

Etude de dangers

*Parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez
(53)*

Juin 2012

Rapport n° 61202/B



ERELIA MAYENNE
Les Jardins de Brabois II – 3 allée d’Enghien
CS 50150- Villers les Nancy CEDEX

Annexe 7

*Agence Rhône-Alpes Méditerranée
Métier Risques Industriels
Parc Napollon – 400, avenue du Passe-Temps – Bât. C – 13676 AUBAGNE Cedex
Tél. :04 42 08 70 70
Fax. :04 42 08 70 71*

Résumé non technique

Le but d'une éolienne est de transformer l'énergie mécanique du vent en énergie électrique. Une éolienne se compose :

- du rotor et de ses pales supportées par un moyeu et mises en mouvement par l'action du vent ;
- d'une nacelle contenant le dispositif nécessaire à la production d'électricité (génératrice, freinage aérodynamique ...) ;
- d'une tour ou mât.

Ces éléments constitutifs sont présentés sur la figure suivante :

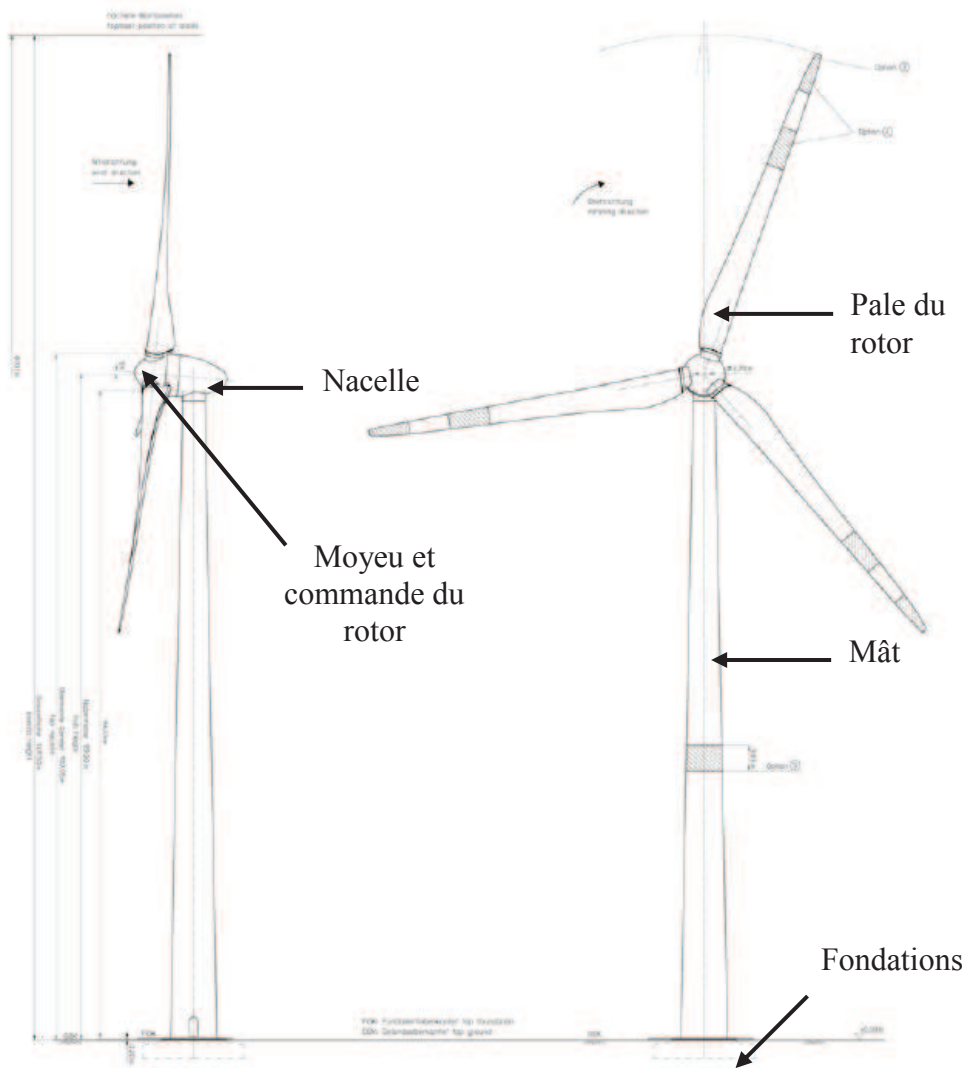


Schéma type d'une éolienne ENERCON (source : ENERCON)

Le type d'éolienne retenu présente les caractéristiques suivantes :

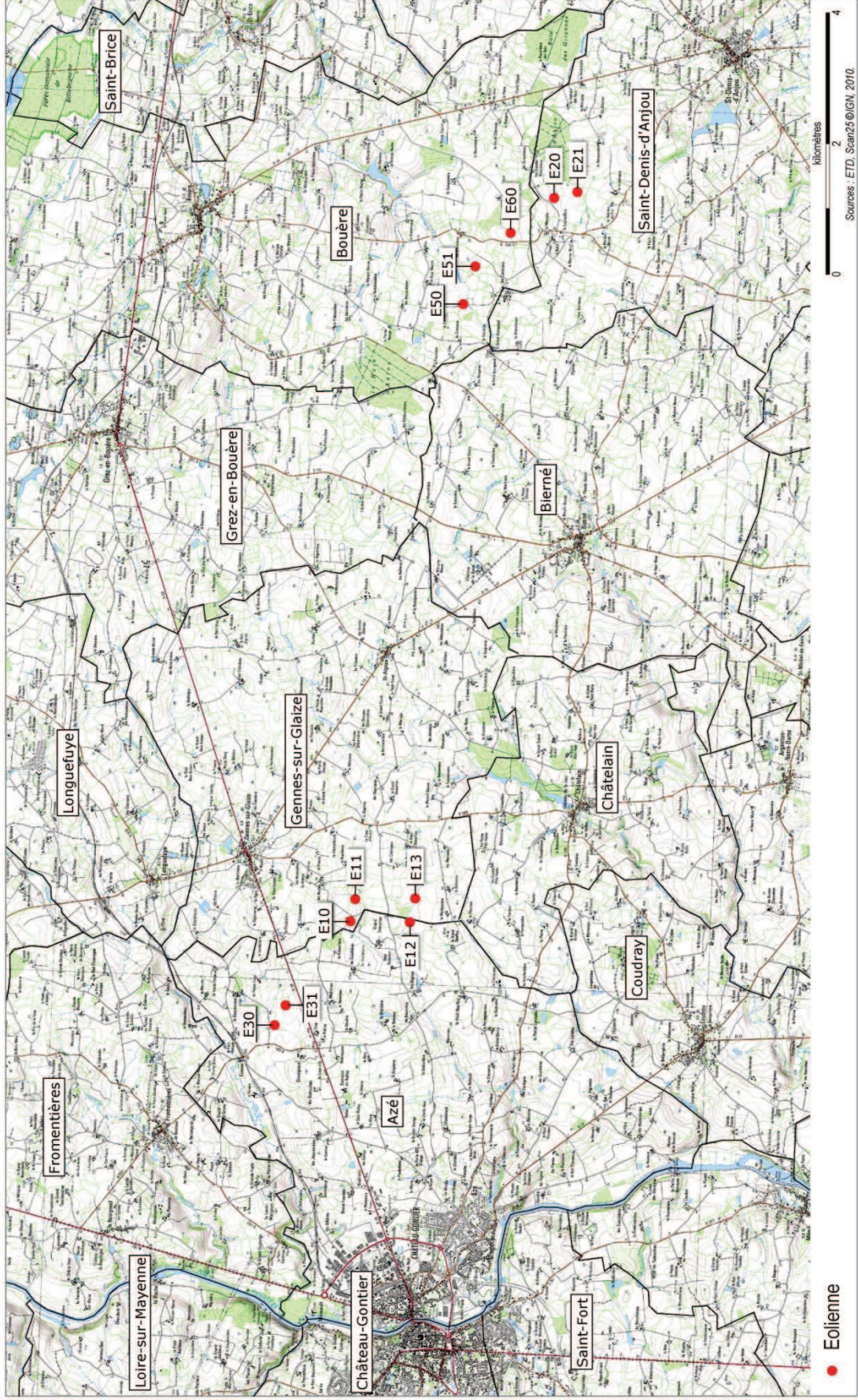
- Hauteur du moyeu : environ 108 m
- Longueur de pale : environ 39 m
- Diamètre du rotor : 82 m

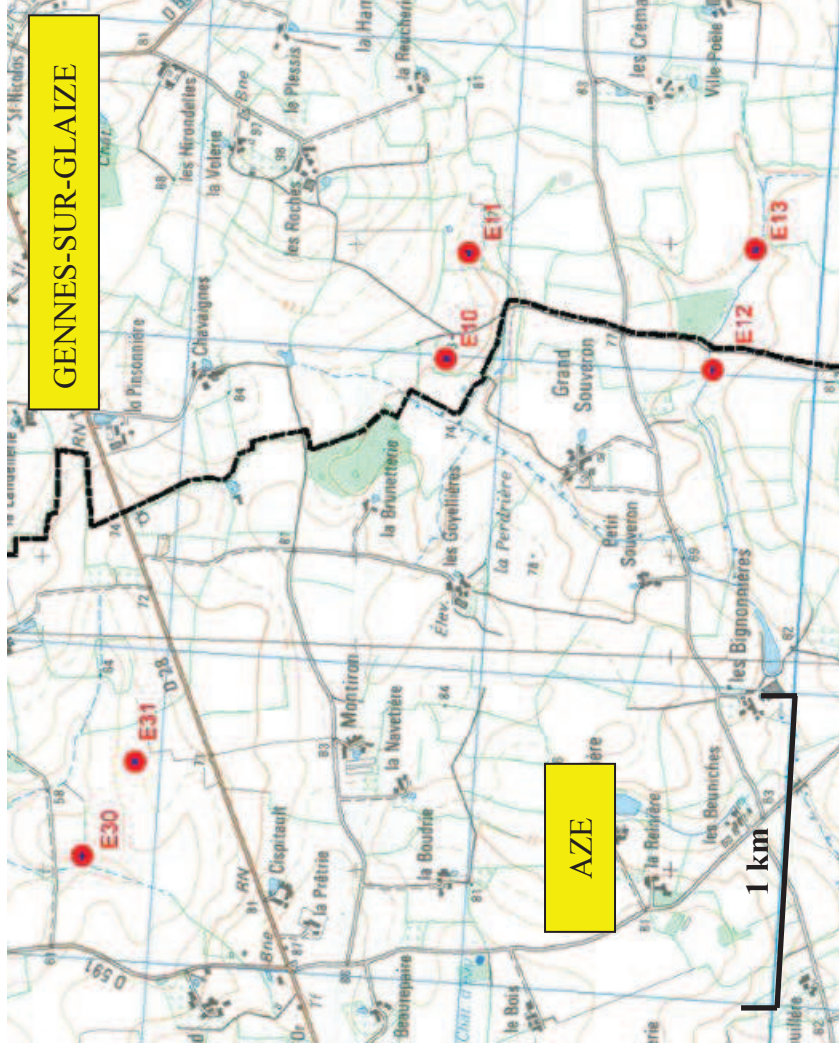
L'étude de dangers réalisée concerne le projet du parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez localisé dans le département de la Mayenne (53). Il est constitué de deux secteurs d'implantation. Le premier se situe sur les communes d'Azé et Gennes-sur-Glaize, tandis que le second est situé plus à l'est sur les communes de Bouère et Saint-Denis d'Anjou. Ce projet consiste en l'implantation de 11 éoliennes de 2 300 kilowatts chacune, soit une puissance maximale de 25,3 mégawatts qui sera raccordée au réseau électrique.

Les éoliennes seront implantées sur un plateau bocager. Les éoliennes sont implantées de manière à ce que la distance entre son pied de mât et les habitations les plus proches soit d'au moins 500 m pour respecter la réglementation en vigueur.

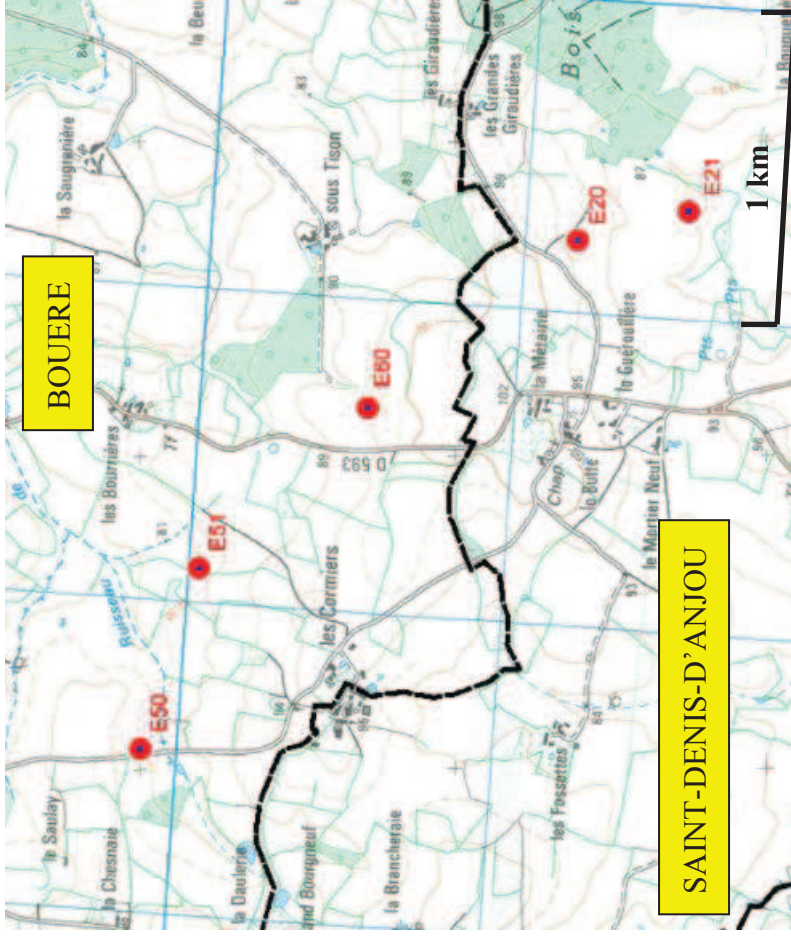
La figure page suivante présente le projet dans son environnement physique et humain.

ERELLA Mayenne
Etude des dangers - Parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez (53)
Rapport n° 61202/B





Les éoliennes du secteur Ouest



Les éoliennes du secteur Est

Figure 1 : Le projet dans son environnement physique et humain

D'après la législation issue de la loi Grenelle 2 du 12 juillet 2010, l'installation d'éoliennes est soumise à une autorisation au titre des Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), au même titre que les usines, les élevages, les carrières...

L'étude de dangers a été réalisée conformément à la méthodologie applicable à ces installations au moment de la rédaction de la présente étude, notamment selon :

- la circulaire du 29 août 2011 relative aux conséquences et aux orientations du classement des éoliennes dans le régime des installations classées (ICPE) ;
- l'arrêté ministériel 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 soumises à autorisation.

L'étude intègre les prescriptions du décret n°2011-984 du 23 août 2011 (version consolidée au 26 août 2011) modifiant la nomenclature des installations classées dont l'objet est l'inscription des éoliennes au régime des ICPE.

Elle intègre également les prescriptions de la Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers.

L'analyse des potentiels de dangers liés à l'environnement a permis d'identifier le vent, la foudre, la remontée de nappe phréatique, et les conditions climatiques comme sources potentielles de dangers pour le site.

L'analyse des potentiels de dangers liés aux produits mis en œuvre n'a mis en évidence aucun potentiel de dangers.

L'analyse des potentiels de dangers liés au procédé mis en œuvre dans les éoliennes a permis d'identifier des phénomènes dangereux susceptibles de se produire sur le site, ainsi que leurs causes et leurs conséquences (chute de l'éolienne, projection de tout ou partie de pale et chute de glace à partir de l'éolienne à l'arrêt).

Afin d'estimer les effets de l'ensemble des sinistres envisageables, des modélisations des effets des phénomènes dangereux ont été réalisées. Cette démarche a permis d'estimer les conséquences en termes de gravité sur le voisinage proche (cultures/prairies).

Une analyse des risques a également permis de recenser les moyens de prévention (permettant de limiter l'apparition des causes) et les moyens de protection (permettant de limiter les conséquences et donc la gravité de la situation dangereuse) mis en œuvre.

Les rayons de dangers associés aux phénomènes dangereux sont :

Phénomène dangereux modélisé		Distance d'effet létale	Caractérisation de la zone
Chute de l'éolienne		150 m	Cultures/prairies Voie communale Route départementale
Projection de tout ou partie d'une pale	Cas 1 Pale entière à la vitesse nominale	104 m	Cultures/prairies Voie communale
	Cas 2 Tiers extrême à la vitesse nominale	239 m	Cultures/prairies Voie communale Route départementale
	Cas 3 Pale entière en surrégime	186 m	Cultures/prairies Voie communale Route départementale
	Cas 4 Tiers extrême en surrégime	349 m	Cultures/prairies Voie communale Route départementale
Chute de glace à partir de l'éolienne à l'arrêt		41 m	Cultures/prairies Voie communale
Incendie de la nacelle		Aucun effet thermique n'est attendu à hauteur d'homme. Les effets restent localisés au sein d'une sphère de 10 m autour de la nacelle ; soit à plus de 99 m du sol.	/

L'évaluation de la probabilité d'occurrence des différents phénomènes dangereux est synthétisée dans le tableau suivant :

Phénomène dangereux		Probabilité (/an)	Classe de probabilité associée (1)
PhD1	Chute d'une éolienne	$1,3 \cdot 10^{-4}$	C
PhD2 Cas 1	Projection d'une pale entière à la vitesse nominale	$4,2 \cdot 10^{-5}$	C
PhD2 Cas 2	Projection d'un fragment de pale : tiers extrême à la vitesse nominale	$2,6 \cdot 10^{-5}$ (2)	C
PhD2 Cas 3	Projection d'une pale entière en surrégime	$5,0 \cdot 10^{-7}$	E
PhD2 Cas 4	Projection d'un fragment de pale : tiers extrême en surrégime	$2,6 \cdot 10^{-5}$ (2)	C
PhD3	Chute de glace à partir de l'éolienne à l'arrêt	De $3 \cdot 10^{-3}/m^2$ à $0,5/m^2$ (3)	
PhD4	Incendie de nacelle	$1,96 \cdot 10^{-04}$	C

(1) D'après la grille de probabilité issue de l'arrêté du 29 septembre 2005 ;

(2) Aucune indication de vitesse n'est associée à cette probabilité.

(3) D'après l'étude de dangers générique ENERCON (Rapport BUREAU-VERITAS n°101027-0114, révision 2)

En ce qui concerne le parc éolien de Château Gontier et Meslay Gray, on notera que les effets de ces phénomènes dangereux n'atteignent pas d'habitations. Six cibles sont susceptibles d'être atteintes par ces derniers :

- 3 routes départementales,
- 3 routes communales.

Le tableau page suivante présente les probabilités d'atteinte de ces 6 cibles ainsi que les probabilités d'atteindre une personne sur ces infrastructures par l'ensemble des phénomènes dangereux (chute d'éolienne, projection de tout ou partie de pale et chute de glace à partir de l'éolienne à l'arrêt) :

Cibles/infrastructures susceptibles d'être atteintes	Probabilité totale d'atteinte de l'infrastructure (/an)	Probabilité d'atteinte d'une personne (/an) sur l'infrastructure concernée ¹
Route communale reliant le hameau du Poirier rouge (Bouère) à celui des Grandes Giraudières (Saint-Denis d'Anjou) ou « route communale des Cormiers »	$9,09.10^{-05}$	$2,71.10^{-06}$
Route communale reliant le hameau de la Guyonnière (Azé) à la D591 ou « Route communale du Château »	$4,78.10^{-5}$	$1,43.10^{-06}$
D593	$2,55.10^{-5}$	$1,20.10^{-06}$
D28	$1,07.10^{-6}$	$3,31.10^{-07}$
Route communale reliant les hameaux des Beuniches (Azé) aux Crémeaux (Gennes-sur-Glaize), ou « Voie communale du Grand Souveron »	$4,76.10^{-7}$	$2,46.10^{-09}$
D591	$2,73.10^{-7}$	$5,07.10^{-09}$

Tableau 1 : Probabilités d'atteinte des infrastructures et d'une personne sur ces infrastructures par l'ensemble des phénomènes dangereux (chute d'éolienne, rupture de tout ou partie pale)

¹ Le comptage des personnes présentes dans les zones d'effet des phénomènes dangereux et potentiellement atteintes par le projectile est réalisé selon la méthodologie présentée au chapitre 7.2.1.

En ce qui concerne l'atteinte des infrastructures par la chute d'une éolienne ou par la projection de tout ou partie de ses pales :

L'atteinte de ces infrastructures est extrêmement peu probable, avec une occurrence comprise entre 1 événement tous les 11 000 ans à 1 événement tous les 3 663 000 années environ.

L'atteinte d'une personne sur ces infrastructures est également extrêmement peu probable, avec une occurrence tous les 370 000 ans à 406 millions d'années environ.

A titre de comparaison, les probabilités de chute d'avion sont les suivantes :

- Aviation commerciale (avion > 5,7 t) : 10^{-12} /m²/an,
- Aviation militaire : 10^{-11} /m²/an,
- Aviation générale (avion < 5,7 t) : 10^{-10} /m²/an.

avec 1/3 pour chaque phase (décollage, vol, atterrissage).

Soit, pour un tronçon de route ou de voie ferrée de 1 km (et de 10 m de large) proche des éoliennes (phase de vol uniquement) :

- Aviation commerciale (avion > 5,7 t) : 1.10^{-8} /an,
- Aviation militaire : 1.10^{-7} /an,
- Aviation générale (avion < 5,7 t) : 1.10^{-6} /an.

Il s'agit d'ordres de grandeur similaires.

La probabilité de projection sur un tronçon de la route impactée par une éolienne (ou partie d'éolienne) est du même ordre de grandeur que la probabilité de chute d'un avion.

Sommaire

1. OBJET ET METHODOLOGIE DE L'ETUDE	14
2. ACTIVITE ET ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION.....	15
2.1. LOCALISATION DU SITE	15
2.2. DESCRIPTION D'UNE EOLIENNE	21
2.2.1. <i>Le rotor</i>	22
2.2.2. <i>Nacelle</i>	23
2.2.3. <i>Le générateur</i>	24
2.2.4. <i>Unité d'alimentation au réseau</i>	25
2.2.5. <i>Les fondations</i>	26
2.2.6. <i>La tour</i>	27
2.2.1. <i>Certification des éoliennes</i>	30
2.3. CARACTERISTIQUES TECHNIQUES DU MODELE D'EOLIENNE RETENU	30
2.4. LE FONCTIONNEMENT DE L'EOLIENNE	31
2.4.1. <i>Démarrage de l'éolienne</i>	32
2.4.2. <i>Fonctionnement normal</i>	32
2.4.3. <i>Fonctionnement en charge partielle</i>	33
2.4.4. <i>Fonctionnement de régulation</i>	33
2.4.5. <i>Mode de fonctionnement au ralenti</i>	33
2.4.6. <i>Arrêt de l'éolienne</i>	34
2.4.7. <i>Arrêt automatique</i>	34
2.4.8. <i>Arrêt manuel</i>	35
2.4.9. <i>Absence de vent</i>	35
2.4.10. <i>Tempête</i>	35
2.4.11. <i>Dévrillage des câbles</i>	36
2.5. BALISAGE AERONAUTIQUE	36
2.6. IDENTIFICATION DES CIBLES	37
2.6.1. <i>Environnement du site : activités industrielles, agriculture et zones d'habitation</i> .	37
2.6.2. <i>Réseaux de transport</i>	41
2.6.3. <i>Lignes Haute Tension</i>	44
2.6.4. <i>Parcs éoliens voisins</i>	44
2.6.5. <i>Contraintes liées aux servitudes</i>	44
3. RETOUR D'EXPERIENCE	45
3.1. RETOUR D'EXPERIENCE INTERNE.....	45
3.2. RETOUR D'EXPERIENCE EXTERNE.....	45
3.2.1. <i>Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles</i>	45
3.2.1. <i>Revue de presse</i>	49
3.2.2. <i>Rapport sur la sécurité des installations éoliennes</i>	54
3.2.3. <i>Synthèse des accidents survenus sur des installations éoliennes entre 1975 et 2010 : « Caithness Windfarm Information Forum »</i>	56
3.2.4. <i>Complément : accidents survenus sur des installations éoliennes depuis 2006 : Fédération Environnement Durable</i>	59
3.2.5. <i>Analyse des risques éoliens : programme PIER</i>	59
3.2.6. <i>Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience</i>	60
4. ANALYSE DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION.....	61
4.1. AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES	61
4.1.1. <i>Agressions externes liées aux phénomènes naturels</i>	61
4.1.2. <i>Agressions externes liées aux activités extérieures aux installations</i>	73
4.1.3. <i>Agressions externes liées aux actes de malveillance</i>	76
4.1.4. <i>Synthèse des agressions externes potentielles</i>	77
4.2. POTENTIELS DE DANGERS LIES AUX PRODUITS	77

4.3.	POTENTIELS DE DANGERS LIES AUX EQUIPEMENTS ET AUX OPERATIONS	79
4.4.	SYNTHESE	88
4.5.	REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS A LA SOURCE.....	89
4.5.1.	<i>Suppression des potentiels de dangers</i>	89
4.5.2.	<i>Réduction des quantités de produits dangereux</i>	89
4.5.3.	<i>Le choix d'Erelia</i>	90
5.	ESTIMATION DES CONSEQUENCES DE LA MATERIALISATION DES DANGERS.....	91
5.1.	SEUILS RETENUS DANS LE CADRE DE LA MODELISATION DES PHENOMENES DANGEREUX.	91
5.1.1.	<i>Effets thermiques</i>	91
5.1.2.	<i>Effets de projections et chute de l'éolienne</i>	92
5.2.	METHODES ET MOYENS DE CALCUL MIS EN APPLICATION.....	93
5.2.1.	<i>Calcul des flux thermiques générés par un incendie</i>	93
5.2.2.	<i>Chute de l'éolienne (effondrement de la machine)</i>	96
5.2.3.	<i>Calcul des effets de projection des fragments de pales</i>	96
5.2.1.	<i>Calcul des effets de chute de glace d'une éolienne à l'arrêt</i>	98
5.3.	SYNTHESE DES ZONES D'EFFET DES PHENOMENES DANGEREUX MAXIMUM	99
6.	EFFETS DOMINOS	101
6.1.	GENERALITE ET SEUILS D'EFFET RETENUS.....	101
6.2.	EFFETS DOMINOS	102
7.	GRAVITE, PROBABILITE ET CINETIQUE DES PHENOMENES DANGEREUX	104
7.1.	PRESENTATION DES GRILLES REGLEMENTAIRES POUR LA COTATION DU RISQUE	104
7.1.1.	<i>Niveaux de gravité</i>	104
7.1.2.	<i>Niveaux de probabilité</i>	105
7.2.	EVALUATION DE LA GRAVITE DES PHENOMENES DANGEREUX.....	106
7.2.1.	<i>Méthodologie</i>	106
7.2.2.	<i>Evaluation de la gravité</i>	107
7.3.	EVALUATION DE LA PROBABILITE.....	109
7.3.1.	<i>Probabilité des phénomènes dangereux</i>	109
7.3.2.	<i>Probabilité d'atteinte des cibles en cas de projection de tout ou partie d'une pale ...</i>	112
7.3.3.	<i>Probabilité d'atteinte des cibles en cas de chute de bloc de glace à partir de l'éolienne à l'arrêt</i>	116
7.3.4.	<i>Synthèse des probabilités retenues</i>	118
7.4.	EVALUATION DE LA CINETIQUE	118
7.5.	EVALUATION DE LA PROBABILITE D'ATTEINTE DES PERSONNES AU NIVEAU DES ENJEUX .	119
7.5.1.	<i>Méthode de calcul</i>	119
7.5.2.	<i>Résultats obtenus</i>	119
8.	DESCRIPTION DES MESURES GENERALES DE PREVENTION ET D'INTERVENTION DES RISQUES.....	121
8.1.	SYSTEME DE FREINAGE	121
8.2.	DETECTION DE SURVITESSE	121
8.3.	PROTECTION Foudre	122
8.4.	SYSTEME DE DETECTION DE GIVRE / GLACE.....	123
8.4.1.	<i>Principe de fonctionnement</i>	123
8.4.2.	<i>Redémarrage de l'éolienne</i>	124
8.5.	SURVEILLANCE DES PARAMETRES	124
9.	CONCLUSION.....	125

Liste des tableaux

Tableau 1 : Probabilités d'atteinte des infrastructures et d'une personne sur ces infrastructures par l'ensemble des phénomènes dangereux (chute d'éolienne, rupture de tout ou partie pale).....	8
Tableau 2 : Géolocalisation des éoliennes (NTF Lambert II étendu). Source : Erelia.....	19
Tableau 3 : Distances entre les éoliennes du secteur Ouest.....	19
Tableau 4 : Distances entre les éoliennes du secteur Ouest.....	20
Tableau 5 : Installations classées des communes de l'ilot d'implantation Ouest. Source : Base des installations classées.....	38
Tableau 6 : Installations classées des communes de l'ilot d'implantation Est. Source : Base des installations classées.....	38
Tableau 7 : Distances des éoliennes du secteur Ouest aux voies de transport.....	42
Tableau 8 : Distances des éoliennes du secteur Est aux voies de transport.....	43
Tableau 9 : Analyse des accidents recensés dans le BARPI.....	48
Tableau 10 : Incidents répertoriés par ANTEA sur des installations similaires au parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez.....	50
Tableau 11 : Répartition des 31 incidents impliquant des éoliennes en France de 2000 à fin septembre 2010.....	53
Tableau 12 : Probabilité d'occurrence phénomènes des dangereux par éolienne et par an.....	54
Tableau 13 : Distance d'éloignement en fonction de la sensibilité des installations concernées et corrélation avec la probabilité d'atteinte par un fragment.....	56
Tableau 14 : Fréquence de rupture par éléments et distances de projection maximales.....	59
Tableau 15 : Probabilités d'occurrence des phénomènes dangereux par éolienne et par an, issues des différentes bases de données.....	60
Tableau 16 : Fréquence des vents par tranche d'angle.....	63
Tableau 17 : Vitesses de vent extrêmes supportées par les éoliennes.....	64
Tableau 18 : Historique des séismes ressentis à Azé. Source : BRGM.....	72
Tableau 19 : Historique des séismes ressentis à Gennes-sur-Glaize. Source : BRGM.....	72
Tableau 20 : Historique des séismes ressentis à Bouère. Source : BRGM.....	72
Tableau 21 : Historique des séismes ressentis à Saint-Denis-d'Anjou. Source : BRGM.....	72
Tableau 23 : Caractéristiques physico-chimiques de produits mis en œuvre dans une éolienne	78
Tableau 24 : Analyse du procédé.....	87
Tableau 25 : Phénomènes dangereux maximum retenus et quantifiés.....	91
Tableau 26 : Propriétés des fragments lors du bris d'une pale d'une l'éolienne E-82 E2.....	98
Tableau 27 : Distances d'effets des phénomènes dangereux.....	100
Tableau 28 : Effets dominos.....	102
Tableau 29 : Echelle de gravité présentée en Annexe 3 de l'arrêté du 29 septembre 2005.....	104
Tableau 30 : Echelle de probabilité quantitative présentée en Annexe 1 de l'arrêté du 29 septembre 2005.....	105
Tableau 31 : Gravité des phénomènes dangereux maximum.....	108
Tableau 28 : Nombre moyen de jour conduisant à la formation de givre par an.....	111
Tableau 32 : Synthèse des probabilités d'atteintes de ces cibles par la chute d'une éolienne et par la projection de tout ou partie de pale (voies de communication routières et éolienne).....	115
Tableau 35 : Synthèse des probabilités retenues.....	118
Tableau 36 : Probabilités d'atteinte des infrastructures pour les phénomènes dangereux 1 et 2.....	128
Tableau 37 : Probabilités d'atteinte des infrastructures et d'une personne sur ces infrastructures par la chute d'éolienne et la rupture de pale.....	128

Liste des figures

Figure 1 : Le projet dans son environnement physique et humain..... 5

Figure 2 : Localisation du parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez..... 16

Figure 3 : Le parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez. Source : Erelia. 18

Figure 4 : Voisinage immédiat du secteur Ouest d’implantation. Source : Google Earth..... 20

Figure 5 : Voisinage immédiat du secteur Est d’implantation. Source : Google Earth..... 21

Figure 6 : Schéma type d’une éolienne ENERCON (source : ENERCON) 22

Figure 7 : Dessin schématique de la nacelle (source : ENERCON) 23

Figure 8 : Orientation de l’éolienne (source : ENERCON) 24

Figure 9 : Unité d’alimentation au réseau (source : ENERCON) 26

Figure 10 : Schéma de l’éolienne E82-E2 (source : Enercon) 27

Figure 11 : Photographies des segments en béton constitutifs du mât (source : Enercon)..... 28

Figure 12 : Fixation des torons de tension à la base du mât (source : Enercon) 28

Figure 13 : Photographies illustrant le processus de montage de l’éolienne (source : Enercon) 30

Figure 14 : Caractéristiques techniques du modèle d’éolienne retenu 31

Figure 15 : Modes de fonctionnement : courbes de puissance en fonction de la vitesse du vent
 (source : ENERCON) 33

Figure 16 : Arrêt de l’éolienne (source : ENERCON) 34

Figure 17 : Les éoliennes du secteur Est dans leur environnement. Source : Erelia. 40

Figure 18 : Les éoliennes du secteur Ouest dans leur environnement. Source : Erelia. 40

Figure 19 : Infrastructures routières à proximité directe du secteur Ouest d’implantation 41

Figure 20 : Infrastructures routières à proximité directe du secteur Est d’implantation 43

Figure 22 : Répartition des incidents éoliens répertoriés par ANTEA selon leur nature 51

Figure 23 : Répartition des 3 principaux types d’incidents selon leurs causes 52

Figure 24 : Répartition du nombre d’incidents répertoriés par an de 1995 à 2009 compris 57

Figure 25 : diagramme ombrothermique (Météo-france) 62

Figure 26 : Rose des vents 63

Figure 27 : Extrait cartographique du PPRI prescrit à Azé le 15/03/1997 et approuvé le 29/10/2003
 65

Figure 28 : Cartographie des remontées de nappe au niveau de l’îlot d’implantation Ouest (source :
 BRGM) 66

Figure 29 : Cartographie des remontées de nappe au niveau de l’îlot d’implantation Est (source :
 BRGM) 67

Figure 30 : Cartographie des mouvements de terrains (source : BRGM) 69

Figure 31 : Cartographie de l’aléa retrait-gonflement des argiles. Source : BRGM 70

Figure 32 : Carte d’aléa sismique en France (source : MEEDDM) 71

Figure 33 : Principaux axes routiers traversant les communes concernées par le projet. Source ;
 DDRM Mayenne 2006. 74

Figure 34 : Potentiels de dangers d’une éolienne..... 88

Figure 35 : Localisation des éoliennes du secteur Ouest et des cibles impactées 114

Figure 36 : Localisation des éoliennes du secteur Est et des cibles impactées 115

Figure 37 : Localisation de la cible susceptible d’être impactée par la chute d’un bloc de glace
 d’une éolienne à l’arrêt 117

Liste des annexes

- Annexe 1 : Extrait du rapport sur la sécurité des éoliennes
- Annexe 2 : Eléments d’accidentologie
- Annexe 3 : Détails des modélisations des effets des phénomènes dangereux
- Annexe 4 : Cartographie des zones d’effets des phénomènes dangereux maximum
- Annexe 5 : Détails des calculs de gravité
- Annexe 6 : Détails des calculs de probabilité

1. Objet et méthodologie de l'étude

L'étude des dangers expose les dangers que peuvent présenter les installations en cas d'accident, en apportant une description des accidents susceptibles d'intervenir que leur cause soit d'origine interne ou externe, et en décrivant la nature et l'extension des conséquences.

L'étude des dangers est élaborée de manière à répondre aux dernières évolutions réglementaires.

