2000 véhicules/jour), **les voies de circulation du site des Landes de Pruillé sont considérées comme non structurantes**. Tel qu'indiqué en Annexe 1, elles seront incluses dans la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés.

Ainsi, le nombre de personnes exposées sera pris en compte, comme indiqué en annexe 1 de cette étude. Elle se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers.

III.3.1.2. INFRASTRUCTURES FERROVIAIRES

Dans l'aire d'étude, aucune infrastructure ferroviaire n'est présente.

III.3.1.3. INFRASTRUCTURES FLUVIALES

Dans l'aire d'étude, aucune infrastructure fluviale n'est présente.

III.3.1.4. INFRASTRUCTURES AEROPORTUAIRES

Dans un rayon de 2km autour du parc éolien, à 1850 m de l'éolienne la plus proche, un aéroport privé se situe sur la commune de Juigné les Moutiers.

III.3.2. RESEAUX PUBLICS ET PRIVES

Plusieurs installations publiques et privées sont présentes dans les limites de la zone d'étude :

- Une ligne haute tension HTB 90 kV traverse l'aire d'étude. Par un courrier datant du 27 Novembre 2008 (cf. annexe 2 de l'étude d'impact), le gestionnaire de réseau RTE n'a émis aucune restriction à la réalisation de ce type de projet sous réserve d'un éloignement minimal correspondant au rayon du socle des fondations ajouté à une hauteur de machine + 5 et 6 mètres (respectivement pour la ligne moyenne tension et ligne haute tension HTB). L'éolienne E1, la plus proche, est située à 540 mètres de la ligne Haute Tension.
- Une ligne haute tension HTA de 20 kV traverse également la zone d'étude. En théorie, il faut respecter un éloignement d'au minimum 3m vis-à-vis de la ligne. En pratique, cet éloignement n'est pas suffisant notamment pour la phase montage de l'éolienne. Il est donc préférable d'éviter le surplomb de l'éolienne sur la ligne et de respecter donc un éloignement de 3m + la longueur de la pale. A défaut, il faudra enterrer la partie de la ligne HTA impactée. L'éolienne E2 la plus proche est située à 110mètres de la ligne HTA.

Au regard des distances des éoliennes, hautes de 130 à 146 mètres en bout de pale, par rapport aux infrastructures électriques, le parc éolien des Landes de Pruillé respecte bien les éloignements préconisés.

Suite à des échanges avec ERDF, il est envisagé de procéder à l'enfouissement de l'extrémité de la ligne HTA 20kV qui traverse le chemin d'accès à E1, afin de sécuriser le passage des grues et éléments de l'éolienne.

- Par un courrier du 22 Septembre 2008 (cf. annexe 2 de l'étude d'impact), la Zone de Défense Aérienne Nord n'émet aucune objection à la réalisation du projet éolien des Landes de Pruillé, sous réserve d'un éloignement minimal de 120 m de part et d'autres du faisceau hertzien du réseau de la région terre Nord Ouest. La distance d'éloignement a été retranscrite par rapport à la carte jointe au courrier du 22 Septembre 2008. L'éolienne E4, la plus proche, est à 210 mètres. Les préconisations sont donc respectées.

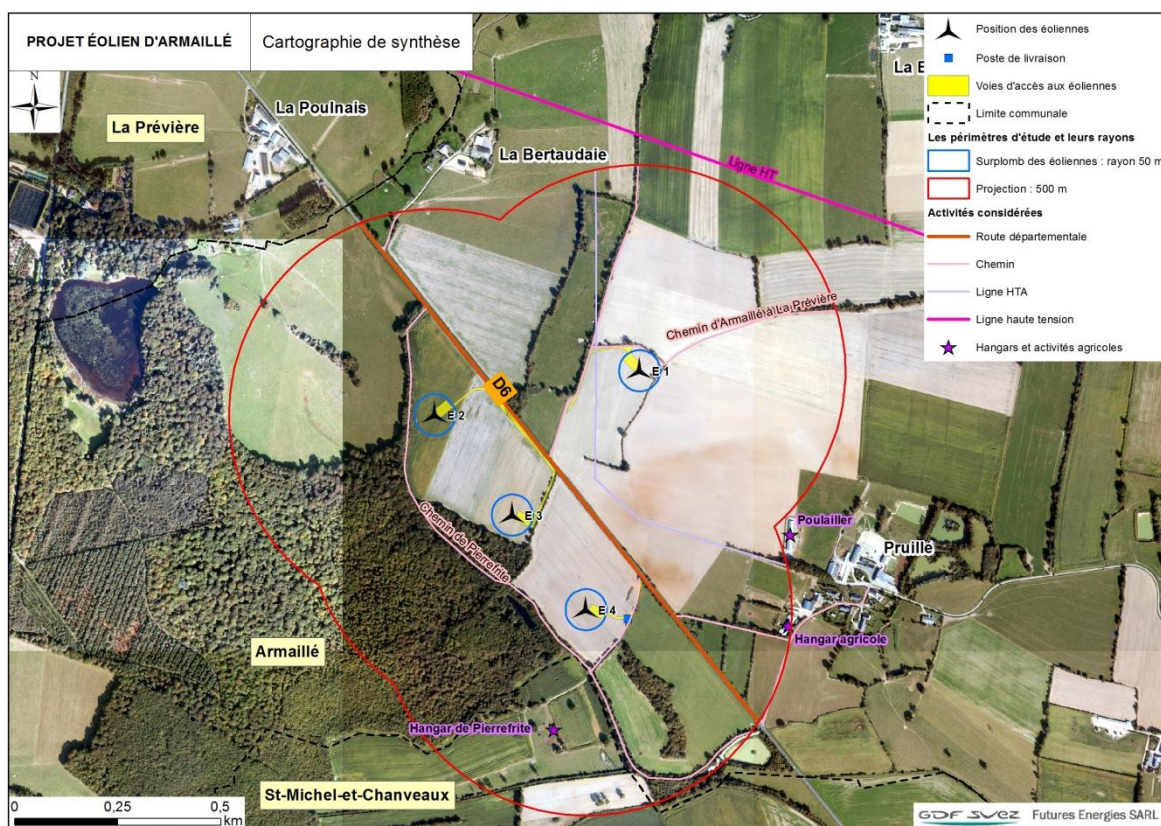
III.3.3. AUTRES OUVRAGES PUBLICS

Il n'existe aucun périmètre de protection de captage, transport d'hydrocarbures, canalisations de gaz ou autre ouvrage public à répertorier à proximité ou dans la zone d'étude.

III.4. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE

En conclusion, nous pouvons observer que les principales activités sur le secteur d'implantation sont agricoles (cultures recensées dans la zone d'étude des 500 m autour des machines).

Tous les types d'infrastructures ainsi que les habitations et autres établissements présents, au sein et en dehors de la zone d'étude, ont fait l'objet d'une étude approfondie et figurent bien dans les enjeux répertoriés de l'étude de dangers.



Carte 7 : Synthèse des enjeux humains à proximité du site

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

Les enjeux humains peuvent être exposés par secteur :

secteur	Surface dans la zone d'étude (500m)	Méthode de comptage (circulaire du 10-05-2010)	Distance à l'éolienne la plus proche
Champs cultivés, bois et forêt	168.45 ha	1 pers/ 100 ha	0 mètres. Au sein des parcelles concernées.
Lignes haute tension	–	–	A 540 m de l'éolienne la plus proche pour la HTB 90kV et à 110 m pour la HTA 20 kV
Bâtiments agricoles	–	2 employés ayant accès à l'un des bâtiments	> à 300 mètres de E4 pour le plus proche.
Route départementale RD 6 et autres chemins communaux Chemin de randonnées de faible fréquentation	5.39 ha	Routes non structurantes 1 pers/ 10 ha	RD6 : 146 m d'E2, 150 m d'E3 et E4. Les chemins communaux maillent la zone. Ils seront en parties utilisés pour les chemins d'accès aux éoliennes. 40 mètres de l'éolienne la plus proche E1.

Les données précisées dans ce tableau sont indiquées à titre d'information pour l'ensemble du parc dans un rayon de 500 mètres. Un calcul sera effectué par aérogénérateur afin de déterminer le nombre de personnes exposées, suivant les scénarios décrits au cours de cette étude.

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. CARACTERISTIQUES GENERALES D'UN PARC EOLIEN

Un parc éolien est une centrale de production d'électricité à partir de l'énergie du vent. Il est composé de plusieurs aérogénérateurs et de leurs annexes (cf. schéma du raccordement électrique au paragraphe 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, concentrant l'électricité des éoliennes et organisant son évacuation vers le réseau public d'électricité au travers du poste source local (point d'injection de l'électricité sur le réseau public)
- Un réseau de câbles enterrés permettant d'évacuer l'électricité regroupée au(x) poste(s) de livraison vers le poste source (appelé « réseau externe » et appartenant le plus souvent au gestionnaire du réseau de distribution d'électricité)
- Un réseau de chemins d'accès
- Éventuellement des éléments annexes type mât de mesure de vent, aire d'accueil du public, aire de stationnement, etc.

❖ Éléments constitutifs d'un aérogénérateur

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

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

- **Le rotor** qui est composé de trois pales (pour la grande majorité des éoliennes actuelles) construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu. Il se prolonge dans la nacelle pour constituer l'arbre lent.
- **Le mât** est généralement composé de 3 à 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.

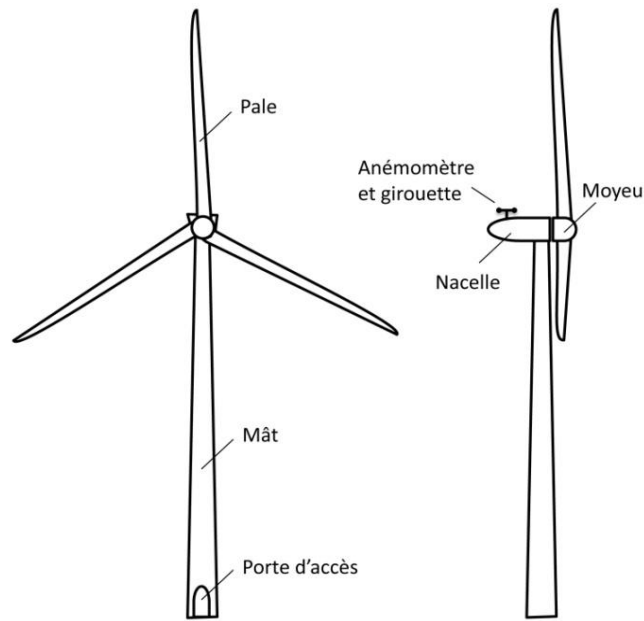


Figure 2 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

❖ Emprise au sol

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

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

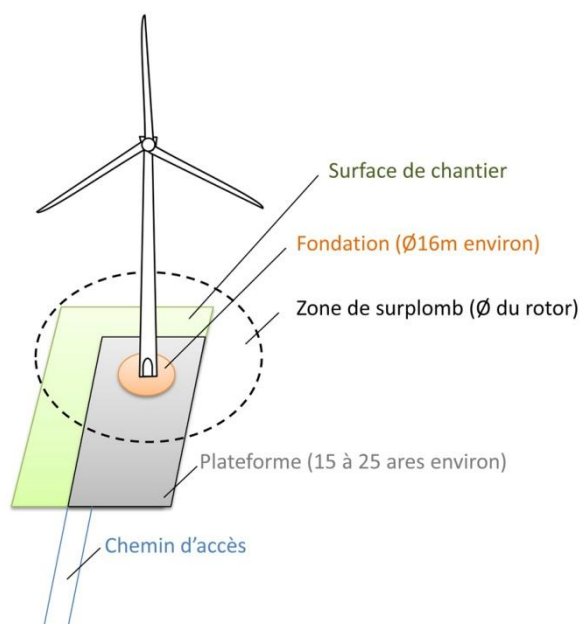


Figure 3 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne

❖ Chemins d'accès

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

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

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

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

❖ Autres installations

Dans le cadre des mesures compensatoires liées à la réalisation du parc éolien des Landes de Pruillé, des panneaux d'informations seront mis en place sur un des chemins de randonnée alentours choisi avec les élus locaux.