Dans cette optique, elle comprend les étapes suivantes :

- Description et caractérisation de l'environnement en distinguant l'environnement comme source potentielle d'agression et l'environnement comme cible ;
- Identification et caractérisation des potentiels de dangers liés :
 - aux produits,
 - aux équipements et installations,
 - aux analyses des antécédents d'accidents survenus sur le site et sur d'autres sites mettant en œuvre des installations, des produits et des procédés comparables ;
- Analyse des potentiels de dangers et des principales dispositions de réduction des potentiels de dangers. Cette partie vise à présenter les dispositions prises pour d'une part supprimer ou substituer aux procédés dangereux, à l'origine des dangers potentiels, des procédés ou produits présentant des dangers moindres et/ou d'autre part réduire autant que possible les quantités de matières en cause.
- Méthodes et moyens de calcul utilisés pour la modélisation des phénomènes dangereux ;
- Modélisation des conséquences des phénomènes dangereux associées aux potentiels de dangers notables identifiés (estimation des conséquences de la matérialisation des dangers). L'objectif de cette étape est de modéliser les conséquences des phénomènes dangereux maximums, représentatifs des potentiels de dangers et totalement découplés du niveau de maîtrise des risques par l'exploitant et des barrières de sécurité actives existantes ;
- Evaluation des effets dominos ;
- Evaluation de la gravité, la probabilité d'occurrence et la cinétique des phénomènes dangereux ;
- Description des mesures générales de prévention des risques et d'intervention
- Conclusion.

2. Activité et environnement de l'installation

Le projet de parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez consiste en l'implantation de 11 éoliennes de 2300 kilowatts chacune, soit une puissance maximale de 25,3 mégawatts qui sera raccordée au réseau électrique.

L'énergie éolienne permet de produire de l'électricité sans brûler de combustibles fossiles (responsables de la majeure partie de la pollution atmosphérique de notre planète), et de contribuer à l'indépendance énergétique de la France et de l'Europe. C'est pourquoi les pouvoirs publics français ont lancé, en décembre 2000, le programme national d'amélioration de l'efficacité énergétique qui a pour objectif de développer les énergies renouvelables en général et l'énergie éolienne en particulier.

Il est à noter que l'Europe est dotée d'un programme d'action 2002-2020 pour l'environnement, assorti d'objectifs à atteindre dans plusieurs domaines : réduction des émissions de gaz à effet de serre (protocole de Kyoto), développement des énergies renouvelables, constitution d'un réseau écologique européen, respect des normes de pollution de l'air pour la protection de la santé, stabilisation de la production de déchets municipaux, etc. C'est dans ce cadre, renforcé en France par le processus du Grenelle de l'Environnement, que le secteur éolien connaît actuellement un véritable essor.

2.1. Localisation du site

Le site éolien retenu se répartit en deux secteurs, localisés dans le sud de la Mayenne (53). L'altitude au niveau des secteurs est comprise entre environ 75 et 95 mètres.

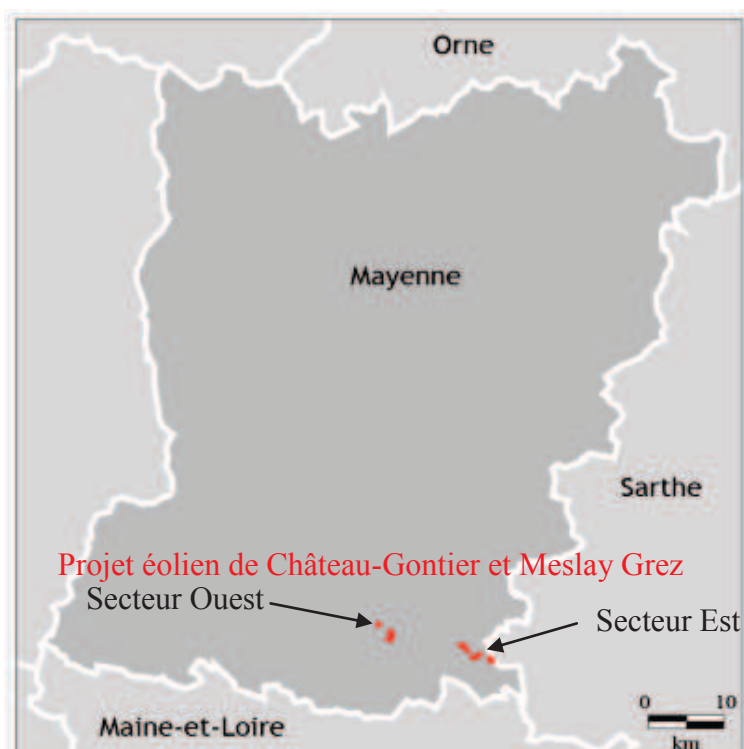


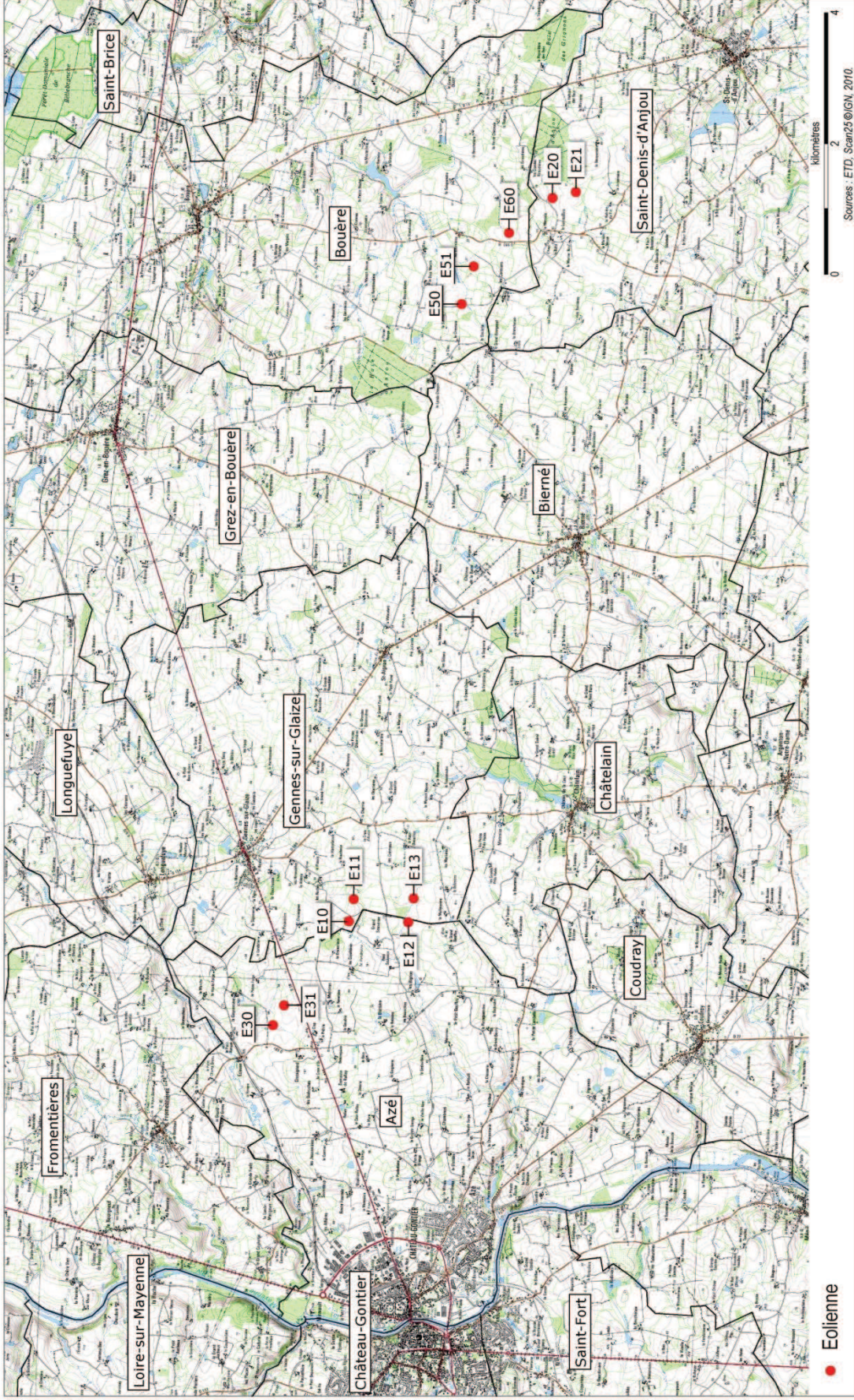
Figure 2 : Localisation du parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez

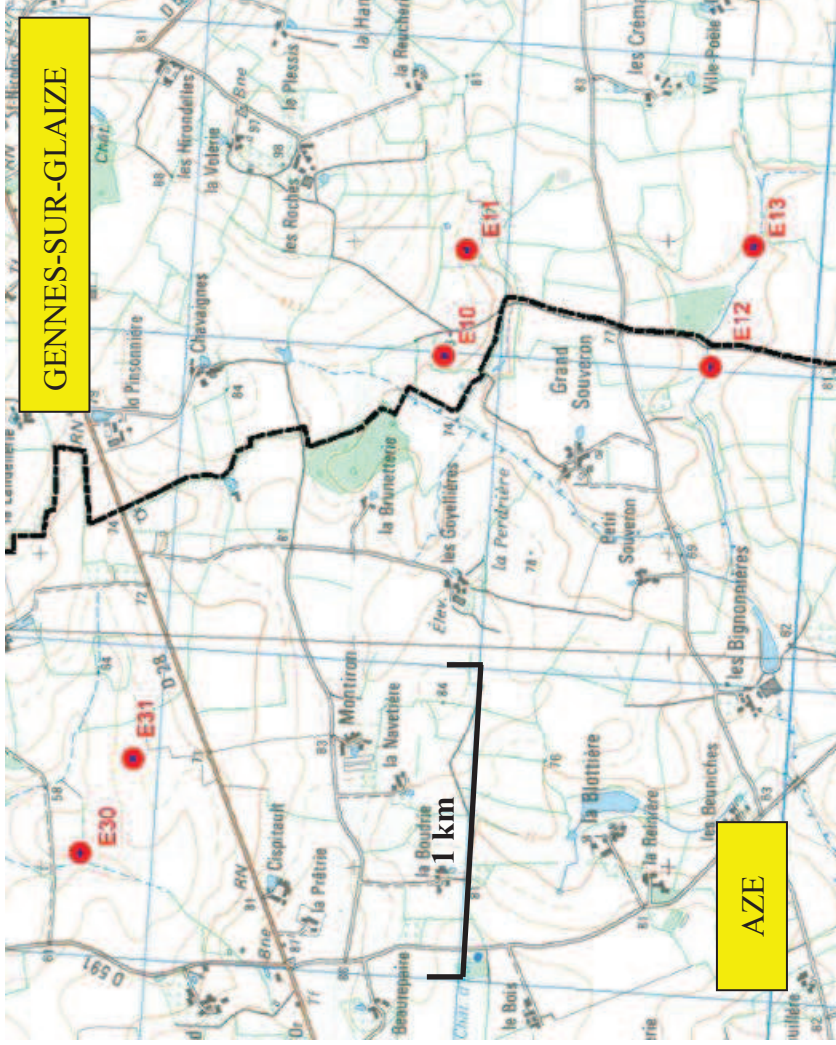
Les éoliennes sont implantées sur deux secteurs :

- Le secteur Ouest compte 6 éoliennes, situées sur les communes d’Azé et Gennes-sur-Glaize,
- Le secteur Est en compte 5, situées sur les communes de Bouère et Saint-Denis-d’Anjou.

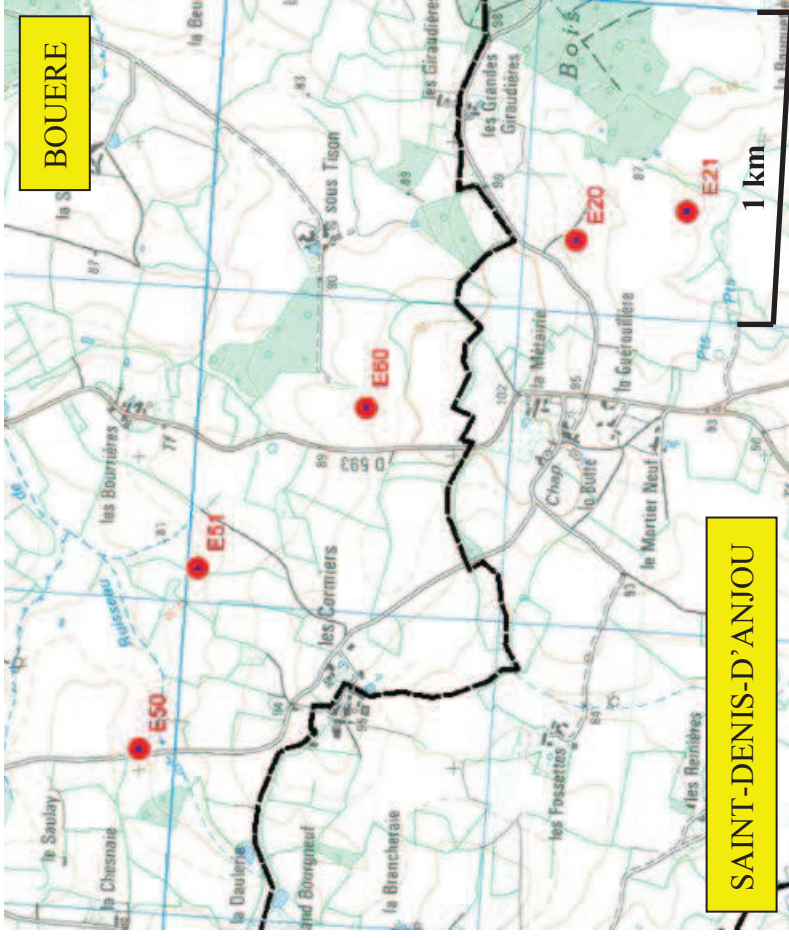
La figure ci-après présente l’implantation finale du parc éolien:

ERELLA Mayenne
Etude des dangers - Parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez (53)
Rapport n° 61202/B





Les éoliennes du secteur Ouest



Les éoliennes du secteur Est

Figure 3 : Le parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez. Source : Erelia.

Les éoliennes seront implantées de façon à maximiser la production provenant des vents dominants, tout en respectant les différentes contraintes du site. Les précisions quant à leur localisation sont répertoriées dans le tableau suivant.

SECTEUR OUEST				
Partie Sud				
n° machine	X	Y	Commune	N° parcelle
E10	378 634	2 319 718	Gennes	E3-319
E11	378 974	2 319 644	Gennes	E3-306
E12	378 641	2 318 821	Azé	B4-1584
E13	378 984	2 318 728	Gennes	D1-9
Partie Nord				
n° machine	X	Y	Commune	N° parcelle
E30	377 046	2 320 879	Azé	A4-1456
E31	377 349	2 320 709	Azé	A4-731

SECTEUR EST				
Partie Sud				
n° machine	X	Y	Commune	N° parcelle
E20	389 691	2 316 606	Saint-Denis-d'Anjou	AD-30
E21	389 782	2 316 252	Saint-Denis-d'Anjou	AD-30
Partie Centre				
n° machine	X	Y	Commune	N° parcelle
E50	388 071	2 317 274	Bouère	D3-349
E51	388 647	2 317 998	Bouère	D3-363
Partie Nord				
n° machine	X	Y	Commune	N° parcelle
E60	389 158	2 317 813	Bouère	D3-349

Tableau 2 : Géolocalisation des éoliennes (NTF Lambert II étendu). Source : Erelia.

Ces ilots sont situés en plaine. En ce qui concerne le secteur Ouest, les distances entre les éoliennes les plus proches sont d'environ 350 m. Ce secteur du parc éolien s'étend ainsi sur près de 2 900 m.

E30 – E31	350 m
E31 – E10	1 650 m
E10 – E11	350 m
E10 – E12	900 m
E12 – E13	350 m
E11 – E12	880 m
E11 – E13	920 m
E30 – E13	2 900 m

Tableau 3 : Distances entre les éoliennes du secteur Ouest.

Concernant le secteur Est, la distance entre les éoliennes les plus proches est d'environ 360 m. Ce secteur du parc éolien s'étend ainsi sur près de 2 450 m.

E50 – E51	600 m
E51 – E60	740 m
E60 – E20	850 m
E20 – E21	360 m

Tableau 4 : Distances entre les éoliennes du secteur Ouest.

Le voisinage immédiat des deux secteurs d'implantation retenus se compose de plaines de grande culture, relativement ouvertes mais ponctuées de boisements de petite taille et de linéaires de haies le long de chemins d'exploitation.

Les figures suivantes présentent un aperçu du voisinage immédiat du site projeté :



Figure 4 : Voisinage immédiat du secteur Ouest d'implantation. Source : Google Earth.



Figure 5 : Voisinage immédiat du secteur Est d’implantation. Source : Google Earth.

2.2. Description d’une éolienne

Une éolienne se compose :

- d’un rotor et de pales supportés par un moyeu et mis en mouvement par l’action du vent,
- d’une nacelle contenant le dispositif nécessaire à la production d’électricité (génératrice, etc.) et,
- d’une tour ou mât.

Ces éléments constitutifs sont présentés sur la figure suivante :

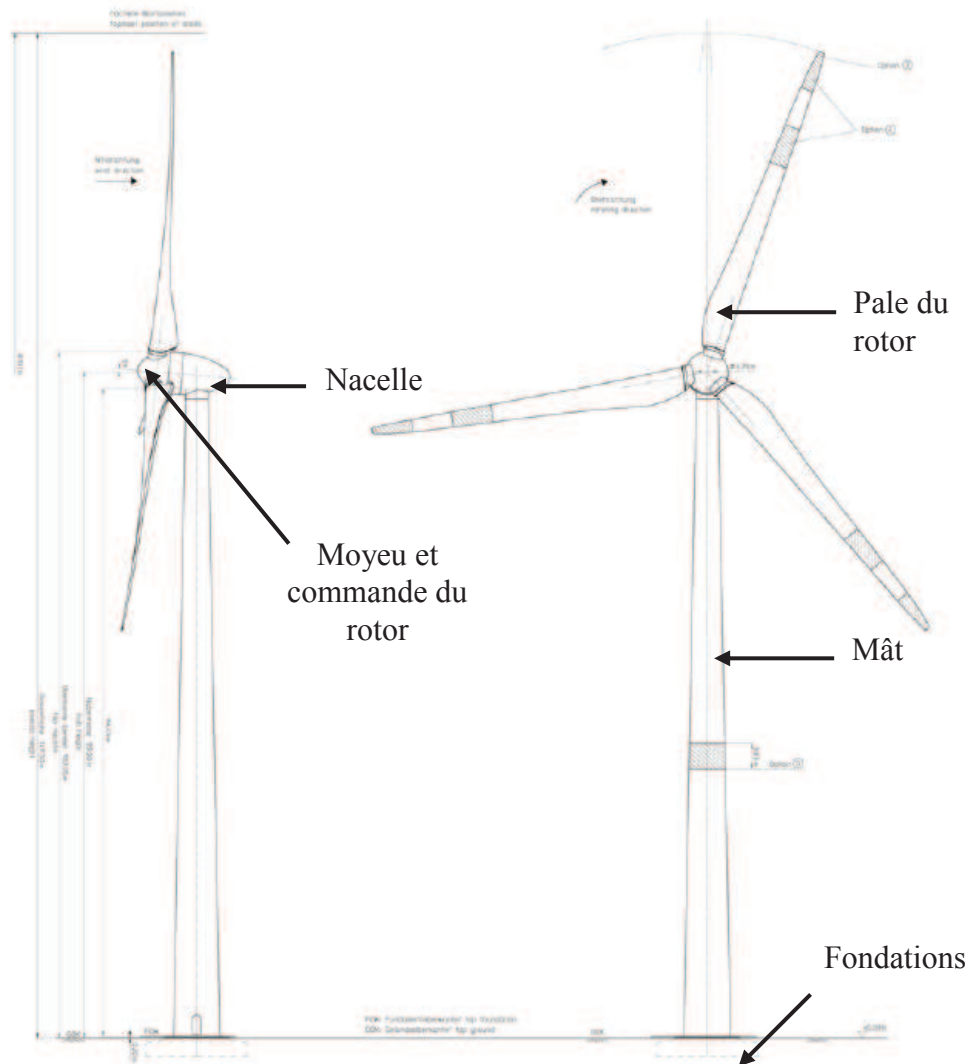


Figure 6 : Schéma type d'une éolienne ENERCON (source : ENERCON)

2.2.1. Le rotor

Le rotor de l'éolienne est équipé de trois pales en matière synthétique (résine époxy) renforcée de fibres de verre qui jouent un rôle important dans le rendement de l'éolienne et dans son comportement sonore.

À l'extérieur, les pales du rotor sont protégées des intempéries par un revêtement de surface. Ce revêtement à base de polyuréthane est robuste et très résistant à l'abrasion, aux facteurs chimiques et aux rayons du soleil.

Les pales de l'éolienne sont conçues pour fonctionner à angle et à vitesse variables. Le réglage d'angle individuel de chaque pale du rotor est assuré par trois systèmes indépendants et commandés par microprocesseurs. L'angle de chaque pale est surveillé en continu par une mesure d'angle des pales, et les trois angles sont synchronisés entre eux. Ce principe permet d'ajuster rapidement et avec précision l'angle des pales aux conditions du vent (ce qui limite la vitesse du rotor et la force engendrée par le vent). La puissance fournie par l'éolienne est ainsi limitée exactement à la puissance nominale, même pour des courtes durées. L'inclinaison des pales du rotor en position dite de drapeau stoppe le rotor sans que l'arbre d'entraînement ne subisse les effets occasionnés par un frein mécanique.

2.2.2. Nacelle

Les éléments constitutifs de la nacelle sont présentés sur la figure suivante :

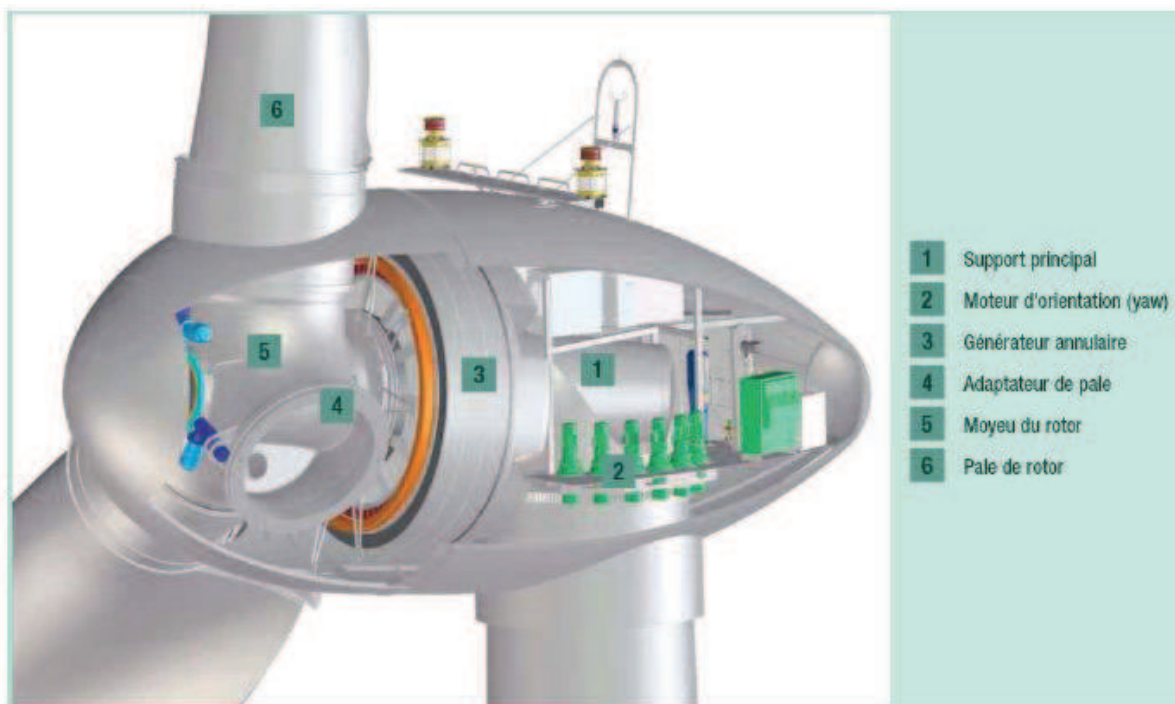


Figure 7 : Dessin schématique de la nacelle (source : ENERCON)

L'éolienne possède un dispositif de mesure mixte installé sur le dessus de la nacelle, composé :

- d'une girouette qui relève la direction du vent,
- et d'un anémomètre qui mesure la vitesse.

Le palier d'orientation de la nacelle, muni d'une couronne, est monté directement sur la connexion supérieure de la tour. Il permet la rotation de l'éolienne et ainsi de l'orienter face au vent. Les moteurs équipés de roues dentées (« moteurs d'orientation » ou moteurs de « Yaw ») s'engagent dans la couronne pour faire tourner la nacelle et l'orienter en fonction du vent.

Le poids de la nacelle est absorbé par le mât, par l'intermédiaire du palier d'orientation. Le support principal est fixé directement sur le palier d'orientation.

La commande d'orientation de l'éolienne commence à fonctionner même lorsque la vitesse du vent est faible. Même à l'arrêt, en raison, par exemple, d'une trop grande vitesse du vent, l'éolienne est tournée face au vent.

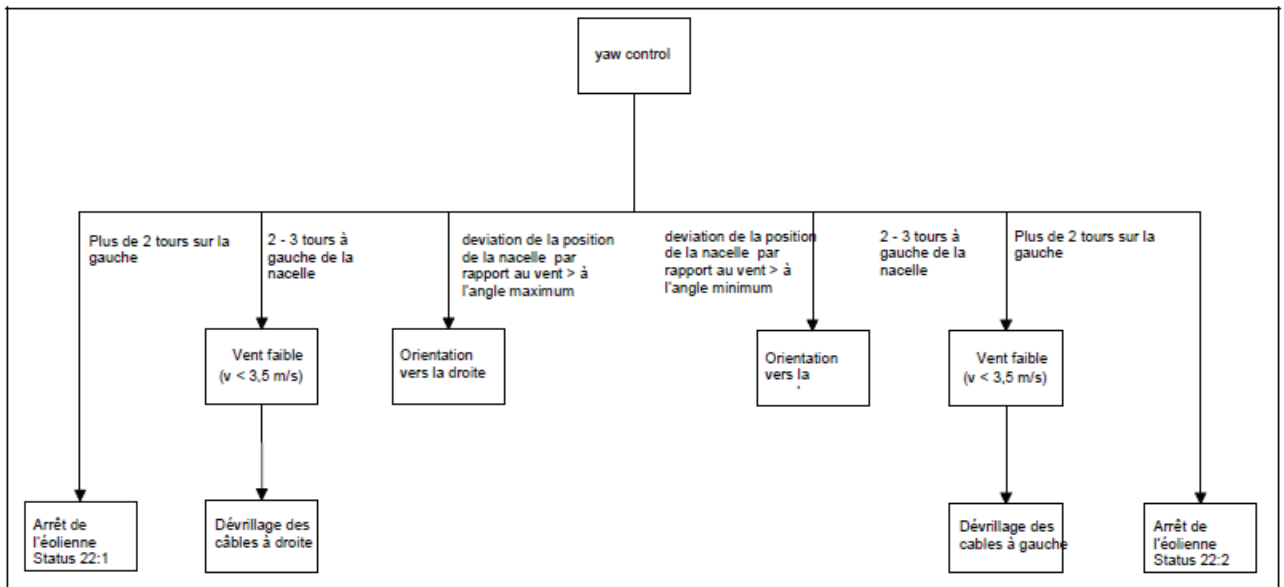


Figure 8 : Orientation de l'éolienne (source : ENERCON)

Le processus d'orientation est déterminé par le décompte des rotations du moteur d'inclinaison. Si le système de commande détecte des anomalies dans la commande d'orientation ou le vrillage des câbles, il déclenche une procédure d'arrêt.

2.2.3. Le générateur

La nacelle est le cœur de l'éolienne. Sous l'habillage aérodynamique, elle contient :

- une plateforme de travail et de montage,
- un générateur,
- un moyeu.

Le générateur annulaire de l'éolienne est directement entraîné par le rotor (donc par les pales du rotor). Le générateur ENERCON multipolaire repose sur le principe d'une machine synchrone.

La partie rotative du générateur annulaire ENERCON et le rotor forment une unité. Ces pièces sont fixées directement sur le moyeu, de sorte qu'elles tournent à la même vitesse de rotation (vitesse lente). Grâce à l'absence de boîte de vitesse et d'autres pièces à grande vitesse de rotation, les pertes d'énergie entre le rotor et le générateur, les bruits émis, la consommation d'huile à engrenages et l'usure mécanique se trouvent considérablement réduits.

En raison de la faible vitesse de rotation et de la grande section transversale du générateur, le niveau de température reste relativement bas en service et ne subit que de faibles variations. De faibles fluctuations de température pendant le fonctionnement et des variations de charges relativement rares réduisent les tensions mécaniques et le vieillissement des matériaux.

L'énergie produite par le générateur est acheminée dans le réseau de l'exploitant par le système ENERCON de connexion au réseau.

Ce concept de raccordement au réseau par le biais d'un transformateur permet d'exploiter le rotor de l'éolienne à une vitesse de rotation variable. Le rotor tourne lentement en présence de vents lents, et à grande vitesse si les vents sont forts. Cela assure un flux optimal de l'air sur les pales du rotor. La vitesse variable réduit aussi les sollicitations produites par des rafales de vent.

2.2.4. Unité d'alimentation au réseau

Le générateur annulaire est connecté au réseau par l'unité d'alimentation au réseau ENERCON. Ce système est essentiellement constitué d'un redresseur, d'un circuit intermédiaire de courant continu et d'onduleurs modulaires.

L'unité d'alimentation au réseau – tout comme l'excitation du générateur et le réglage des pales – est pilotée par le système de commande, avec pour objectifs une production maximale d'énergie et une compatibilité élevée avec le réseau.

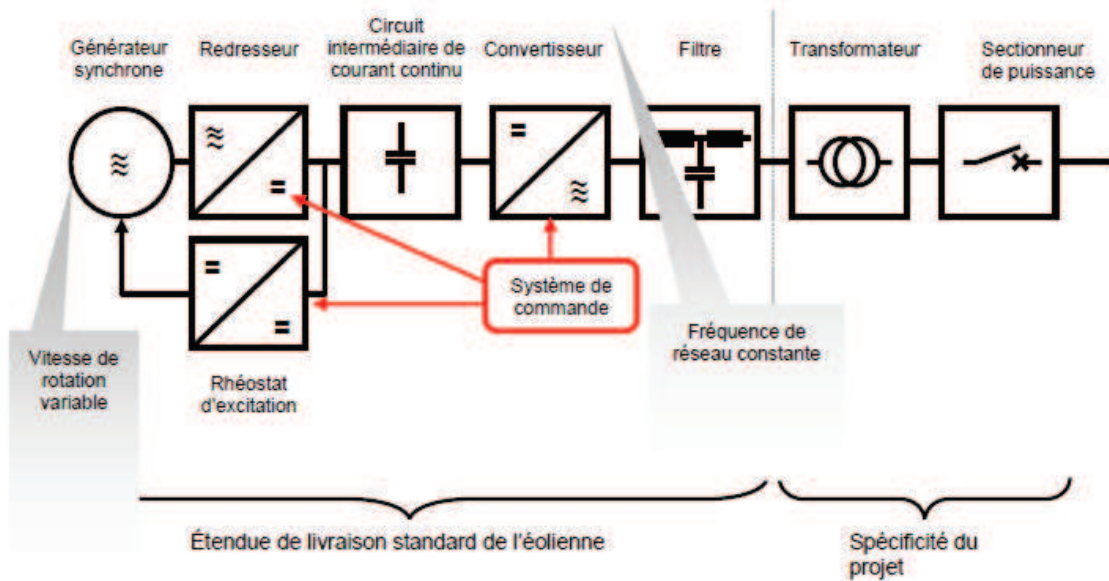


Figure 9 : Unité d'alimentation au réseau (source : ENERCON)

Cette connexion « élastique » du générateur annulaire et du réseau permet de transmettre de façon optimale la puissance produite. Par ailleurs, les répercussions indésirables des interactions entre le rotor et le réseau électrique sont réduites dans les deux sens. Les modifications soudaines de la vitesse du vent ont pour effet une modification contrôlée de la tension alimentée du côté du réseau. De la même façon, les éventuelles pannes du réseau électrique n'ont pratiquement aucune répercussion du côté mécanique.

2.2.5. Les fondations

Il y a trois types de fondations possibles pour le type d'éolienne ENERCON retenu par ERELIA :

- fondation superficielle sans eau,
- fondation superficielle avec eau,
- fondation profonde sur pieux.

Le choix du type de fondation et son dimensionnement exact interviendront après la vérification de l'étude géotechnique du projet de parc éolien par un bureau de contrôle agréé, conformément aux règles de l'art. De cette manière les fondations des éoliennes seront en parfaite adéquation avec l'état du sol.

2.2.6. La tour

Le mât de l'éolienne E82- E2 est composé de plusieurs sections :

- la partie haute de la tour est composée de deux sections en acier (diamètre au sommet de 2,19 m)
- la partie basse de la tour est en béton (diamètre à la base de 8,83 m)

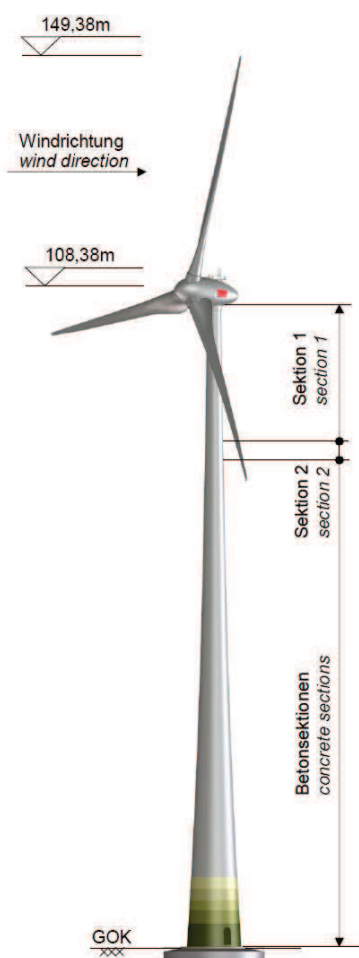


Figure 10 : Schéma de l'éolienne E82-E2 (source : Enercon)

Les éléments en acier (éléments supérieurs) seront assemblés les uns aux autres par boulonnage.

En ce qui concerne la partie inférieure de l'éolienne, elle est constituée de 21 segments de béton assemblés entre eux à l'aide de torons de tensions (câble de post-contrainte) se trouvant dans un tube de gainage passant au milieu de la paroi de la tour. Chaque segment est préfabriqué en usine avec une armature en acier (voir photos ci-dessous).

Une fois réalisé, l'assemblage des sections est vérifié par ENERCON.



Armature métallique des segments en béton



Décoffrage d'un segment en béton

Figure 11 : Photographies des segments en béton constitutifs du mât (source : Enercon)



Toron de tension

Figure 12 : Fixation des torons de tension à la base du mât (source : Enercon)

Une fois les fondations coulées, les sections bétons sont assemblées les unes aux autres. Les câbles de post contrainte seront mis en place une fois les sections assemblées. Les gaines servant aux passages des câbles sont alignées lors de l'assemblage du mât.

Compte tenu de sa structure, la tour de l'éolienne E82-E2 est ensuite montée section par section à l'aide d'une grue. Une plateforme de montage mobile spécifique (dont le diamètre s'adapte en fonction de celui du mât) permet aux ouvriers d'effectuer la jonction des différents éléments : utilisation de ciment et de colles spécifiques notamment.

La nacelle est ensuite installée à l'extrémité du mât à l'aide d'une seconde grue.

Le rotor est assemblé au sol et fixé à la nacelle à l'aide de la grue.



Photographie 1. Fixation de la base du mât



Photographie 2. Assemblage du mât en béton



Photographie 3. Plateforme mobile d'assemblage du mât



Photographie 4. Assemblage et levage du rotor



Photographie 5. Fixation du rotor à la nacelle

Figure 13 : Photographies illustrant le processus de montage de l'éolienne (source : Enercon)

2.2.1. Certification des éoliennes

Les éoliennes ENERCON sont conçues, fabriquées, installées et certifiées selon les exigences de la norme IEC 61400-1 et IEC 61400-24.

2.3. Caractéristiques techniques du modèle d'éolienne retenu

Paramètres	Caractéristiques
Modèle	E82-E2
Puissance nominale	2300 kW
Point haut (hauteur à laquelle culminent les pales)	149,38 m
Moyeu	
Hauteur du moyeu	108,38 m
Diamètre à la base	8,83 m
Diamètre au sommet	2,19 m
Concept de l'installation	Sans boîte de vitesse, régime variable, ajustage individuel des pales
Rotor	
Diamètre	82 m
Type	Rotor face au vent avec système actif de réglage des pales

Paramètres	Caractéristiques
Sens de rotation	Sens horaire
Nombres de pales	3
Longueur des pales	38,8 m +2,2 m de système d'accroche au rotor
Surface balayée	5 281 m ²
Matériau des pales	Fibre de verre (résine époxy)
Vitesse de rotation	Variable, 6 à 18 tours/ minutes
Transmission et Générateur	
Moyeu	fixe
Palier principal	Roulement à 2 rangées de rouleaux coniques + un roulement à rouleaux cylindriques
Générateur	Générateur annulaire à entraînement direct
Alimentation	Onduleur
Système de freinage	3 systèmes indépendants de réglage des pales avec alimentation de secours Frein d'arrêt du rotor Blocage du rotor
Contrôle d'orientation	Par mécanisme de réglage, atténuation en fonction des charges
Vitesse de démarrage	2,5 m/s
Vitesse de vent de coupure	28-34 m/s
Surveillance à distance	ENERCON SCADA

Figure 14 : Caractéristiques techniques du modèle d'éolienne retenu

2.4. Le fonctionnement de l'éolienne

Les données telles que la direction et la vitesse du vent sont mesurées en continu pour adapter le mode de fonctionnement de l'éolienne en conséquence.

La commande d'orientation de l'éolienne commence à fonctionner même en dessous de la vitesse de démarrage.

La direction du vent est mesurée en continu par la girouette. Si la déviation entre l'axe du rotor et la direction mesurée du vent est trop grande, la position de la nacelle est corrigée par la commande d'orientation.

L'ampleur de la rotation et le temps imparti avant que la nacelle ne soit mise dans la bonne position dépendent de la vitesse du vent.

Si l'éolienne a été arrêtée manuellement ou par son système de commande, les pales sont mises progressivement en position drapeau, réduisant la surface utile des pales exposée au vent.

L'éolienne continue de tourner et passe progressivement en fonctionnement au ralenti.

2.4.1. Démarrage de l'éolienne

90 secondes après le démarrage de l'éolienne, les pales du rotor sont sorties de la position drapeau et sont mises en mode de « fonctionnement au ralenti ». L'éolienne tourne alors à faible vitesse.

La procédure de démarrage automatique est lancée lorsque la vitesse moyenne du vent mesurée pendant 3 minutes consécutives est supérieure à la vitesse de vent requise pour le démarrage.

L'énergie produite est injectée sur le réseau de distribution dès que la limite inférieure de la plage de vitesse est atteinte. La connexion au réseau par le biais d'un circuit intermédiaire de courant continu et de convertisseurs évite les courants de démarrage élevés pendant la procédure de démarrage.

2.4.2. Fonctionnement normal

Dès que la phase de démarrage de l'éolienne est terminée, l'éolienne est en fonctionnement normal. Les conditions de vent sont relevées en permanence pendant ce temps. La vitesse de rotation, le débit de puissance et l'angle des pales sont constamment adaptés aux changements du régime des vents, la position de la nacelle est ajustée en fonction de la direction du vent et l'état de tous les capteurs est enregistré. La puissance électrique est contrôlée par l'excitation du générateur. Au-dessus de la vitesse nominale du vent, la vitesse de rotation est également maintenue à une valeur nominale par le réglage de l'angle des pales.

En cas de températures extérieures et de vitesses de vent élevées, le système de refroidissement se met en route.

2.4.3. Fonctionnement en charge partielle

En fonctionnement en charge partielle, la vitesse et la puissance sont adaptées en permanence aux changements du régime des vents. Dans la plage supérieure de charge partielle, l'angle des pales du rotor est modifié de quelques degrés pour éviter une distorsion de l'écoulement (effet de décrochage).

Le régime de rotation et la puissance augmentent au fur et à mesure de l'augmentation de la vitesse du vent.

2.4.4. Fonctionnement de régulation

Au-dessus de la vitesse nominale du vent, la vitesse de rotation est maintenue à peu près à sa valeur nominale grâce au réglage de l'angle des pales, et la puissance prélevée dans le vent est limitée (« mode de commande automatique »).

Le changement requis de l'angle des pales est déterminé après analyse du régime de rotation et de l'accélération, puis transmis à l'entraînement d'inclinaison des pales. La puissance conserve ainsi sa valeur nominale.

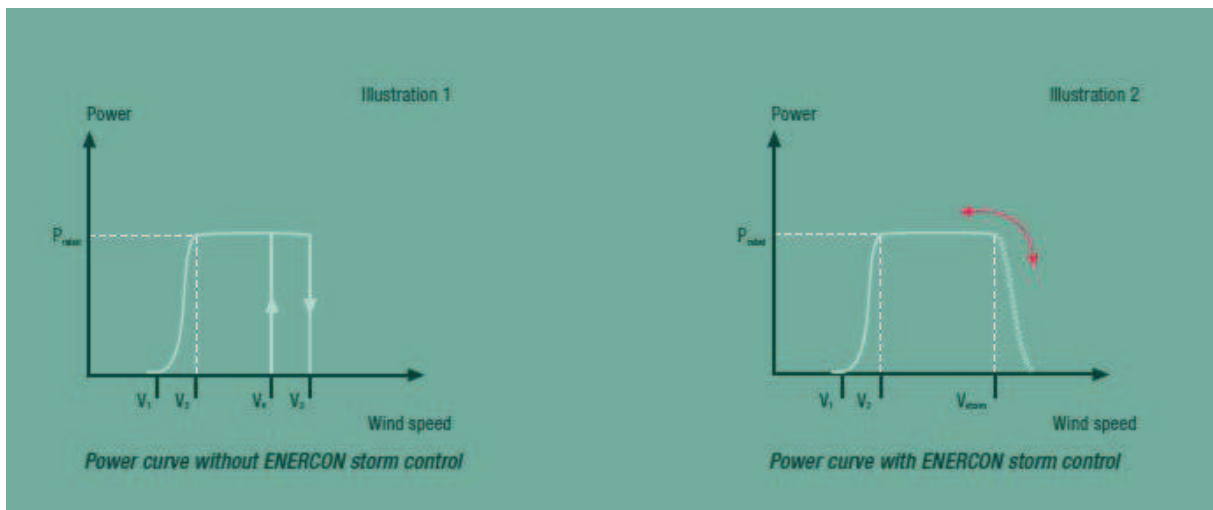


Figure 15 : Modes de fonctionnement : courbes de puissance en fonction de la vitesse du vent (source : ENERCON)

2.4.5. Mode de fonctionnement au ralenti

Si l'éolienne est arrêtée (par exemple en raison de l'absence de vent ou suite à un dérangement), les pales se mettent généralement dans une position de 60° par rapport à leur position opérationnelle. L'éolienne tourne alors à faible vitesse. Si la vitesse de ralenti est dépassée (environ 3 tr/mn), les pales de rotor s'inclinent pour se mettre en position drapeau. Ces conditions portent le nom de « fonctionnement au ralenti ».

Le fonctionnement au ralenti réduit les charges et permet à l'éolienne de redémarrer dans de brefs délais. Un message d'état indique la raison pour laquelle l'éolienne a été arrêtée, passant donc en fonctionnement au ralenti.

2.4.6. Arrêt de l'éolienne

L'éolienne peut être arrêtée manuellement (interrupteur Marche/Arrêt) ou en actionnant le bouton d'arrêt d'urgence.

Le système de commande arrête l'éolienne en cas de dérangement, ou encore si les conditions de vent sont défavorables (voir Figure 16).

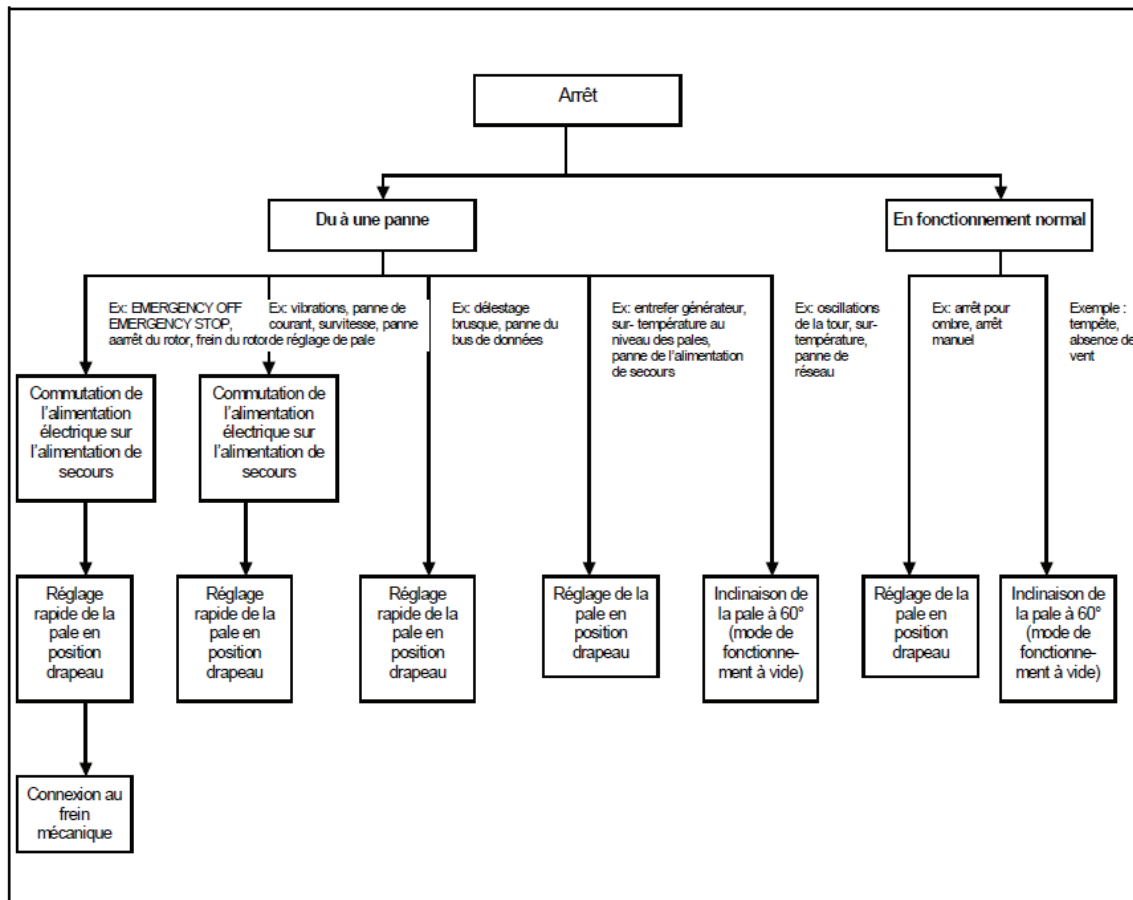


Figure 16 : Arrêt de l'éolienne (source : ENERCON)

2.4.7. Arrêt automatique

En mode automatique, les éoliennes sont freinées de façon aérodynamique par la seule inclinaison des pales. Les pales du rotor inclinées réduisent les forces aérodynamiques, freinant ainsi ce dernier. Les dispositifs d'inclinaison des pales (Pitch) peuvent décrocher les pales du vent en l'espace de quelques secondes seulement en les mettant en position drapeau.

L'éolienne s'arrête également automatiquement en cas de dérangement ou en présence de certains événements. Certains dérangements entraînent une coupure rapide par les alimentations de secours des pales, d'autres pannes conduisent à un arrêt normal de l'éolienne.

Selon le type de dérangement, l'éolienne peut redémarrer automatiquement. Dans tous les cas, les convertisseurs sont découplés galvaniquement du réseau pendant la procédure d'arrêt.

2.4.8. Arrêt manuel

L'éolienne peut être arrêtée à l'aide de l'interrupteur Marche/Arrêt (armoire de commande). Le système de commande tourne alors les pales du rotor pour les décrocher du vent et l'éolienne ralentit puis s'arrête. Le frein d'arrêt n'est pas activé et la commande des yaw (moteur d'orientation) reste active. L'éolienne peut donc continuer à s'adapter avec précision au vent.

2.4.9. Absence de vent

Si l'éolienne est en service, mais que l'absence de vent fait trop ralentir le rotor, l'éolienne passe en mode de fonctionnement au ralenti par l'inclinaison lente des pales du rotor dans une direction de 60°. L'éolienne reprend automatiquement son fonctionnement une fois que la vitesse de vent de démarrage est de nouveau atteinte.

Si l'anémomètre risque de geler par des températures basses ($< 3^{\circ}\text{C}$), l'éolienne tente de redémarrer toutes les heures pour vérifier si la vitesse du vent est suffisante, à condition que la girouette fonctionne. Lorsque l'éolienne redémarre et produit de l'électricité, elle repasse en mode de fonctionnement normal. Dans ce cas, les vitesses du vent ne sont toutefois pas correctement saisies, le capteur gelé ne pouvant transmettre des données exactes.

2.4.10. Tempête

L'éolienne ne démarre pas si elle se trouve à l'arrêt ou en fonctionnement au ralenti lorsque la vitesse du vent dépasse la vitesse de vent de coupure. L'éolienne s'arrête également si l'angle maximum admis pour les pales est dépassé. Un anémomètre gelé ne constitue donc pas un risque pour la sécurité. Dans tous les cas, l'éolienne passe en fonctionnement au ralenti.

L'éolienne démarre automatiquement lorsque la vitesse du vent tombe en dessous de la vitesse de vent de coupure pendant 10 minutes consécutives.

Grâce au système « Storm Control » d'ENERCON, l'éolienne ne s'arrête pas brutalement si les vitesses du vent dépassent la vitesse maximale admissible, mais la puissance est progressivement réduite par le réglage de l'angle des pales du rotor. Cette stratégie améliore le comportement électrique sur le réseau et permet également d'accroître la production.

2.4.11. Dévrillage des câbles

Les câbles de puissance et de commande de l'éolienne se trouvant dans le mât sont passés depuis la nacelle sur un dispositif de guidage et fixés aux parois du mât.

Les câbles ont suffisamment de liberté de mouvement pour permettre à la nacelle de tourner plusieurs fois dans la même direction autour de son axe, ce qui entraîne toutefois progressivement une torsion des câbles. Le système de commande de l'éolienne fait en sorte que les câbles vrillés soient automatiquement dévillés.

Lorsque les câbles ont tourné deux ou trois fois autour d'eux-mêmes, le système de commande utilise la prochaine période de vent faible pour les déviller. Si le régime des vents rend cette opération impossible, et si les câbles se sont tournés plus de trois fois autour d'eux-mêmes, l'éolienne s'arrête et les câbles sont dévillés indépendamment de la vitesse du vent. Le dévrillage des câbles prend environ une demi-heure. L'éolienne redémarre automatiquement une fois les câbles dévillés.

Les capteurs chargés de surveiller la torsion des câbles se trouvent dans l'unité de contrôle de la torsion des câbles. Le capteur est connecté à la couronne d'orientation par une roue de transmission et une boîte de vitesse. Toute variation de la position de la nacelle est transmise au système de commande.

En outre, deux interrupteurs de fin de course, un de chaque côté, gauche et droit, signalent tout dépassement de la plage opérationnelle autorisée dans une direction ou dans l'autre. Cela évite que les câbles du mât vrillent encore davantage.

L'éolienne s'arrête et ne peut être redémarrée automatiquement.

2.5. Balisage aéronautique

Le balisage aéronautique retenu est conforme à l'arrêté interministériel du 13 novembre 2009 *relatif à la réalisation du balisage des éoliennes situées en dehors des zones grevées de servitudes aéronautiques* :

- Balisage : 2 balises par éolienne : flash rouge la nuit type B MI (2000cd) / flash blanc le jour type A MI (20000cd)
- Balisage intermédiaire pour les hauteurs > 150 m en bout de pale (sur le fût du mât)

- Balisage sur batteries en cas de perte du réseau électrique (autonomie 12h - DGAC prévenue)
- Couleur éolienne : RAL7038

Il est également conforme aux exigences de la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) et de l'Armée de l'Air et permet de garantir une sécurité optimale des aéronefs circulant à proximité du parc éolien.

2.6. Identification des cibles

L'objectif de cette partie est d'identifier et de localiser, dans l'environnement du projet, les cibles (enjeux) susceptibles d'être impactées par les phénomènes dangereux se produisant sur les installations.

2.6.1. Environnement du site : activités industrielles, agriculture et zones d'habitation

2.6.1.1. Activité industrielle et agriculture : secteur Ouest

Le secteur Ouest s'étend sur deux communes :

- Azé, dont le territoire couvre 29,82 km² compte une population de 3250 habitants (au dernier recensement de 2007). Elle fait partie de la communauté de communes du Pays de Château-Gontier. Sa densité de population est de 110 hab. /km²
- Gennes-sur-Glaize, dont le territoire couvre 25,97 km² compte une population de 958 habitants (au dernier recensement de 2007). Elle fait partie de la communauté de communes du Pays de Château-Gontier. Sa densité de population est de 37 hab. /km²

Les communes précitées comptent 9 installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), toutes soumises à déclaration.

ENTREPRISE	COMMUNE	ACTIVITE	REGIME SEVESO	DISTANCE AU PROJET
Coopérative des Agriculteurs de Mayenne (Azé)	Azé	Stockage de céréales	Non-Seveso	>2 km
COM COMMUNES DU PAYS DE CHATEAU GO	Azé	Regroupement d'OM, DIB	Non-Seveso	
COUET Gérard	Azé	Dépôts de ferraille	Non-Seveso	
Centre de transfert AZE	Azé	Regroupement d'OM, DIB	Non-Seveso	
LYCEE PROFES AGRICOLE HAUT ANJOU	Azé	Enseignement	Non-Seveso	

ENTREPRISE	COMMUNE	ACTIVITE	REGIME SEVESO	DISTANCE AU PROJET
MEIGNAN JEAN-MARC	Azé	Elevage de volaille	Non-Seveso	
SANDERS SAS	Azé	Fabrication d'aliments pour animaux	Non-Seveso	
SOCIETE NORMANDE DE VOLAILLE	Azé	Abattoir	Non-Seveso	
EARL HUAME	Gennes-sur-Glèze	Elevage Porcin	Non-Seveso	

Tableau 5 : Installations classées des communes de l'ilot d'implantation Ouest. Source : Base des installations classées.

2.6.1.2. Activités industrielles et agriculture : secteur Est

L'aire d'implantation du secteur Est des éoliennes s'étend sur deux communes :

- Bouère, dont le territoire couvre 42,54 km² compte une population de 962 habitants (au dernier recensement de 2007). Elle fait partie de la communauté de communes du Pays de Meslay-Grez. Sa densité de population est de 23 hab. /km²
- Saint-Denis-d'Anjou, dont le territoire couvre 25,97 km² compte une population de 1477 habitants (au dernier recensement de 2007). Elle fait partie de la communauté de communes du Pays de Château-Gontier. Sa densité de population est de 35 hab. /km²

Les communes précitées comptent 5 installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), toutes soumises à déclaration.

ENTREPRISE	COMMUNE	ACTIVITE	REGIME SEVESO	DISTANCE AU PROJET
EARL BOUVET	Bouère	Elevage Porcin	Non-Seveso	>2 km
EARL COYERE (DE LA)	Bouère	Elevage Porcin	Non-Seveso	
MEAC S.A.S. Groupe (Ex MARBRE DU B	Bouère	Carrières	Non-Seveso	
GAEC DE LA MOTTE	Saint-Denis-d'Anjou	Elevage de volaille	Non-Seveso	
NAIL CLAUDE	Saint-Denis-d'Anjou	Elevage bovin et de volailles	Non-Seveso	

Tableau 6 : Installations classées des communes de l'ilot d'implantation Est. Source : Base des installations classées.

2.6.1.3. Habitations

Les éoliennes sont implantées de manière à ce que la distance entre les habitations et le pied de mât de l'aérogénérateur soit de 500 m à minima.

Les habitations ou hameaux les plus proches des surfaces de travail sont les suivants :

Secteur Ouest :

Zone de la petite Forge	Zone de la route de Terre rouge
<ul style="list-style-type: none"> • Le grand Renazé • La Guyonnière (château) • La petite Forge • Montiron • Cispitault • Ciscoignard 	<ul style="list-style-type: none"> • La Brunetterie • Les Roches • La Reucherie • Les Crémaux • La Dohinière • La Mallonnière • Le grand Bouffay • Petit Souveron • Grand Souveron

Secteur Est

Zone des Cormiers	Zone du bois d'Anjou
<ul style="list-style-type: none"> • Le Bois Martin • Les Bourrières • La Métairie • Sous-Tison • La Butte • Les Cormiers • La Daulerie • La Chesnaie • Le Saulay 	<ul style="list-style-type: none"> • Les grandes Giraudières • La rongère • L'Etang Chaud • La Haltière des Bois • La Mercerie • La Bouquetière • La Jutonnaie • La Haltière du Pin • La Guérouillère La Métairie

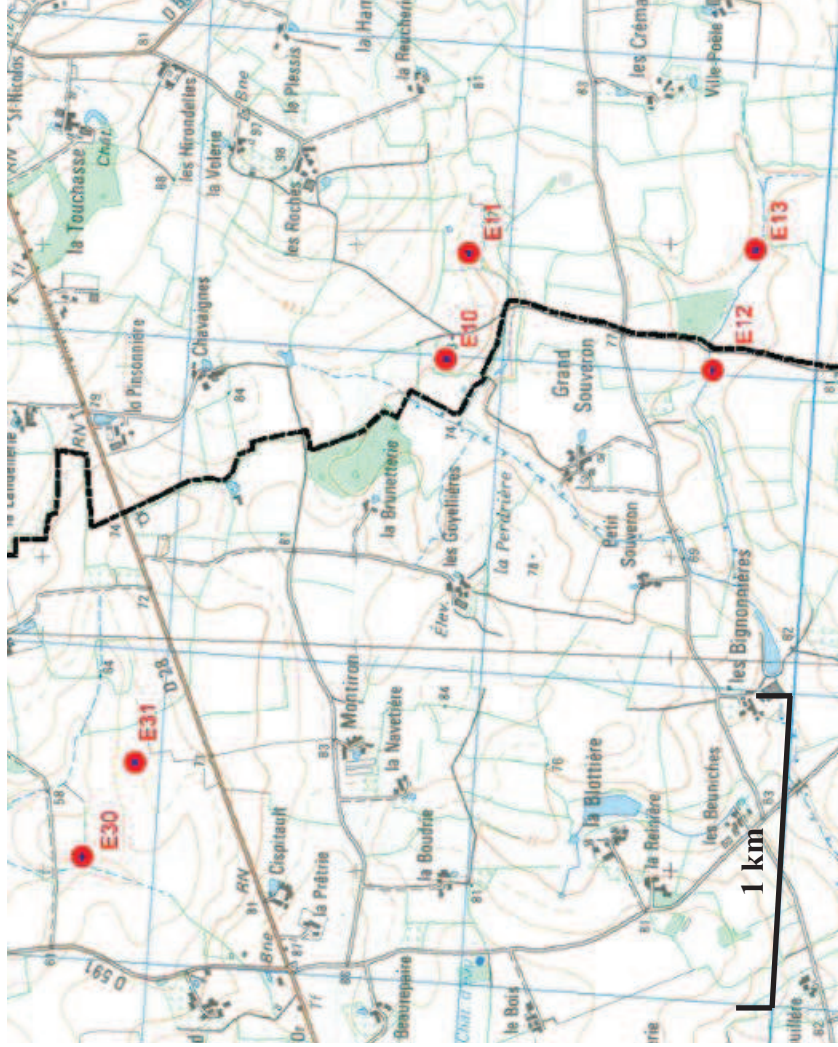


Figure 17 : Les éoliennes du secteur Est dans leur environnement. Source : Erelia.

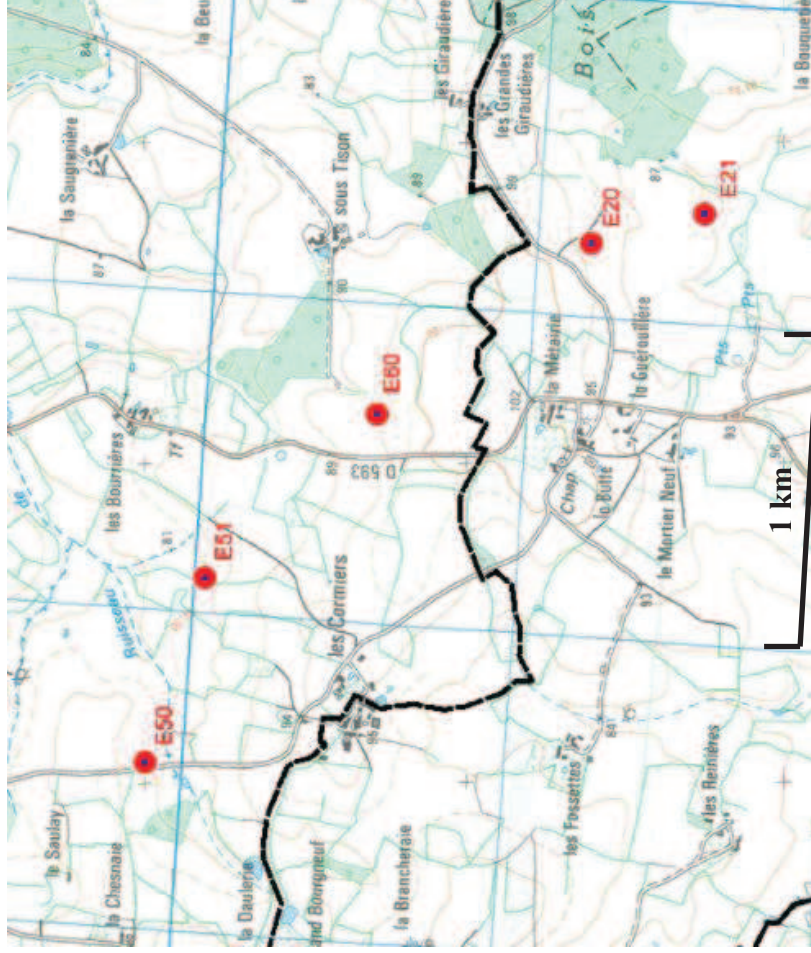


Figure 18 : Les éoliennes du secteur Ouest dans leur environnement. Source : Erelia.

2.6.2. Réseaux de transport

2.6.2.1. Routes

Les aires d'installation des éoliennes ont été déterminées de manière à ce que les axes de grande circulation routière (départementale) et les voies ferrées soient situés à plus de 180 m du projet.

Le réseau de transport dans les 350 mètres autour du parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez est composé de :

- Pour le secteur Ouest :
 - la route départementale 28 reliant Château-Gontier à Gennes-sur-Glaize,
 - la route départementale 591 reliant Fromentières à Azé,
 - la route communale reliant le hameau de la Guyonnière à la D591, que l'on appellera aussi « Voie communale du Château »,
 - la route communale reliant les hameaux des Beuniches aux Crémeaux, ou « Voie communale du Grand Souveron ».

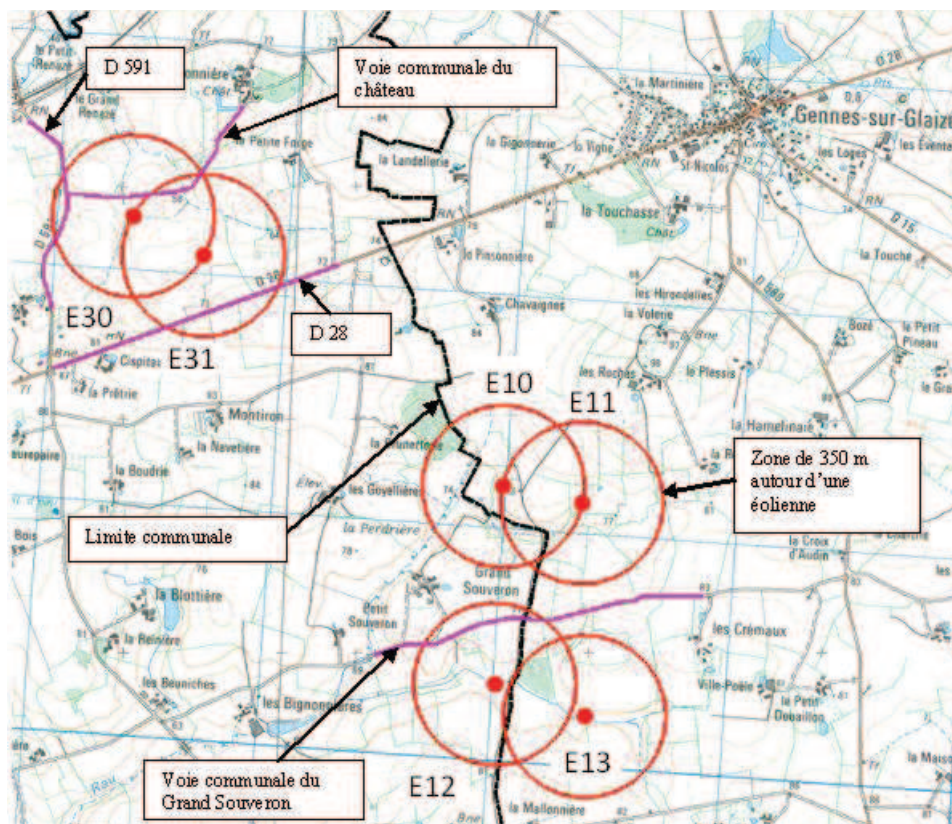


Figure 19 : Infrastructures routières à proximité directe du secteur Ouest d'implantation

Les autres voies figurées sur la carte IGN sont des chemins d'exploitation agricole non goudronnés et très peu fréquentés. Ils ne seront pas retenus dans le cadre de cette étude.

Le tableau ci-dessous précise la distance entre l'éolienne la plus proche et les voies de transport retenues pour le secteur Ouest d'implantation.

<i>Voie de circulation</i>	<i>Distance de l'éolienne la plus proche</i>
D591	290 m à l'est (E30)
	620 m à l'est (E31)
D28	235 m au sud (E31)
	495 m au sud (E30)
Route communale reliant le hameau de la Guyonnière à la D591 ou « Voie communale du Château »	90 m au sud (E30)
	295 m au sud (E31)
Route communale reliant le hameau des Beuniches aux Crémeaux ou « Voie communale du Grand Souveron »	560 m au nord (E10)
	445 m au nord (E11)
	315 m au sud (E12)
	435 m au sud (E13)

Tableau 7 : Distances des éoliennes du secteur Ouest aux voies de transport.

➤ Pour le secteur Est :

- la route départementale 593,
- la route communale reliant le hameau du Poirier rouge (Bouère) à celui des Grandes Giraudières (Saint-Denis d'Anjou), que l'on appellera aussi « Voie communale des Cormiers ».

Les autres voies figurées sur la carte IGN sont des chemins d'exploitation agricole non goudronnés et très peu fréquentés. Ils ne seront pas retenus dans le cadre de cette étude.

ERELIA Mayenne
 Etude des dangers - Parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez (53)
 Rapport n° 61202/B

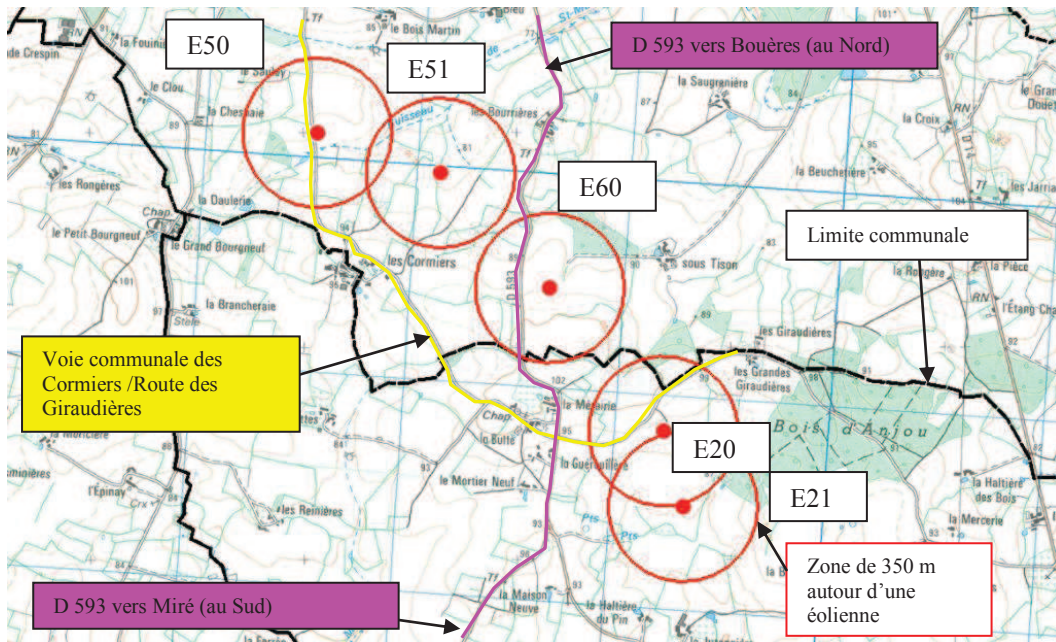


Figure 20 : Infrastructures routières à proximité directe du secteur Est d’implantation

Le tableau ci-dessous précise la distance entre l’éolienne la plus proche et les voies de transport retenues pour le secteur Est :

<i>Voie de circulation</i>	<i>Distance de l’éolienne la plus proche</i>
D593	130 m à l’est (E60)
	380 m à l’ouest (E51)
	490 m au à l’est (E20)
	630 m à l’est(E21)
Route communale reliant le hameau du Poirier rouge (Bouère) à celui des Grandes Giraudières (Saint-Denis d’Anjou).	15 m à l’est (E50)
	90 m au sud-est (E20)
	413 m au sud-est (E21)

Tableau 8 : Distances des éoliennes du secteur Est aux voies de transport.

2.6.2.2. Chemins de fer

La voie ferrée la plus proche du site se situe au nord du secteur Ouest, le long du ruisseau du Pont Perdreau. Il s'agit d'une ligne à voie unique non électrifiée destinée au fret reliant Château-Gontier à Sablé-sur-Sarthe.

Celle-ci est à plus de 580 mètres de la surface de travail. Cette même ligne traverse la commune de Bouère, elle se situe à plus de 4 400 mètres du secteur Est.

2.6.3. Lignes Haute Tension

Les aires d'installation des éoliennes ont été déterminées de manière à ce que la ligne Haute Tension remarquable (ligne de réseau de transport d'au moins 90kV illustrée sur les cartes IGN) la plus proche soit située à plus de 180 m du projet.

Des lignes électriques figurent dans les 350 mètres autour des éoliennes. Il s'agit exclusivement de lignes électriques de distribution locale (20 kV) qui ne seront pas retenues dans le cadre de cette étude.

2.6.4. Parcs éoliens voisins

Quatre projets éoliens sont en cours sur ces ZDE :

- Un permis de construire a été accordé pour un projet de 4 éoliennes sur la commune du Buret, au Nord de Bouère, à environ 11 kilomètres du parc éolien Est.
- Deux projets concernent la ZDE de Quelaines-Saint-Gault et sont situés sur les communes de Houssay et de Quelaines-Saint-Gault. Ils sont distants respectivement d'environ 10 km et 15 km du secteur Ouest et de plus de 20 km du secteur Est.
- Un projet est en cours d'étude sur la commune de Vion (département de la Sarthe), à plus de 15 km de secteur Est.

2.6.5. Contraintes liées aux servitudes

D'après les documents d'urbanisme des communes concernées par l'accueil d'éoliennes (Azé, Bouère, Gennes sur Glaize et Saint-Denis d'Anjou), qui ont été consultés en mairie, les plans de servitudes de ces derniers ne recèlent aucune infrastructure générant des servitudes sur les différentes zones du projet éolien.

Aucune servitude d'utilité publique ne vient grever les zones d'étude.

3. Retour d'expérience

Le retour d'expérience comporte 2 étapes, à savoir :

- Le retour d'expérience interne recensant les accidents et incidents survenus sur les éoliennes exploitées par ERELIA,
- Le retour d'expérience externe faisant état des accidents répertoriés dans le cadre d'activités ou d'équipements similaires.

3.1. Retour d'expérience interne

ERELIA exploite depuis 2002 des éoliennes en France, elle en compte aujourd'hui 122 pour une puissance totale de 230 MW.

Aucun accident n'est à déplorer sur les parcs éoliens d'ERELIA, sur l'ensemble des machines, quelque soit le constructeur et le modèle.

3.2. Retour d'expérience externe

3.2.1. Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles

Cette base de données, gérée par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, du Transport et du logement (MEDDTL) - Direction de la Prévention de la Pollution et des Risques - Service de l'Environnement Industriel - Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles (BARPI), peut être consultée sur demande particulière ou sur le site Internet (<http://aria.developpement-durable.gouv.fr/>). Les informations fournies sont recensées depuis 1992, permettant généralement d'obtenir une liste d'accidents illustratifs.

La recherche effectuée a porté sur les activités et équipements suivants :

- Eolienne ;
- Eolien.

Eolienne

D'après une recherche effectuée le 22 septembre 2011 sur la base de données ARIA du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire pour le mot clé « éolienne », 11 accidents sont répertoriés, dont 7 en lien avec le projet.