IV.1.2. ACTIVITE DE L'INSTALLATION

L'activité principale du parc éolien des Landes de Pruillé est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur de mât au moyeu de 80 m pour E1 et 96 m pour E2, E3 et E4. Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

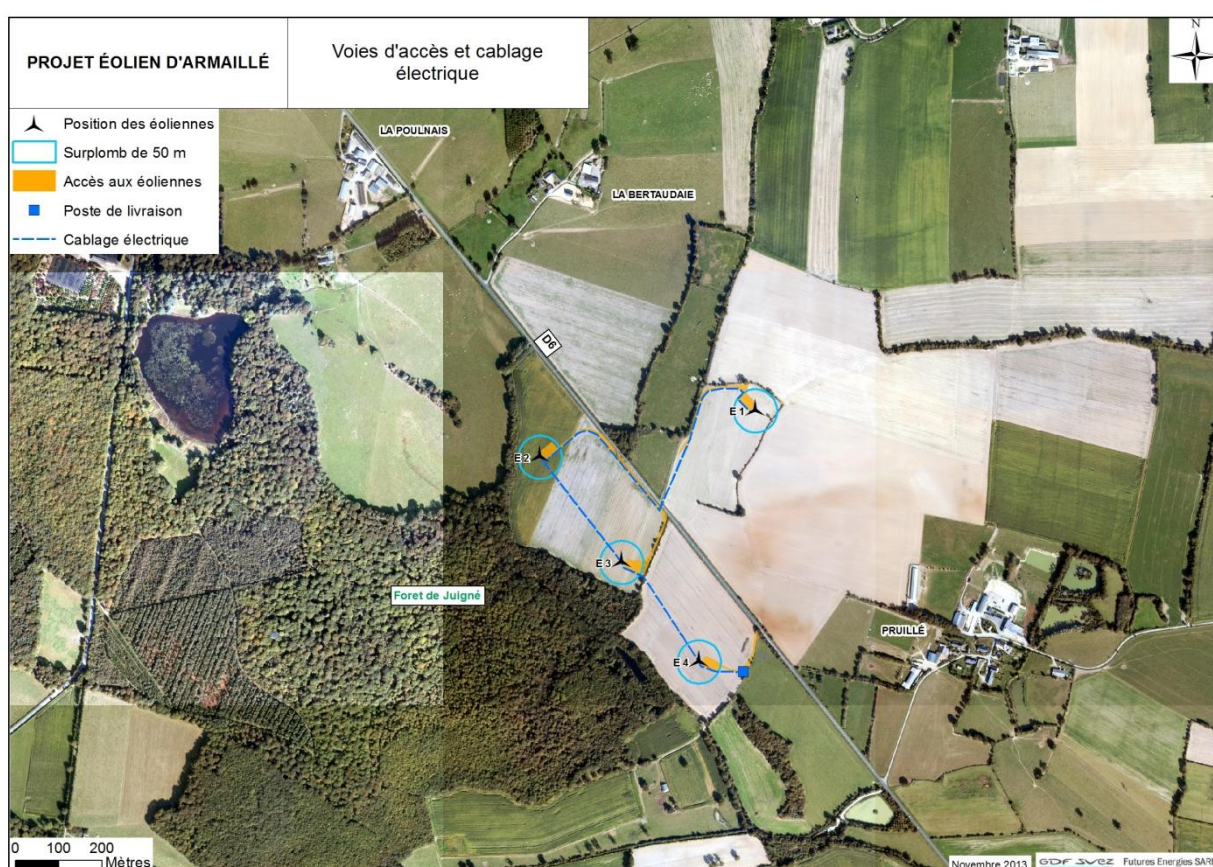
IV.1.3. COMPOSITION DE L'INSTALLATION

Le parc éolien des Landes de Pruillé est composé de 4 aérogénérateurs et de 1 poste de livraison. L'un des aérogénérateurs (E1) a une hauteur de moyeu de 80 mètres et un diamètre de rotor de 100 mètres, soit une hauteur totale en bout de pale de 130 mètres. Les trois autres aérogénérateurs (E2, E3 et E4) ont une hauteur

de moyeu de 96 mètres et un diamètre de rotor de 100 mètres, soit une hauteur totale en bout de pale de 146 mètres.

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs et du poste de livraison dans le système de coordonnées NTF Lambert II étendu :

Numéro de l'éolienne	Longitude (X)	Latitude (Y)	Altitude en mètres NGF
E1	337729	2306681	80
E2	337224	2306573	74,5
E3	337412	2306330	73,5
E4	337591	2306100	69,1
Poste de livraison	337680	2306078	68



Carte 8 : Plan de l'installation

IV.2. FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

IV.2.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN AEROGENERATEUR

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

Les pales se mettent en mouvement lorsque l'**anémomètre** (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 10 km/h et c'est seulement à partir de 12 km/h que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor et l'arbre dit «lent» transmettent alors l'énergie mécanique à basse vitesse (entre 5 et 20

tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit «rapide» tourne environ 100 fois plus vite que l'arbre lent. Certaines éoliennes sont dépourvues de multiplicateur et la génératrice est entraînée directement par l'arbre « lent » lié au rotor. La génératrice transforme l'énergie mécanique captée par les pales en énergie électrique.

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

Pour un aérogénérateur GE de 1.6 MW prévu sur le site des Landes de Pruillé par exemple, la production électrique atteint 1 620 kWh dès que le vent atteint environ 40 km/h. L'électricité produite par la génératrice correspond à un courant alternatif de fréquence 50 Hz avec une tension de 400 à 690 V. La tension est ensuite élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur placé en dehors de chaque éolienne pour être ensuite injectée dans le réseau électrique public.

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

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

Élément de l'installation	Fonction	Caractéristiques
<i>Fondation</i>	<i>Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol</i>	<i>Béton : 450m³ par massif 40 tonnes d'acier/massif</i>
<i>Mât</i>	<i>Supporter la nacelle et le rotor</i>	<i>Hauteur de 80 ou 96 mètres Matériau de conception : acier</i>
<i>Nacelle</i>	<i>Supporter le rotor Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice, etc.) ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité</i>	<i>8,8m x 3,6m x 3,8m (L x l x H)</i>
<i>Rotor / pales</i>	<i>Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice</i>	<i>3 pales de longueur de : 48.7 m</i>
<i>Transformateur</i>	<i>Elever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau</i>	<i>660V → 20kV</i>
<i>Poste de livraison</i>	<i>faire l'interface entre le réseau privé et le réseau public</i>	<i>Emprise au sol d'environ 30 m²</i>
<i>câbles souterrains</i>	<i>acheminer le courant électrique vers le poste de livraison puis vers le réseau ErDF</i>	<i>Pouvant atteindre une section de 95 mm² à 200 mm²</i>

Caractéristiques de chaque élément de l'éolienne

IV.2.2. SECURITE DE L'INSTALLATION

D'un point de vue d'ensemble, le site d'implantation des aérogénérateurs dispose en permanence de voies d'accès entretenues, propres à chaque installation, permettant l'accès et l'intervention des services d'incendie et de secours.

Concernant les machines en elles mêmes, les installations éoliennes respecteront les prescriptions (sécurité de l'aérogénérateur, des installations électriques,...), telles que précisées dans l'arrêté ministériel du 26 Août 2011 relatif au classement ICPE. Ainsi, l'installation, certifiée CE, sera conforme aux dispositions des normes NF EN

61 400-1 (aspect conception) et de l'article R. 111-38 du code de la construction et de l'habitation (aspect construction-fondation).

De plus, conformément aux prescriptions de l'arrêté du 26 Août 2011 :

- L'installation respecte les dispositions de la norme IEC 61 400-24 (aspect impact de la foudre). L'installation est mise à la terre.
- Les installations électriques à l'intérieur des aérogénérateurs respectent les dispositions de la directive du 17 Mai 2006 qui leur sont applicables.
- Les installations extérieures sont conformes aux normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NFC 13-100 (version de 2001) et NFC 13-200 (version de 2009).

Ces installations sont entretenues et maintenues en bon état et sont contrôlées avant la mise en service industrielle puis à une fréquence annuelle, après leur installation ou leur modification par une personne compétente.

Afin de respecter la réglementation aérienne, le balisage de l'installation est conforme aux dispositions prises en application de l'arrêté du 13 novembre 2009 relatif à la réalisation du balisage des éoliennes situées en dehors des zones grevées de servitudes aéronautiques.

D'un point de vue sécurité de l'installation lors de l'exploitation de celle-ci, des consignes de sécurité sont établies et portées à la connaissance du personnel en charge de l'installation et de la maintenance, en termes de :

- limites de sécurité de fonctionnement et d'arrêt
- procédures d'arrêt d'urgence, de mise en sécurité ou d'alerte
- de mesures à prendre en fonction de la situation (incendie, orage, haubans rompus, etc.).

D'autre part, les aérogénérateurs sont munis de systèmes de détections d'incendies, de formation de glace sur les pales et de survitesse, ainsi que de moyens de lutte contre l'incendie (alarme et extincteurs), afin de prévenir et d'agir en fonction de tout évènement susceptible d'altérer à la sécurité de l'installation et de son environnement proche.

LE CENTRE DE CONDUITE DU GROUPE GDF SUEZ : UN MOYEN COMPLEMENTAIRE POUR LA SURETE DES INSTALLATIONS

Le Centre de Conduite (CCE) peut procéder à tout moment à des manœuvres télécommandées en cas d'incident détecté (remise en fonctionnement d'une éolienne qui se serait arrêtée ; arrêt de fonctionnement d'une éolienne ou de tout un parc). Le Centre de Conduite est intégré au sein du service exploitation de FUTURES ENERGIES, qui s'appuie sur différentes agences d'exploitation et antennes locales à proximité des actifs de production. En cas d'incident, l'opérateur du CCE peut aussi informer de façon très réactive les exploitants sur place, qui pourront alors intervenir rapidement en cas de besoin.

Par ailleurs cet outil permet de renforcer la sécurité des installations et les dispositifs d'alerte. Il recueille en temps réel les informations sur les parcs raccordés, par le biais de différents capteurs intégrés sur ces équipements (alarmes, caméras...). L'ensemble des informations collectées sont archivées et enregistrées.

La collecte et l'analyse de ces données permettent la mise en place d'actions à court et moyen/long terme :

- A court terme : le Centre de Conduite peut détecter immédiatement un incident (intrusion dans un poste électrique, panne d'une machine...), et intervenir directement pour y remédier à distance. Dans le cas d'un évènement plus grave, le Centre de Conduite peut par exemple, par mesure de sécurité, arrêter immédiatement le fonctionnement d'une partie ou de la totalité d'un parc éolien.
- A moyen/long terme : à partir des informations recueillies, le Centre de Conduite peut également anticiper des phénomènes au plus long cours, comme l'usure des installations.

L'analyse des données collectées permet ainsi de prévoir des actions de maintenance ou d'optimiser la production des actifs concernés.

En cas de rupture de communication entre le parc éolien et le centre de conduite GDF SUEZ, les aérogénérateurs restent autonomes sur leur sécurité (arrêt automatique en cas d'over-speed par exemple). En parallèle, un chargé d'exploitation du centre de conduite GDF SUEZ assure une astreinte 24h/24 et 7 jours sur 7. En cas de problème ce dernier reçoit des SMS ou mails d'alerte relayé par des automates. Ce système permet une intervention rapide et efficace de l'exploitant à distance ou directement sur site.

IV.2.3. OPERATIONS DE MAINTENANCE DE L'INSTALLATION

Une procédure de maintenance dite préventive est prévue pendant toute la durée d'exploitation de la ferme éolienne. Cette démarche se base sur la mise en place d'une équipe de professionnels spécifiquement formée à intervenir sur ce type de machine. Prévu à intervalles réguliers, en général tous les 6 mois, les interventions ont pour vocation à entretenir les appareillages de l'éolienne et à prévenir toute détérioration de la structure. Ces interventions ne sont réalisées que dans des conditions de vent favorables afin d'éviter des accidents et concernent, tel que précisé dans l'arrêté du 26 Aout 2011 relatif au classement ICPE, l'entretien et le contrôle du bon fonctionnement de l'ensemble des équipements de l'installation.