Les quatre incidents non retenus concernent :

- un incendie dans une usine de fabrication de pales d'éolienne,
- une dispersion éolienne de cendres volantes, sans aucun rapport avec un parc éolien,
- la chute d'un employé de maintenance d'une éolienne à l'intérieur d'une nacelle,
- le décès d'un docker intérimaire écrasé entre deux pylônes lors du levage d'éléments d'éolienne.

Les 7 éléments étant à propos sont présentés de manière développée ci-dessous.

1. N°38999 - 19/09/2010 - FRANCE - 26 - ROCHEFORT-EN-VALDAINE

Vers 10 h un feu se déclare simultanément sur 2 éoliennes hautes de 45 m et distantes de 3 km. L'une se disloque et projette des débris entraînant 2 incendies de végétation sur 3 500 et 1 500 m². Les pompiers établissent un périmètre de sécurité et éteignent les flammes vers 11 h. Des techniciens de maintenance se rendent sur place.

Selon les secours qui ont constaté de forts coups de vent ce jour-là, le dysfonctionnement des freins hydrauliques automatiques sur 2 éoliennes aurait conduit à leur emballement et à l'incendie. Ce dispositif de sécurité a fonctionné correctement sur les 23 autres appareils du parc. La presse rapporte un incident avec projection de débris sur le même site le 22/12/04. Les pompiers font état d'un éloignement important des points d'eau (8km), de l'inadéquation de leurs moyens urbains ne permettant pas l'accès aux principaux éléments situés en hauteur et de la nécessité de procédures et de consignes opérationnelles adaptées à ce type d'installations.

2. N° 37601 - 30/10/2009 - FRANCE - 07 - FREYSSENET

Un feu se déclare vers 18h20 au sommet du rotor d'une éolienne de 70 m de haut, mise en service en 2005. Les secours n'engagent pas de moyens d'extinction mais mettent en place un périmètre de sécurité de 250 m et surveillent l'évolution du sinistre.

Le matériel, en fibre de carbone et de verre, fond sous l'effet de la chaleur en dégageant de la fumée et en générant des nuisances olfactives perceptibles dans la vallée de l'Ouvèze.

Devant le risque de détachement des pales, le lieu est sécurisé et la circulation interrompue sur la route proche pendant une semaine. Le réseau électrique de l'ensemble du parc éolien (5 aérogénérateurs) est coupé, empêchant le fonctionnement des signaux lumineux préventifs pour les aéronefs. Selon l'exploitant, un court-circuit faisant suite à une opération de maintenance serait à l'origine du sinistre.

3. N° 35814 - 26/01/2009 - FRANCE - 02 - CLASTRES

Deux techniciens sont électrisés vers 19 h lors de la maintenance de compteurs électriques implantés au 1^{er} niveau d'une éolienne. Gravement brûlés au 3^{ème} degré et sur plus de 50 % du corps, ils sont transportés à l'hôpital en ambulance escortée par la gendarmerie, l'hélicoptère des secours ne pouvant décoller en raison des conditions météorologiques. Les 2 employés portaient leur harnais de sécurité et les compteurs étaient accessibles par un escalier extérieur. Une enquête est effectuée pour déterminer les conditions de l'accident.

4. N° 34340 - 10/03/2008 - FRANCE - 29 - DINEAULT

L'une des 4 éoliennes installées depuis les années 2000 sur les hauteurs de Dinéault devient incontrôlable. Des coupures de courant dues à des vents de tempête soufflant à plus 100 km/h ont effectivement endommagé le dispositif d'arrêt automatique des pales prévu en cas de vents trop violents. Un bruit assourdissant est relevé, mais toute intervention humaine se révèle trop risquée tant que la tempête ne s'est pas calmée. En accord avec les services préfectoraux et la gendarmerie, la municipalité prend un arrêté pour établir un large périmètre de sécurité autour de l'installation et interdire les accès piéton et la circulation, aucune habitation n'étant implantée à proximité immédiate de ce site de production d'électricité.

Chaque pale mesure 12,50 m, le risque redouté étant que l'une d'entre elles se détache et soit projetée au loin sous les bourrasques de vent. L'une de ces pales avait d'ailleurs commencé à se plier, risquant de frotter contre le mât. A noter que ce site était un parc « expérimental », monté avec du matériel « d'occasion ».

5. N° 29385 - 22/12/2004 - FRANCE - 26 - MONTJOYER

A la suite d'un dysfonctionnement du dispositif de freinage d'une éolienne, de la fumée et un bruit inhabituel sont perceptibles. Les pompiers envoient 2 fourgons pompes sur les lieux et installent un périmètre de sécurité. Ils constatent que les 3 pales de l'éolienne se sont brisées, 2 sont tombées au sol désintégrées et la 3^{ème} qui est cassée pend. La mise en sécurité est effective après l'arrêt de toutes les éoliennes par l'exploitant ; il n'y a aucune victime sur les lieux. En matière de sécurité une règle locale prévoit de respecter une distance de sécurité entre les voies de circulation et les installations d'éoliennes. Chaque éolienne développe 750 kW et est connectée au réseau 20 000 V.

6. N° 29388 - 20/03/2004 - FRANCE - 59 - DUNKERQUE

Le vent abat une des 9 éoliennes en service en raison d'un mauvais dimensionnement de la fondation.

7. N° 26119 - 01/01/2004 - FRANCE - 62 - LE PORTEL

Une éolienne, parmi les 4 aérogénérateurs hautes de 60 m de la ferme éolienne du Portel inaugurée en mai 2002, se brise durant la nuit en entraînant la chute de sa génératrice et des pales du rotor. Les aérogénérateurs représentent chacune une puissance de 1 mégawatt. Le projet a coûté 3 millions d'euros. Les 3 hélices de 25 m sont retrouvées sur la plage. Un défaut de serrage des boulons servant à relier 2 tronçons du mât (défaillance d'entretien) est sans doute à l'origine de l'incident. Selon le concepteur et gérant de cette ferme éolienne, le montant des dommages s'élèverait à plus de 450 000 euros.

Eolien

D'après une recherche effectuée le 22 septembre 2011 sur la base de données ARIA du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire pour le mot clé « éolien », les accidents recensés sont les 11 mêmes que ceux résultant de la recherche avec le mot clé « Eolienne ».

Conclusion

Les principales causes et conséquences des phénomènes recensés dans la base de données du BARPI sont répertoriées dans le tableau ci-après :

Phénomène	Cause	Conséquences sur la sécurité des tiers
Incendie de nacelle	Dysfonctionnement des freins hydrauliques automatiques sur 2 éoliennes qui provoque un emballement de celles-ci	Dislocation d'une éolienne Projection de débris enflammés entraînant deux incendies de végétation sur 3500 m ² et 1500 m ²
Incendie de nacelle	Court-circuit suite à opération de maintenance	Aucune
Electrisation de 2 personnes	Maintenance	Uniquement sur les 2 employés
Eolienne incontrôlable	Vent a endommagé le dispositif de freinage automatique	Pas de détachement de pale
Chute de pale	Défaillance dispositif de freinage automatique	Aucune
Effondrement machine	Vent et mauvaises fondations	Aucune
Effondrement machine	Défaut de serrage des boulons : défaillance d'entretien	Aucune

Tableau 9 : Analyse des accidents recensés dans le BARPI

Le dernier accident est un incendie dans une usine de fabrication de pale.

3.2.1. Revue de presse

ANTEA GROUP a réalisé en septembre 2011 une revue de presse des accidents d'éoliennes. Cette revue a permis d'identifier 25 accidents importants ayant été relatés dans la presse française entre le 1er janvier 2000 et fin septembre 2011.

Type d'incident	Date	Parc Eolien	Cause	Conséquences
Effondrement	2000	Port la Nouvelle	Tempête	Mat plié
Rupture de pale	2001	Sallèles-Limousis	Non connue	Bris de pale
Rupture de pale	25/02/2002	Sallèles-Limousis	Tempête	Bris de pales
Effondrement	01/02/2002	Wormhout	Tempête	Bris d'hélice et mât plié
Maintenance	01/07/2002	Port la Nouvelle-Sigan	Accident électrique	Electrocution et brûlure d'un opérateur
Effondrement	28/12/2002	Névian-Grande Garrigue	Tempête et défaillance du système de freinage	Effondrement de l'éolienne
Rupture de pale	05/11/2003	Sallèles-Limousis	Dysfonctionnement du système de freinage	Bris de pales
Rupture de pale	22/06/2004	Pleyber-Christ	Tempête et problème d'assemblage des pales sur le rotor	Bris de pales
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ	Tempête et problème d'assemblage des pales sur le rotor	Bris de pales
Rupture de pale	2004	Escalles-Conihlac	Tempête	Bris et projection de pales
Rupture de pale	2005	Wormhout	Non connue	Bris et projection de pales
Rupture de pale	08/10/2006	Pleyber-Christ	Non connue	Chute de pales
Incendie	18/11/2006	Roquetaillade	Malveillance	Incendie de deux éoliennes

Type d'incident	Date	Parc Eolien	Cause	Conséquences
Effondrement	03/12/2006	Bondues	Tempête	Effondrement de l'éolienne
Rupture de pale	31/12/2006	Ally	Défaillance lors du chantier de remplacement du rotor	Chute de pale
Rupture de pale	mars-07	Clitourps	Non connue	Bris de pale
Chute d'élément	11/10/2007	Plouvien	Non connue	Chute d'un élément de la nacelle
Collision d'avion	avr-08	Plouguin	Mauvaises conditions météo	Sans gravité pour le pilote amateur
Rupture de pale	22/07/2008	Erize-la Brûlée-Voie Sacrée	Foudre et défaut de pale	Chute et projection de pale
Incendie	28/08/2008	Vauvilliers	Problème d'éléments électroniques	Incendie de la nacelle
Rupture de pale	26/12/2008	Raival-Voie Sacrée	Non connue	Chute de pales
Incendie	21/10/2009	Froidfond-Espinassières	Non connue	Incendie de la nacelle
Maintenance	20/04/2010	Toufflers	Crise cardiaque	Décès d'un technicien lors d'une opération de maintenance
Incendie	19/09/2010	Monjoyer-Rochefort	Tempête et défaillance du système de freinage	Emballement de l'éolienne et incendie de la nacelle
Rupture de pale	19/12/2010	Plérin	Tempête	Chute et projection de pale

Tableau 10 : Incidents répertoriés par ANTEA sur des installations similaires au parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez.

Ces incidents consistent principalement en des « ruptures de pale » (13 éléments) puis des « incendies d'éolienne » (4 éléments) et « effondrement » (4 éléments), comme l'illustre le graphique ci-dessous réalisé à partir de la liste des 25 éléments recensés.

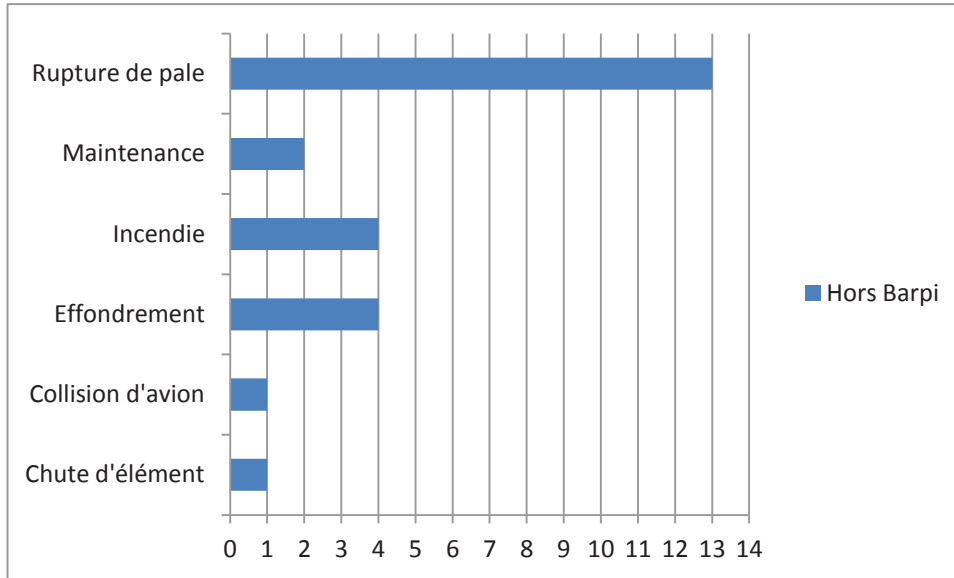


Figure 21 : Répartition des incidents éoliens répertoriés par ANTEA selon leur nature

L'analyse des causes connues de ces incidents nous montre que les « ruptures de pale » sont liées à des défaillances techniques (système de freinage, défaut de pale, maintenance) qui peuvent être couplées ou non à des aléas naturels comme les tempêtes et la foudre.

Les incidents de type « incendie » ont eu pour causes connues la malveillance, et des défaillances techniques (défaillance du système de freinage, maintenance).

Les incidents de type « effondrement » ont eu pour causes connues des tempêtes dans 75% des cas, et des défaillances techniques (système de freinage).

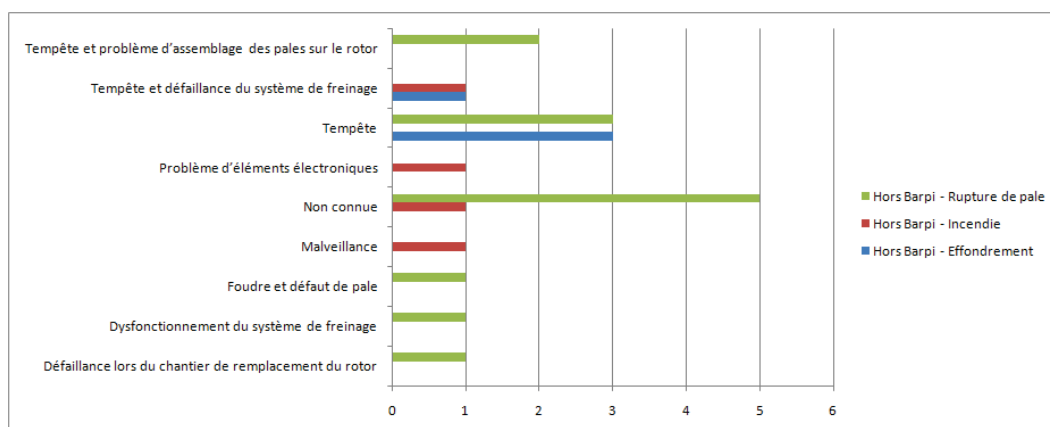


Figure 22 : Répartition des 3 principaux types d'incidents selon leurs causes

En ce qui concerne les conséquences des trois principaux types d'incidents répertoriés par ANTEA, le bilan humain des tiers est nul. En effet, les opérateurs ne comptent pas comme des tiers extérieurs et ne font pas l'objet de l'étude de dangers. Les risques concernant le personnel ne sont pas analysés dans la présente étude (ils le sont dans la notice d'hygiène et sécurité et dans le document unique mis en œuvre par Erelia).

A propos du bilan matériel, les éléments référencés « rupture de pale » ont pour conséquences connues :

- Chute de pales,
- Bris de pales,
- Chute et projection de pales,
- Bris et projection de pales.

Les éléments référencés « effondrement » ont pour conséquences connues :

- Mât plié,
- Mât plié et bris de pales,
- Effondrement de l'éolienne,

Les éléments référencés « Incendie » ont pour conséquences connues :

- Incendie d'une éolienne
- Incendie de la nacelle
- Emballement de l'éolienne et incendie de la nacelle

Conclusion

31 incidents impliquant des éoliennes ont été répertoriés en France depuis l'année 2000 en cumulant les données issues de la revue de presse effectuée par ANTEA et celles de la base ARIA du BARPI sur la même période.

A partir des données concernant l'évolution du parc éolien en France depuis 11 ans, tirées des données du Syndicat des Energies Renouvelables- France Energie Eolienne (SER-FEE)², nous pouvons calculer la probabilité des types d'évènement répertoriés en appliquant la formule suivante :

An	Nb Eoliennes	Rupture de pale	Incendie	Effondrement	Maintenance	Collision d'avion	Chute d'élément	Emballlement
2000	242			1				
2001	302	1						
2002	374	1		2	1			
2003	500	1						
2004	641	4		2				
2005	940	1						
2006	1385	2	1	1				
2007	1904	1					1	
2008	2396	2	1			1		1
2009	2914		2		1			
2010	3000	1	1		1			

Tableau 11 : Répartition des 31 incidents impliquant des éoliennes en France de 2000 à fin septembre 2010.

² Site internet <http://fee.asso.fr/>,

Il est à noter que la technologie des éoliennes évolue et que les systèmes de sécurité sont renforcés sur les machines modernes, notamment en ce qui concerne le système de freinage aérodynamique qui n'existait pas sur les anciens modèles, et qui limite considérablement les risques d'emballement.

Or les données d'accidentologie ne prennent pas en compte l'âge de la machine faisant l'objet de l'incident répertorié, ni son type (technologie actuelle ou ancienne). La probabilité devra donc être modulée en fonction de ces deux paramètres.

Les probabilités des phénomènes dangereux ainsi calculées sont :

Type d'évènement	Probabilité d'occurrence calculée par éolienne et par an
Rupture de pale	1,68E-03
Effondrement	1,21E-03
Incendie	1,96E-04
Chute d'élément	4,77E-05

Tableau 12 : Probabilité d'occurrence phénomènes des dangereux par éolienne et par an.

3.2.2. Rapport sur la sécurité des installations éoliennes

Le Conseil Général des Mines (actuel Conseil Supérieur des Installations Classées) a été missionné en 2004 par la ministre déléguée à l'industrie pour étudier le cadre réglementaire régissant la sécurité des installations éoliennes. Les éléments d'accidentologie qui suivent sont extraits du « *rapport sur la sécurité des installations éoliennes – juillet 2004 – Ministère de l'économie, des finances et de l'industrie*³ ». Un extrait de ce rapport est présenté en **Annexe 1**.

Etude Allemande (Dieter Krämer - membre d'une association opposée aux éoliennes)

Typologie	Cause	Conséquences
Chute de la turbine d'un prototype d'éolienne	Vent violent	/
Nacelle tombe du mât	Orage	/
Rotor et pales tombent	Orage	/
Nacelle détruite	Incendie	/
Mât plié et nacelle détruite	Foudre	/
Pale éclate contre un mât	Foudre	/
Effondrement	Mauvaises fondations	/
Chute, Destruction	Ouragan	/

³ Rapport sur la sécurité des installations éoliennes – N°04-5 – Conseil Général des Mines – Juillet 2004.

Revue danoise (Windstats Newsletter)

L'étude porte sur 1 912 éoliennes entre 1993 et 2003. La probabilité de destruction d'une éolienne serait de $8,3.10^{-4}$.

Etude américaine (travaux de Paul Gipe sur la mortalité due aux éoliennes)

Cette étude a recensé 20 décès entre les années 1970 et 2003 :

- 13 lors de la construction ou de la déconstruction de machines,
- 7 lors de la maintenance.

Aucun cas impliquant des tiers n'est recensé.

Conclusion

Le rapport du conseil général des mines conclut à une absence de décès de tiers.

A la date de son rapport la mission du Conseil Général des Mines a eu connaissance de deux nouveaux accidents mortels survenus en Allemagne fin 2010 :

- 1 chute lors d'opération de maintenance (démontage de sa ligne de vie),
- 1 accident cardiaque d'un visiteur suite aux efforts consentis pour se rendre dans la nacelle.

En conclusion, aucun accident mortel direct impliquant un tiers du fait d'un dysfonctionnement ou d'un incident survenu sur le parc éolien industriel mondial n'a été reporté ; les deux accidents mortels sur des tiers constatés sont sans relation avec l'activité propre des parcs éoliens.

Une partie du rapport précédemment mentionné, propose des évolutions, notamment par rapport à l'utilisation de la procédure du permis de construire. Certaines préfectures ont eu recours à cette mesure après des incidents pour instituer des mesures de sécurité publique. La mission suggère que :

- le permis de construire soit subordonné au respect de distances d'éloignement, elles-mêmes fonction de la sensibilité des installations concernées. Une synthèse des préconisations d'éloignement, parallèlement aux probabilités d'atteinte est effectuée dans le tableau ci-après,
- les distances d'éloignement pourraient être réduites lorsque le porteur du projet démontre une diminution des risques en apportant les preuves de la solidité de sa machine.

Types d'installations	Distances d'éloignement	Commentaires	Probabilité d'atteinte par un fragment (source cf. Annexe 1)
Installation sensibles : Etablissements recevant du public (ERP), Installations industrielles à risque (site SEVESO).	150 à 200 m pour les grandes éoliennes	Distance en cohérence avec les périmètres de servitudes applicables aux pylônes des lignes de transport d'électricité	10 ⁻⁶ accident par an et par machine dans un rayon respectivement de : - 111 m pour une machine de 0,5 MW de puissance, - 144 m pour une machine de 2 MW de puissance.
Installations occupées à titre permanent : habitations, locaux à usage de bureaux	Minimum 100 m	Distance en cohérence avec les périmètres de servitudes applicables aux pylônes des lignes de transport d'électricité	
Routes, voies de promenades, espaces verts et locaux d'entreposage	Aucune		10 ⁻⁵ accident par an et par machine dans un rayon respectivement de : - 20 m pour une machine de 0,5 MW de puissance, - 40 m pour une machine de 2 MW de puissance. Ces distances correspondent à l'emprise au sol, pale comprise de la machine.

Tableau 13 : Distance d'éloignement en fonction de la sensibilité des installations concernées et corrélation avec la probabilité d'atteinte par un fragment

3.2.3. Synthèse des accidents survenus sur des installations éoliennes entre 1975 et 2010 : « Caithness Windfarm Information Forum »

Le collectif indépendant écossais « *Caithness Windfarm Information Forum* » a réalisé une synthèse⁴ des accidents survenus dans les parcs éoliens à travers le monde sur une période allant de 1975 à 2009, à partir des éléments disponibles dans les médias. Cette synthèse donne selon ses auteurs un excellent aperçu de la typologie des accidents et de leurs conséquences, bien qu'elle ne puisse prétendre à l'exhaustivité. Les données 2010 n'étant actualisée que jusqu'au 30 septembre, ils ne les ont pas intégrées lors du traitement des données.

Le nombre total d'accidents/incidents répertoriés sur la période considérée est de 945, date à laquelle les informations sont considérées comme quasi exhaustives, du fait d'une large médiatisation via Internet.

⁴ Accident summary from 1975 to November 1st 2006 prepared by David Craig du collectif indépendant « *Caithness Windfarm Information Forum* ».

La répartition dans le temps de ces événements ainsi que l'évolution du parc éolien mondial selon « the windpower » sont :

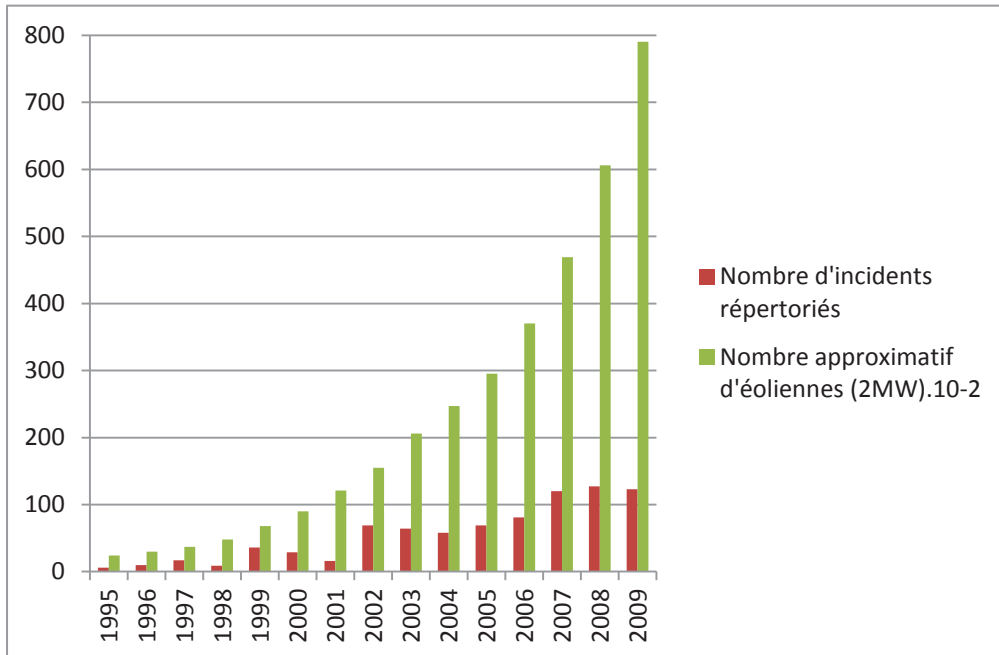


Figure 23 : Répartition du nombre d'incidents répertoriés par an de 1995 à 2009 compris

Afin de faciliter la visualisation, le nombre d'éoliennes est présenté au facteur 1/100. Le parc mondial en 2009 représente environ 79000 éoliennes.

Le nombre d'accidents mortels répertoriés est de 65 faisant 69 décès dont :

- 49 concernent des travailleurs de l'industrie du vent (maintenance, ingénieurs, etc.), la principale cause étant la chute du haut des turbines,
- 20 concernent des morts de tiers, y compris des ouvriers ne dépendant pas directement de l'industrie de vent (par exemples des employés de services de transport).

Les accidents ayant entraîné des blessures graves sont au nombre de 74 dont :

- 61 accidents concernent des travailleurs de l'industrie du vent ou des secteurs de la construction et de la maintenance.
- Les 13 autres concernent des tiers y compris du public et des travailleurs ne dépendant pas directement de l'industrie de vent (par exemple des employés des transports). A noter que cinq des cas de blessures concernant le public ont été répertoriés au Royaume-Uni.

La majorité des incidents, 199 sur les 945 répertoriés, sont dus à la défaillance de pale et résulte en la projection de pale entière ou de fragments de pale depuis la turbine.

Les incendies, au nombre de 152, sont la deuxième occurrence de causes d'incidents répertoriés. L'incendie peut avoir des causes variées parmi lesquelles l'impact de la foudre sur une turbine. Le principal problème des incendies de turbine, tient à la hauteur d'implantation et donc à la difficulté d'accessibilité des moyens d'intervention traditionnels. Les incendies de turbines sont donc difficilement maîtrisables et donnent lieu notamment en cas de vents violents à la dispersion de débris enflammés sur une large zone avec un risque de propagation de l'incendie au milieu environnant. Par temps sec, la propagation de l'incendie à une large zone est également redoutée, tout particulièrement pour les parcs éoliens implantés à proximité de zones forestières ou de zones d'habitation.

Les défaillances structurelles, au nombre de 107, sont la troisième occurrence de causes d'incidents ; elles consistent à la rupture d'un composant majeur. Ces incidents ont principalement lieu lors de tempêtes ou d'effondrement de tours. Alors que les dommages majeurs à la structure occasionnent des dégâts matériels beaucoup plus importants que les défaillances de pales, les conséquences humaines sont nettement moins graves, en effet le risque reste confiné à l'intérieur d'une zone très proche des turbines.

La projection de blocs de glace concernent 31 incidents (dont un déjà mentionné dans les blessures graves) ; les distances de retombée ont été reportées jusqu'à 140 mètres.

Cependant les données disponibles sur ce type d'incidents ne sont pas exhaustives. En effet un rapport publié en 2003 ferait état de 880 incidents liés à la projection de blocs de glace sur la période 1990-2003 en Allemagne uniquement.

Les accidents de transport sont au nombre de 64. La plupart des accidents impliquent des sections d'éolienne tombant de véhicules de transport, d'autres perdues en mer. On note aussi deux sections d'éoliennes tombées sur des voies de grande circulation en Ecosse.

Les conséquences environnementales reportées sont rares et impliquent les sites éoliens eux-mêmes ou les espèces sauvages (atteintes à des espèces d'oiseaux protégées).

173 incidents divers ont aussi été répertoriés dans les données. Les défaillances de composants ont été ici relevées s'il n'y a eu aucun dégât structurel consécutif. Sont aussi inclus le manque de maintenance, les incidents électriques (qui ne mènent pas à un incendie ou à une électrocution), et les incidents où les éoliennes ont été installées à une distance plus proche que permise des infrastructures d'habitations, etc. Les incidents de construction sont aussi inclus, de même que la foudre quand celle-ci n'a pas engendré de rupture de pales ou de feu.

3.2.4. Complément : accidents survenus sur des installations éoliennes depuis 2006 : Fédération Environnement Durable

La Fédération Environnement Durable, regroupement d’opposants à l’éolien industriel français met en ligne sur son site internet une liste d’accidents survenus sur les parcs éoliens à travers le monde. On peut penser, compte tenu des objectifs de cette association, que l’inventaire réalisé doit être proche de l’exhaustivité.

Les incidents recensés depuis 2006 font état d’effondrement de tours, de projection de pale ou de fragments de pale, d’incendie et d’accidents lors du transport d’éléments d’éolienne : aucun accident n’a de conséquences sur des tiers.

3.2.5. Analyse des risques éoliens : programme PIER

Dans le cadre du programme PIER (Public Interest Energy Research), la Commission énergie de l’état de Californie (ECN) a commandé un rapport⁵ incluant notamment des recommandations pour la conduite d’analyses de risques et les distances de projection due aux ruptures de pale.

Une synthèse des valeurs de fréquence de rupture par éléments et des distances de projection maximales reportées et confirmées est reprise dans le tableau suivant :

Eléments	Fréquence de rupture par turbine et par an			Distances de projection maximales (m) (rapportées et confirmées)
	Valeur attendue	Valeur limite haute recouvrant 95% des cas	Valeur recommandé pour l’analyse de risque (/an)	
Pale entière	$6,3.10^{-4}$	$8,4.10^{-4}$	$8,4.10^{-4}$	150
Vitesse nominale	/	/	$4,2.10^{-4}$	/
Freinage mécanique	/	/	$4,2.10^{-4}$	/
Surrégime	/	/	$5,0.10^{-6}$	/
Fragment de pale	$1,2.10^{-4}$	$2,6.10^{-4}$	$2,6.10^{-4}$	500
Tour	$5,8.10^{-5}$	$1,3.10^{-4}$	$1,3.10^{-4}$	Hauteur de la turbine + demi-diamètre
Nacelle et/ou rotor	$2,0.10^{-4}$	$3,2.10^{-4}$	$3,2.10^{-4}$	demi-diamètre

/ : Non mentionné

Tableau 14 : Fréquence de rupture par éléments et distances de projection maximales

⁵ Larwood, Scott, and van Dam, C. P. (California Wind Energy Collaborative). 2006. *Permitting Setback Requirements for Wind Turbines in California*. California Energy Commission, PIER Renewable Energy Technologies. CEC-500-2005-184.

3.2.6. Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience

Le tableau suivant reprend les probabilités des phénomènes dangereux redoutés indiquées dans les différentes bases de données :

Type d'évènement	Probabilité d'occurrence calculée par éolienne et par an			
	Données du BARPI + revue presse	Revue danoise (Windstats Newsletter) extrait du rapport sur la sécurité des installations éoliennes	Programme PIER	ERELIA
Incendie nacelle	1,96E-04			
Rupture de pale	1,68E-03			-
Projection Pale entière : Vitesse nominale			4,2.10 ⁻⁴	-
Projection Pale entière : Surrégime			5,0.10 ⁻⁶	-
Projection d'un fragment de pale (aucune indication de vitesse) : tiers extrême			2,6.10 ⁻⁴	-
Effondrement	1,21E-03	8,3.10 ⁻⁴ (destruction éolienne)	1,3.10 ⁻⁴ (chute éolienne)	-
Chute d'élément de la nacelle	4,77E-05		3,2.10 ⁻⁴ (chute nacelle et/ou rotor)	-
Base de données	Ensemble du Parc éolien en France étudié de 2000 à 2010	Danemark 1993 à 2003 1912 éoliennes étudiées	Danemark 1984 à 2000 2900 éoliennes étudiées + Allemagne 1991 à 2001 1566 éoliennes étudiées	Accidentologie de la société

Tableau 15 : Probabilités d'occurrence des phénomènes dangereux par éolienne et par an, issues des différentes bases de données.

Les probabilités retenues dans le cadre de cette étude sont celles issues du programme PIER car l'étude a intégré 4466 éoliennes sur une quinzaine d'années, et présente des probabilités différenciées selon les types de projection de pales. Pour le cas d'incendie de nacelle, la probabilité retenue est celle issue de l'analyse des données BARPI et revu de presse.

4. Analyse des potentiels de dangers de l'installation

Le terme de potentiel ou source de dangers désigne ici tout équipement qui, par les produits qu'il contient, par les technologies mises en œuvre ou par les réactions ou les conditions particulières mises en jeu pour ces produits, est susceptible d'occasionner, en cas de libération de son potentiel de dangers, des dommages majeurs sur les enjeux à la suite d'une défaillance. La libération des potentiels de dangers peut se traduire par des événements ou phénomènes redoutés tels que :

- l'incendie généralisé de zone de stockage, émissions de fumées toxiques ;
- des projections de pales ;
- des fuites liquides et pollutions accidentelles de réseaux et milieux naturels,
- etc.

4.1. Agressions externes potentielles

4.1.1. Agressions externes liées aux phénomènes naturels

4.1.1.1. Aspects climatiques

La Mayenne connaît un climat que l'on peut qualifier « d'océanique » à « océanique dégradé » du fait de sa position à l'intérieur des terres. L'inertie climatique liée à la proximité des façades océaniques tend à s'atténuer dans ce département, comme le montrent les données décrites ci-dessous. Celles-ci proviennent de la station Météo-France de Laval-Entrammes, située à une trentaine de kilomètres au Nord de Château-Gontier, pour la période 1988-2000. En ce qui concerne les données d'insolation, la période correspondante est 1991-2000.

Températures

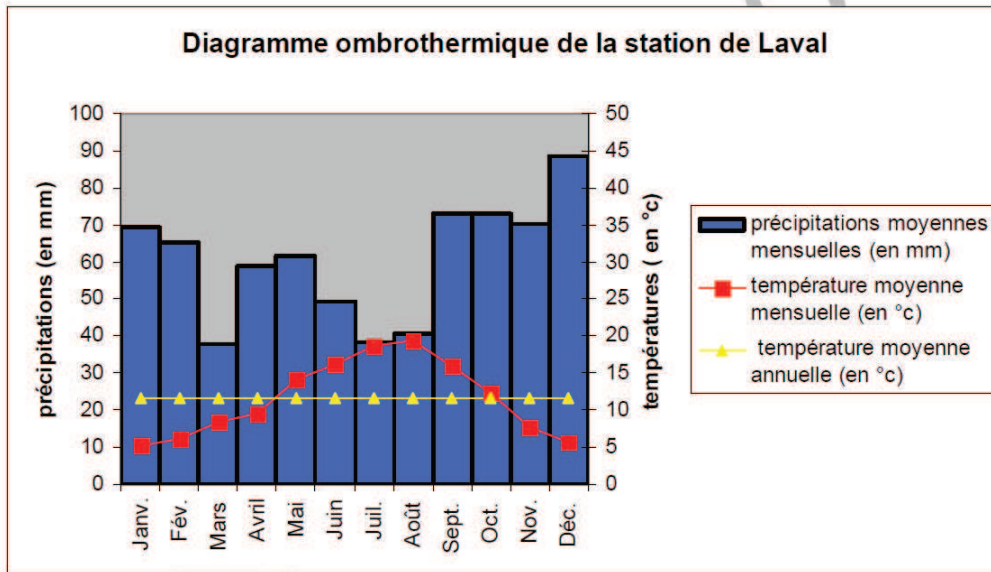


Figure 24 : diagramme ombrothermique (Météo-france)

Le graphique précédent nous permet de constater que la température moyenne annuelle est de 11,7 °C. Les températures moyennes des mois les plus chauds, à savoir juillet et août, atteignent respectivement 24,1 °C et 25,2 °C, alors que celles des mois les plus froids, janvier et février, sont de 2,5 et 2,6 °C. L’amplitude thermique annuelle est donc de 22,7 °C, ce qui témoigne de la transition vers un climat « océanique dégradé ». Sur la période 1988-2000, une moyenne annuelle de 35,7 jours où la température a été inférieure à zéro, avec un record atteint le 2 janvier 1997 avec -12,2 °C.

La conjonction de froid et d’humidité pourrait entraîner l’accumulation de givre sur les pales des éoliennes. Dans cette hypothèse, et afin d’éviter toute projection de glace des pales en rotations, un système de sécurité déclenche automatiquement l’arrêt des machines.

Un projet européen le Wind Energy production in COld climates (WECO)⁶, piloté par l’institut météorologique de Finlande, a établi une carte européenne des zones les plus exposées au givre. Il apparaît que la zone côtière de la région des pays de la Loire présente un risque léger (entre 2 et 7 jours par an) tandis que l’intérieur des terres, où est situé le projet, ce risque est occasionnel (moins de 1 jour par an).

Les conditions climatiques très froides et humides sont tout de même retenues comme source de dangers pour les installations du parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez.

⁶ Source : Finnish meteorological institute, http://www.fmi.fi/research_meteorology/meteorology_9.html

Vents violents

Les données relatives aux vents sont celles prises par ETD directement sur la zone d'implantation des éoliennes. Elles sont issue du résultat des mesures menées par ETD et effectuées en mars 2009 à 80 m au dessus du niveau du sol.

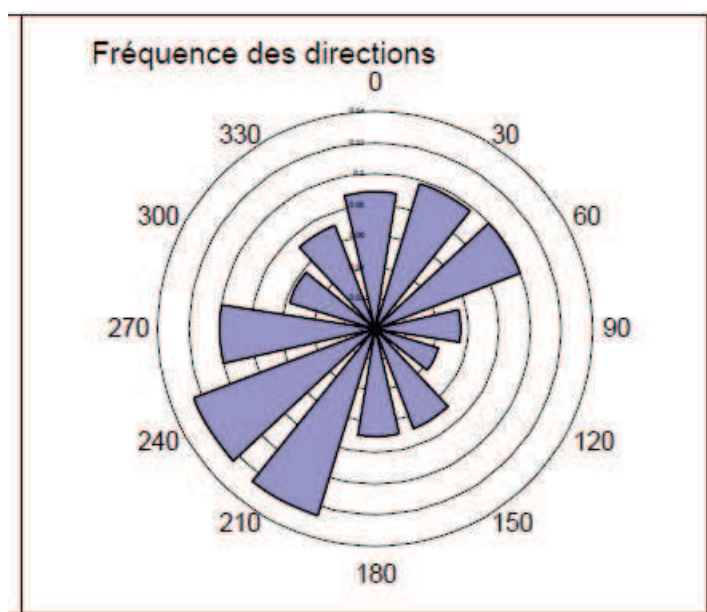


Figure 25 : Rose des vents

Tranche d'angle	Fréquence
0	0,0882
30	0,0974
60	0,1002
90	0,0548
120	0,0425
150	0,0682
180	0,0692
210	0,126
240	0,1247
270	0,0999
300	0,0574
330	0,0715

Tableau 16 : Fréquence des vents par tranche d'angle

La rose des vents montre que les vents en provenance du secteur Sud-ouest dominant avec environ 32% des observations

D'après les données de la station météorologique de Laval-Entrammes, pour l'année 2009, la rafale de vent la plus violente enregistrée est de 68,8 km/h, en février.

Les éoliennes sont conçues pour supporter de très fortes tempêtes. L'éolienne E-82 E2 est certifiée pour la classe de vent IIA selon la norme IEC 61400-1.

Le tableau suivant indique les vitesses de vent extrêmes que les éoliennes peuvent supporter :

Classe de vent	I	II	III
Vitesse moyenne annuelle	10 m/s (36 km/h)	8,5 m/s (31 km/h)	7,5 m/s (27 km/h)
Vitesse maximale (moyenne 10 min)	50 m/s (180 km/h)	42,5 m/s (153 km/h)	37,5 m/s (135 km/h)
Vitesse maximale (moyenne 2 secondes)	70 m/s (252 km/h)	59,5 m/s (214 km/h)	52,5 m/s (189 km/h)

Tableau 17 : Vitesses de vent extrêmes supportées par les éoliennes

Les vents violents sont retenus comme source potentielle de danger pour les éoliennes.

4.1.1.2. Inondation

Les deux communes de l'ilot d'implantation des éoliennes Ouest sont Azé et Gennes sur Glaize.

- Seule Azé fait l'objet d'un risque inondation répertorié sur la base de données prim.net. Un Plan de Prévention du Risque Naturel Inondation (P.P.R.I.) concernant le bassin « Mayenne » a d'ailleurs été prescrit à Azé le 15/03/1997, et approuvé le 29/10/2003 (source : <http://www.prim.net>). Néanmoins, comme l'illustre la cartographie suivante extraite de ce document, le P.P.R.I. ne concerne pas la zone d'implantation des éoliennes, située sur la bordure ouest de la commune.

ERELIA Mayenne
 Etude des dangers - Parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez (53)
 Rapport n° 61202/B

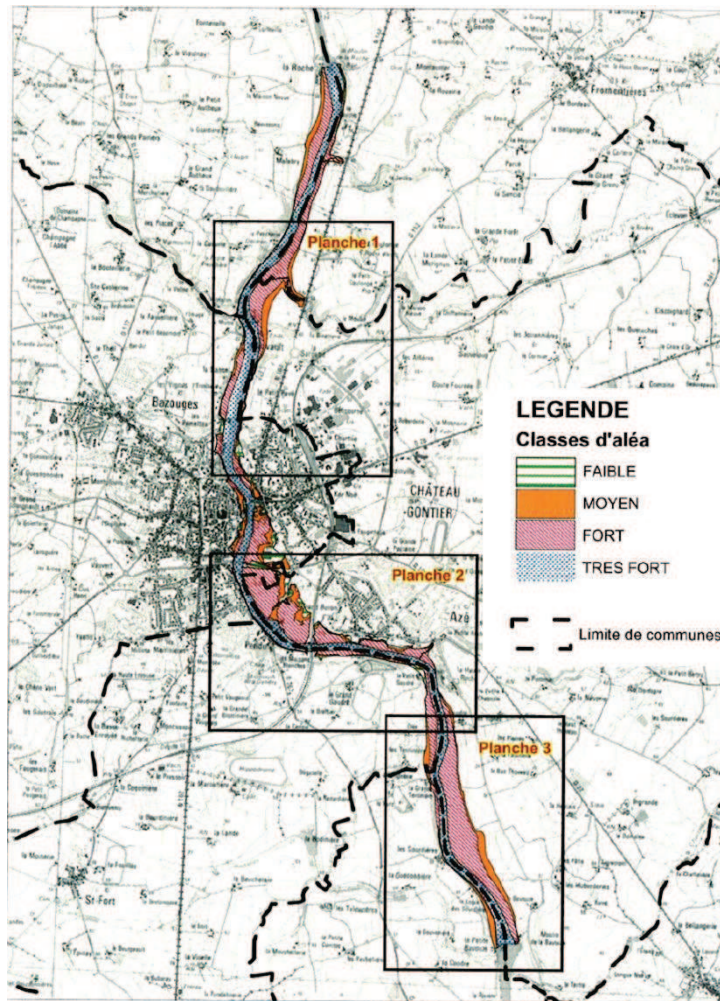


Figure 26 : Extrait cartographique du PPRI prescrit à Azé le 15/03/1997 et approuvé le 29/10/2003

- Gennes-sur-Glaize fait l’objet de 2 arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle « inondations, coulées de boue et mouvements de terrain », pris le 24/07/1994 et le 25/12/1999.

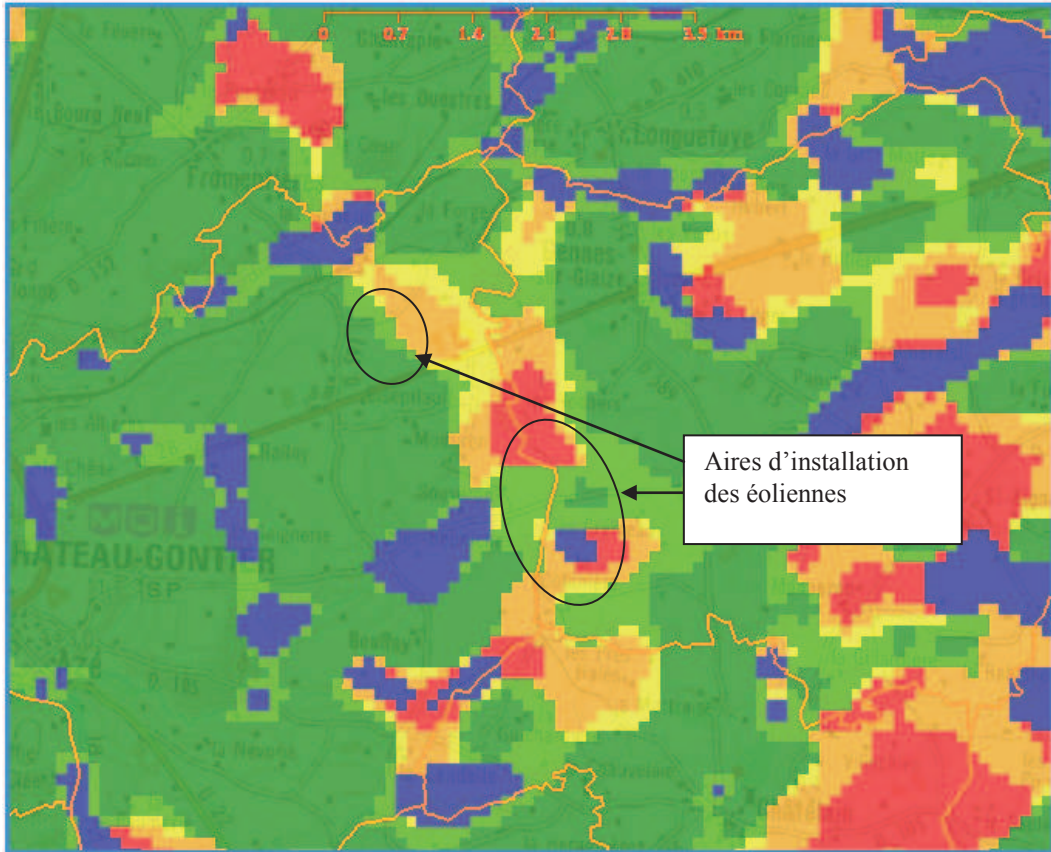
En ce qui concerne l’ilot d’implantation des éoliennes Est, les communes concernées de Bouère et Saint-Denis-d’Anjou font l’objet d’un risque inondation répertorié dans la base de données prim.net. Aucun Plan de Prévention du Risque Naturel Inondation (P.P.R.I.) n’y a cependant été prescrit (source : <http://www.prim.net>).

Aucune mesure particulière n’est donc nécessaire vis-à-vis du risque inondation. Il est à noter que les PLU des quatre communes indiquent que les éoliennes ne sont pas implantées dans une zone à risque d’inondation.

L’inondation n’est pas retenue comme source potentielle de dangers pour les installations du parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez.

4.1.1.3. Remontées de nappes

La Base de Données Nationale « Remontées de nappes » développé par le BRGM a été consultée (<http://www.inondationsnappes.fr>). La cartographie des remontées de nappe est présentée sur la figure ci-dessous.



Légende des remontées de nappes

- Nappe sub-affleurente
- Sensibilité très forte
- Sensibilité forte
- Sensibilité moyenne
- Sensibilité faible
- Sensibilité très faible
- Non réalisé

Figure 27 : Cartographie des remontées de nappe au niveau de l'ilot d'implantation Ouest (source : BRGM)

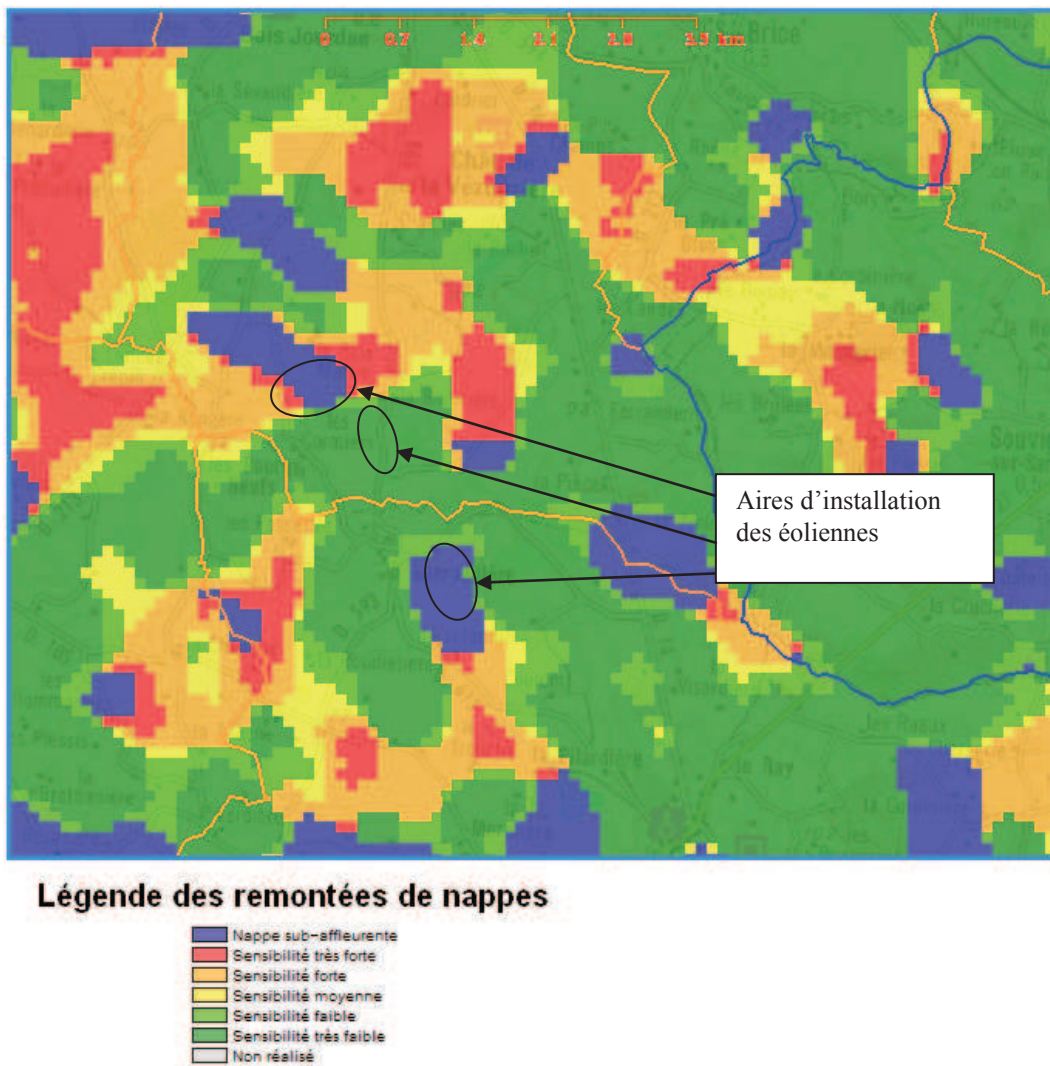


Figure 28 : Cartographie des remontées de nappe au niveau de l’ilot d’implantation Est (source : BRGM)

D’après la première cartographie, l’ilot d’implantation Ouest du parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez est localisé en zones de sensibilité très faible, faible, moyenne, forte, très forte et sub-affleurante pour les remontées de nappes.

La cartographie relative à l’ilot Est illustre que ses éoliennes sont localisées en partie en zone de sensibilité sub-affleurante, et en partie en zone de sensibilité très faible.

Une étude géotechnique réalisée avant la construction du parc éolien permettra de dimensionner avec précision les fondations, qui tiendront compte du contexte géologique et hydrogéologique local. Il est à noter que plusieurs types de fondation existent (avec ou sans pieux profonds), permettant ainsi de s'adapter à toutes les natures de terrain.

Les remontées de nappes sont considérées comme source de danger pour le parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez et les fondations des éoliennes.

4.1.1.4. Foudre

L'activité orageuse est définie par le niveau kéraunique (Nk) c'est-à-dire "le nombre de jours par an où l'on a entendu gronder le tonnerre". On utilise également une valeur équivalente au niveau kéraunique, le nombre de jours d'orage, issu des mesures du réseau de détection foudre.

La valeur moyenne du nombre de jours d'orage, en France, est de 11,19.

Le critère du Nombre de jours d'orage ne caractérise pas l'importance des orages. En effet un impact de foudre isolé ou un orage violent seront comptabilisés de la même façon. La meilleure représentation de l'activité orageuse est la densité d'arcs (Da) qui est le nombre d'arcs de foudre au sol par km² et par an.

La valeur moyenne de la densité d'arcs, en France, est de 1,63 arcs.km⁻².an⁻¹.

Commune	Nombre de jours d'orage	Densité d'arc (arcs.km ⁻² .an ⁻¹)
Azé	5	0,38 (34843 ^{ième} national).
Gennes-sur-Glaize	5	0,38 (34843 ^{ième} national)
Bouère	5	0,47 (33911 ^{ième} national)
Saint-Denis-d'Anjou	6	0,43 (34436 ^{ième} national)

L'activité orageuse des quatre communes d'implantation des éoliennes se situe en-dessous de la moyenne nationale.

Cependant, la foudre est retenue comme source potentielle de dangers dans cette étude.

4.1.1.5. Mouvements de terrain

Aucun Plan de Prévention des Risques Naturels du type mouvement de terrain n'a été prescrit sur les quatre communes d'implantation (source : <http://www.prim.net>).

Aucune mesure particulière n'est donc recommandée vis-à-vis du glissement de terrain.

A noter que la Base de Données Nationale Mouvements de Terrain (www.bdmvt.net) développé par le BRGM a été consultée. D'après ce site, seule la commune d'Azé a été théâtre de mouvements de terrain sur le secteur de Château-Gontier. Ils sont de type « érosion de berges » et ont eu lieu à plus de 2 km des aires projetées d'implantation des éoliennes.

La carte suivante les localise précisément par rapport à la zone d'installation des éoliennes.

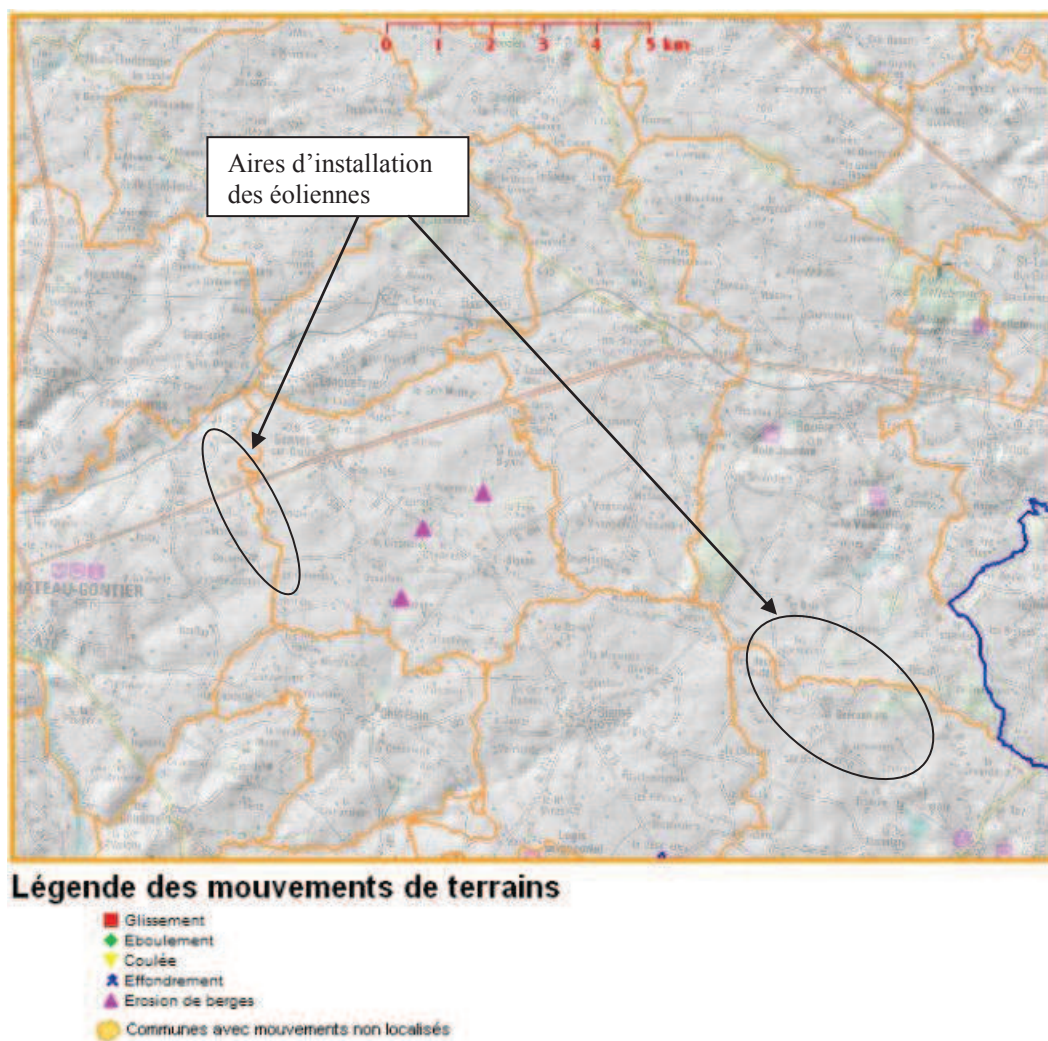


Figure 29 : Cartographie des mouvements de terrains (source : BRGM)

Concernant le risque lié au retrait-gonflement d'argile, les quatre communes du projet ont un aléa très faible.

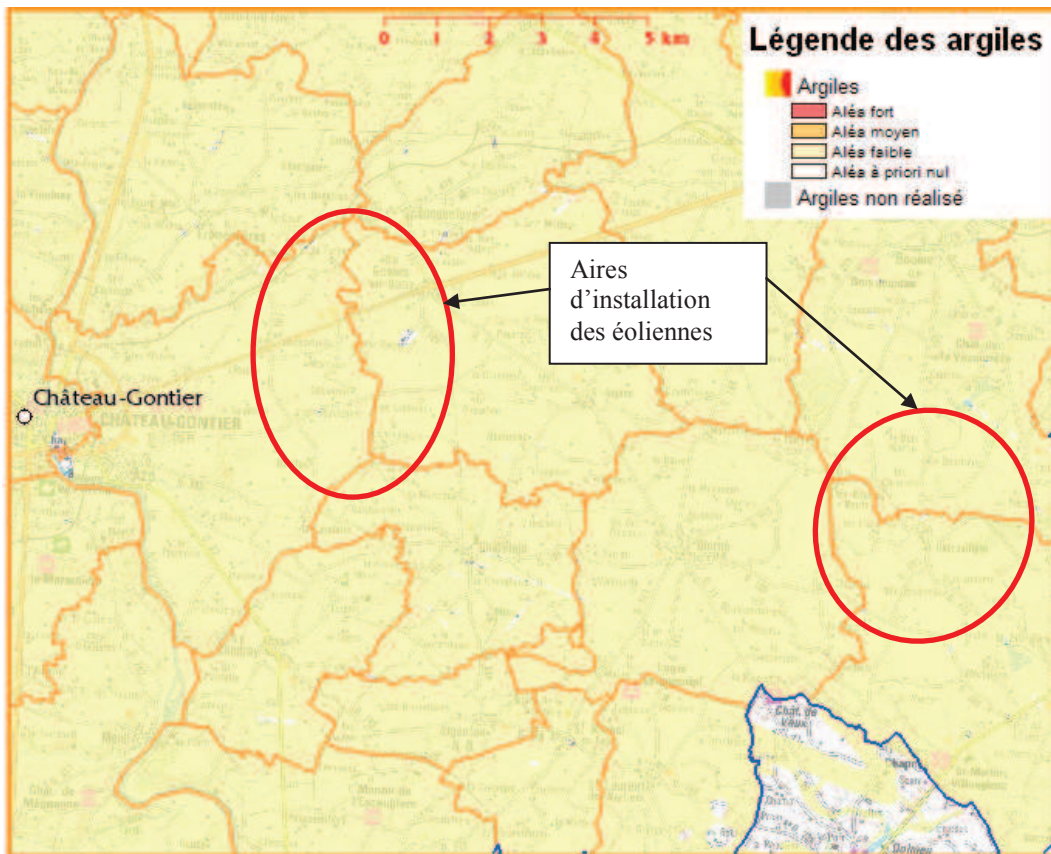


Figure 30 : Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles. Source : BRGM

Les mouvements de terrains ne sont donc pas considérés comme source de danger pour les installations du parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez.

4.1.1.6. Séisme

Le territoire national aujourd'hui divisé au niveau cantonal sera bientôt divisé au niveau communal (Décret n°2010-1254 entrant en vigueur en mai 2011) en cinq zones de sismicité croissante en fonction de la probabilité d'occurrence des séismes (articles R563-1 à R563-8 du Code de l'Environnement) tel que :

- Zone de sismicité 1 (très faible) ;
- Zone de sismicité 2 (faible) ;
- Zone de sismicité 3 (modérée) ;
- Zone de sismicité 4 (moyenne) ;
- Zone de sismicité 5 (forte).

D'après le nouveau Décret n°2010-1255 portant délimitation des zones de sismicité sur le territoire français et entrant en vigueur prochainement, les quatre communes d'implantation du projet éolien de Château-Gontier sont en zone de sismicité modérée (3). Le projet sera donc visé par la réglementation parasismique particulière à appliquer pour le bâti dit courant ou d'intérêt primordial dans cette zone (catégories d'importance III et IV selon l'arrêté du 22 octobre 2010 prochainement applicable).

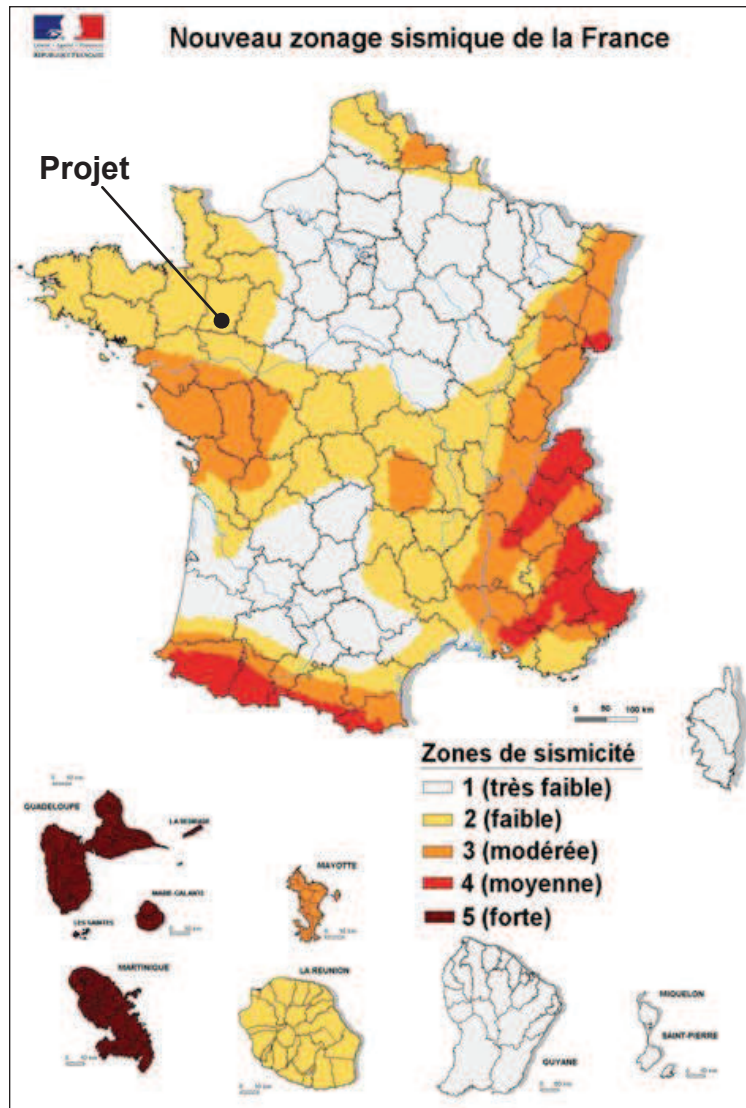


Figure 31 : Carte d'aléa sismique en France (source : MEEDDM)

D'après le site internet SisFrance développé par le BRGM (www.sisfrance.net), de deux à quatre séismes historiques ont été ressenti sur les communes d'implantation du projet. Ils apparaissent dans les tableaux ci-dessous :

Date	Heure	Choc	Localisation épiscopentrale	Région ou pays de l'épicentre	Intensité épiscopentrale	Intensité dans la commune
30 Septembre 2002	6 h 44 min 48 sec		<u>VANNETAIS (HENNEBONT-BRANDERION)</u>	BRETAGNE	5,5	2,5
6 Décembre 1991	19 h 34 min 4 sec		<u>VAL D'ANJOU (LA BREILLE-LES-PINS)</u>	ANJOU	4	2,5

Tableau 18 : Historique des séismes ressentis à Azé. Source : BRGM.

Date	Heure	Choc	Localisation épiscopentrale	Région ou pays de l'épicentre	Intensité épiscopentrale	Intensité dans la commune
30 Septembre 2002	6 h 44 min 48 sec		<u>VANNETAIS (HENNEBONT-BRANDERION)</u>	BRETAGNE	5,5	0
11 Mai 1988	0 h 8 min 53 sec		<u>BASSIN DE LAVAL (LA CHAPELLE-ANTHENAISE)</u>	MAINE	4	0
4 Mars 1965	0 h 47 min 13 sec		<u>CRAONNAIS ET SEGREEN (LE LION-D'ANGERS)</u>	ANJOU	5,5	4
19 Novembre 1927	23 h 3 min 23 sec		<u>BOCAGE NORMAND (FLERS)</u>	NORMANDIE	6	4

Tableau 19 : Historique des séismes ressentis à Gennes-sur-Glaize. Source : BRGM.

Date	Heure	Choc	Localisation épiscopentrale	Région ou pays de l'épicentre	Intensité épiscopentrale	Intensité dans la commune
8 Juin 2001	13 h 26 min 53 sec		<u>BOCAGE VENDEEN (CHANTONNAY)</u>	PAYS NANTAIS ET VENDEEN	5	0
11 Mai 1988	0 h 8 min 53 sec		<u>BASSIN DE LAVAL (LA CHAPELLE-ANTHENAISE)</u>	MAINE	4	0
4 Mars 1965	0 h 47 min 13 sec		<u>CRAONNAIS ET SEGREEN (LE LION-D'ANGERS)</u>	ANJOU	5,5	4

Tableau 20 : Historique des séismes ressentis à Bouère. Source : BRGM.

Date	Heure	Choc	Localisation épiscopentrale	Région ou pays de l'épicentre	Intensité épiscopentrale	Intensité dans la commune
8 Juin 2001	13 h 26 min 53 sec		<u>BOCAGE VENDEEN (CHANTONNAY)</u>	PAYS NANTAIS ET VENDEEN	5	2
4 Mars 1965	0 h 47 min 13 sec		<u>CRAONNAIS ET SEGREEN (LE LION-D'ANGERS)</u>	ANJOU	5,5	4
19 Novembre 1927	23 h 3 min 23 sec		<u>BOCAGE NORMAND (FLERS)</u>	NORMANDIE	6	4,5

Tableau 21 : Historique des séismes ressentis à Saint-Denis-d'Anjou. Source : BRGM.

L'intensité est évaluée selon l'échelle macrosismique MSK (échelle de 0 à 12) dont un extrait est présenté ci-dessous :

- **0 : secousse déclarée non ressentie** (valeur propre à SisFrance, hors échelle MSK),
- **1 : secousse non ressentie** mais enregistrée par les instruments (valeur non utilisée),
- **2 : secousse partiellement ressentie** notamment par des personnes au repos et aux étages,
- **3 : secousse faiblement ressentie** balancement des objets suspendus,
- **4 : secousse largement ressentie** dans et hors des habitations tremblement des objets,
- **5 : secousse forte** réveil des dormeurs, chutes d'objets, parfois légères fissures dans les plâtres.

Ainsi, les communes n'ont connu que des séismes provoquant au pire des tremblements d'objets, ce qui n'est pas susceptible d'endommager de manière notable une éolienne.

Le séisme n'est donc pas retenu comme source potentielle de dangers pour les installations du parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez.

4.1.1.7. Feux de forêt

Aucun Plan de Prévention du Risque « Feux de forêt » n'a été prescrit sur les communes concernées par le projet (source : <http://www.prim.net>).

Aucune mesure particulière n'est donc nécessaire vis-à-vis des feux de forêt.

Les feux de forêt ne sont pas retenus comme source potentielle de dangers pour les installations du parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez.

4.1.2. Agressions externes liées aux activités extérieures aux installations

4.1.2.1. Parc éoliens voisins

Le projet éolien le plus proche est situé à 10 km.

Ainsi, du fait de leur éloignement, les projets de parcs éoliens voisins ne sont pas retenus comme sources potentielles de dangers pour le parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez.

4.1.2.2. Rupture barrage

Aucun Plan de Prévention du Risque « rupture de barrage» n’a été prescrit sur les communes concernées par le projet (source : <http://www.prim.net>).

Aucune mesure particulière n’est donc nécessaire vis-à-vis des ruptures de barrage.

Les ruptures de barrages ne sont pas retenues comme source potentielle de dangers pour les installations du parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez.

4.1.2.3. Voies de circulation

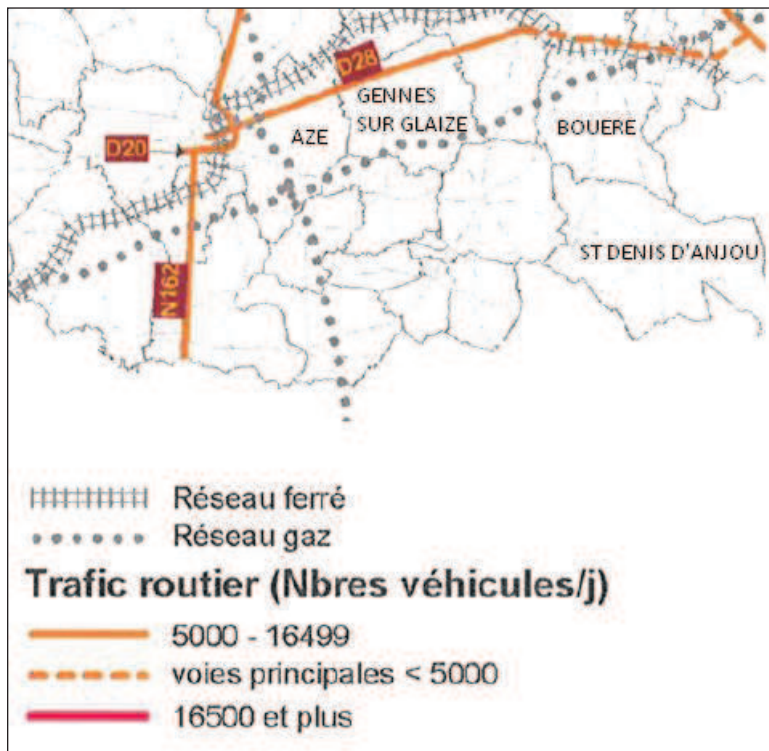


Figure 32 : Principaux axes routiers traversant les communes concernées par le projet.
 Source ; DDRM Mayenne 2006.

D’après le Dossier Départemental des Risques Majeurs 2006 de la Mayenne, les principales voies de circulation traversant les communes concernées par le projet sont la Départementale 28, la voie ferrée reliant Château-Gontier à Sablé-sur-Sarthe, et un gazoduc.

Comme explicité et décrit au chapitre 2.6.2 sur les voies de transport :

- le choix d'implantation des éoliennes par Erelia est tel que celles-ci soient situées à au moins 180 m des voies routières à grande circulation et des chemins de fer,
- les voies communales sont situées au plus proche à environ 90 m des éoliennes (88 m pour le secteur Ouest et 94 m pour le secteur Est).

Au regard de l'activité du site (installation fixe), la circulation de véhicules à plus de 90 m ne présente pas de potentiel de danger particulier.

Le réseau de gaz étant situé à plus de 1 km des deux secteurs d'implantation des éoliennes, il ne constitue aucun danger pour celles-ci.

Ainsi, les voies de circulation ne sont pas retenues comme sources potentielles de dangers pour le parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez.

4.1.2.4. Aéroport, aérodrome

D'après la protection civile, les risques les plus importants de chute d'aéronefs se situent lors des phases de décollage et d'atterrissage.

La zone admise comme la plus exposée est celle qui se trouve à l'intérieur d'un rectangle délimité par :

- une distance de 3 km de part et d'autre en bout de piste,
- une distance de 1 km de part et d'autre dans le sens de la largeur.

Le risque de chute d'aéronefs est considéré comme négligeable dans la mesure où le parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez se situe en-dehors d'un tel rectangle. Les aéroports / aérodromes les plus proches se situant à plus de 30 km (Anger, Le Mans et Pays d'Ancenis).

On peut donc considérer que le risque de chute d'aéronef sur le parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez n'est pas à retenir.