La prévision d'une maintenance rigoureuse représente une garantie importante pour diminuer très fortement la probabilité qu'un accident survienne. Elle sera réalisée sous la forme d'un contrat avec le constructeur ou avec une société spécialisée. Le contrat de maintenance est un préalable nécessaire à la création du parc pour le constructeur, les investisseurs et les assureurs.

Concernant la maintenance corrective, l'exploitant est prévenu de la moindre avarie machine par un centre de conduite. En fonction de l'avarie, les techniciens traitent à distance ou ordonnent un déplacement afin de dépanner l'éolienne.

IV.2.4. STOCKAGE ET FLUX DE PRODUITS DANGEREUX

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

IV.3. FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE L'INSTALLATION

IV.3.1. RACCORDEMENT ELECTRIQUE

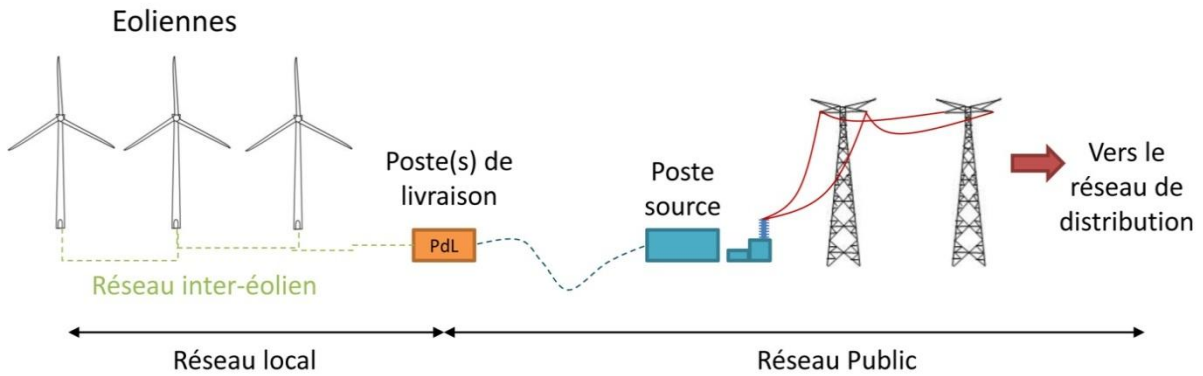
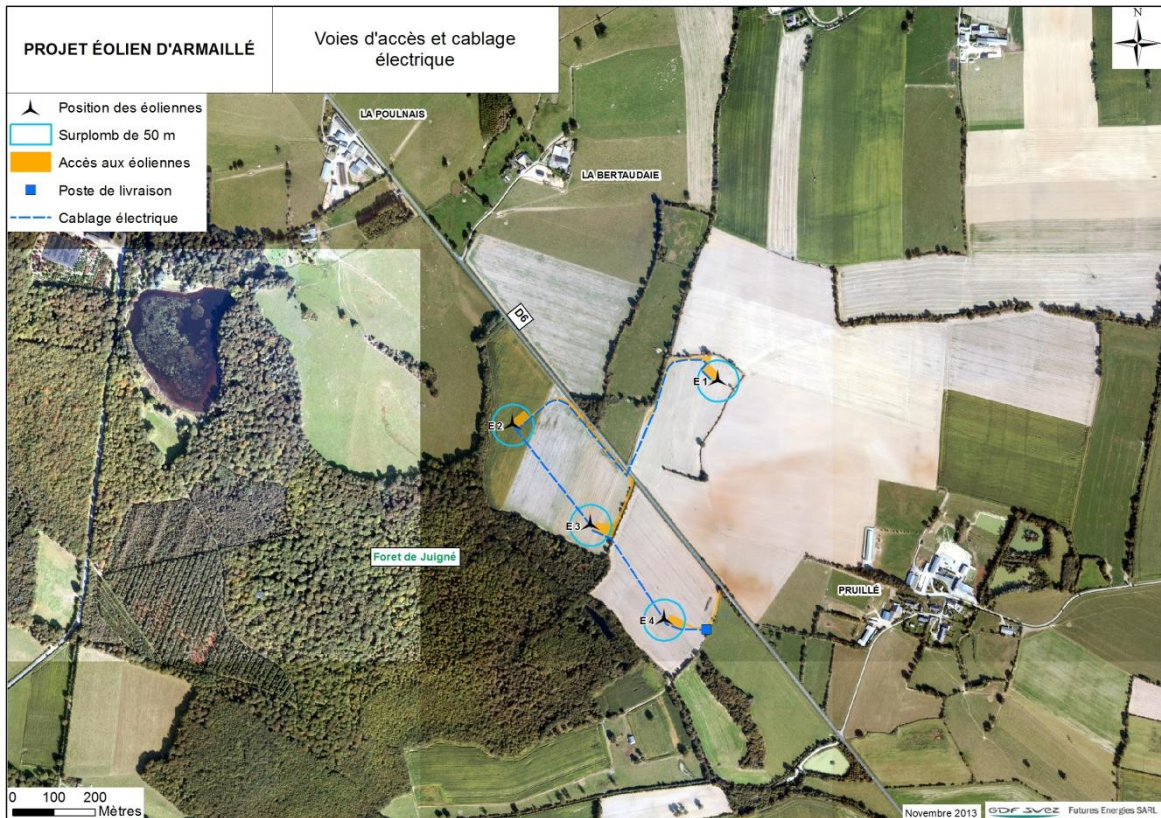


Figure 4 : Raccordement électrique des installations

❖ Réseau inter-éolien

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



Carte 9 : localisation des voies d'accès et câblages inter éoliennes

❖ 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. Le parc éolien des Landes de Pruillé possèdera un poste de livraison afin d'assurer la liaison avec le réseau de distribution d'électricité. Le poste de livraison se situera au Sud du parc, près de l'éolienne 4 comme indiqué sur la carte précédente.

❖ Réseau électrique externe

Le réseau électrique externe relie le poste 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- Électricité Réseau Distribution France). Il est lui aussi entièrement enterré.

IV.3.2. AUTRES RESEAUX

Le parc éolien des Landes de Pruillé 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, seront traitées dans l'analyse de risques.

V.1. POTENTIELS DE DANGERS LIES AUX PRODUITS

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

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

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

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

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

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien des Landes de Pruillé sont de cinq types :

- Chute d'éléments de l'aérogénérateur (boulons, morceaux d'équipements, etc.)
- Projection d'éléments (morceaux de pale, brides de fixation, etc.)

- Effondrement de tout ou partie de l'aérogénérateur
- Echauffement de pièces mécaniques
- Courts-circuits électriques (aérogénérateur ou poste de livraison).

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant :

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

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

V.3.1. PRINCIPALES ACTIONS PREVENTIVES

Cette partie explique les choix qui ont été effectués au cours de la conception du projet pour réduire les potentiels de danger identifiés et garantir une sécurité optimale de l'installation.

L'emplacement des installations a été défini selon plusieurs critères techniques, notamment de distances aux habitations, et en cohérence avec l'environnement du site compte tenu des infrastructures (présence de la RD6). Au regard de l'orientation et de la taille de la zone d'implantation, l'emplacement des installations a été optimisé afin de s'éloigner suffisamment des habitations et zones destinées à l'habitation.

Le choix des aérogénérateurs s'est porté sur des éoliennes de hauteur de mât de 80 m ou 96 m pour un rotor d'un diamètre de 100 m, qui sont adaptées aux caractéristiques de vents locaux et permettent une bonne intégration sur le territoire. La vitesse de rotation du rotor varie entre 9,75 et 16,7 m/s.

V.3.2. UTILISATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

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

Pour l'essentiel, la directive IPPC vise à minimiser la pollution émanant de différentes sources industrielles dans toute l'Union Européenne. Les exploitants des installations industrielles relevant de l'annexe I de la directive

IPPC doivent obtenir des autorités des Etats-membres une autorisation environnementale avant leur mise en service.

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

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 spécialisées, etc.). Ces bases de données sont cependant très différentes tant en termes de structuration des données qu'en termes de détail de l'information.

L'analyse des retours d'expérience vise donc ici à faire émerger des typologies d'accident rencontrés tant au niveau national qu'international. Ces typologies apportent un éclairage sur les scénarios les plus rencontrés. D'autres informations sont également utilisées dans la partie 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 des Landes de Pruillé. Cet inventaire se base sur le retour d'expérience de la filière.

D'autre part, la base de données ARIA rassemble les informations sur les accidents technologiques en France. En particulier, elle regroupe les accidents survenus dans les installations classées pour la protection de l'environnement. Cette base de données est accessible à l'adresse suivante : <http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr>.

Plusieurs autres 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

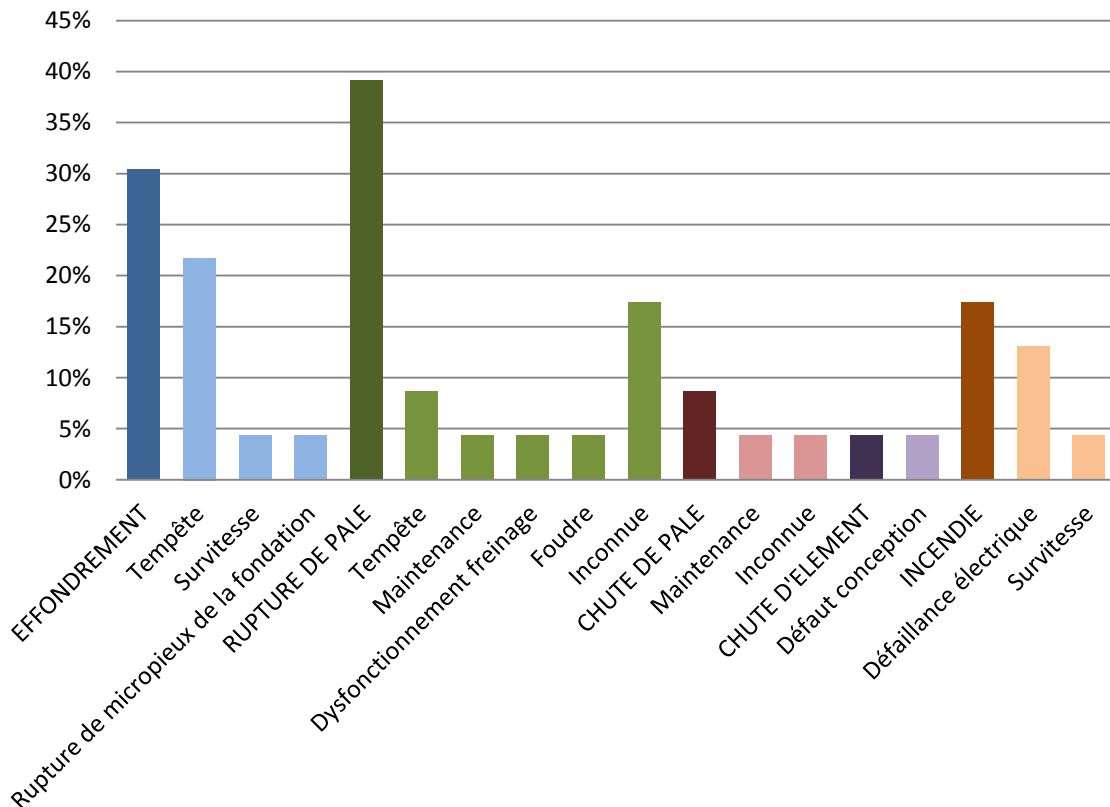
Dans l'état actuel, la base de données élaborée par le groupe de travail de SER/FEE ayant participé à l'élaboration du guide technique d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis l'année 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).

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

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



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

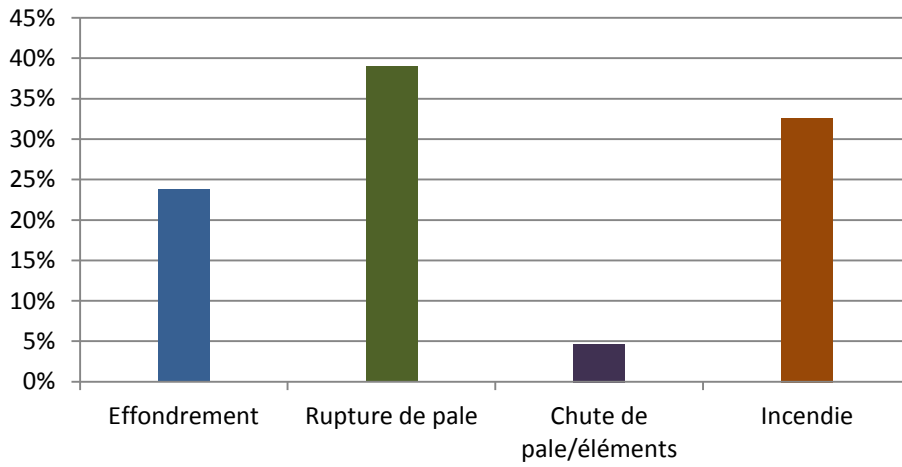
VI.2. INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS A L'INTERNATIONAL

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, seuls 236 sont considérés comme des « accidents majeurs ». Les autres concernant plutôt des accidents du travail, des incidents, etc. et ne sont donc pas pris en compte dans l'analyse suivante.

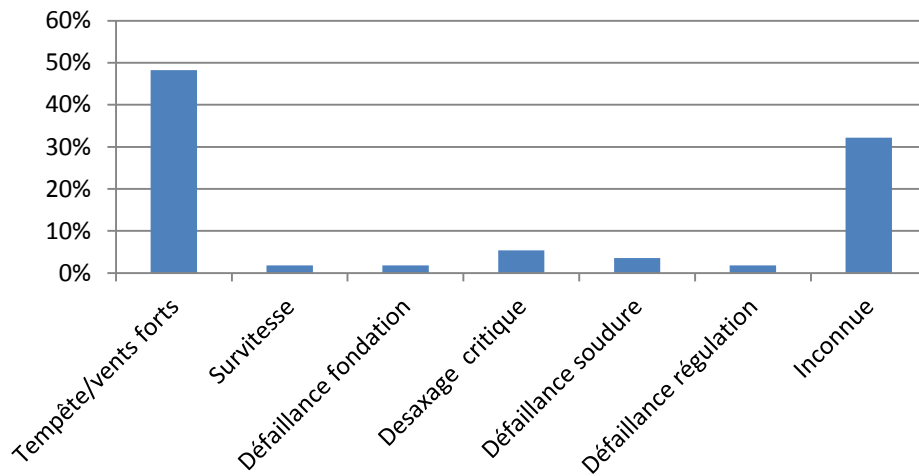
Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels par rapport à la totalité des accidents analysés.

Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2011

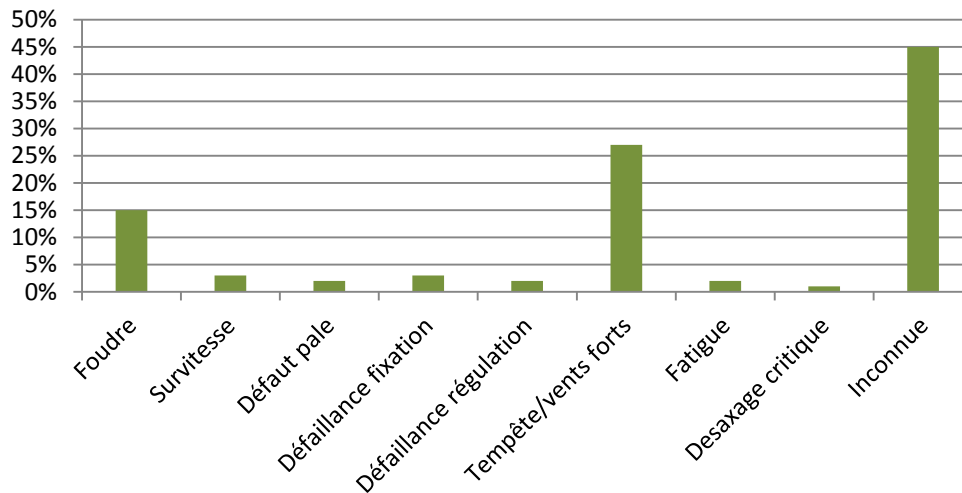


Ci-après, est présenté le recensement des causes premières pour chacun des événements accidentels recensés (données en répartition par rapport à la totalité des accidents analysés).

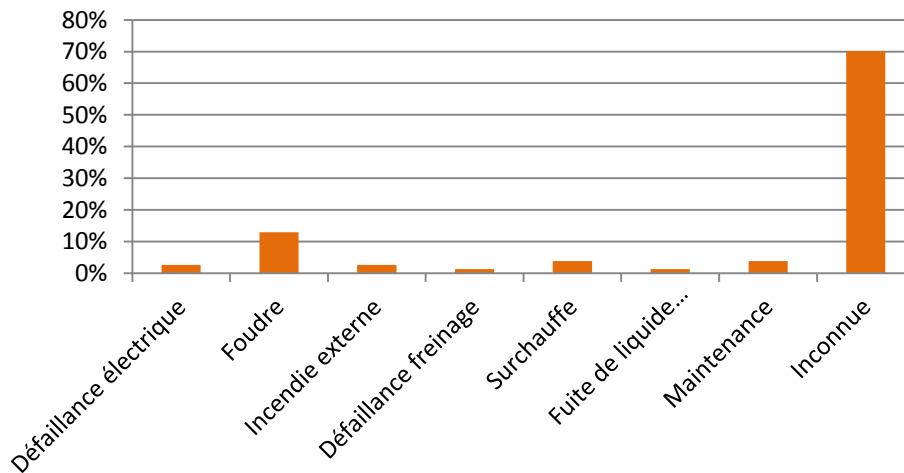
Répartition des causes premières d'effondrement



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.

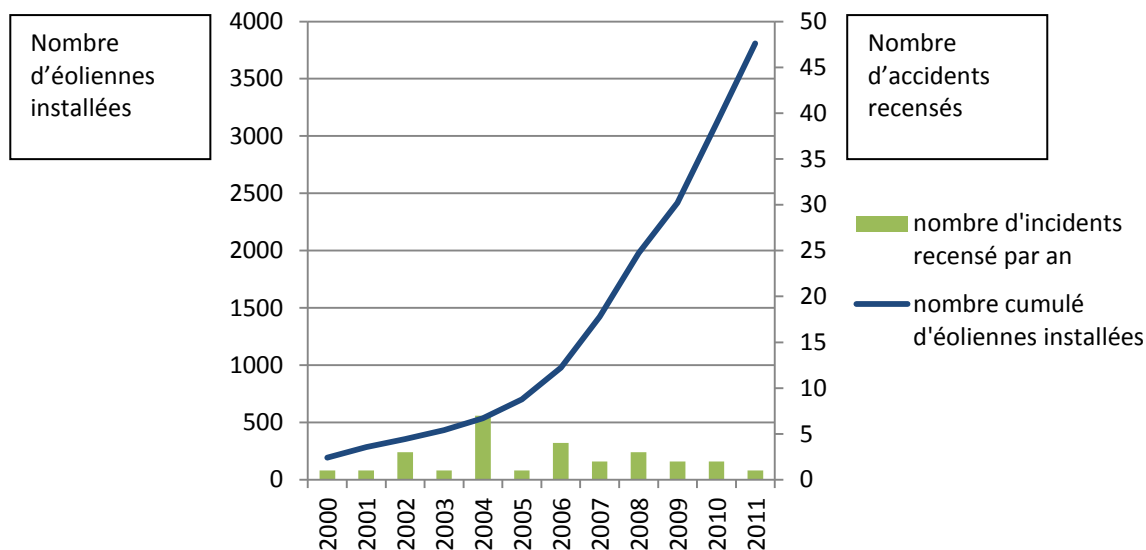
VI.3. SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTÉS ISSUS DU RETOUR D'EXPÉRIENCE

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

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

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

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



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'accidents reste relativement constant.

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

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
- Incendies

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-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 aérogénérateurs les plus récents intègrent des avancées de la technique en matière de détection, de prévention et de réduction des risques.
- 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 des incertitudes.

VII. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

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

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

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

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

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

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

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

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

Traditionnellement, deux types d'agressions externes sont identifiés :

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

Les tableaux suivants constituent une synthèse des agressions externes identifiées.

VII.3.1. AGRESSION EXTERNES LIEES AUX ACTIVITES HUMAINES

Le tableau ci-dessous synthétise les principales agressions externes identifiées :

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

Infrastructure	Fonction	Evènement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Distance par rapport au mât des éoliennes			
					E1	E2	E3	E4
Voies de circulation (RD6)	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	>200	150	146	146
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2000 m	Un aérodrome privé se situe sur la commune de Juigné les Moutiers, à environ 1850 m de E2, la plus proche.			
Ligne HTB 90kV	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	Aucune éolienne n'apparaît dans le périmètre de 200 m.			
Autres aérogénérateurs	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	Se rapporter au tableau ci-dessous.			

Distances entre éoliennes	E2	E3	E4
E1	508 m	467 m	594 m
E2		307 m	598 m
E3	307 m		291 m

VII.3.2. AGRESSIONS EXTERNES LIEES AUX PHENOMENES NATURELS

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

Agression externe	Intensité
Vents et tempête	Aucun évènement de vents violents n'a été recensé sur site, mise à part la tempête de 1999 dont la station Météo France de la Noe Blanche, située à 45 km, avait recensé des vents à 24 m/s sur 10 min le 26/12/1999.
Foudre	Respecte la norme IEC 61 400-24 (Juin 2010) ou EN 62 305 – 3 (Décembre 2006)
Glissement de sols/ affaissement miniers	La zone n'est pas concernée par ce risque. Seul 3 évènements de type inondation ont été recensés sur la commune. Du fait de l'altitude de la zone d'implantation d'aérogénérateurs, tout risque d'inondation est écarté.

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

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

VII.4. SCENARIOS ETUDIES DANS L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES (APR)

Après avoir recensé, dans un premier temps, les potentiels de danger des installations, qu'ils soient constitués par des substances dangereuses ou des équipements dangereux (voir paragraphes V.1 et V.2), l'APR doit identifier l'ensemble des séquences accidentelles et phénomènes dangereux associés pouvant déclencher la libération du danger.

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

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

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

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

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

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
G01	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales, le mât et la nacelle	Chute de glace lorsque les éoliennes sont arrêtées	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace (N°2)	Impact de glace sur les enjeux	1
G02	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	Projection de glace lorsque les éoliennes sont en mouvement	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de la glace (N°1)	Impact de glace sur les enjeux	2

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

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
C01	Défaut de fixation	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	1
C02	Défaillance fixation anémomètre	Chute anémomètre	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
C3	Défaut fixation nacelle – pivot central – mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop 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 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°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

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
E05	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E07	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10) Actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du plan de prévention (N°12)	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°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°11) Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

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

Des précisions sur les différents scénarios décrits dans ce tableau sont disponibles en annexe 3.

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 ».

Par conséquent, n'étant pas recensé d'autres installations ICPE dans l'aire d'étude du parc éolien, les conséquences des effets dominos seront négligées.

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 des Landes de Pruillé. 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 devront être 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, pour permettre à l'inspection de comprendre leur fonctionnement
- **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. Il s'agit ici de vérifier que la mesure de maîtrise des risques agira « à temps » pour prévenir ou pour limiter les accidents majeurs. Dans le cadre d'une étude de dangers éolienne, l'estimation de ce temps de réponse peut être simplifiée et se contenter d'une estimation d'un temps de réponse maximum qui doit être atteint. Néanmoins, et pour rappel, la réglementation impose les temps de réponse suivants :
 - une mesure de maîtrise des risques remplissant la fonction de sécurité « limiter les conséquences d'un incendie » doit permettre de détecter un incendie et de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes ;

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

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
Mesures de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage.		
Description	Système de détection redondant du givre permettant, en cas de détection de glace, une mise à l'arrêt rapide de l'aérogénérateur. Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site.		
Indépendance	Non Les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. En cas de danger particulièrement élevé sur site (survol d'une zone fréquentée sur site soumis à des conditions de gel importantes), des systèmes additionnels peuvent être envisagés.		
Temps de réponse	Quelques minutes (<60 min.) conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011		
Efficacité	100 %		
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement 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 Eloignement des zones habitées et fréquentées		
Description	Mise en place de panneaux informant de la possible formation de glace en pied de machines (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011).		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %. Nous considérerons que compte tenu de l'implantation des panneaux et de l'entretien prévu, l'information des promeneurs sera systématique.		
Tests	NA		
Maintenance	vérification de l'état général du panneau, de l'absence de détérioration, entretien de la végétation afin que le panneau reste visible.		