4.1.2.5. Environnement industriel

D'après la base de données prim.net, les quatre communes d'implantation du projet ne sont pas soumises au risque industriel en matière de risque majeur, il n'y a pas d'installations classées soumises à autorisation sur ces dernières. Aucun Plan de Prévention du Risque Industriel n'y a été prescrit.

Les installations classées présentes sur les communes d'installation des éoliennes sont toutes soumises à déclaration et concernent : l'élevage, le dépôt de déchets industriels banaux et d'ordures ménagères, une carrière, la fabrication d'aliments pour animaux, le stockage de céréales, un abattoir, et un lycée professionnel.

En raison de leurs activités, ces établissements ne présentent pas de risque particulier pour le parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez.

Aucune mesure particulière n'est donc nécessaire vis-à-vis des risques industriels.

Les installations industrielles voisines ne sont pas retenues comme source de danger pour le parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez.

4.1.3. Agressions externes liées aux actes de malveillance

La malveillance peut se caractériser par :

- des vols de matériels liés à la sécurité ou nécessaires au bon fonctionnement des installations ainsi que des vols de matériel entreposé ;
- des incendies volontaires ;
- des destructions du matériel.

Chaque éolienne sera fermée à clé.

D'après l'annexe 4 de 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 :

« 3. Limites de prise en compte de certains événements externes pouvant causer des accidents dans l'établissement »

Certains événements externes pouvant provoquer des accidents majeurs peuvent ne pas être pris en compte dans l'étude de dangers et notamment, en l'absence de règles ou instructions spécifiques, les événements suivants :

- *chute de météorite ;*
- *séismes 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 vigueur⁷ ;*

⁷ Actuellement, le guide PPR inondations publié par le ministère chargé de l'environnement.

- 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 ;
- « 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 de ce même code](#) ; »
- **actes de malveillance.** »

Ainsi, la malveillance n'est pas retenue comme source de dangers pour les installations du site.

4.1.4. Synthèse des agressions externes potentielles

L'analyse des dangers liés à l'environnement a permis d'identifier :

- le vent,
- la foudre,
- la remontée de nappe phréatique,
- les conditions climatiques (températures très basses),

comme sources potentielles de dangers pour le site.

4.2. Potentiels de dangers liés aux produits

Ce chapitre a pour objectif de recenser les dangers associés aux produits (substances ou préparations) : il s'agit de qualifier les dangers (inflammabilité, toxicité...) des produits ou substances présents ou susceptibles d'être présents sur le site en quantité significative.

Les substances ou produits chimiques mis en œuvre dans l'installation sont limités. Les seuls produits présents en phase d'exploitation sont :

- Le MOBILGEAR OGL 461 (graisse lubrifiante) pour le graissage des roues dentées,
- Le MOBILGEAR SHC 460 dont 24 litres sont utilisés pour la transmission d'orientation et 6 litres pour l'arbre de renvoi,
- Le MOBILITH SHC 460 pour le graissage du palier d'orientation (à roulements) (distributeur automatique de graisse),
- Le MOBILTAC 81 pour le graissage du palier à roulements,
- Les RENOLIN PG 220 (lubrifiant) et RENOLIN PG 46 dont 5 litres sont utilisés pour le frein hydraulique,
- Le RENOLIN UNISYN CLP 220 (lubrifiant) utilisé comme huile d'engrenage, dont 7 litres servent pour les transmissions d'orientation et 4 à 6 litres pour l'arbre de renvoi,

- Le Klüberplex BEM 41-141 (Graisse) pour le graissage des roues dentées, du palier d'orientation et du palier à roulements (distributeur automatique de graisse),
- Le Shell Diala D getr (huile isolante) dont 360 à 1800 litres sont utilisées dans le fonctionnement du transformateur.

Les caractéristiques physico-chimiques des huiles et des graisses mises en œuvre sont répertoriées dans le tableau ci-après.

Produits	Caractéristiques physico-chimiques
MOBILGEAR OGL 461 (graisse lubrifiante)	Point éclair > 204°C Viscosité cinématique à 40°C (cSt): 460
MOBILGEAR SHC 460	Point éclair : 240°C Viscosité cinématique à 40°C (cSt): 460
MOBILITH SHC 460	Point éclair > 204°C Viscosité cinématique à 40°C (cSt): >414
MOBILTAC 81	Point éclair > 204°C Viscosité cinématique à 40°C (cSt): >300
RENOLIN PG 220 (lubrifiant) RENOLIN PG 46	Point éclair : 240°C Viscosité cinématique à 40°C : 220 mm ² /s (PG 220) et 460 (PG 460)
RENOLIN UNISYN CLP 220 (lubrifiant)	Point éclair : 260°C Viscosité cinématique à 40°C : 220 mm ² /s
Klüberplex BEM 41-141 (Graisse)	Point éclair > 250°C Viscosité cinématique à 40°C : 130 mm ² /s
Shell Diala D getr (huile isolante)	Point éclair : 145°C Viscosité cinématique à 40°C : 7,7mm ² /s

Tableau 22 : Caractéristiques physico-chimiques de produits mis en œuvre dans une éolienne

Du fait de leur faible inflammabilité (point d'éclair compris entre 145°C et 260°C), les produits mis en œuvre ne sont pas retenus comme potentiel de danger.

4.3. Potentiels de dangers liés aux équipements et aux opérations

Dans cette partie, le procédé mis en œuvre au sein de chaque éolienne est analysé afin de déterminer quels sont les potentiels de dangers (et les phénomènes dangereux potentiels) associés aux différents équipements et opérations.

Les potentiels de dangers des opérations et des équipements sont déterminés à partir des deux paramètres suivants :

- dangerosité des produits mis en œuvre,
- conditions opératoires et dysfonctionnements éventuels (emballement, etc.).

Sur le parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez, les opérations/activités seront les suivantes :

- la production d'électricité ;
- la transformation de l'électricité ;
- le transport d'électricité.

Les équipements associés à ces opérations/activités sont :

- pour la production d'électricité :
 - les fondations,
 - le mât,
 - la nacelle avec
 - la génératrice,
 - le convertisseur,
 - la girouette/anémomètre,
 - l'automate de supervision,
 - le rotor avec
 - le moyeu,
 - les trois pales.
- pour la transformation de l'électricité :
 - le transformateur.
- pour le transport de l'électricité :
 - les câbles de transport d'électricité,
 - le poste de livraison.

Ces opérations ainsi que les équipements associés ont fait l'objet d'une analyse des risques, présentée dans le tableau suivant.

A noter que cette analyse s'est basée sur le retour d'expérience d'ERELIA GDF SUEZ (122 éoliennes exploitées) formalisé lors d'une réunion en groupe de travail.

Les commentaires sont basés sur le retour d'expérience français réalisé à partir de la revue de presse et des informations du BARPI et sur le retour d'expérience d'ERELIA GDF Suez dans le monde.

N°	Opération ou équipement	Mode de défaillance	Causes	Conséquences Phénomène redouté	Barrières	Commentaire	Phénomène retenu
1	Fondations	Mauvais dimensionnement des fondations	Erreur de calcul des fondations	Effondrement de la machine	Etude géotechnique des sols au niveau de chaque emplacement Surveillance pendant les travaux (caractéristiques béton, temps de sèche ...) Pieux profonds en cas de besoin CCTP rédigé par Enercon très précis Qualification par Enercon des sociétés réalisant les bétons	1 cas	<i>Effondrement de la machine</i>
2		Mauvais dimensionnement des fondations	Remontée de nappe	Effondrement de la machine	Pas d'erreur de conception car certificat de conception (agrément et test) pour la norme IEC 61400	/	Non rencontré <i>Non retenu</i>
3	Mât	Défaut de serrage des boulons de la structure du mât	Défaut d'entretien	Effondrement de la machine	Montage effectué par Enercon Procédure de vérification complète avant la phase de test Double vérification annuelle (Erelia et Enercon) Contrôle serrage annuel à chaque maintenance mécanique Certification norme IEC6400	1 cas	<i>Effondrement de la machine</i>
4	Nacelle	Sur tension des équipements électriques	Foudre	Incendie	Protection parafoudre dédiée pour les anémomètres et les pales. Maintenance préventive du système parafoudre. Contrôle périodique tous les 4 ans de la mise à la terre (mesure) Inspection visuelle du système foudre 3 fois par an et une mesure annuelle Nacelle en aluminium	/	Non rencontré <i>Non retenu</i>

N°	Opération ou équipement	Mode de défaillance	Causes	Conséquences Phénomène redouté	Barrières	Commentaire	Phénomène retenu
5	Nacelle		Erreur humaine	Electrocution	Procédures d'intervention Transformateur au pied du mât Intervention de l'électricien dans la nacelle	1 cas	Conséquences humaines sur le personnel <i>Non retenu</i>
6	Girouette, anémomètre	Erreur sur la mesure Défaut de lecture sur le codeur (angle de pales) des pitch	Défaillance matériel	Information erronée, survitesse	Capteur, alarme et arrêt automatique Surveillance continue entre la puissance théorique de l'éolienne et la puissance mesurée Maintenance tous les 6 mois Redondance de la mesure Signal d'alerte SCADA Vérification et maintenance des anémomètres	/	Non rencontré <i>Non retenu</i>
7	Automate de supervision	Erreur données transmises	Défaillance matériel	Information erronée, survitesse	Arrêt automatique sur mesure des capteurs Arrêt par le personnel de supervision à distance (24h/24, 365 j/an) Arrêt par le personnel local d'astreinte par bouton pressoir sur l'éolienne Redondances pour chaque système de supervision	/	Non rencontré <i>Non retenu</i>
8	Rotor	Boulons mal serrés	Défaillance humaine pendant la phase de montage	Décrochage d'une pale	Procédures de montage, Montage réalisé par Enercon Garanties fournisseur	1 cas	<i>Effondrement de la machine</i>
9	Eolienne	Survitesse de la machine	Vent violent Et Défaillance du système de sécurité	Perte de tout ou partie de pale	Indépendance du système de pitch (une pale en drapeau suffit pour arrêter la machine) Décrochage aérodynamique d'une pale	1 cas	<i>Projection de pales</i>

N°	Opération ou équipement	Mode de défaillance	Causes	Conséquences Phénomène redouté	Barrières	Commentaire	Phénomène retenu
10			« vent violent » : freinage aérodynamique (mise en drapeau des pales)	Incendie de la nacelle	Alerte SCADA dès qu'il y a un problème sur l'angle des pitch	1 cas	<i>Incendie de la nacelle</i>
11	Eolienne	Survitesse de la machine	Défaillance du système de freinage aérodynamique (mise en drapeau des pales)	Perte de tout ou partie de pale	Indépendance du système de pitch (une pale en drapeau suffit pour arrêter la machine) Décrochage aérodynamique d'une pale	2 cas	<i>Projection de pales</i>
12				Effondrement de la machine	Alerte SCADA dès qu'il y a un problème sur l'angle des pitch	1 cas	<i>Effondrement de la machine</i>
13	Eolienne	Survitesse de la machine	Erreur humaine : Non-respect des règles d'exploitation et de maintenance (Mise hors circuit du dispositif de sécurité alors que le vent forçit) Ou Insuffisance des règles d'exploitation et de maintenance	Perte de tout ou partie de pale	Indépendance du système de pitch (une pale en drapeau suffit pour arrêter la machine) Décrochage aérodynamique d'une pale Règles d'exploitation Surveillance de nombreux paramètres Report automatique des alarmes Personnels d'astreinte Arrêt automatique de l'éolienne	/	Non rencontré <i>Non retenu</i>

N°	Opération ou équipement	Mode de défaillance	Causes	Conséquences Phénomène redouté	Barrières	Commentaire	Phénomène retenu
14	Eolienne	Survitesse de la machine	Vent violent Et Défaillance du système de sécurité « vent violent » due à une coupure de courant pendant 4 j (perte du courant magnétisant)	Perte de tout ou partie de pale entraînant un déséquilibre et la ruine de la machine	Décrochage aérodynamique Test de survitesse tous les 6 mois (vérification que les pales se mettent en drapeau) Courant magnétisant autoproduit par l'éolienne Batteries de secours dans le rotor pour l'alimentation des moteurs de pitch	/	Non rencontré <i>Non retenu</i>
15	Eolienne		Tempête de vent	Perte de tout ou partie de pale	Décrochage aérodynamique Test de survitesse tous les 6 mois (vérification que les pales se mettent en drapeau) Courant magnétisant autoproduit par l'éolienne	5 cas	Projection de pales
16	Eolienne		Tempête de vent	Dommages matériels		1 cas	Sans conséquences autre que le coût des réparations <i>Non retenu</i>
17	Eolienne		Tempête de vent	Mât plié Effondrement machine		3 cas	Effondrement de la machine
18	Eolienne	Electricité statique		Pales chargées en électricité entraîne une surtension et Incendie	Mise à la terre	/	Non rencontré <i>Non retenu</i>

N°	Opération ou équipement	Mode de défaillance	Causes	Conséquences Phénomène redouté	Barrières	Commentaire	Phénomène retenu
19	Eolienne	Echauffement des parties métalliques	Défaillance des systèmes de lubrification	Pas de phénomène redouté	Pas de système de lubrification sur ce type d'éolienne, présence de graisses au niveau des roulements	/	Pas de phénomène redouté <i>Non retenu</i>
20	Eolienne	Echauffement des parties métalliques	Prises air bouchées Filtres sales	Incendie de la nacelle	Echangeurs air/air Détecteur et alarme sur les filtres		Non rencontré <i>Non retenu</i>
21	Eolienne	Non refroidissement	Prises air bouchées Filtres sales	Incendie dans le mât	Echangeurs air/air Détecteur et alarme sur les filtres	/	Peu de matière combustible (câblage uniquement) <i>Non retenu</i>
22	Eolienne	Echauffement des parties métalliques	Survitesse du rotor	Incendie	Frein à disque		Non rencontré <i>Non retenu</i>
23	Eolienne		Foudre	Chute et projection de pales	Protection parafoudre dédiée pour les anémomètres et les pales. Maintenance préventive du système parafoudre. Contrôle périodique tous les 4 ans de la mise à la terre (mesure) Inspection visuelle du système foudre 3 fois par an et une mesure annuelle	1 cas	Projection de pales
24	Eolienne		Malveillance	Incendie	Porte fermé à clé 3 détecteurs dans la nacelle	1 cas	Incendie de la nacelle

N°	Opération ou équipement	Mode de défaillance	Causes	Conséquences Phénomène redouté	Barrières	Commentaire	Phénomène retenu
25	Eolienne	Impact de projectile en provenance d'une éolienne d'un parc éolien voisin		Destruction de l'éolienne	Barrières techniques relatives aux modèles d'éoliennes voisines et barrières organisationnelles relatives à leurs exploitants	/	Non rencontré <i>Non retenu</i>
26	Pales	Faiblesse de la structure de la pale	Erreur de conception	Perte de tout ou partie de pale	Certificat du fabricant remis à la réception après une phase de test allant de plusieurs semaines à 6 mois sur une éolienne de modèle similaire Conformité CE Conception norme IEC-61-400-1	/	Non rencontré <i>Non retenu</i>
27	Pales	Faiblesse de la fixation des pales sur le moyeu	Erreur de conception	Perte de tout ou partie de pale		/	Non rencontré <i>Non retenu</i>
28	Pales		Défaut de maintenance Présence d'eau dans la pale Et Foudre	Perte de tout ou partie de pale		1 cas	Projection de pales
29	Pales	Vaporisation de l'eau présente dans la pale		Eclatement d'une pale	Vérification visuelle et acoustique des pales tous les ans au minimum Système de drainage des pales + parafoudre	/	Non rencontré <i>Non retenu</i>
30	Transformateur	Inflammation des vapeurs d'huiles dans le transformateur au pied du mât de l'éolienne	Défaillance électrique	Incendie de l'éolienne			Faible inflammabilité de l'huile <i>Non retenu</i>

N°	Opération ou équipement	Mode de défaillance	Causes	Conséquences Phénomène redouté	Barrières	Commentaire	Phénomène retenu
31	Câbles de transport de l'électricité		Défaut électrique /mauvais dimensionnement /défaut protection /erreur humaine / court circuit	Câbles enterrés, pas de phénomène redouté	Disjoncteur pour électrocution		<i>Pas de phénomène redouté</i>
32	Poste de livraison	Incendie du poste de livraison (flux thermiques, fumées toxiques)	Mauvaise utilisation du local : stockage de matières inflammables Choc avec un véhicule				Non rencontré <i>Non retenu</i>
33	Glace sur les pales		Températures très froides	Chute de glace à partir de l'éolienne à l'arrêt	Système de détection de glace qui analyse la courbe de puissance de la machine : arrêt automatique Moins d'un jour de givre par an		Chute de glace à partir de l'éolienne à l'arrêt

Tableau 23 : Analyse du procédé

4.4. Synthèse

Les phénomènes dangereux retenus sont :

- projection de tout ou partie de pale ;
- effondrement de la machine ;
- chute de glace à partir d'une éolienne à l'arrêt
- incendie de la nacelle

Les potentiels de dangers retenus pour chacune des éoliennes peuvent être localisés schématiquement comme suit :



Figure 33 : Potentiels de dangers d'une éolienne

4.5. Réduction des potentiels de dangers à la source

4.5.1. Suppression des potentiels de dangers

Les produits dangereux présents sur l'éolienne ne peuvent pas être supprimés car ils sont nécessaires au bon fonctionnement du procédé (lubrification).

4.5.2. Réduction des quantités de produits dangereux

Les éoliennes ENERCON sont conçues sans multiplicateur. Ce design permet une réduction significative des quantités de substances dangereuses pour l'environnement par rapport à des éoliennes traditionnelles.

- **Engrenage** : L'éolienne ne possède pas de système d'engrenage principal : le rotor est directement couplé à un générateur annulaire. La vitesse de rotation n'a pas besoin d'être échelonnée. Par conséquent, la quantité d'huile d'engrenage habituellement disponible sur les éoliennes classiques (> 200 litres) n'est pas nécessaire.
- **Transmissions d'orientation** : L'éolienne possède 6 transmissions d'orientation pour contrôler l'orientation de la nacelle. Chacune de ces transmissions est remplie de quelques litres d'huiles (< 10 litres). Les moteurs électriques reposent directement sur les transmissions. Les transmissions se trouvent dans le support principal qui peut recueillir toute la quantité d'huile, par ailleurs les réservoirs d'huile sont montés sous les entraînements d'orientation.
- **Système de réglage des pales** : 3 arbres de renvoi (pitch gear) permettent de régler les pales des éoliennes avec chacune un moteur pitch. Les arbres de renvoi (pitch gear) ne sont remplis que de quelques litres d'huile d'engrenage. La totalité de la nacelle et la tête de rotor sont placées dans un carénage de sorte que des éventuelles pertes d'huile par défaut d'étanchéité sont recueillies dans le carénage.
- **Graissage du palier à roulement** : Les profils de dents et le palier de l'éolienne sont lubrifiés à l'aide de graisses spéciales. Soit les parties graissées sont elles-mêmes enfermées, soit l'excédent de graisse est recueilli dans des poches collectrices de graisse sur le carénage.
- **Alimentation en lubrifiant des paliers** : Les paliers à roulement et à pivotement de l'éolienne sont alimentés en permanence en graisse au moyen d'unités de graissage permanent. Il s'agit de cartouches fermées de 125 ml chacune. Leur contenu est remplacé au cours de la maintenance.

- **Huile du transformateur** : Le transformateur est situé selon la version au pied du mât ou dans un poste situé à l'extérieur du mât. Le puisard dans le sol en béton du poste est verrouillé et perméable à l'huile et peut recueillir l'ensemble de l'huile de transformation (selon modèle jusqu'à 1500 litres). Si le transformateur est installé dans le mât, une goulotte en acier assure la collecte de toute l'huile du transformateur. Les bacs de rétention d'huile dans les postes et les sous-sols de mâts sont étanches à l'huile.

4.5.3. Le choix d'Erelia

Il existe de nombreux types d'éoliennes aux fonctionnements variables.

Le choix d'Erelia Groupe pour les 11 éoliennes de Château-Gontier s'est porté sur des éoliennes E-82 E2.

Ces éoliennes présentent plusieurs intérêts en termes de réduction des risques, à savoir :

- un transformateur au gel dans chaque pied de mât (pas de transformateur à huile),
- elles ont déjà été installées en France et dans plusieurs pays d'Europe. Enercon dispose d'un très bon retour d'expériences sur leurs précédents modèles,
- elles sont certifiées par l'organisme de certification Germanischer Lloyd,
- elles seront exploitées par des équipes formées et via un système de télégestion 24h/24 7j/7,
- elles disposent d'un système de freinage aérodynamique avec mise en drapeau des pales.

Il est à noter que la particularité des éoliennes Enercon est d'avoir un moteur synchrone à entraînement direct, donc sans boîte de vitesse, ce qui limite les éléments en mouvements, les huiles de graissage, etc.

5. Estimation des conséquences de la matérialisation des dangers

Ce chapitre a pour objet de quantifier les phénomènes dangereux maximum, liés à l'exploitation du parc éolien.

Les phénomènes dangereux maximum dont les effets sont quantifiés sont présentés dans le tableau suivant :

N°	Phénomènes dangereux maximum
1	Chute de l'éolienne = effondrement de la machine
2	Projection de tout ou partie d'une pale, 4 cas sont retenus : <ul style="list-style-type: none"> • Cas 1 : rupture d'une pale entière à la vitesse nominale, • Cas 2 : rupture du tiers extrême d'une pale à la vitesse nominale, • Cas 3 : rupture d'une pale entière en surrégime, • Cas 4 : rupture du tiers extrême d'une pale en surrégime.
3	Chute d'un bloc de glace à partir d'une éolienne à l'arrêt
4	Incendie de la nacelle

Tableau 24 : Phénomènes dangereux maximum retenus et quantifiés

5.1. Seuils retenus dans le cadre de la modélisation des phénomènes dangereux

Les seuils retenus dans le cadre de la modélisation des phénomènes dangereux sont définis par 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 des dangers des installations classées soumises à autorisation ».

5.1.1. Effets thermiques

Les effets d'un incendie s'apprécient en termes de flux thermique reçu par une surface exposée.

Les valeurs de référence relatives aux seuils d'effets thermiques pour les installations classées sont données dans le tableau ci-après, suivant que l'on analyse ces effets sur les personnes ou les biens.

Effets prévisibles sur les structures	Effets prévisibles sur l'homme	Flux thermiques
Seuil de tenue du béton pendant plusieurs heures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures béton	/	20 kW/m ²
Seuil d'exposition prolongée des structures et correspondant au seuil des dégâts très graves sur les structures, hors structures béton	/	16 kW/m ²
Seuil des effets domino et correspondant au seuil des dégâts graves sur les structures	Seuil des effets létaux significatifs (SELS) correspondant à la zone de dangers très graves pour la vie humaine	8 kW/m ²
Seuil des destructions de vitres significatives	Seuil des premiers effets létaux (SEL) correspondant à la zone des dangers graves pour la vie humaine	5 kW/m ²
/	Seuil des effets irréversibles (SEI) correspondant à la zone des dangers significatifs pour la vie humaine	3 kW/m ²

Tableau 25 : Seuils des effets thermiques

Dans le cas des phénomènes dangereux maximum retenus, les distances associées aux seuils 8, 5, et 3 kW/m² sont calculées.

5.1.2. Effets de projections et chute de l'éolienne

Selon la circulaire DPPR/SEI2/IH-07-0253 du 24/07/07 relative à la prise en compte des effets de projection dans les études de dangers des installations classées puis dans le cadre des Plans de Prévention des Risques Technologiques :

« 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.

Vous pourrez alors inviter les exploitants, dans les études de dangers qu'ils vous remettent, à seulement citer les retours d'expérience connus en matière de projections sur des accidents similaires à ceux décrits dans l'étude de dangers ».

Une exception est faite pour les sites pyrotechniques qui, pour des raisons historiques, disposent de données suffisamment fiables sur les éclats générés par certains produits pyrotechniques civils ou militaires.

Conformément à la circulaire, nous avons étudié dans la présente étude tous les retours d'expérience connus. Egalement, **de manière majorante**, nous avons calculé les probabilités de projection de pale et de fragments de pale en retenant comme hypothèse que leur masse est comprise entre 1 128,7 kg (tiers extrême de pale) et 8 500,74 kg (pale entière).

Par ailleurs, nous avons considéré que la projection de telles masses correspond ponctuellement à un effet léthal sur l'homme (seuil des effets létaux significatifs).

De même, pour l'effondrement de l'éolienne (chute de l'éolienne) nous considérons que ce phénomène correspond ponctuellement à un effet léthal sur l'homme (seuil des effets létaux significatifs).

5.2. Méthodes et moyens de calcul mis en application

5.2.1. Calcul des flux thermiques générés par un incendie

5.2.1.1. Méthodologie

La modélisation des flux thermiques rayonnés par un feu est réalisée par l'utilisation de l'outil de calcul « I.F.N.A.P.⁸ », développé par ANTEA (Incendie de feux de solide et de nappe).

I.F.N.A.P. permet l'étude des combustibles liquides mais aussi des combustibles solides susceptibles de se liquéfier sous l'effet de la chaleur (plastiques, bitumes,...) et les matières solides combustibles qui peuvent induire un feu de surface similaire à celui des feux de liquides.

Le modèle développé par ANTEA repose sur la considération d'une flamme solide à une zone. La flamme est assimilée à un volume opaque de géométrie simple dont les surfaces rayonnent uniformément. De fait il est supposé une température de flamme et une composition homogènes sur toute la hauteur de la flamme.

Le flux rayonné en un point extérieur à la flamme est donné par la formule générique :

$$\phi_R = \phi_0 \cdot F \cdot \tau_{air}$$

Avec :

- ϕ_R : Flux unitaire reçu par la cible (kW/m²),
- ϕ_0 : Flux radiatif initial de la flamme ou pouvoir émissif de la flamme (kW/m²),
- F : Facteur de forme fonction de la géométrie du feu et de l'orientation relative de la cible,
- τ_{air} : Transmissivité de l'air caractérisant la capacité d'atténuation du flux rayonné par absorption atmosphérique.

Dans I.F.N.A.P., le pouvoir émissif peut être estimé selon 2 approches. Une approche énergétique simple en considérant la puissance surfacique rayonnée par la flamme comme une fraction de la puissance totale libérée par la combustion.

⁸ IFNAP : Incendie de feu de nappe

L'autre approche disponible est celle développée par MUDAN ET CROCE, qui intègre l'incidence de la production de suies.

La puissance surfacique rayonnée est déterminée via la connaissance de la surface de la nappe au sol en feu et de la hauteur de flamme. I.F.N.A.P. permet d'étudier tout type de surface de flaque : rectangulaire, circulaire, induite par un rejet continu ou suite à un éclatement de capacité. I.F.N.A.P. propose différentes corrélations pour le calcul de la hauteur de flamme : THOMAS, HESKESTAT, MOORHOUSE, ZUKOVSKI et COX & CHITTY.

Les facteurs de formes traduisent l'angle solide sous lequel la cible perçoit le rayonnement. Dans I.F.N.A.P., la flamme est assimilée à une forme géométrique simple (cylindre, polyèdre) : I.F.N.A.P. considère les cas facteurs de forme associés à cylindre droit et à un plan vertical.

Le facteur de transmissivité atmosphérique traduit le fait que les radiations émises sont en partie absorbées par l'air présent entre la surface radiante et la cible. I.F.N.A.P. propose 3 corrélations : LANNOY, BRZUSTOSWIKI & SOMMER, et LIHOU & MAUND.

Enfin, I.F.N.A.P. permet d'étudier les configurations définies par la présence d'un mur coupe-feu placé au droit de la surface au sol en feu, mais aussi pour un mur coupe-feu éloigné de la surface au sol en feu.

Des tests de comparaison pour les feux de nappe ont été effectués entre la feuille de calcul I.F.N.A.P., et les résultats présentés sur le document de l'INERIS « *Etude de scénarios dangereux en station-service* ». Plus de 10 configurations ont été étudiées.

Les résultats de ces comparaisons sont les suivants :

Type d'écart		Formules utilisées	Ecart*
Hauteur de flamme	Ecart minimum	Hauteur de flamme : Thomas	2%
	Ecart moyen		6%
	Ecart maximum		18%
3 kW/m ²	Ecart minimum	Hauteur de flamme : Thomas	0%
	Ecart moyen		9%
	Ecart maximum		17%
5 kW/m ²	Ecart minimum	Pouvoir émissif : Mudan et Croce	0%
	Ecart moyen		10%
	Ecart maximum		23%
8 kW/m ²	Ecart minimum	Transmissivité : Brzustowski et Sommer	/
	Ecart moyen		/
	Ecart maximum		/

* : les écarts ne sont comptabilisés que si les seuils sont atteints

Des tests de comparaison pour les feux de solides ont été effectués entre la feuille de calcul I.F.N.A.P., et les résultats présentés sur le document de l'INERIS « *Analyse des risques associés à l'industrie papetière* ». 8 configurations ont été étudiées.

Les résultats de ces comparaisons sont les suivants :

Type d'écarts		Formules utilisées	Ecart*
Hauteur de flamme	Ecart minimum	Hauteur de flamme : Thomas	0%
	Ecart moyen		1%
	Ecart maximum		8%
3 kW/m ²	Ecart minimum	Hauteur de flamme : Thomas	0%
	Ecart moyen		2%
	Ecart maximum		7%
5 kW/m ²	Ecart minimum	Pouvoir émissif : Mudan et Croce	0%
	Ecart moyen		4%
	Ecart maximum		9%
8 kW/m ²	Ecart minimum	Transmissivité : Brzustowski et Sommer	6%
	Ecart moyen		10%
	Ecart maximum		14%

* : les écarts ne sont comptabilisés que si les seuils sont atteints

Afin de ne pas fausser les résultats sur le flux thermique, la formule de Thomas a été utilisée car l'INERIS a fait ces modélisations à partir de cette même formule. Ainsi, les différences notées pour la hauteur de flamme proviennent de la manière de calculer le diamètre équivalent.

Peu de divergences sont observées au niveau des écarts selon les dimensions des nappes. Par ailleurs, dans la grande majorité des cas, les résultats donnés par I.F.N.A.P. majorent ceux donnés dans les documents de l'INERIS.

Ainsi, le peu de variations constatées entre les guides de l'INERIS et la méthode développée par ANTEA, et le caractère dimensionnant de l'outil, nous permettent de justifier de l'utilisation de la méthode caractérisée par ANTEA.

5.2.1.2. Caractéristiques de combustion des matériaux présents dans une nacelle

Nous considérons qu'une nacelle est constituée par 50% de matériaux combustibles (principalement du plastique et dans une moindre mesure d'huile) et 50% de matériaux incombustibles (pièces métalliques : axes, génératrice, etc.), ce qui constitue une hypothèse conservatrice. En effet, la proportion de matériaux incombustibles dans une nacelle est supérieure à 50 %.

De plus, l'ensemble des matières combustibles présentes dans la nacelle sera assimilé de manière conservatrice à du plastique et précisément à des solides plastiques ayant les caractéristiques de combustion les plus élevées, ce qui représente une hypothèse majorante.

Les caractéristiques de combustion considérées pour l'incendie de la nacelle sont les suivantes :

- une vitesse de combustion de 13 g/m²/s,
- un pouvoir calorifique inférieur de 43,2 MJ/kg
- une émittance des flammes de 83,3 kW/m².

5.2.2. Chute de l'éolienne (effondrement de la machine)

En cas d'effondrement de l'éolienne (chute de l'éolienne), la distance retenue est la hauteur en bout de pale soit 149 m.

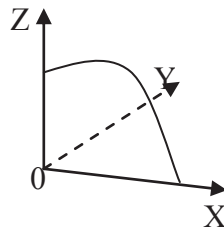
5.2.3. Calcul des effets de projection des fragments de pales

5.2.3.1. Méthodologie

L'évaluation des distances de projection associées à la rupture d'une pale d'éolienne est réalisée à partir d'un modèle développé par ANTEA.

Ce modèle est basé sur les hypothèses suivantes :

- la trajectoire décrite par le projectile est caractérisée à partir de l'équation fondamentale du mouvement appliquée à la balistique (équations classiques de la balistique). La trajectoire du projectile est assimilée à celle de son centre de gravité ;
- la force de résistance de l'air est fonction du carré de la vitesse du projectile (hypothèse applicable aux vitesses < 240 m/s) ;
- la trajectoire des projectiles est décrite selon un plan OXZ ; la direction selon Y n'est pas considérée, comme l'illustre le schéma suivant :



- les équations différentielles du mouvement du projectile selon les directions X et Z sont ainsi :

$$\frac{dV_x}{dt} = -\frac{\rho_{air} \cdot S \cdot C_D}{2 \cdot m} \cdot V_x \cdot \sqrt{V_x^2 + V_z^2}$$

$$\frac{dV_z}{dt} = -\frac{\rho_{air} \cdot S \cdot C_D}{2 \cdot m} \cdot V_z \cdot \sqrt{V_x^2 + V_z^2} - m \cdot g$$

Avec :

- V_x : vitesse selon l'axe OX (m/s),
- V_z : vitesse selon l'axe OZ (m/s)
- m : masse du projectile (kg),
- ρ_{air} : masse volumique de l'air (kg/m^3)
- C_D : coefficient de traînée du projectile (-)

- S : surface de la face projectile perpendiculaire à la trajectoire (m²).
- le coefficient de traînée utilisé pour les différentes formes de projectile est basé sur les valeurs proposées par Duplantier en 1996 (valeurs reprises dans le document INERIS-DRA-2004-46055) ;
- la vitesse initiale du projectile est calculée à partir de la vitesse de rotation de l'éolienne au moment de la rupture et de la position du centre de gravité du projectile (partie qui se détache) sur la pale ;
- les équations différentielles du mouvement selon les directions X et Z sont résolues numériquement par la méthode de Runge-Kutta classique d'ordre quatre (RK4).

Le modèle ANTEA permet ainsi, en fonction des caractéristiques du projectile (surface, longueur, masse) et des conditions initiales (hauteur du mât, vitesse de rotation de l'éolienne, angle de départ) de déterminer les distances de projection atteintes par un projectile en cas de rupture d'une pale ou d'un morceau d'une pale d'éolienne.

5.2.3.2. Caractéristiques des fragments lors du bris d'une pale de l'éolienne

Les principales caractéristiques des fragments lors du bris d'une pale de l'éolienne pour les quatre cas considérés, sont présentées dans le tableau suivant :

Eolienne Enercon E-82-E2				
Paramètres	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
	Pale entière	Tiers extrême	Pale entière	Tiers extrême
	Rupture à la vitesse nominale maximale		Rupture en surrégime	
Longueur du fragment (m)	38,8 (1)	12,93 (1)	38,8 (1)	12,93 (1)
Masse du fragment (kg)	8500,74 (1)	1128,7(1)	8500,74 (1)	1128,7 (1)
Surface de la face du projectile perpendiculaire à l'écoulement (m ²)	46,90 (2)	7,54 (2)	46,90 (2)	7,54 (2)
Position du centre de gravité (m)	11,7 (1)	32,1 (1)	11,7 (1)	32,1 (1)
Vitesse de rotation nominale maximale (tr/min)	18		-	-
Vitesse de rotation en surrégime = 2 fois la vitesse de rotation nominale maximale (tr/min)	-	-	36	
Hauteur au moyeu (m)	108,38 m			
Cx : Coefficient de traînée (3)	1,435 (0,82 x 50% + 2,05 x 50%) Le coefficient de traînée est calculé en assimilant le projectile : <ul style="list-style-type: none"> • 50 % du temps à un cylindre dont l'une des extrémités est perpendiculaire à l'écoulement soit 0,82, • 50 % du temps à un parallépipède allongé dont l'une des faces est perpendiculaire à l'écoulement soit 2,05. 			

Avec :

- (1) Données techniques fournies par *Enercon* pour une éolienne E-82 E2,
- (2) Valeurs calculées à partir des données techniques fournies par *Enercon* pour une éolienne E-82-E2. A noter que la surface de la face du projectile perpendiculaire à l'écoulement est calculée en assimilant le projectile :
 - 50 % du temps, à un cylindre dont l'une des extrémités est perpendiculaire à l'écoulement,
 - 50 % du temps, à un parallélépipède allongé dont l'une des faces est perpendiculaire à l'écoulement,
- (3) Coefficient de trainée pour différentes formes de projectiles, source Duplantier, 1996.

Tableau 26 : Propriétés des fragments lors du bris d'une pale d'une éolienne E-82 E2

5.2.1. Calcul des effets de chute de glace d'une éolienne à l'arrêt

Le phénomène dangereux retenu consiste à considérer la chute de glace suite à un givrage sur les pales d'une éolienne.