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
Mesures de sécurité	Capteurs de température des pièces mécaniques Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement		
Description	Si à tout moment, la température d'un composant de l'aérogénérateur atteint un niveau inacceptable, l'éolienne commence à limiter la puissance de sortie, pour réduire les températures globales des composants de l'éolienne. Dans le même temps, la puissance de sortie est réduite, un avertissement est affiché et un compteur de perte d'énergie commence. Par exemple, les composants d'éolienne qui sont surveillés pourraient inclure : <ul style="list-style-type: none"> • roulement principal • Carter d'huile de la boîte de vitesse • roulements du multiplicateur • roulements de la génératrice • Enroulement de l'alternateur • Nacelle • assemblage de base de mât • unité de commande des convertisseurs Si l'une de ces unités excède la température spécifique maximum, l'éolienne commence à réduire la puissance de la génératrice.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	Les capteurs sont testés lors de la mise en service de l'éolienne.		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage.		
Description	Les systèmes de pitch des pales agissent en tant que système de freinage principal pour l'éolienne. Dans des conditions normales de fonctionnement, le freinage se fait par la mise en drapeau des pales. Toute pale mise en drapeau est conçue pour freiner le rotor, et chaque pale du rotor a sa propre réserve d'énergie pour fournir une puissance au moteur électrique en cas de panne du réseau. La turbine est également équipée d'un frein mécanique situé à la sortie (grande vitesse) dans l'arbre de la boîte de vitesses. Ce frein est appliqué uniquement comme un frein auxiliaire du frein aérodynamique principal et pour empêcher la rotation de la machine selon les besoins de certaines activités. ¹		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection < 1 minute L'exploitant 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. ²		
Efficacité	100 %		

¹ La mise en drapeau d'une seule pale permet d'éviter une survitesse. Si deux pales sont mises en drapeau, l'éolienne s'arrêtera. En cas de coupure réseau, les moteurs de pale sont secourus par des batteries afin de mettre les pales en drapeau. Un frein hydraulique installé sur l'arbre rapide permet d'arrêter l'éolienne en cas de survitesse ou de situation d'urgence.

² Cette information remonte vers le Centre de Conduite de l'exploitant et du mainteneur. L'alerte peut être donnée par l'exploitant ou le mainteneur.

Tests	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procédure d'arrêt en cas de survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011.
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 (notamment de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence.) Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.

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

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

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	Capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne pouvant permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de la machine Système de détection incendie relié à une alarme transmise à un poste de contrôle Intervention des services de secours		
Description	DéTECTEURS de fumée qui lors de leur déclenchement conduisent à la mise en arrêt de la machine et au découplage du réseau électrique. De manière concomitante, un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance. L'éolienne est également équipée de 2 extincteurs (un dans la nacelle, un en pied de mât) qui peuvent être utilisés par les personnels d'intervention (cas d'un incendie se produisant en période de maintenance).		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	< 1 minute pour les détecteurs et l'enclenchement de l'alarme. L'exploitant ³ 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 centre d'incendie et secours le plus proche se trouve à 4km du parc éolien. ⁴		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Le matériel incendie (type extincteurs) est contrôlé périodiquement par un organisme agréé. ⁵ Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.		

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	DéTECTEURS de niveau d'huiles, Procédure d'urgence, Kit antipollution		
Description	<p>Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence.</p> <p>Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange.</p> <p>Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; - d'absorber 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		

³ Cette information remonte vers le Centre de Conduite de l'exploitant et du mainteneur. L'alerte peut être donnée par l'exploitant ou le mainteneur.

⁴ Le centre d'incendie et de secours le plus proche se situe sur la commune de Pouancé, à 4 km du parc éolien des Landes de Pruillé. S'il n'y a pas d'intervenant dans l'éolienne, un périmètre de sécurité sera établi par les pompiers ou l'exploitant ou le mainteneur.

⁵ Les extincteurs (à poudre ou CO2) sont contrôlés annuellement par des organismes habilités (Sicli, Desautel...). Tous les 10 ans, les extincteurs sont renouvelés.

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

Fonction de sécurité	Prévenir les erreurs de maintenance	N° de la fonction de sécurité	10
Mesures de sécurité	Procédure maintenance		
Description	Préconisations du manuel de maintenance Formation du personnel		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	L'exploitant vérifie les rapports de maintenance transmis par le mainteneur par rapport au protocole de maintenance prévu sur les éoliennes.		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pâles) par le système de conduite		
Description	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale (25 m/s) pour laquelle elle a été conçue.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Le système de l'éolienne est mis à l'arrêt lorsque la vitesse de vent moyenne excède : <ul style="list-style-type: none"> - 25 m/s dans un intervalle de temps de 600 secondes - 28 m/s dans un intervalle de temps de 30 secondes - 30 m/s dans un intervalle de temps de 3 secondes Si la vitesse de vent moyenne reste en dessous de 22 m/s dans un intervalle de temps de 300 secondes l'éolienne redémarre à nouveau.		
Efficacité	100 %. NB : En fonction de l'intensité attendue des vents, d'autres dispositifs de diminution de la prise au vent de l'éolienne peuvent être envisagés. ⁶		
Tests	Test des capteurs à la mise en service et à chaque maintenance		
Maintenance	Annuelle		

Fonction de sécurité	Actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du plan de prévention	N° de la fonction de sécurité	12
Mesures de sécurité	Elaboration du plan de prévention, mise en œuvre des mesures définies		
Description	Moyens humains, techniques et organisationnels mis en place dans le cadre du plan de prévention établi annuellement dans le cadre des opérations de maintenance, incluant une visite commune avec les entreprises intervenantes pour identifier les risques sur site ainsi que les mesures de prévention et d'urgence.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100%		
Tests	Visite Sécurité 1 fois/an sur site par les entreprises intervenantes et vérification de l'application des consignes du plan de prévention.		
Maintenance	Annuelle - ou à chaque opération non-routinière (intervention d'une grue externe par exemple)		

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.

⁶ La mise en drapeau d'une seule pale permet d'éviter une survitesse. Si deux pales sont mises en drapeau, l'éolienne s'arrêtera. En cas de coupure réseau, les moteurs de pale sont secourus par des batteries afin de mettre les pales en drapeau. Un frein hydraulique installé sur l'arbre rapide permet d'arrêter l'éolienne en cas de survitesse ou de situation d'urgence.

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

Dans le cadre de l'analyse préliminaire des risques génériques des parcs éoliens, trois catégories de scénarios sont exclues de l'étude détaillée du projet des Landes de Pruillé, en raison de leur faible intensité :

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	<p>En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/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.</p> <p>Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.</p>
Incendie du poste de livraison ou du transformateur	<p>En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 août 2011 [9] et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200)</p>
Infiltration d'huile dans le sol	<p>En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs.</p>

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. CINETIQUE

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

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

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. INTENSITE

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

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

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

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

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

- 5% d'exposition : 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. GRAVITE

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

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

VIII.1.4. PROBABILITE

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

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

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

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

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

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

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

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

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.1.5. ACCEPTABILITE

Pour chaque scénario est associée une classe de probabilité qui permettra de définir l'acceptabilité des installations quant à l'exposition aux personnes et la gravité de chaque phénomène retenu comme danger potentiel.

La matrice de criticité ci-dessous, adaptée de la circulaire du 29 septembre 2005 reprise dans la circulaire du 10 mai 2010 sera utilisée.

GRAVITÉ	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux	Yellow	Red	Red	Red	Red
Catastrophique	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
Important	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
Sérieux	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
Modéré	Green	Green	Green	Green	Yellow

Légende de la matrice

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

Pour l'ensemble des scénarios retenus et des installations éoliennes prévues sur site, un état des lieux de la nature du site (cultures, infrastructures, etc.) sera effectué afin de déterminer le nombre de personnes exposées aux phénomènes retenus. Enfin, un classement par éolienne définira l'acceptabilité aux risques.

VIII.2. CARACTERISATION DES SCENARIOS RETENUS

VIII.2.1. EFFONDREMENT DE L'ÉOLIENNE

❖ Zone d'effet

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 130 m pour l'éolienne n°1 et 146 m dans le cas des éoliennes n°2, 3 et 4 du parc des Landes de Pruillé.

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

❖ Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne dans le cas du parc éolien des Landes de Pruillé. R est la longueur de pale (R= 48.7 mètres), de forme triangulaire avec une base de largeur LB de 3,7 m (largeur maximale de la pale), H la hauteur du mât (prise au moyeu, H = 80 mètres pour E1 et 96 m pour E2, 3 et 4) et L la largeur du mât (L= 4.56 mètres).

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>
$(H) \times L + 3 \times R \times LB / 2$	$= \pi \times (H+R)^2$	$d = Z_i / Z_E$	exposition forte
La zone d'impact est de : - 635 m ² pour E1 - 708 m ² pour E2, E3, E4	La zone d'effet est de : - 52036 m ² : E1 - 65779 m ² : E2, E3, E4	- 1.22% (1% ≤ x < 5%) : E1 - 1.08% : E2, E3, E4	

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

❖ Gravité

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

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

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

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)		
<i>Eolienne</i>	<i>Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)</i>	<i>Gravité</i>
E1	0.079	Sérieux
E2	0.093	Sérieux
E3	0.067	Sérieux
E4	0.098	Sérieux

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

Un calcul précis a été réalisé pour chaque machine, afin de déterminer le nombre de personnes permanentes exposées dans la zone d'effet du phénomène, soit dans un rayon égal à la hauteur de l'éolienne en bout de pale. En fonction du nombre de personnes permanentes exposées dans le périmètre donné, il apparaît que le niveau de gravité associé est sérieux.

❖ 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'expérience⁷, 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

⁷ 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.

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 ».

❖ Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc des Landes de Pruillé, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) tel que défini dans le tableau au point VIII.1.5. :

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>
E1	Sérieux	Acceptable
E2	Sérieux	Acceptable
E3	Sérieux	Acceptable
E4	Sérieux	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien des Landes de Pruillé, nous pouvons observer que le phénomène d’effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

VIII.2.2. CHUTE DE GLACE

❖ Considérations générales

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

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

Lors des périodes de dégel qui suivent les périodes de grand froid, des chutes de glace peuvent se produire depuis la structure de l’éolienne (nacelle, pales). Normalement, le givre qui se forme en fine pellicule sur les pales de l’éolienne fond avec le soleil. En cas de vents forts, des morceaux de glace peuvent se détacher. Ils se

désagrègent généralement avant d'arriver au sol. Ce type de chute de glace est similaire à ce qu'on observe sur d'autres bâtiments et infrastructures.

❖ Zone d'effet

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne. Pour le parc éolien des Landes de Pruillé, la zone d'effet a donc un rayon de 50 mètres. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

❖ Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace dans le cas du parc éolien des Landes de Pruillé. Z_I est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, R est la longueur de pale ($R= 48.7$ mètres), 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 m^2</i>	<i>Zone d'effet du phénomène étudié en m^2</i>	<i>Degré d'exposition du phénomène étudié en %</i>	<i>Intensité</i>
$Z_I = SG$	$Z_E = \pi \times R^2$	$d = Z_I / Z_E$	exposition modérée
1	7851	$1,27 \times 10^{-4}$ Soit 0,0127 % (< 1 %)	

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

❖ Gravité

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

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

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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
<i>Eolienne</i>	<i>Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)</i>	<i>Gravité</i>
E1	0.011	Modérée
E2	0.008	Modérée
E3	0.008	Modérée
E4	0.008	Modérée

Il est à noter que l'éloignement des éoliennes aux zones d'habitations, voies de communications et autres infrastructure, la zone de survol des éoliennes est principalement un terrain non aménagé et très peu fréquenté (1 personne pour 100 ha d'après la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010). Après étude du nombre de personnes permanentes exposées au risque de chute d'éléments de l'éolienne pour l'ensemble des 4 machines dans le périmètre du survol, le niveau de gravité associé est donc modéré.