Plusieurs études ont été menées afin d'étudier ce phénomène de givrage. La projection de glace a fait l'objet de développement de plusieurs modèles théoriques et de collecte de données expérimentales. L'étude WECO recommande, au regard des modèles théoriques développés et les données expérimentales recueillies, de maintenir une distance de sécurité (pour les sites présentant un niveau de risque de formation de givre / glace élevé), entre l'éolienne et les cibles les plus proches égale à :

$$d_{\text{sécurité}} = 1,5 \times H_m + d_{\text{rotor}}$$

Avec :

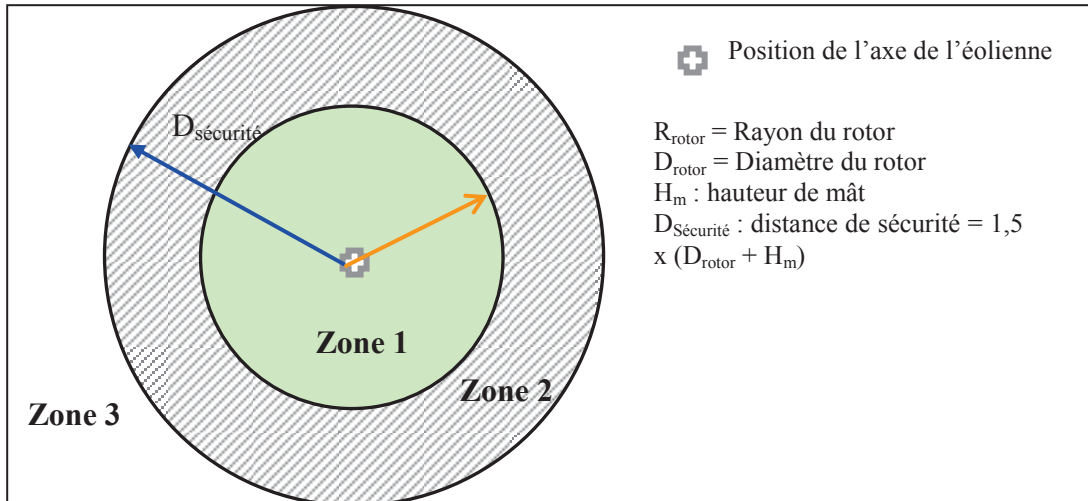
- $d_{\text{sécurité}}$: distance de sécurité (m)
- H_m : hauteur du moyeu (m)
- d_{rotor} : diamètre du rotor (m)

Dans le cas présent, le risque est faible (moins d'1 jour de formation de glace par an). Il n'y a donc pas de recommandation à respecter selon cette étude.

Cependant, dans l'étude de dangers type pour les éoliennes ENERCON pour l'évaluation du niveau de risques, sont définis (Cf. figure suivante) :

- 2 cercles :
 - le premier cercle est un cercle centré sur l'éolienne et dont le diamètre est égal à celui du rotor,
 - le second cercle correspond à la distance de sécurité, soit 1,5 x (diamètre rotor + hauteur du mât).

- et 3 zones d'impact de blocs de glace :
 - Zone 1 (vert) : disque de centre l'éolienne et de rayon égal au rayon du rotor (zone de chute de blocs de glace depuis l'éolienne à l'arrêt),
 - Zone 2 (hachures) : surface annulaire formée entre le rayon du rotor et la distance de sécurité (zone de projection de blocs de glace depuis l'éolienne en fonctionnement),
 - Zone 3 (blanc) : la zone située au-delà de la distance de sécurité.



Nous retiendrons donc le rayon du rotor (41 m) comme étant la distance maximale pour la chute de glace.

5.3. Synthèse des zones d'effet des phénomènes dangereux maximum

Le détail (hypothèses et résultats) de l'évaluation des effets des phénomènes dangereux est présenté en **Annexe 3**.

Le tableau page suivante présente la synthèse des distances d'effets obtenues.

N°	Phénomènes Dangereux (PhD)	Distances maximales d'effets						Figure Annexe 4	Principales hypothèses
		Effets ou dose thermique (KW/m²)		Effets de projection					
		20	16	8	5	3	Seuil des effets létaux significatifs		
1	Chute de l'éolienne	///	///	///	///	///	150 m	PhD1	Hauteur de l'éolienne : 149,38 m
2	Projection de tout ou partie d'une pale	///	///	///	///	///	104 m	PhD2 : Cas 1	Masse du fragment : 8500,74kg Longueur du fragment : 38,8 m Vitesse de rotation : 18 tr/min
		///	///	///	///	///	239 m	PhD2 : Cas 2	Masse du fragment : 1128,7 kg Longueur du fragment : 12,93 m Vitesse de rotation : 18 tr/min
	///	///	///	///	///	186 m	PhD2 : Cas 3	Masse du fragment : 8500,74kg Longueur du fragment : 38,8 m Vitesse de rotation : 36 tr/min	
	///	///	///	///	///	349m	PhD2 : Cas 4	Masse du fragment : 1128,7 kg Longueur du fragment : 12,93 m Vitesse de rotation : 36 tr/min	
3	Chute de glace d'une éolienne à l'arrêt	///	///	///	///	///	41 m	PhD3	Rayon du rotor : 41 m
4	Incendie de la nacelle	///	///	///	///	///	///	(1)	Surface nacelle : 4 x 10 = 40 m² Constitution : plastique 50 %, incombustible 50 %, Vitesse de combustion : 13 g/m²/s, PCI : 43,2 MJ/kg, Emission : 83,3 kW/m² Hauteur de flamme : 4,19 m

Tableau 27 : Distances d'effets des phénomènes dangereux

(1) Aucun effet thermique n'est attendu à hauteur d'homme, les distances correspondant aux zones des effets thermiques, ne seront donc pas représentées.

La cartographie des zones d'effets est présentée en **Annexe 4**.

6. Effets dominos

6.1. Généralité et seuils d'effet retenus

La définition retenue pour un effet domino est la suivante : « *Action d'un phénomène accidentel affectant une ou plusieurs installations d'un établissement qui pourrait déclencher un phénomène accidentel sur une installation ou un établissement voisin, conduisant à une aggravation générale des effets du premier phénomène* ».

Les effets subis par un bâtiment ou une installation en cas de phénomène accidentel survenant à proximité dépendent :

- du type de phénomène accidentel (incendie, explosion, diffusion toxique ou effet missile),
- des caractéristiques du bâtiment ou de l'installation vis-à-vis des effets,
- des mesures de protection existantes,
- de la cinétique des effets et des délais de mise en œuvre d'éventuels moyens de protection.

La valeur seuil d'effets retenue à partir de laquelle un effet domino sur les installations voisines est envisageable (selon de l'arrêté du 29 septembre 2005) est, pour les effets thermiques, de 8 kW/m², correspondant au seuil des dégâts graves sur les structures.

Cette valeur constitue la limite inférieure à partir de laquelle des effets dominos sont envisageables ; les seuils réellement retenus peuvent être supérieurs en fonction des éventuelles dispositions constructives et/ou caractéristiques des bâtiments et installations cibles.

Pour les effets de projection, compte tenu des connaissances limitées en matière de détermination et de modélisation des effets de projection, il n'existe pas à l'heure actuelle de valeur de référence pour la délimitation des zones d'effets sur l'homme ou sur les structures; nous retiendrons la distance maximale de projection comme étant capable d'endommager les structures voisines.

6.2. Effets dominos

La méthodologie est basée sur l'identification des potentiels de dangers et des Phénomènes Dangereux Maximum associés sans chercher à déterminer les événements initiateurs pouvant être à l'origine de ces phénomènes dangereux. Chaque Phénomène dangereux peut être à l'origine d'effet domino ou être généré suite à un effet domino.

Le tableau ci-dessous présente pour chaque phénomène dangereux maximum identifié les effets éventuels par effets domino :

N°	Phénomène dangereux maximum	Type d'effets	Distance maximale d'effets dominos	Cibles potentiellement comprises dans la zone des effets dominos	Evaluation des effets dominos
PhD1	Chute de l'éolienne	Projection	150 m	Voies de circulation	Endommagement de voies de circulation
				Cultures/prairies	Aucun effet domino ne serait à redouter
PhD2	Projection de tout ou partie d'une pale à la vitesse nominale Cas 1 : Pale entière	Projection	104 m	Cultures/prairies	Aucun effet domino ne serait à redouter
				Voies de circulation	Endommagement de voies de circulation
	Projection de tout ou partie d'une pale à la vitesse nominale Cas 2 : Tiers extrême		239 m	Cultures/prairies	Aucun effet domino ne serait à redouter
			Voies de circulation	Endommagement de voies de circulation	
	Projection de tout ou partie d'une pale en surrégime Cas 3 : Pale entière		186 m	Cultures/prairies	Aucun effet domino ne serait à redouter
				Voies de circulation	Endommagement de voies de circulation
	Projection de tout ou partie d'une pale en surrégime Cas 4 : Tiers extrême		349 m	Eolienne voisine du même parc : 345 ⁹ m	Endommagement de l'éolienne voisine –
				Cultures/prairies	Aucun effet domino ne serait à redouter
Voies de circulation		Endommagement de voies de circulation			
PhD3	Chute de bloc de glace à partir de l'éolienne à l'arrêt	Projection	41 m	Cultures/prairies	Aucun effet domino ne serait à redouter
				Voies de circulation	Endommagement de voies de circulation
PhD4	Incendie de la nacelle	Incendie	10 m au maximum	Aucune	Aucun effet domino ne serait à redouter. Pas de propagation à la végétation environnante Pas de forêt dans l'environnement

Tableau 28 : Effets dominos

⁹ Distance la plus courte entre deux mats d'éoliennes

Dans ce paragraphe, les effets dominos susceptibles de se produire à la suite des différents phénomènes dangereux ont été identifiés.

Il est à noter que seuls les effets dominos sur les infrastructures voisines sont identifiés dans ce paragraphe afin de déterminer la possibilité d'un sur-accident dont les effets seraient plus importants que ceux du phénomène dangereux initial.

Il apparaît que, lorsque des effets dominos se produisent, les principales conséquences peuvent être l'endommagement de l'éolienne voisine. Il n'y aura pas de phénomène dangereux plus important que le phénomène initiateur susceptible de se produire.

A noter que certains phénomènes dangereux sont susceptibles d'entraîner des dommages sur des lignes électriques de desserte locale pouvant générer des coupures d'alimentation temporaires des habitations.

7. Gravité, probabilité et cinétique des phénomènes dangereux

Les conséquences des phénomènes dangereux ont été évaluées précédemment par les modélisations. L'étude des effets dominos a permis d'établir l'absence de la possibilité d'occurrence de phénomènes dangereux supplémentaires par effets dominos.

Pour l'ensemble des phénomènes dangereux identifiés précédemment, il s'agit maintenant d'évaluer la gravité, la probabilité d'occurrence et la cinétique.

7.1. Présentation des grilles réglementaires pour la cotation du risque

Les échelles de cotation utilisées sont celles publiées par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable dans 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.*

7.1.1. Niveaux de gravité

L'échelle de cotation de la gravité des conséquences humaines d'un accident à l'extérieur des installations est présentée ci-après.

Niveau de gravité	Zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs (3)	Zone délimitée par le seuil des premiers effets létaux	Zone délimitée par le seuil des effets irréversibles sur la vie humaine
Désastreux	Plus de 10 personnes exposées (1)	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées
Catastrophique	Moins de 10 personnes exposées.	Entre 10 et 100 personnes.	Entre 100 et 1 000 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 hors de l'établissement		Présence humaine exposée à des effets irréversibles inférieure à « une personne ».
Faible (2)	Pas d'effets à l'extérieur du site		

Tableau 29 : Echelle de gravité présentée en Annexe 3 de l'arrêté du 29 septembre 2005

Avec :

- (1) Personne exposée : en tenant compte le cas échéant des mesures constructives visant à protéger les personnes contre certains effets et la possibilité de mise à l’abri des personnes en cas d’occurrence d’un phénomène dangereux si la cinétique de ce dernier et de la propagation de ses effets le permettent.
- (2) L’échelle de cotation de la gravité de l’arrêté du 29 septembre 2005 a été modifiée par ajout de la ligne « faible » pour pouvoir localiser les phénomènes dangereux ne générant pas d’effets au-delà des limites de propriété.
- (3) S’agissant d’effets de projection, la zone délimitée par le seuil des effets létaux significatifs est retenue comme zone de létalité.

Dans le cas où les trois critères de l’échelle (effets létaux significatifs, premiers effets létaux et effets irréversibles pour la santé humaine) ne conduisent pas à la même classe de gravité, c’est la classe la plus grave qui est retenue.

La gravité potentielle d’un accident est donc déterminée en fonction du nombre de personnes à l’extérieur de limites de propriété du site exposées à l’accident.

7.1.2. Niveaux de probabilité

Les échelles quantitative et qualitative de l’Annexe 1 de l’arrêté du 29 septembre 2005 sont présentées dans le tableau suivant :

Echelle de probabilité	E	D	C	B	A
Appréciation qualitative	« événement possible mais extrêmement peu probable » : n’est pas impossible au vu des connaissances actuelles mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d’années d’installations	« événement très improbable » : s’est déjà produit dans ce secteur d’activité mais a fait l’objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité	« événement improbable » : un 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.	« événement probable sur site » : s’est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations.	« événement 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.
Appréciation quantitative (par unité et par an)	10^{-5}	10^{-4}	10^{-3}	10^{-2}	

Tableau 30 : Echelle de probabilité quantitative présentée en Annexe 1 de l’arrêté du 29 septembre 2005

Un niveau de probabilité est associé à un événement majeur, c’est-à-dire aux effets qui pourraient résulter de l’événement redouté maximal. De façon générale, le niveau de probabilité le plus élevé pour l’ensemble des événements majeurs découlant du même événement redouté est retenu.

7.2. Evaluation de la gravité des phénomènes dangereux

7.2.1. Méthodologie

La cotation de la gravité est effectuée par comptage des personnes présentes dans les zones d'effet des phénomènes dangereux et potentiellement atteintes par le projectile. Les surfaces retenues de manière majorante sont :

- **Zone d'impact d'une pale entière** : ~ 90 m² (38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur),
- Zone d'impact d'un projectile du tiers extrême d'une pale : ~ 15 m² (12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur),
- **Zone impactée par une éolienne** : surface du rotor (diamètre de 82 m soit 5281 m²) + surface de la tour (108,38 m hauteur x 8,83 m largeur au max à la base soit 957 m²) soit au total ~ **6 250 m²** (6 238 m²), *données majorante du fait que l'emprise réelle du rotor est plus faible ne correspondant en fait qu'à la surface de la nacelle et des 3 pales.*
- **Zone impactée par un bloc de glace** : ~ 1 m² (1 m : longueur x 1 m : largeur), *hypothèse majorante.*

Le décompte du nombre de personnes ou équivalent personnes présentes dans chacune des zones d'effets est effectué en s'appuyant notamment sur la fiche n°1 de 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.*

Dans le cadre de cette étude, les zones susceptibles d'être impactées par les effets des phénomènes dangereux des éoliennes sont principalement des cultures/prairies et d'infrastructures (voies de circulation routières, éolienne), la méthodologie retenue est la suivante, on compte :

- 1 personne par tranche de 100 ha soit 1.10^{-06} équivalent personne par m² pour des terrains non aménagés et très peu fréquentés : champs, culture, prairie, etc.,
- 0,4 personne par km exposé et par tranche de 100 véhicules/j soit :
 - la route départementale 28 : 6000 véhicules/j (mesure réalisée en 2009, Conseil Général de la Mayenne) ; soit 24 équivalent personne par km (ou $2,40.10^{-2}$ éq. pers/m) ;
 - la route départementale 591 : 360 véhicules/j (mesure réalisée en 2010, Conseil Général de la Mayenne) ; soit 1,44 équivalent personne par km (ou $1,44.10^{-3}$ éq. pers/m) ;

- la route départementale D593 :150 véhicules/j (mesure réalisée en 2010, Conseil général de la Mayenne) ; soit 0.6 équivalent personne par km (ou 6,00.10⁻⁴ éq. pers/m) ;
- Les trois routes communales suivantes, qui n'ont pas fait l'objet de comptage routier au cours de ces dernières années. Une hypothèse de 100 véhicules/j est retenue, soit 0,4 équivalent personne par km (ou 4,00.10⁻⁴ éq. pers/m) ;
 - la route communale reliant le hameau de la Guyonnière à la D591, que l'on appellera aussi « Route communale du Château) ;
 - la route communale reliant les hameaux des Beuniches (Azé) aux Crémeaux (Gennes sur Glaize), que l'on appellera aussi « Route communale du Grand Souveyron) ;
 - la route communale reliant le hameau du Poirier rouge (Bouère) à celui des Grandes Giraudières (Saint-Denis d'Anjou), que l'on appellera aussi « Route communale des Cormiers ».

Ces valeurs sont donc appliquées aux zones impactées par les phénomènes dangereux.

7.2.2. Evaluation de la gravité

Le tableau ci-après présente la gravité évaluée pour chacun des phénomènes dangereux retenus.

Phénomènes dangereux	Type d'effet	Zone impactée	Surface impactées par les zones d'effets		Nombre de personnes exposées			Gravité associée
			Effets irréversibles	Premiers effets létaux significatifs	Effets létaux significatifs	Effets irréversibles	Premiers effets létaux significatifs	
1	Chute de l'éolienne	Cultures/prairies Voie communale et route départementale	~ 6 250 m ² (surfaces rotor + tour) de cultures/prairies ou 82 m (diamètre du rotor) de voie communale ou départementale (D593)	~ 0,05 équivalent personne au max 6250 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) ou 82 m x 0,0006 équivalent personne/ m (voie communale)	0,05 équivalent personne au max	0,05 équivalent personne au max	0,05 équivalent personne au max 6250 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) ou 82 m x 0,0006 équivalent personne/ m (voie communale)	Important
2	Projection d'une pale entière Cas 1 : à la vitesse nominale	Cultures/prairies Voie communale	~ 90 m ² (dimensions d'une pale entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies ou 38,8 m de voie communale	~ 0,02 équivalent personne au max 90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) ou 38,8 m x 0,0004 équivalent personne/ m (voie communale)	0,02 équivalent personne au max	0,02 équivalent personne au max	0,02 équivalent personne au max 90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) ou 38,8 m x 0,0004 équivalent personne/ m (voie communale)	Important
	Projection du tiers extrême d'une pale Cas 2 : à la vitesse nominale	Cultures/prairies Voie communale et route départementale	~ 15 m ² (dimensions du tiers extrême de pale : 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies ou 12,93 m de voie communale ou départementale (D28, D593 par ordre décroissant de fréquentation)	0,31 équivalent personne au max 15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) ou 12,93 m x 0,024 équivalent personne/ m (D28)	0,31 équivalent personne au max	0,31 équivalent personne au max	0,31 équivalent personne au max 15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) ou 12,93 m x 0,024 équivalent personne/ m (D28)	Important
3	Projection d'une pale entière Cas 3 : en sursrégime	Cultures/prairies Voie communale et route départementale	~ 90 m ² de cultures/prairies ou 38,8 m de voie communale ou départementale (D593)	0,02 équivalent personne au max 90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) ou 38,8 m x 0,0006 équivalent personne/ m (D593)	0,02 équivalent personne au max	0,02 équivalent personne au max	0,02 équivalent personne au max 90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) ou 38,8 m x 0,0006 équivalent personne/ m (D593)	Important
	Projection du tiers extrême d'une pale Cas 4 : en sursrégime	Cultures/prairies Voie communale et route départementale	~ 15 m ² de cultures/prairies ou 12,93 m de voies de communale ou départementale (D28, D591, D593 par ordre décroissant de fréquentation)	0,31 équivalent personne au max 15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) ou 12,93 m x 0,024 équivalent personne/ m (D28)	0,31 équivalent personne au max	0,31 équivalent personne au max	0,31 équivalent personne au max 15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) ou 12,93 m x 0,024 équivalent personne/ m (D28)	Important
3	Chute d'un bloc de glace à partir de l'éolienne à l'arrêt	Cultures/prairies Voie communale	~ 1 m ² de cultures/prairies ou 1 m de voie de communale (Route des Cormiers)	0,0004 équivalent personne au max 1 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) ou 1 m x 0,0004 équivalent personne/ m (voie communale)	0,0004 équivalent personne au max	0,0004 équivalent personne au max	0,0004 équivalent personne au max 1 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) ou 1 m x 0,0004 équivalent personne/ m (voie communale)	Important
4	Incendie de la nacelle	Aucune. Aucun effet thermique n'est attendu à hauteur d'homme	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune

Tableau 31 : Gravité des phénomènes dangereux maximum

7.3. Evaluation de la probabilité

7.3.1. Probabilité des phénomènes dangereux

7.3.1.1. Probabilité de chute d'une éolienne

La **probabilité de chute d'une éolienne** est établie d'après les travaux effectués dans le cadre du programme PIER¹⁰, soit de **1,3.10⁻⁴ par an** (probabilité de rupture de la tour).

7.3.1.2. Probabilité de projection de tout ou partie d'une pale

D'après les travaux effectués dans le cadre du programme PIER¹⁰ (cf. § 3.2.2.5 « Analyse des risques éoliens : programme PIER »), les probabilités de rupture et de projection de tout ou d'une partie d'une pale sont présentées dans le tableau suivant :

Eléments	Probabilité de rupture par élément (/an) valeur recommandé pour l'analyse de risque
Pale entière : <i>Vitesse nominale</i>	4,2.10 ⁻⁴
Pale entière : <i>Surrégime</i>	5,0.10 ⁻⁶
Projection d'un fragment de pale : tiers extrême	2,6.10 ⁻⁴ (1)

(1) Aucune indication de vitesse n'est associée à cette probabilité. Cette valeur sera donc prise indifféremment en cas de rupture du tiers extrême d'une pale à la vitesse nominale ou en surrégime.

Erelia met en place de nombreuses mesures générales de prévention des risques des éoliennes (systèmes de sécurité et de commande, maintenance associée, télésurveillance, mise en rideau automatique, etc.), présentées au chapitre 5.

L'étude réalisée par le PIER est basée sur des études anciennes dont les plus récentes datent de 2001. Les éoliennes qui seront mises en place par Erelia correspondent aux « règles de l'art » actuelles en matière de surveillance, de fonctionnement et de contrôle de la machine.

Ces mesures de prévention limitent la probabilité d'un accident sur une éolienne.

Une décote de la probabilité liée au fonctionnement des barrières de protection peut donc être appliquée.

Une barrière est qualifiée par son niveau de confiance (NC) qui caractérise sa probabilité de défaillance à la sollicitation (PFD en anglais), égale à 10^{-NC}.

¹⁰ PIER : Public Interest Energy Research

Le niveau de probabilité d'un événement de probabilité initiale P_i devient alors $P_i \times 10^{-NC}$ lorsque la barrière est sollicitée.

Un niveau de confiance de 1 est retenu en globalité pour l'ensemble des mesures générales de prévention des risques des éoliennes.

Le tableau ci-après présente, pour chaque rupture étudiée, le niveau de probabilité retenu avec la prise en compte des mesures générales de prévention des risques des éoliennes :

Eléments	Probabilité de rupture par élément (/an)	Niveau de confiance retenu (NC)	Probabilité de rupture par élément retenue (/an)
Pale entière : Vitesse nominale	$4,2 \cdot 10^{-4}$	1 soit une probabilité de défaillance à la sollicitation de $1 \cdot 10^{-1}$	$4,2 \cdot 10^{-5}$
Pale entière : Surrégime	$5,0 \cdot 10^{-6}$	1 soit une probabilité de défaillance à la sollicitation de $1 \cdot 10^{-1}$	$5,0 \cdot 10^{-7}$
Projection d'un fragment de pale : tiers extrême	$2,6 \cdot 10^{-4}$ (1)	1 soit une probabilité de défaillance à la sollicitation de $1 \cdot 10^{-1}$	$2,6 \cdot 10^{-5}$

(1) Aucune indication de vitesse n'est associée à cette probabilité. Cette valeur sera donc prise indifféremment en cas de rupture du tiers extrême d'une pale à la vitesse nominale ou en surrégime.

7.3.1.3. Probabilité d'une chute de glace d'une éolienne à l'arrêt

L'estimation de la classe de fréquence de chute d'un bloc de glace s'appuie sur l'étude WECO. Cette étude présente (figure 23 du rapport WECO) l'évolution du nombre d'impact de glace par an, par éolienne et par m^2 en fonction de la distance à l'éolienne. L'objectif étant d'évaluer une classe de fréquence, nous nous appuyerons sur le graphe de l'étude WECO, bien qu'il soit réalisé pour un rotor de 50 m.

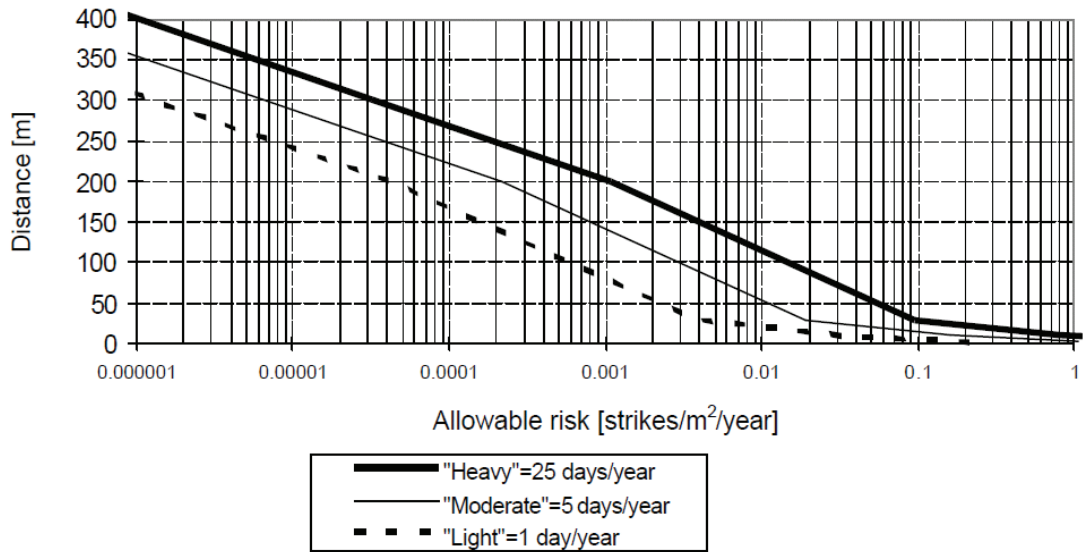


Figure 23. Safety distance for different icing levels (50m rotor) [7].

L'étude WECO présente une carte d'Europe qui indique le nombre moyen de jours conduisant à la formation de givre par an. Le projet éolien de Château Gontier et Meslay Grez est localisé dans une zone « Light icing » (< 1 jour/an) suivant la carte de l'étude WECO.

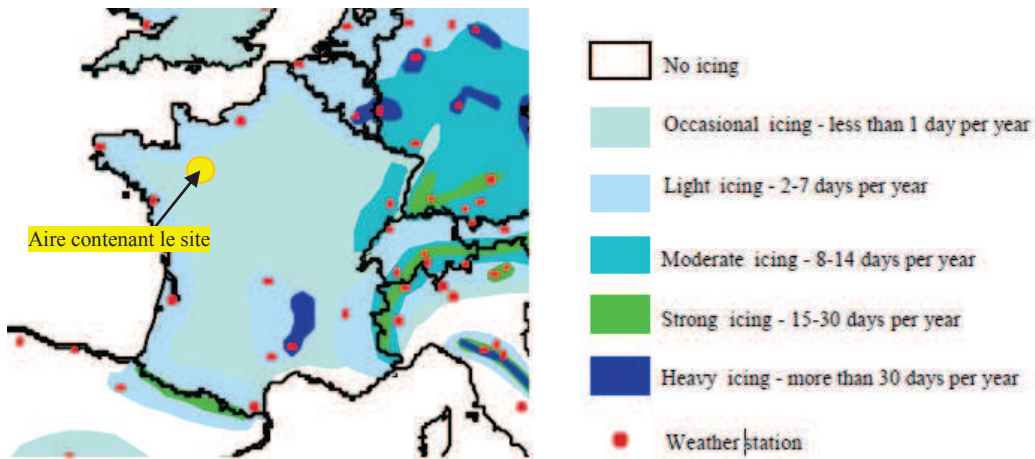


Tableau 32 : Nombre moyen de jour conduisant à la formation de givre par an

Le tableau suivant présente les fréquence moyenne de chute de glace par m² à partir d'une éolienne à l'arrêt pour différentes tranches d'éloignement à partir du centre d'une éolienne pour dans une zone « Light icing » (< 1 jour /an).

Ainsi, la probabilité de chute de glace par m² autour de l'éolienne varie d'environ 3.10⁻³ occurrence /m²/an à 0,5 occurrence /m² /an.

7.3.1.4. Probabilité de départ de feu au niveau de la nacelle

La probabilité de départ d'incendie au niveau de la nacelle est celle calculée d'après la base des accidents/incidents constituée de la base ARIA du BARPI, complétée par la revue de presse d'Antea.

Cette probabilité de 1,96E⁻⁰⁴ est donc retenue pour un incendie au niveau de la nacelle.

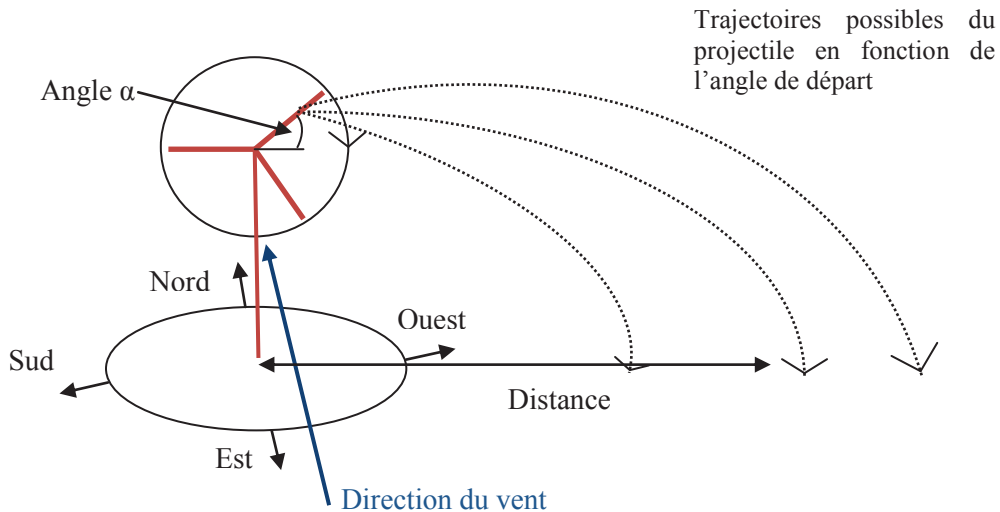
7.3.2. Probabilité d'atteinte des cibles en cas de projection de tout ou partie d'une pale

7.3.2.1. Méthodologie

La probabilité d'atteinte des cibles en cas de projection de fragments de pales dépend :

- de la probabilité de rupture de fragments de pales (pale entière ou tiers extrême d'une pale) soit P_{rupt} ,
- de la fréquence et de l'orientation des vents soit $P_{proj \rightarrow cible}$ et,
- de la trajectoire des fragments : angle de départ α par rapport à l'horizontale de la pale ou du morceau de pale au moment de la rupture soit $P_{distance = d}$.

La figure ci-après schématise les paramètres influant sur la probabilité d'atteinte d'une cible.



Ainsi, la probabilité d'atteinte d'une cible en cas de projection de fragments de pales est définie par la formule suivante :

$P_{atteinte} = P_{rupt} \times P_{distance = d} \times P_{proj \rightarrow cible}$

Avec :

P_{rupt} : probabilité de rupture de fragments de pale

La probabilité de rupture de fragment de pale (pale entière, tiers extrême de pale) d'éolienne est issue de données bibliographiques.

P_{distance = d} : trajectoire des fragments : angle de départ

Les distances atteintes par un projectile dépendent en particulier de l'angle de départ du projectile au moment de la rupture. Ainsi, pour une cible située à une distance d de l'éolienne, seuls certains angles (sur 360°) permettent d'atteindre cette distance ; en cas de rupture, la probabilité qu'un projectile tombe à une distance d de l'éolienne est ainsi :

$$P_{\text{distance} = d} = n/360$$

Avec :

- P_{distance = d} : Probabilité qu'en cas de rupture le projectile tombe à une distance d de l'éolienne,
- n : nombre d'angle de départ conduisant à la distance d sur une variation d'angle entre 0 et 180°.

Remarque :

On considère une variation d'angle de 0 à 180° car la cible potentielle ne peut être touchée que si le projectile tombe à une distance d d'un seul côté de l'éolienne (on ne considère pas les angles entre 180 et 360°).

P_{proj→cible} : fréquence et orientation du vent

Une cible ne sera potentiellement touchée par un projectile que si elle se trouve dans l'axe de rotation de l'éolienne. Une éolienne tournant dans l'axe perpendiculaire à l'orientation du vent, la cible ne peut se trouver dans la direction du projectile que si elle se trouve dans une direction perpendiculaire à l'orientation du vent au moment de la rupture.

Ainsi, la probabilité, qu'en cas de rupture, le projectile soit dirigé en direction de la cible est :

$$P_{\text{proj} \rightarrow \text{cible}} = \sum F (\text{vents perpendiculaire})/100$$

Avec :

- P_{proj→cible} : probabilité qu'en cas de rupture le projectile soit dirigé en direction de la cible,
- $\sum F (\text{vents perpendiculaire})$: somme des fréquences des vents dans les deux directions perpendiculaires à la direction de la cible.

7.3.2.1. Evaluation de la probabilité d'atteinte des cibles

Les voies de circulation routières (routes départementales D28, D591, D593, et les routes communales du Château, du grand Souveron et des Cormiers) sont susceptibles d'être atteinte par la chute d'une éolienne et par la projection de tout ou partie d'une pale, dans les 4 cas suivants :

- Cas 1 : rupture d'une pale entière à la vitesse nominale,
- Cas 2 : rupture du tiers extrême d'une pale à la vitesse nominale,
- Cas 3 : rupture d'une pale entière en surrégime,
- Cas 4 : rupture du tiers extrême d'une pale en surrégime.