❖ Probabilité

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

❖ Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc des Landes de Pruillé, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) tel que défini dans le tableau au point VIII.1.5. :

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>
E1	Modérée	Acceptable
E2	Modérée	Acceptable
E3	Modérée	Acceptable
E4	Modérée	Acceptable

Le calcul de la zone de survol effectué pour chaque aérogénérateur a permis d'identifier le degré d'exposition à ce type de phénomène et de caractériser la gravité et le niveau de risque associé. Ainsi, après évaluation de la classe de probabilité de A et le degré d'exposition à ce type de risque, il apparaît que le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue, pour le parc éolien des Landes de Pruillé, un risque acceptable pour les personnes.

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

VIII.2.3. CHUTE D'ÉLÉMENTS DE L'ÉOLIENNE

❖ Zone d'effet

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

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

❖ Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien des Landes de Pruillé. 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 largeur de 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 m^2</i>	<i>Zone d'effet du phénomène étudié en m^2</i>	<i>Degré d'exposition du phénomène étudié en %</i>	<i>Intensité</i>
$Z_i = R \cdot LB / 2$	$Z_E = \pi \times R^2$	$d = Z_i / Z_E$	exposition forte
90,1	7851	0.0114 soit 1,14% (1 % < d < 5 %)	

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

❖ Gravité

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

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

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

Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de chute de pale 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>
E1	0.011	Sérieux
E2	0.008	Sérieux
E3	0.008	Sérieux
E4	0.008	Sérieux

Il est à noter que pour le parc éolien des Landes de Pruillé, la quasi-totalité de la zone de survol des éoliennes est un terrain non aménagé et très peu fréquenté (1 personne pour 100 ha d'après la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010). Sont également présents des chemins utilisés pour la randonnée ou principalement par les exploitants agricoles des cultures qui entourent les machines. Après étude du nombre de personnes permanentes exposées au risque de chute d'éléments de l'éolienne, le niveau de gravité associé est donc jugé sérieux.

❖ Probabilité

Peu d'éléments sont disponibles dans la littérature pour évaluer la fréquence des événements de chute de pales ou d'éléments d'éoliennes. Le retour d'expérience connu en France montre que ces événements ont une classe de probabilité « C » (2 chutes et 5 incendies pour 15 667 années d'expérience, soit 4.47×10^{-4} événement par éolienne et par an).

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

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

❖ Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc des Landes de Pruillé, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) tel que défini dans le tableau au point VIII.1.5.

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

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>
E1	Sérieux	Acceptable
E2	Sérieux	Acceptable
E3	Sérieux	Acceptable
E4	Sérieux	Acceptable

Après estimation du nombre de personnes exposées dans une zone d'effet équivalente à la zone de survol des pales de l'éolienne, il apparaît que le degré d'exposition au risque est classé comme forte. Ainsi, pour le parc éolien des Landes de Pruillé, le phénomène de chute d'éléments de l'éolienne constitue un risque acceptable pour les personnes.

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

❖ Zone d'effet

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

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

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

- 1300 m rapporté pour un accident à Hundhammerfjellet en Norvège le 20/01/2006
- 1000 m rapporté pour un accident à Burgos en Espagne le 09/12/2000
- Toutefois, pour ces deux accidents, les sources citées ont été vérifiées par le SER-FEE et aucune distance de projection n'y était mentionnée. Les distances ont ensuite été vérifiées auprès des constructeurs concernés et dans les deux cas elles n'excédaient pas 300 m.
- Ensuite, pour l'ensemble des accidents pour lesquels une distance supérieure à 400 m était indiquée, les sources mentionnées dans le recueil ont été vérifiées de manière exhaustive (articles de journal par exemple), mais aucune d'elles ne mentionnait ces mêmes distances de projection. Quand une distance était écrite dans la source, il pouvait s'agir par exemple de la distance entre la maison la plus proche et l'éolienne, ou du périmètre de sécurité mis en place par les forces de l'ordre après l'accident, mais en aucun cas de la distance de projection réelle.

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

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

❖ Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien des Landes de Pruillé. d est le degré d'exposition, ZI la zone d'impact, ZE la zone d'effet, R la longueur de pale ($R= 48.7$ m) et LB la largeur de la base de la pale ($LB= 3,7$ m, ici la largeur maximale de la pale est utilisée).

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_i = R * LB / 2$	$Z_E = \pi \times R_{500m}^2$	$d = Z_i / Z_E$	Exposition modérée
90,1	785400	0.01 % (inférieur à 1%)	

❖ Gravité

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

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

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

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0.972	Modéré
E2	1.024	Sérieux
E3	1.043	Sérieux
E4	3.064	Sérieux

Après étude du nombre de personnes permanentes exposées au risque de projection de pales pour l'ensemble des 4 machines dans le périmètre de 500 mètres, le niveau de gravité associé est donc considéré comme modéré pour l'éolienne 1, et comme sérieux pour les éoliennes 2, 3 et 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 – un système adapté est installé en cas de risque cyclonique
- utilisation de matériaux résistants pour la fabrication des pales (fibre de verre ou de carbone, résines, etc.)

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

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

❖ Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc des Landes de Pruillé, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) tel que défini dans le tableau au point VIII.1.5. :

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>
E1	Modéré	Acceptable
E2	Sérieux	Acceptable
E3	Sérieux	Acceptable
E4	Sérieux	Acceptable

Dans le périmètre de chaque éolienne est calculé le nombre de personnes permanentes exposées, en fonction de la nature et du nombre des infrastructures, cultures, présentes dans l'aire d'étude associée à l'évènement accidentel. Ainsi, pour le parc éolien des Landes de Pruillé, le phénomène de projection de tout ou partie de pale des éoliennes est estimé sur une zone de 500 mètres autour de l'éolienne, et constitue un risque acceptable pour les personnes.

VIII.2.5. PROJECTION DE GLACE

❖ Zone d'effet

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

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

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

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

❖ Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du parc éolien des Landes de Pruillé. d est le degré d'exposition, Z_i la zone d'impact, Z_e la zone d'effet, D le diamètre du rotor (D= 100 m), H la hauteur au moyeu (H= 80 m pour E1, et H=96 m pour E2, E3, E4), et SG la surface majorante d'un morceau de glace.

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+D)$ autour de l'éolienne)			
Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_i = SG$	$Z_E = \pi \times [1,5 \times (H+D)]^2$	$d = Z_i / Z_E$	Exposition modérée
1	229 022,1 pour E1 271 546,7 m^2 pour E2, 3, 4	0,000437% (< 1 %) : E1 0,000368% (< 1 %) : E2, 3, 4	

❖ 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 $R_{PG} = 1,5 \times (H+D)$ autour de l'éolienne)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0.293	Modéré
E2	0.379	Modéré
E3	0.386	Modéré
E4	0.395	Modéré

Dans le périmètre défini par la formule $R_{PG} = 1,5 \times (H+D)$, le nombre de personnes permanentes exposées au risque de projection au maximum à 0,386 pour toutes les machines. Ainsi, le niveau de gravité se traduit par un degré modéré pour l'ensemble des machines.

❖ Probabilité

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

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

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

❖ Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc des Landes de Pruillé, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) tel que défini dans le tableau au point VIII.1.5.

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+D)$ 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>
E1	Modéré	Oui	Acceptable
E2	Modéré	Oui	Acceptable
E3	Modéré	Oui	Acceptable
E4	Modéré	Oui	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien des Landes de Pruillé, 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. TABLEAUX 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.

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

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Numéro d'éolienne	Gravité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine $Z_E = 52\,036\text{ m}^2$ pour E1 $Z_E = 65\,778\text{ m}^2$ pour E2, 3, 4	Rapide	exposition forte	D (pour des éoliennes récentes) ⁸	E1	Sérieux
					E2	Sérieux
					E3	Sérieux
					E4	Sérieux
Chute de glace	Zone de survol $Z_E = 7\,851\text{ m}^2$	Rapide	exposition modérée	A	E1	Modéré
					E2	Modéré
					E3	Modéré
					E4	Modéré
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol $Z_E = 7\,851\text{ m}^2$	Rapide	exposition forte	C	E1	Sérieux
					E2	Sérieux
					E3	Sérieux
					E4	Sérieux
Projection d'éléments de l'éolienne	500 m autour de l'éolienne $Z_E = 785\,400\text{ m}^2$	Rapide	exposition forte	D (pour des éoliennes récentes) ⁹	E1	Modéré
					E2	Sérieux
					E3	Sérieux
					E4	Sérieux
Projection de glace	1,5 x (H + D) autour de l'éolienne $Z_E = 229\,022\text{ m}^2$ pour E1 $Z_E = 271\,546\text{ m}^2$ pour E2, 3, 4	Rapide	exposition modérée	B	E1	Modéré
					E2	Modéré
					E3	Modéré
					E4	Modéré

⁸ Voir paragraphe VIII.2.1

⁹ Voir paragraphe VIII.2.4

VIII.3.2. SYNTHÈSE DE L'ACCEPTABILITÉ DES RISQUES

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

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

GRAVITÉ	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		Projection d'éléments (E2, E3, E4)	Chute d'éléments de l'éolienne (E1 à E4)		
		Effondrement de l'éolienne (E1 à E4)			
Modéré		Projection d'éléments (E1)		Projection de glace (E1 à E4)	Chute de glace (E1 à E4)

Légende de la matrice

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

Au regard de la matrice de criticité, complétée pour l'ensemble des scénarios étudiés dans l'analyse des risques, il apparaît que la plupart des niveaux de risque apparaissent comme très faible. Seuls les scénarios de chute d'éléments et de glace apparaissent à un niveau de risque faible mais l'acceptabilité reste toutefois acceptable.

Au regard de l'acceptabilité de chaque aérogénérateur, le risque généré par le parc éolien des Landes de Pruillé pour chacun des phénomènes étudiés est donc acceptable.

Mesures de sécurité :

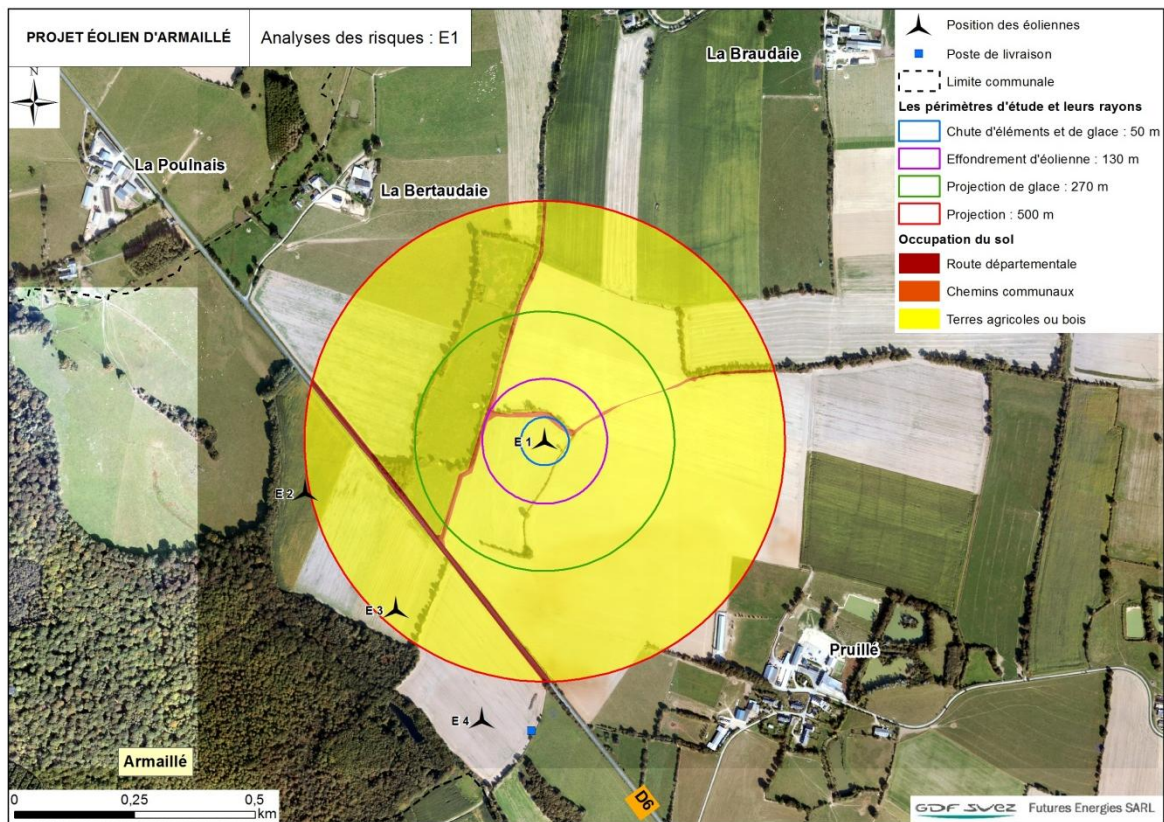
Bien que le risque reste acceptable, il convient de rappeler les mesures de sécurité prises pour les types d'accidents dont les risques apparaissent faibles (cases jaunes).

Concernant la chute et la projection d'éléments de l'éolienne, les scénarios recensés dans la partie VII.4 ont permis d'établir les mesures de sécurité qui seront mises en place, à savoir la prévention des défauts de stabilité et d'assemblage de l'éolienne ainsi que la prévention des erreurs de maintenance. Ainsi, les certifications des machines respectant les normes en vigueur, de même que les contrôles réguliers couplés à une maintenance sérieuse par des équipes formées, contribuent à éviter ce type d'accident et limiter le risque.

En cas de conditions climatiques entraînant la formation de dépôts de givre ou de glace sur les pales de l'éolienne susceptibles de chuter ou d'être projetés dans l'environnement de l'installation, les éoliennes, dont le constructeur est certifié, sont équipées d'un système de détection qui arrête automatiquement l'éolienne. La formation de glace sur les pales modifie leurs propriétés aérodynamiques, ce qui perturbe la production des éoliennes. Ce problème peut être détecté en comparant la courbe de puissance mesurée à la courbe de puissance caractéristique. Si la différence entre les deux est trop importante l'éolienne est arrêtée automatiquement. Elle reste arrêtée jusqu'à ce qu'elle soit réinitialisée manuellement par un technicien sur place. Avant redémarrage, le technicien s'assure de sa propre sécurité de même que celle des personnes situées à proximité. Rappelons qu'en leur qualité de propriétaires de l'ensemble des éléments du parc, les sociétés d'exploitation des parcs éoliens sont tenues d'une obligation de maintenance des installations du parc et de veiller à leur bon fonctionnement.

VIII.3.3. CARTOGRAPHIE DES RISQUES

Eolienne E1 :



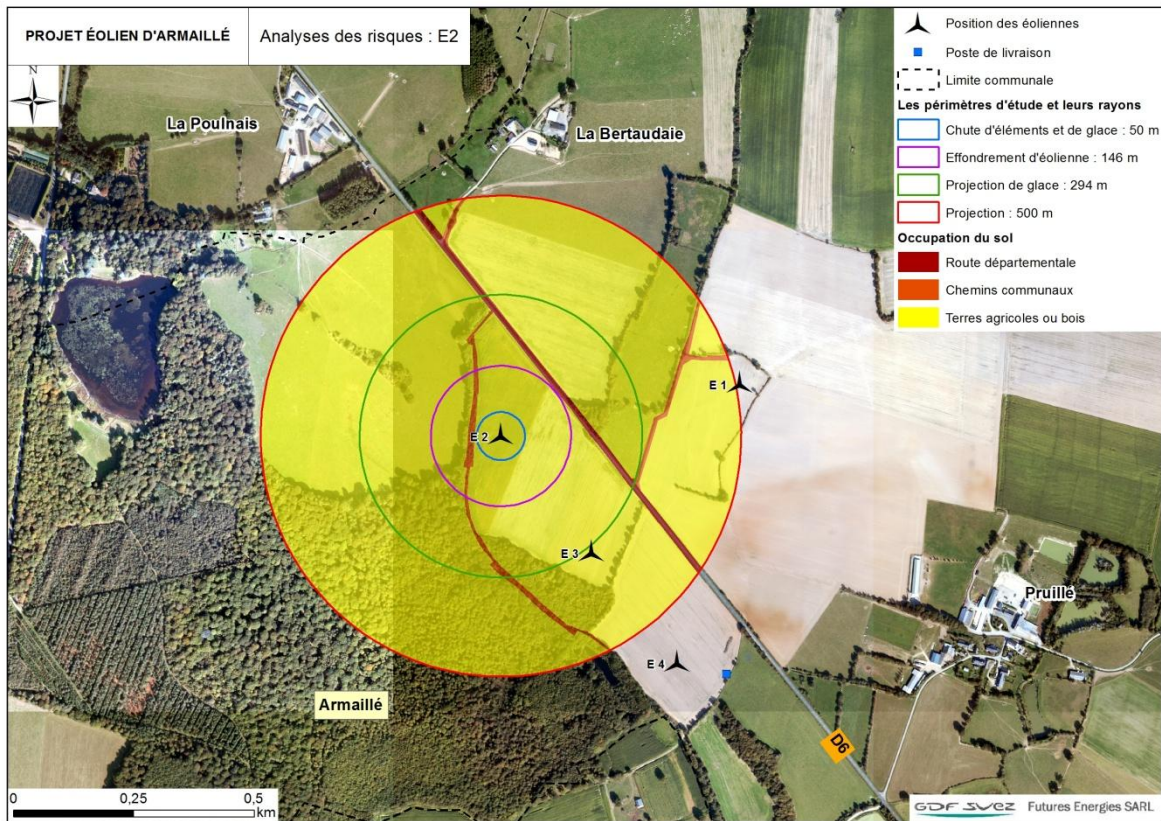
Carte 10 : Périmètres d'étude de l'éolienne 1

Concernant l'éolienne n°1, les périmètres de chute d'éléments et de glace, d'effondrement de machine et de projection de glace ne concernent que les terres agricoles et une portion de chemin communal. La route départementale D6 est comprise dans le périmètre de projection d'éléments.

Phénomène	Intensité	Nombre de personnes permanentes exposées	Gravité	Probabilité	Niveau de risque
Chute d'éléments	Exposition forte	0,011	Sérieux	C	Faible
Chute de glace	Exposition modérée	0,011	Modéré	A	Faible
Effondrements	Exposition forte	0,079	Sérieux	D	Très faible
Projection de morceaux de glace	Exposition modérée	0,293	Modéré	B	Très faible
Projection de pale ou fragment de pale	Exposition forte	0,972	Modéré	D	Très faible

L'implantation de l'éolienne 1 présente donc un risque acceptable pour l'environnement voisin.

Eolienne E2 :



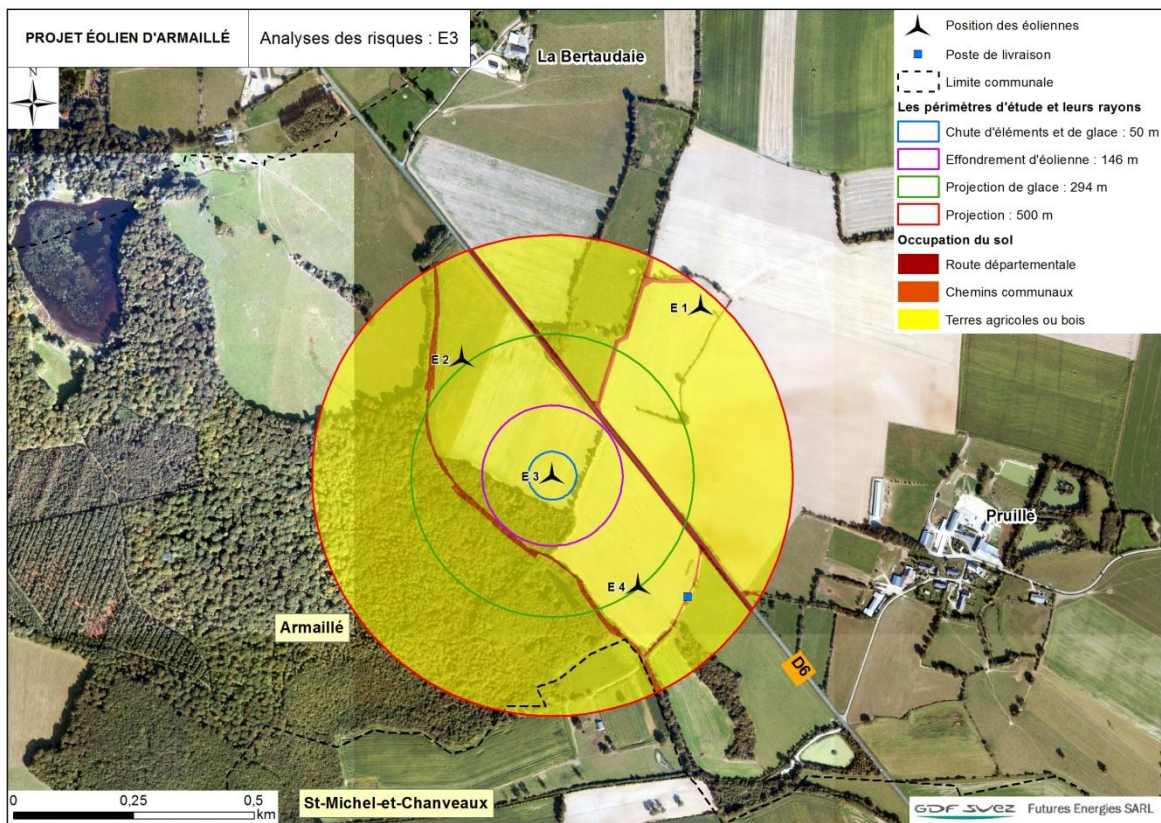
Carte 11 : Périmètres d'étude de l'éolienne 2

Concernant l'éolienne n°2, les périmètres de chute d'éléments et de glace concernent uniquement les terres agricoles. Le périmètre d'effondrement concerne les terres agricoles et un chemin communal. La route départementale D6 et plusieurs chemins communaux se trouvent dans le périmètre de projection de glace et de projection d'éléments.

Phénomène	Intensité	Nombre de personnes permanentes exposées	Gravité	Probabilité	Niveau de risque
Chute d'éléments	Exposition forte	0,008	Sérieux	C	Faible
Chute de glace	Exposition modérée	0,008	Modéré	A	Faible
Effondrements	Exposition forte	0,093	Sérieux	D	Très faible
Projection de morceaux de glace	Exposition modérée	0,379	Modéré	B	Très faible
Projection de pale ou fragment de pale	Exposition forte	1,024	Sérieux	D	Très faible

L'implantation de l'éolienne 2 présente un risque acceptable pour l'environnement voisin.

Eolienne E3 :



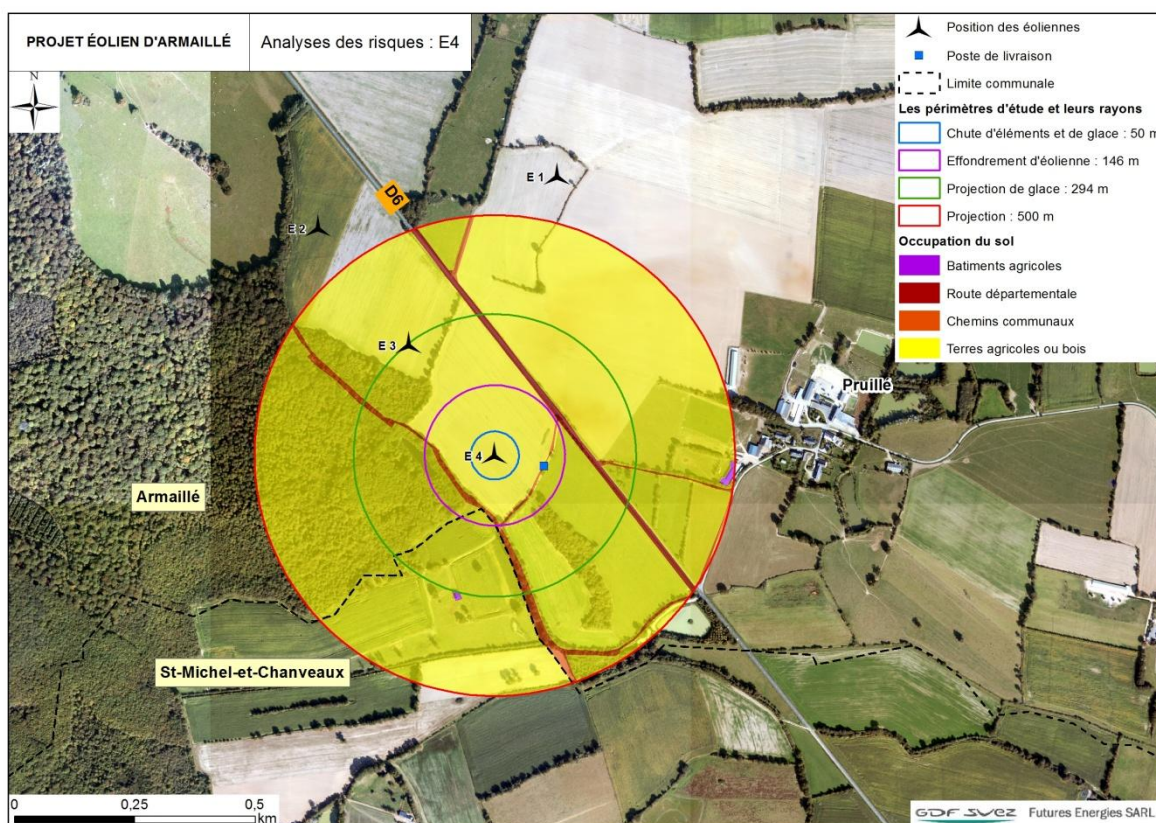
Carte 12 : Périmètres d'étude de l'éolienne 3

Concernant l'éolienne n°3, les périmètres de chute d'éléments et de glace, d'effondrement de machine ne concernent que les terres agricoles ou boisements. La route départementale D6 ainsi que plusieurs chemins communaux se situent dans le périmètre de projection de glace et de projection d'éléments.

Phénomène	Intensité	Nombre de personnes permanentes exposées	Gravité	Probabilité	Niveau de risque
Chute d'éléments	Exposition forte	0,008	Sérieux	C	Faible
Chute de glace	Exposition modérée	0,008	Modéré	A	Faible
Effondrements	Exposition forte	0,067	Sérieux	D	Très faible
Projection de morceaux de glace	Exposition modérée	0,386	Modéré	B	Très faible
Projection de pale ou fragment de pale	Exposition forte	1,043	Sérieux	D	Très faible

L'implantation de l'éolienne 3 présente un risque acceptable pour l'environnement voisin.

Eolienne E4 :



Carte 13 : Périmètres d'étude de l'éolienne 4

Concernant l'éolienne n°4, le périmètre d'effondrement de machine ne concerne que les terres agricoles et une portion de chemins agricoles tandis que les périmètres de chute d'éléments et de glace comprennent uniquement des terres agricoles. La route départementale D6 se trouve dans le périmètre de projection de glace ainsi que dans le périmètre de projection d'éléments. Le périmètre de projection d'éléments comprend également deux bâtiments agricoles, l'un concerné par une activité agricole (2 salariés considérés), l'autre, qui est également inclus dans le périmètre de projection de glace, non.

Phénomène	Intensité	Nombre de personnes permanentes exposées	Gravité	Probabilité	Niveau de risque
Chute d'éléments	Exposition forte	0,008	Sérieux	C	Faible
Chute de glace	Exposition modérée	0,008	Modéré	A	Faible
Effondrements	Exposition forte	0,098	Sérieux	D	Très faible
Projection de morceaux de glace	Exposition modérée	0,395	Modéré	B	Très faible
Projection de pale ou fragment de pale	Exposition forte	3,064	Sérieux	D	Très faible

L'implantation de l'éolienne 4 présente un risque acceptable pour l'environnement voisin.

IX. CONCLUSION

L'étude de Dangers du projet des Landes de Pruillé s'est attachée à recenser les diverses infrastructures et activités présentes dans l'environnement des éoliennes sur le site des Landes de Pruillé, et à rendre compte de l'ensemble des démarches réalisées pour concevoir le projet, analyser les dangers inhérents et présenter les mesures de sécurité prises.

Les différentes activités et infrastructures, présentes dans la zone d'étude des 500 mètres autour des installations éoliennes, ont fait l'objet d'une attention particulière afin de déterminer le niveau de risque pour chaque installation. Ainsi, la surface d'agriculture, les fréquentations des routes et chemins de randonnées, de même que les bâtiments agricoles, ont été répertoriés et comptabilisés pour permettre d'affiner l'intensité et la gravité par type d'accident, développées dans l'analyse des risques. L'activité agricole induit une présence saisonnière et assez irrégulière, de même pour la pratique de la randonnée sur le chemin menant au menhir de Pierre Frite.

L'étude des accidents ayant eu lieu en Europe et dans le monde indique que les probabilités d'accidents liés au fonctionnement d'un parc éolien sont très faibles et qu'ils prennent leur origine le plus souvent dans des défauts de conception de fondations, des modifications du modèle initial du constructeur, ou une mauvaise utilisation du système de sécurité visant à éviter la survitesse de rotation du rotor. Les accidents sont de plus souvent liés à des conditions climatiques particulières.

Le recensement des potentiels de dangers et cette analyse de l'accidentologie ont permis de répertorier et classer les différents types et occurrences de phénomènes, afin de retenir 5 scénarios majeurs redoutés (effondrement de l'éolienne, chute d'éléments, chute de glace, projection d'éléments, projection de glace). L'analyse des risques a ainsi pu rendre compte pour chaque phénomène étudié le niveau de risque associé à chaque éolienne dans son environnement.

D'un point de vue global, le site des Landes de Pruillé affiche un environnement principalement agricole dont le choix technique (potentiel vent, distances aux habitations, servitudes, etc) apparaît comme adéquat pour le développement éolien. Le recensement des diverses infrastructures et activités du site démontre bien cet aspect. Les calculs précis effectués pour chaque aérogénérateur, dans les périmètres définis pour chaque scénario retenu dans l'analyse des risques, ont permis de définir comme acceptables les risques d'accidents (faibles à très faibles). Il est important de noter que la plupart des éléments nécessaires aux calculs des zones d'impacts ont été majorés afin de ne pas sous-estimer l'intensité et la gravité des phénomènes retenus dans l'analyse des risques.

La conception du parc éolien s'appuie sur un ensemble de mesures préventives afin de prévenir tous les risques potentiels. Ces mesures s'appliquent en amont du projet en choisissant d'installer des éoliennes neuves et de se conforter à toutes les exigences du constructeur, garantissant un niveau très élevé de sûreté. La phase de chantier intègre également un ensemble de procédures qui visent à réaliser les travaux conformément aux plans établis, à relever toute défaillance, à assurer la sécurité des personnes et des tiers sur le chantier.

Comme prévu par la loi, le maître d'ouvrage nommera un coordinateur de sécurité qui rédigera un plan de coordination lors de la phase de planification des travaux. Ce plan prévoira la mise en place de l'ensemble des infrastructures liées à la sécurité, à la santé et à l'hygiène du personnel. Sa réalisation sera le fruit d'une collaboration entre l'ensemble des intervenants du chantier.

L'accès au chantier sera interdit au public. La signalisation correspondante sera convenue dans le plan de coordination sécurité (PGC) ou les plans individuels de chaque entreprise intervenante (PPSPS : Plan Particulier de Sécurité et Protection de la Santé).

La mise en place des mesures préventives doit éviter que des accidents se produisent sur le parc. Les maintenances préventives, organisées en moyenne à intervalles de 6 mois, permettent de maintenir un état de fonctionnement correct des éoliennes et de détecter d'éventuels défauts ou usures prématurées. Ces interventions, ainsi que les maintenances correctives, sont encadrées par un plan de prévention des risques.

Enfin, le centre de conduite de GDF SUEZ permet de procéder à des manœuvres télécommandées en cas d'accident, grâce aux outils de surveillance à distance et en temps réel (scada, alarmes, caméras, ...) afin de renforcer la sûreté des installations pendant leur exploitation.

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

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

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

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

Terrains non bâtis

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

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

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

Voies de circulation

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

Voies de circulation automobiles

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

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

Zones d'activité

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

ANNEXE 2 – TABLEAU DE L'ACCIDENTOLOGIE FRANÇAISE

Le tableau ci-dessous a été établi par le groupe de travail constitué pour la réalisation du guide technique d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens. Il recense l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne entre 2000 et fin 2011.

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 137Kmh)	Article de presse (La Voix du Nord)	-
Rupture de pale	31/12/2006	Ally	Haute-Loire	1,5	2005	Oui	Chute de pale lors d'un chantier de maintenance visant à remplacer les rotors	Accident faisant suite à une opération de maintenance	Site Vent de Colère	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident pendant la phase chantier)
Rupture de pale	03/2007	Clitourps	Manche	0,66	2005	Oui	Rupture d'un morceau de pale de 4 m et éjection à environ 80 m de distance dans un champ	Cause pas éclaircie	Site FED Interne exploitant	-
Chute d'élément	11/10/2007	Plouvien	Finistère	1,3	2007	Non	Chute d'un élément de la nacelle (trappe de visite de 50 cm de diamètre)	Défaut au niveau des charnières de la trappe de visite. Correctif appliqué et 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	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute d'une pale	18/05/2012	Du chemin d'Ablis	Eure et Loire	2	2008	oui	Chute d'une pale de 46 m. la pale s'est décrochée alors que les régimes de vents n'impliquaient pas d'arrêt sécurité de la machine.	-	Article de presse (le figaro du 22 mai 2012)	-

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.. 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 vous sont fournis. La méthodologie suivante pourra aider à déterminer l'ensemble des scénarios devant être regardé :

- Découper l'installation en plusieurs parties : rotor, nacelle, mât, fondation et poste de livraison ;

Déterminer à l'aide de mot clé les différentes causes (cause 1, cause 2) d'incendie possibles.

L'incendie peut aussi être provoqué par l'échauffement des pièces mécaniques en cas d'emballement du rotor (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'emballlement peut notamment intervenir lors de pertes d'utilités. Ces pertes d'utilités peuvent être la conséquence de deux phénomènes :

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

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

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

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

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

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

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

Scénarios relatifs aux risques de fuites (F01 à F02)

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

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

Scénario F01

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

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

- Vérification des niveaux d'huile lors des opérations de maintenance

- Détection des fuites potentielles par les opérateurs lors des maintenances
- Procédure de gestion des situations d'urgence

Deux événements peuvent être aggravants :

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

Scénario F02

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

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

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

Ce scénario est à adapter en fonction des produits utilisés.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Scénario P01

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

Scénario P02

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

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

Facteur aggravant : Infiltration d'eau et formation de glace dans une fissure, vents violents, 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) vivantes ou matérielles, sans préjuger l'existence de ces dernières. C'est une « Source potentielle de dommages »

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

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

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

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

Attention aux confusions possibles :

1. Assimilation entre probabilité d'un accident et celle du phénomène dangereux correspondant, la première intégrant déjà la probabilité conditionnelle d'exposition des enjeux. L'assimilation sous-entend que les enjeux

sont effectivement exposées, ce qui n'est pas toujours le cas, notamment si la cinétique permet une mise à l'abri ;

2. Probabilité d'occurrence d'un accident x sur un site donné et probabilité d'occurrence de l'accident x, en moyenne, dans l'une des N installations du même type (approche statistique).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Enfin, quelques sigles utiles employés dans la présente étude sont listés et explicités ci-dessous :

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

SER : Syndicat des Energies Renouvelables

FEE : France Energie Eolienne (branche éolienne du SER)

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

EDD : Etude de dangers

APR : Analyse Préliminaire des Risques

ERP : Etablissement Recevant du Public

ANNEXE 6 – BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES UTILISEES

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