La localisation des éoliennes et des cibles impactées sur les deux secteurs d'implantation est représentée sur les figures suivantes :

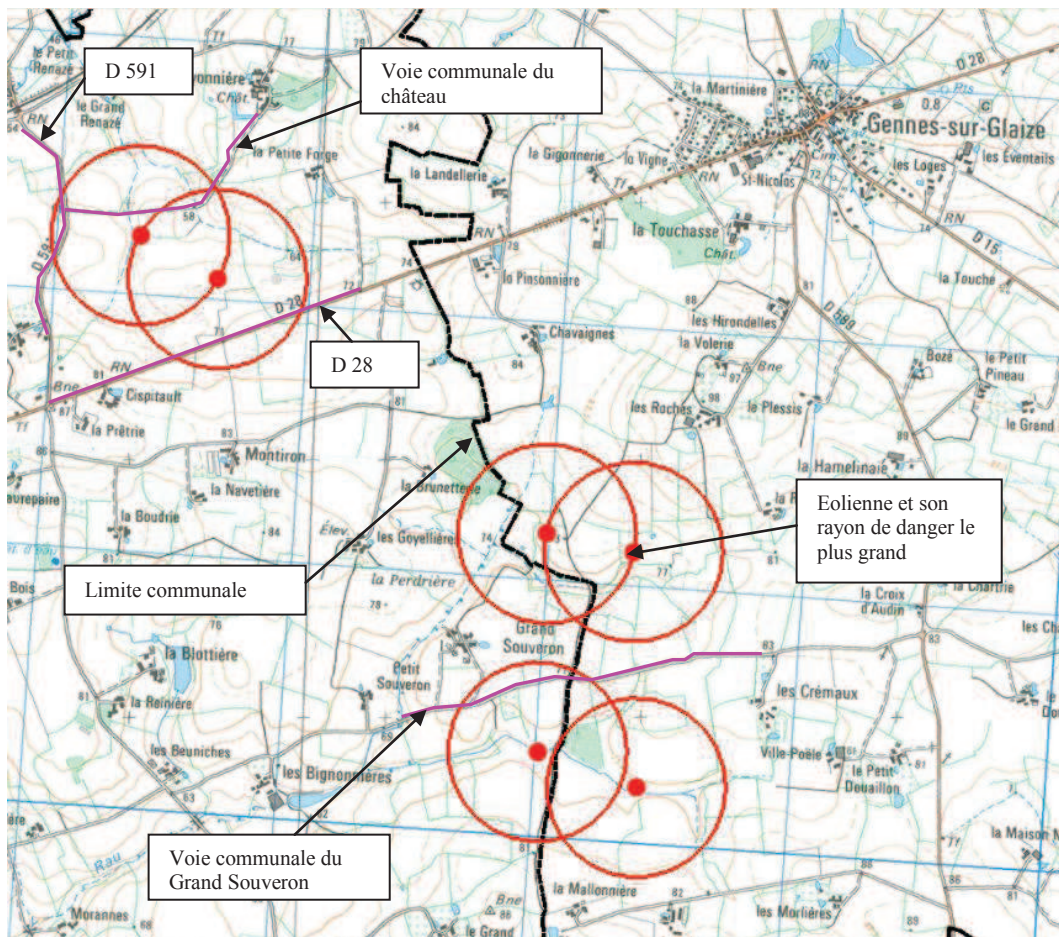


Figure 34 : Localisation des éoliennes du secteur Ouest et des cibles impactées

ERELIA Mayenne
 Etude des dangers - Parc éolien de Château Gontier et Meslay Grez (53)
 Rapport n° 61202/B

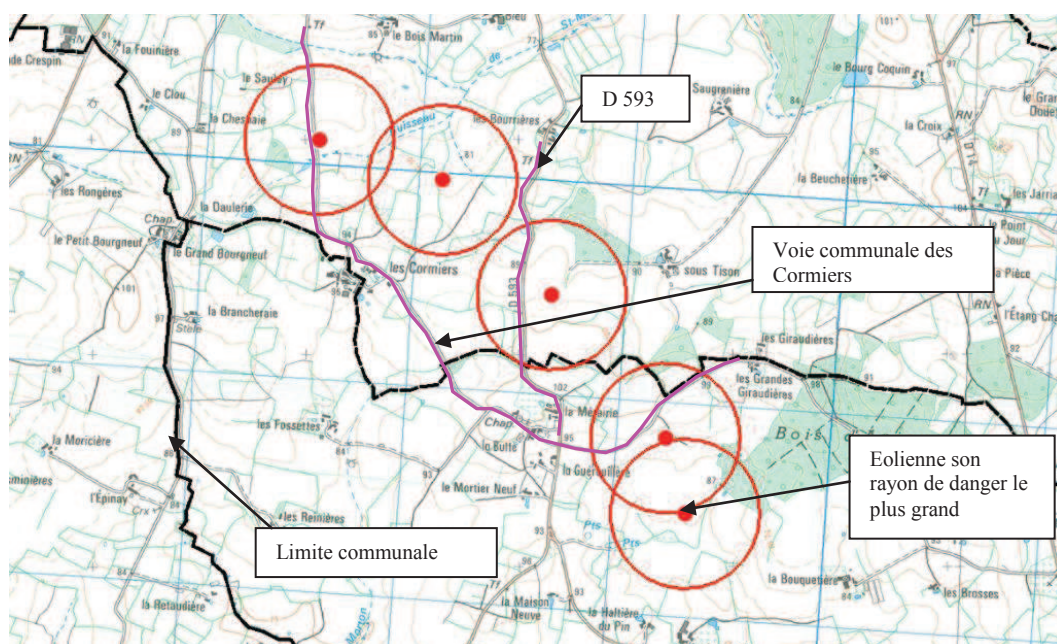


Figure 35 : Localisation des éoliennes du secteur Est et des cibles impactées

Les probabilités d’atteintes de ces cibles (voies de circulation routières et éolienne) par ces phénomènes dangereux sont résumées dans le tableau ci-dessous. Le détail des probabilités est présenté dans les tableaux en Annexe 5.

Cible susceptible d’être atteinte	Probabilité totale d’atteinte de la cible (/an) par l’ensemble des éoliennes, pour les phénomènes dangereux relatifs à la chute d’une éolienne et à la projection de tout ou partie de pale (5 cas)
Route communale des Cormiers	$9,09.10^{-05}$
Route communale du Château	$4,78.10^{-5}$
D593	$2,55.10^{-5}$
D28	$1,07.10^{-6}$
Route communale du Grand Sauveyron	$4,76.10^{-7}$
D591	$2,73.10^{-7}$

Tableau 33 : Synthèse des probabilités d’atteintes de ces cibles par la chute d’une éolienne et par la projection de tout ou partie de pale (voies de communication routières et éolienne)

7.3.3. Probabilité d'atteinte des cibles en cas de chute de bloc de glace à partir de l'éolienne à l'arrêt

7.3.3.1. Méthodologie

Le calcul de la probabilité de ce phénomène dangereux est basé sur la méthode de l'étude de dangers générique d'ENERCON (révision n°2 du 23 juin 2011)

<p>Pour chaque cible et par an :</p> $F_{chute_de_glace_sur_la_cible} = F_{chute_de_glace/m^2} \times \text{Surface d'atteinte de la cible (en m}^2\text{)}$

Le principe de détermination de la fréquence de chute de glaces par m² autour de l'éolienne est détaillé au chapitre 7.3.1.3.

Dans la zone déterminée susceptible d'être atteinte par des chutes de glace à partir de l'éolienne à l'arrêt, nous choisissons de retenir comme probabilité de chute de glace par m² la moyenne des probabilités relatives à chaque intervalle entre le mat de l'éolienne et la limite de la zone.

D'où $F_{chute_de_glace/m^2} = 1$ chute de glace par m² et par an à l'intérieur de la zone susceptible d'être atteinte par une chute de glace à partir d'une éolienne à l'arrêt.

7.3.3.2. Evaluation de la probabilité d'atteinte des cibles

Seule la route communale des Cormiers est susceptible d'être atteinte par la chute d'un bloc de glace à partir d'une éolienne à l'arrêt.

La localisation de l'éolienne et de la cible impactée est représentée sur la figure suivante :

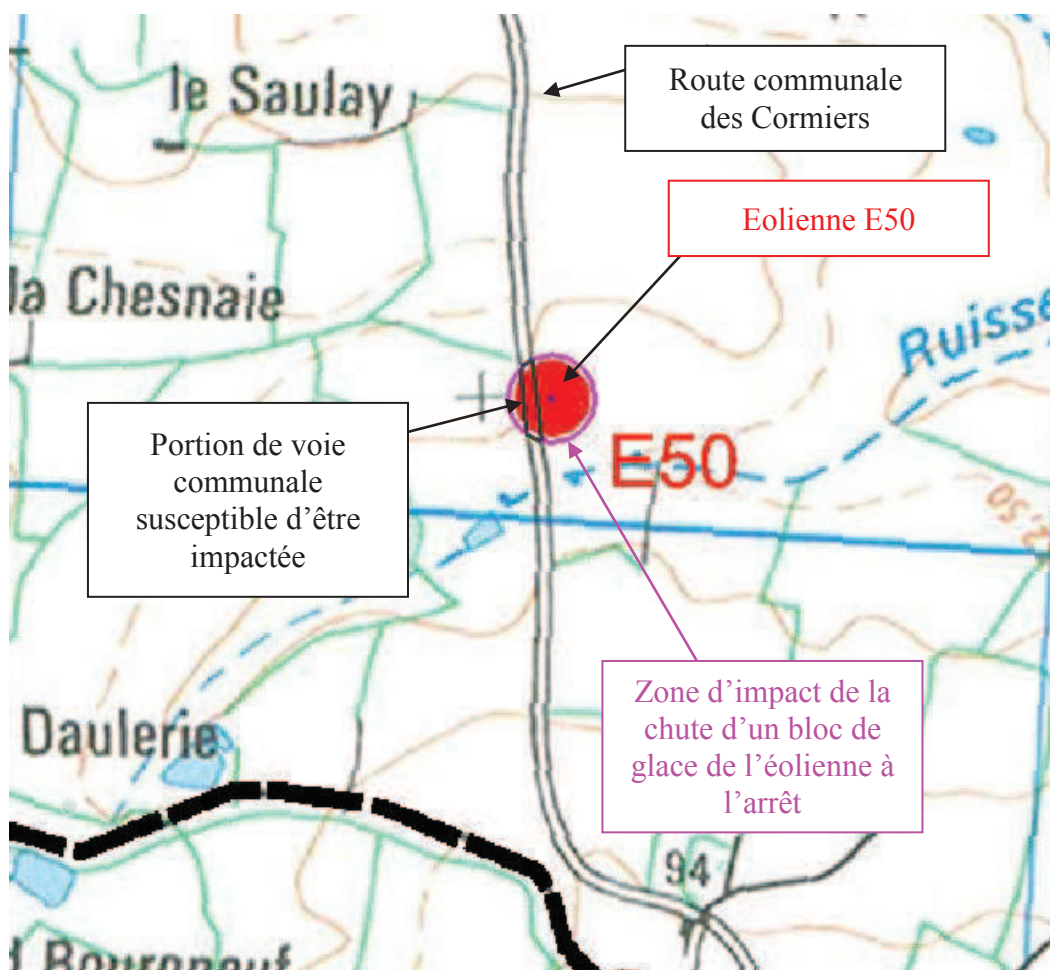


Figure 36 : Localisation de la cible susceptible d'être impactée par la chute d'un bloc de glace d'une éolienne à l'arrêt

La probabilité d'atteinte de la cible par une chute de glace à partir de l'éolienne à l'arrêt est très faible car la probabilité de formation de glace sur la zone est inférieure à 1 jour /an.

7.3.4. Synthèse des probabilités retenues

L'évaluation de la probabilité d'occurrence des différents phénomènes dangereux est synthétisée dans le tableau suivant :

Phénomène dangereux		Probabilité (/an)	Classe de probabilité associée (1)	Probabilité totale d'atteinte d'une cible (/an)	Classe de probabilité associée (1)
PhD1	Chute d'une éolienne	$1,3 \cdot 10^{-4}$	C	$1,42 \cdot 10^{-04}$	C
PhD2 : Cas 1	Projection d'une pale entière à la vitesse nominale	$4,2 \cdot 10^{-5}$	C	$1,57 \cdot 10^{-05}$	C
PhD2 : Cas 2	Projection du tiers extrême à la vitesse nominale	$2,6 \cdot 10^{-5}$ (2)	C	$3,85 \cdot 10^{-06}$	E
PhD2 : Cas 3	Projection d'une pale entière en surrégime	$5,0 \cdot 10^{-7}$	E	$2,02 \cdot 10^{-07}$	E
PhD2 : Cas 4	Projection du tiers extrême en surrégime	$2,6 \cdot 10^{-5}$ (2)	C	$4,08 \cdot 10^{-06}$	E
PhD3	Chute de glace à partir de l'éolienne à l'arrêt	De $3.10^{-3}/m^2$ à $0,5/m^2$ (3)	/	/	/
PhD4	Incendie de nacelle	$1,96E-04$	C	-	-

(1) D'après la grille de probabilité issue de l'arrêté du 29 septembre 2005 ;

(2) Aucune indication de vitesse n'est associée à cette probabilité. Cette valeur sera donc prise indifféremment en cas de rupture du tiers extrême d'une pale à la vitesse nominale ou en surrégime.

Tableau 34 : Synthèse des probabilités retenues

7.4. Evaluation de la cinétique

Les conséquences potentielles des phénomènes dangereux modélisés sont des effets thermiques et des effets de projection.

Que ce soit pour les effets de projection ou les effets thermiques, la cinétique de ces phénomènes dangereux est considérée comme rapide. Le délai d'atteinte des cibles est en effet immédiat une fois l'inflammation effective ou une fois la désolidarisation effective.

Il convient toutefois de noter que les seuils d'effets thermiques ne sont pas atteints au sol (à hauteur d'homme).

7.5. Evaluation de la probabilité d'atteinte des personnes au niveau des enjeux

Il s'agit de la probabilité d'atteinte d'une personne par an au niveau des enjeux suivants : routes départementales D28, D591, D593, et les routes communales du Château, du grand Souveron et des Cormiers.

7.5.1. Méthode de calcul

Pour chacun des enjeux :

- Nous multiplions tout d'abord leur probabilité d'atteinte par an relative à chacun des phénomènes dangereux (chute de l'éolienne, projections de la pale entière et de son tiers extrême à vitesse nominale et en surrégime) par leurs gravités respectives en équivalent personne par mètre, dont le calcul est expliqué au chapitre 7.2.1.
- Nous sommes ensuite les probabilités d'atteintes des personnes obtenues pour chacun des phénomènes dangereux.

7.5.2. Résultats obtenus

Les résultats obtenus sont :

Cibles/infrastructures susceptibles d'être atteintes	Probabilité totale d'atteinte de l'infrastructure (/an)	Probabilité d'atteinte d'une personne (/an) sur l'infrastructure concernée ¹¹
Route communale des Cormiers	$9,09.10^{-05}$	$2,71.10^{-06}$
Route communale du Château	$4,78.10^{-5}$	$1,43.10^{-06}$
D593	$2,55.10^{-5}$	$1,20.10^{-06}$
D28	$1,07.10^{-6}$	$3,31.10^{-07}$
Route communale du Grand Sauveyron	$4,76.10^{-7}$	$2,46.10^{-09}$
D591	$2,73.10^{-7}$	$5,07.10^{-09}$

¹¹ Le comptage des personnes présentes dans les zones d'effet des phénomènes dangereux et potentiellement atteintes par le projectile est réalisé selon la méthodologie présentée au chapitre 7.2.1.

En d'autres termes :

Sur la Route communale des Cormiers, une personne est susceptible d'être atteinte par tout ou une partie d'une éolienne du parc de Château-Gontier tous les 368 679 ans.

Sur la voie communale du Château, une personne est susceptible d'être atteinte par tout ou une partie d'une éolienne du parc de Château-Gontier tous les 698 468 ans.

Sur la voie D593, une personne est susceptible d'être atteinte par tout ou une partie d'une éolienne du parc de Château-Gontier tous les 833 406 ans.

Sur la voie D28, une personne est susceptible d'être atteinte par tout ou une partie d'une éolienne du parc de Château-Gontier tous les 3 025 226 ans.

Sur la voie communale du Grand Sauveyron, une personne est susceptible d'être atteinte par tout ou une partie d'une éolienne du parc de Château-Gontier tous les 406 026 731 ans.

Sur la voie D591, une personne est susceptible d'être atteinte par tout ou une partie d'une éolienne du parc de Château-Gontier tous les 11 823 350 ans.

8. Description des mesures générales de prévention et d'intervention des risques

Les méthodes et moyens de prévention des risques sont présentés dans les paragraphes ci-dessous.

8.1. Système de freinage

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

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

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

L'arrêt complet du rotor n'a lieu qu'à des fins de maintenance et en appuyant sur le bouton d'arrêt d'urgence. Dans ce cas, un frein d'arrêt supplémentaire ne se déclenche que lorsque le rotor freine partiellement, les pales s'étant inclinées. Le dispositif de blocage du rotor ne peut être actionné que manuellement et en dernière sécurité, à des fins de maintenance.

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

8.2. Détection de survitesse

La machine possède 3 capteurs placés dans le support du rotor de la génératrice. Ce capteur est une masselotte montée sur ressort. Lorsque la force centrifuge du rotor (cas de la survitesse) est trop importante, la masselotte vient couper l'alimentation du capteur situé en bout de course de la masselotte.

La détection de survitesse est alors enclenchée et les pales reviennent en position drapeau sur batterie (batteries situées dans le rotor de la machine). Les batteries sont contrôlées périodiquement et des tests de survitesse sont réalisés tous les ans.

Pour rentrer en survitesse il faut :

- soit avoir une défaillance sur la génératrice (plus de force contre électromotrice)
- soit avoir une défaillance du système de freinage aérodynamique en cas de vent fort (défaillance du système storm control). Grâce au système « Storm Control » d'ENERCON, l'éolienne ne s'arrête pas brutalement si les vitesses du vent dépassent la vitesse maximale admissible (vitesse de vent de coupure 28 à 34 m/s soit 100 à 122 km/h), mais la puissance est progressivement réduite par le réglage de l'angle des pales du rotor.

Ce système s'enclenche entre 23 et 25 RPM (Rotation Par Minute). Le fonctionnement nominal de cette machine est de 18 RPM.

D'après les données de la station météorologique de Laval-Entrammes, pour l'année 2009, la rafale de vent la plus violente enregistrée est de 68,8 km/h (19 m/s), en février. Les vitesses de vents dans la région sont relativement faibles et sans conséquence notable pour le bon fonctionnement des éoliennes.

Entre 14 et 28 m/s, le régime de fonctionnement d'une éolienne est de 18 RPM

Au dessus de 28 m/s, le système storm control s'active et la puissance de l'éolienne est progressivement réduite. Le régime de fonctionnement de l'éolienne est maintenu à 18 RPM.

8.3. Protection foudre

L'éolienne est équipée d'un système parafoudre fiable afin d'éviter que l'éolienne ne subisse de dégâts.

Pour la protection parafoudre extérieure, la pointe de la pale est en aluminium moulé, le bord d'attaque et le bord de fuite de la pale du rotor sont équipés de profilés aluminium, reliés par un anneau en aluminium à la base de la pale. Un coup de foudre est absorbé en toute sécurité par ces profilés et le courant de foudre est dévié vers la terre entourant la base de l'éolienne.

Pour la protection interne de la machine, les composants principaux tels l'armoire de contrôle et la génératrice sont protégés par des parasurtenseurs. Toutes les autres platines possédant leur propre alimentation sont équipées de filtres à hautes absorptions. Aussi, la partie télécom est protégée par des parasurtenseurs de lignes et une protection galvanique. Enfin, une liaison de communication télécom en fibre optique entre les machines permet une insensibilité à ces surtensions atmosphériques ou du réseau.

De même, l'anémomètre est protégé et entouré d'un arceau.

8.4. Système de détection de givre / glace

Dans certaines conditions météorologiques, les pales peuvent se recouvrir de glace, de givre ou d'une couche de neige. Ceci arrive le plus souvent lorsque l'air est très humide, ou en cas de pluie ou de neige et à des températures proches de 0 °C.

Les dépôts de glace et de givre peuvent réduire le rendement et accroître la sollicitation du matériel (déséquilibre du rotor) et la nuisance sonore. La glace formée peut également présenter un danger pour les personnes et les biens en cas de chute ou de projection.

La commande de l'éolienne mesure, à l'aide de deux sondes de température indépendantes, la température de l'air sur la nacelle et en pied du mât, afin de détecter si les conditions sont propices à la formation de givre.

8.4.1. Principe de fonctionnement

Les caractéristiques aérodynamiques des pales de rotor sont très sensibles aux modifications des contours et de la rugosité des profils de pale causées par le givre ou la glace. Le système de détection de givre/glace utilise la modification importante des caractéristiques de fonctionnement de l'éolienne (rapport vent/vitesse de rotation/ puissance/angle de pale) en cas de formation de givre ou de glace sur les pales du rotor.

Lorsque la température dépasse +2 °C sur la nacelle, les rapports de fonctionnement spécifiques à l'éolienne (vent/puissance/angle des pales) sont identifiés comme étant des valeurs moyennes à long terme. Pour des températures inférieures à +2 °C (conditions de givre), les données de fonctionnement mesurées sont comparées aux valeurs moyennes à long terme.

Pour cela, une plage de tolérance, déterminée de manière empirique, est définie autour de la courbe de puissance et de la courbe d'angle de pale. Celle-ci se base sur des simulations, des essais et plusieurs années d'expérience sur un grand nombre d'éoliennes de types variés. Si les données de fonctionnement concernant la puissance ou l'angle de pale sont hors de la plage de tolérance, l'éolienne est stoppée.

Grâce à l'étroitesse de la plage de tolérance, la coupure a lieu généralement en moins d'une heure, avant que l'épaisseur de la couche de glace ne constitue un danger pour l'environnement de l'éolienne.

La plausibilité de toutes les mesures liées à l'éolienne est contrôlée en permanence par la commande de l'éolienne. Une modification non plausible d'une valeur de mesure est interprétée comme un dépôt de glace par la commande et l'éolienne est stoppée.

8.4.2. Redémarrage de l'éolienne

Il n'est possible de redémarrer automatiquement l'éolienne qu'une fois le dégivrage terminé, lorsque la température est repassée de manière permanente au-dessus de +2°C.

Le temps nécessaire pour le dégivrage est estimé, de façon empirique, en fonction de la température extérieure. L'éolienne ne démarrera automatiquement qu'une fois le temps de dégivrage requis écoulé. Lors du redémarrage, les risques de formation de glace sur les pales sont réduits. Il peut s'écouler plusieurs heures avant le redémarrage de l'éolienne, en fonction de la température extérieure. Il est également possible de programmer la machine pour que cette dernière fasse un redémarrage de contrôle toute les 6 heures afin de vérifier la présence de glace sur les pales.

Un ré-enclenchement prématuré manuel ne sera possible que directement sur l'éolienne, après avoir procédé au contrôle visuel requis. L'exploitant est ainsi responsable des éventuels dangers encourus.

8.5. Surveillance des paramètres

Un système de surveillance complet garantit la sécurité de l'éolienne. Toutes les fonctions pertinentes pour la sécurité (par exemple : vitesse du rotor, températures, charges, vibrations) sont surveillées par un système électronique et, en plus, là où cela est requis, par l'intervention à un niveau hiérarchique supérieur de capteurs mécaniques. L'éolienne est immédiatement arrêtée si l'un des capteurs détecte une anomalie sérieuse.

9. Conclusion

Les Phénomènes Dangereux retenus génèrent :

- des effets thermiques, liés à l'incendie de la nacelle,
- des effets de projection, liés à la chute de l'éolienne, à la rupture de tout ou partie d'une pale,
- des effets de chute liés à la formation de glace.

Ces Phénomènes Dangereux ont été modélisés pour évaluer les zones d'effets.

On notera qu'aucun effet n'atteint d'habitations. Seules, des infrastructures (voies de circulation routières) sont susceptibles d'être atteintes par la chute de glace d'une éolienne à l'arrêt, la chute d'une éolienne et par la projection de tout ou partie d'une pale, dans les 4 cas suivants :

- Cas 1 : rupture d'une pale entière à la vitesse nominale,
- Cas 2 : rupture du tiers extrême d'une pale à la vitesse nominale,
- Cas 3 : rupture d'une pale entière en surrégime,
- Cas 4 : rupture du tiers extrême d'une pale en surrégime.

Six cibles sont susceptibles d'être atteintes par les effets des phénomènes dangereux retenus :

Pour le secteur Ouest :

- la route départementale 28 reliant Château-Gontier à Gennez-sur-Glaize,
- la route départementale 591 reliant Fromentières à Azé,
- la route communale reliant le hameau de la Guyonnière à la D591, que l'on appellera aussi « Voie communale du Château »,
- la route communale reliant les hameaux des Beuniches aux Crémeaux, ou « Voie communale du Grand Souveron »,

Pour le secteur Est :

- la route départementale 593,
- la route communale reliant le hameau du Poirier rouge (Bouère) à celui des Grandes Giraudières (Saint-Denis d'Anjou), que l'on appellera aussi « Voie communale des Cormiers ».

La route départementale 591 ne pourrait être atteinte qu'en cas de projection du tiers extrême des pales de l'éolienne E30 en surrégime (PhD2, cas 4).

Elle ne peut pas être atteinte pour les autres phénomènes dangereux étudiés :

- projection du tiers extrême d'une pale au régime nominal,
- projection d'une pale entière (régime nominal ou surrégime),
- chute d'une éolienne.

La route départementale 8 ne pourrait être atteinte qu'en cas :

- de rupture de tiers de pale de l'éoliennes E31.

La route départementale 593 ne pourrait être atteinte qu'en cas :

- de rupture de tiers de pale de l'éolienne E60,
- de rupture de pale entière de l'éolienne E60 en surrégime,
- de chute de l'éolienne E60.

La route communale reliant le hameau de la Guyonnière à la D591 ou « Voie communale du Château » 593 ne pourrait être atteinte qu'en cas :

- de rupture de tiers de pale de l'éolienne E30 et par celui de l'éolienne E31 en surrégime,
- de rupture de pale entière de l'éolienne E30,
- de chute de l'éolienne E30.

La route communale reliant les hameaux des Beuniches aux Crémeaux, ou « Voie communale du Grand Souveron » ne pourrait être atteinte qu'en cas :

- de rupture de tiers de pale de l'éolienne E12 en surrégime.

La route communale reliant le hameau du Poirier rouge (Bouère) à celui des Grandes Giraudières (Saint-Denis d'Anjou) ou « Voie communale des Cormiers » ne peut être atteinte qu'en cas :

- de rupture de tiers de pale des éoliennes E20 et E50,
- de rupture de pale entière des éoliennes E20 et E50,
- de chute des éoliennes E20 et E50,
- de chute de bloc de glace à partir de l'éolienne E50 à l'arrêt.

Le tableau suivant présente, par phénomène dangereux, les probabilités d'atteinte de ces 6 cibles :

Cible susceptible d'être atteinte	Eolienne susceptible d'atteindre la cible	Probabilité totale d'atteinte de la cible (/an)	Probabilité totale d'atteinte d'une cible (/an)
PhD1 : Chute d'une éolienne			
RD 28	Aucune	-	1,42E-04
RD 591	Aucune	-	
RC du Grand Sauveyron	Aucune	-	
Route communale du Château	E30	4,08E-05	
RD593	E60	2,42E-05	
Route communale des Cormiers	E20	2,57E-05	
	E50	5,16E-05	
PhD2 : Projection d'une pale			
PhD2 Cas 1 : pale entière à la vitesse nominale			
RD 591	Aucune	-	1,57E-05
RC du Grand Sauveyron	Aucune	-	
RD28	Aucune	-	
RD593	Aucune	-	
Route communale du Château	E30	5,37E-06	
Route communale des Cormiers	E20	2,31E-06	
	E50	8,00E-05	
PhD2 Cas 2 : tiers extrême d'une pale à la vitesse nominale			
RD 591	Aucune	-	3,85E-06
RC du Grand Sauveyron	Aucune	-	
RD28	E31	5,66E-07	
Route communale du Château	E30	7,07E-07	
RD593	E60	7,66E-07	
Route communale des Cormiers	E20	6,99E-07	
	E50	1,11E-06	
PhD2 Cas 3 : pale entière en surrégime			
RD 591	Aucune	-	2,02E-07
RC du Grand Sauveyron	Aucune	-	
RD28	Aucune	-	
Route communale du Château	E30	4,88E-08	
RD593	E60	5,09E-08	
Route communale des Cormiers	E20	3,84E-08	
	E50	6,39E-08	

Cible susceptible d'être atteinte	Eolienne susceptible d'atteindre la cible	Probabilité totale d'atteinte de la cible (/an)	Probabilité totale d'atteinte d'une cible (/an)
PhD2 Cas 4 : tiers extrême d'une pale en surrégime			
RD 591	E30	2,73E-07	4,08E-06
RD28	E31	5,00E-07	
Route communale du Château	E30	5,34E-07	
	E31	2,73E-07	
D593	E60	5,80E-07	
RC du Grand Sauveyron	E12	4,76E-07	
Route communale des Cormiers	E20	4,75E-07	
	E50	9,74E-07	

Tableau 35 : Probabilités d'atteinte des infrastructures pour les phénomènes dangereux 1 et 2

Le tableau suivant présente les probabilités d'atteinte de ces 6 infrastructures cibles et les probabilités d'atteindre une personne sur ces infrastructures par l'ensemble des phénomènes dangereux (chute d'éolienne ou rupture de pale) :

Cibles/infrastructures susceptibles d'être atteintes	Probabilité totale d'atteinte de l'infrastructure (/an)	Probabilité d'atteinte d'une personne (/an) sur l'infrastructure concernée ¹²
Route communale des Cormiers	$9,09 \cdot 10^{-5}$	$2,71 \cdot 10^{-6}$
Route communale du Château	$4,78 \cdot 10^{-5}$	$1,43 \cdot 10^{-6}$
D593	$2,55 \cdot 10^{-5}$	$1,20 \cdot 10^{-6}$
D28	$1,07 \cdot 10^{-6}$	$3,31 \cdot 10^{-7}$
Route communale du Grand Sauveyron	$4,76 \cdot 10^{-7}$	$2,46 \cdot 10^{-9}$
D591	$2,73 \cdot 10^{-7}$	$5,07 \cdot 10^{-9}$

Tableau 36 : Probabilités d'atteinte des infrastructures et d'une personne sur ces infrastructures par la chute d'éolienne et la rupture de pale

¹² Le comptage des personnes présentes dans les zones d'effet des phénomènes dangereux et potentiellement atteintes par le projectile est réalisé selon la méthodologie présentée au chapitre 7.2.1.

Compte tenu de l'extrême approximation du calcul des probabilités d'atteinte d'une cible par la chute d'un bloc de glace d'une éolienne à l'arrêt, nous allons dans un premier temps conclure sur l'atteinte des infrastructures par une éolienne ou par tout ou partie de ses pales :

L'atteinte de ces infrastructures est extrêmement peu probable, avec une occurrence comprise entre 1 événement tous les 11 000 ans à 1 événement tous les 3 663 000 années environ.

L'atteinte d'une personne sur ces infrastructures est également extrêmement peu probable, avec une occurrence tous les 370 000 ans à 406 millions d'années environ.

A titre de comparaison, les probabilités de chute d'avion sont les suivantes :

- Aviation commerciale (avion > 5,7 t) : 10^{-12} /m²/an,
- Aviation militaire : 10^{-11} /m²/an,
- Aviation générale (avion < 5,7 t) : 10^{-10} /m²/an.

avec 1/3 pour chaque phase (décollage, vol, atterrissage).

Soit, pour un tronçon de route ou de voie ferrée de 1 km (et de 10 m de large) proche des éoliennes (phase de vol uniquement) :

- Aviation commerciale (avion > 5,7 t) : 1.10^{-8} /an,
- Aviation militaire : 1.10^{-7} /an,
- Aviation générale (avion < 5,7 t) : 1.10^{-6} /an.

Il s'agit d'ordres de grandeur similaires.

La probabilité de projection sur un tronçon de la route impactée par une éolienne (ou partie d'éolienne) est du même ordre de grandeur que la probabilité de chute d'un avion.



Observations sur l'utilisation du rapport

Ce rapport, ainsi que les cartes ou documents, et toutes autres pièces annexées constituent un ensemble indissociable ; en conséquence, l'utilisation qui pourrait être faite d'une communication ou reproduction partielle de ce rapport et annexes ainsi que toute interprétation au-delà des énonciations d'ANTEA ne saurait engager la responsabilité de celle-ci. Il en est de même pour une éventuelle utilisation à d'autres fins que celles définies pour la présente prestation.

Il est rappelé que les résultats de la reconnaissance s'appuient sur un échantillonnage et que ce dispositif ne permet pas de lever la totalité des aléas liés à l'hétérogénéité du milieu naturel ou artificiel étudié.

La prestation a été réalisée à partir d'informations extérieures non garanties par ANTEA ; sa responsabilité ne saurait être engagée en la matière.

Annexe 1 :

Extrait du rapport sur la sécurité des éoliennes

(10 pages)



Liberté • Égalité • Fraternité

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE

Conseil général des Mines

N° 04-5

Rapport
sur
la sécurité des installations éoliennes

Etabli par

Rémi Guillet
Ingénieur général des Mines

Jean-Pierre Leteurtois
Ingénieur général des Mines

Juillet 2004

Sommaire

	page
Introduction	3
I Les accidents d'éoliennes	
I.1 Inventaire des incidents et accidents en France.....	4
I.2 Inventaire des incidents et accidents en Europe.....	5
I.3 Les causes des incidents.....	7
i.4 Les risques.....	8
II Les bases techniques de la sécurité des éoliennes	11
II.1 Les normes internationales.....	12
II.2 Les normes européennes.....	13
II.3 La certification des éoliennes.....	14
II.4 Autres travaux	15
III La réglementation relative à la sécurité	
III.1 La réglementation existante	
1. Les textes spécifiques aux éoliennes.....	17
2. Les textes généraux.....	18
A) Le permis de construire.....	18
B) La réglementation de la construction.....	21
C) Le code du travail, la directive "Machine".....	22
D) Le code du travail, la prévention sur les chantiers.....	25
III.2 Faut il renforcer la réglementation ?.....	27
III.3 Les évolutions possibles de la réglementation.....	28
IV Les évolutions proposées	
IV.1 L'application effective du code du travail.....	30
IV.2 Recourir aux procédure de contrôle du code du travail.....	31
IV.3 L'utilisation de la procédure du permis de construire.....	32
IV.4 Le cas des éoliennes en service	34
Conclusion	36
Annexes	

Introduction

Par note du 26 mars 2004 jointe en annexe 1, la ministre déléguée à l'industrie a missionné le Conseil Général des Mines pour étudier le cadre réglementaire régissant la sécurité des installations éoliennes et formuler en tant que de besoin des recommandations, et cela sous trois angles :

- Préciser le cadre normatif en ce qui concerne la conception et l'exploitation des éoliennes ;
- Définir les modalités de vérification des installations, et notamment les organismes habilités ;
- Renforcer les normes de sécurité à imposer aux futures constructions d'éoliennes.

La mission formée des signataires de la présente note a travaillé selon trois axes : identification et analyse des accidents et incidents intervenus ces dernières années dans les fermes éoliennes, examen des nombreux documents relatifs à la sécurité des aérogénérateurs : règlements, normes, études, cahiers des charges d'organismes certificateurs, ..., et enfin, entretiens avec les principaux "acteurs du jeu" : administrations de l'Etat, services extérieurs, opérateurs et organisations professionnelles. L'annexe 2 dresse la liste des personnalités rencontrées ou contactées par la mission.

La mission a porté son attention sur la sécurité des parcs éoliens du territoire métropolitain. Les problèmes spécifiques posés par les petites machines destinées à l'électrification des sites isolés, ceux des parcs off-shore et ceux des machines destinées aux zones cycloniques n'ont pas été examinés.

Après avoir fait le bilan des accidents répertoriés, de leurs causes et de leurs conséquences, le présent rapport examine les documents normatifs qui couvrent la sécurité des éoliennes, avant d'étudier le cadre réglementaire actuel, et les voies possibles pour améliorer, le cas échéant, la sécurité des éoliennes vis à vis du public, mais aussi des personnels des installateurs et exploitants.

* *

I Les accidents d'éoliennes

I.1 Inventaire des incidents et accidents en France.

Quatre incidents majeurs ayant entraîné des dégâts importants, voire la ruine de la machine ont été identifiés par la mission en France métropolitaine¹ :

- en 2000, le mât d'une machine de la ferme éolienne de Port la Nouvelle (Aude) s'est plié lors d'une tempête ;
- le 28 décembre 2002, lors de l'installation d'une des éoliennes du parc de Nevian (Aude) : une des pales s'est détachée et a entraîné l'effondrement du mât ;
- le 1^{er} janvier 2004 au Portel (Boulogne-sur-mer), cassure d'une puis des deux autres pales au niveau de la tête du rotor avec rupture du mât à mi-hauteur ;
- le 20 mars 2004 à Loon Plage (port de Dunkerque), couchage d'une éolienne, avec le mât et une partie de sa fondation qui a été arrachée, suivi de l'éclatement de la nacelle, rotor et pales.

Par ailleurs, bien que les exploitants et les constructeurs restent discrets sur les difficultés qu'ils rencontrent², des incidents importants susceptibles de porter atteinte à la sécurité (et pour certains, de même type et niveau de gravité que ceux cités ci-dessus) sont intervenus sur divers sites :

- des bris de pales ont entraîné l'éjection de masses plus ou moins importantes. Un tel incident semble être intervenu à Salles-Limousis (3 pales brisées retrouvées au pied des machines) ainsi qu'à Wormhout (Nord) en février 2002. Les pales de conception ancienne et disposant de volets d'extrémité seraient plus sensibles à ce type d'incident ;
- Plusieurs fermes d'éoliennes auraient subi d'importants dégâts, et notamment des débuts d'incendie, par suite de coups de foudre.

Enfin, s'agissant de la sécurité des personnels participant au montage ou à l'exploitation des éoliennes, un accident professionnel a eu lieu le 1^{er} juillet 2002 sur le site de Sigean (Aude). Un outil métallique manipulé par un opérateur est entré en contact avec une partie sous haute tension d'un transformateur. L'opérateur a subi une brûlure et un choc électrique qui ont nécessité un arrêt de travail de quatre mois.

Une première constatation s'impose : A ce jour, en France, et bien qu'aucune mesure spécifique n'ait été prise en matière de sécurité des éoliennes (comme on le verra ci-après), **aucun accident affectant des tiers ou des biens appartenant à des**

¹ Un épisode cyclonique aurait ruiné une éolienne non démontable aux Antilles il y a une dizaine d'années.

² Ces incidents sont généralement évoqués par la presse locale, mais les pouvoirs publics, et notamment les DRIRE, n'en sont pratiquement jamais saisis (exemple de l'incident de Pleyber, Finistère début juillet 2004).

tiers n'est à déplorer. Le seul accident de personne recensé en France relève de la sécurité du travail dans des locaux où des appareils à haute tension sont en service.

Dans cette période de montée en puissance de l'énergie éolienne dans notre pays, l'Administration pourrait souhaiter avoir une vision générale, voire exhaustive, des accidents et incidents de toute nature affectant les parcs éoliens. A cet effet, la mission suggère à l'Administration d'engager des négociations avec les organisations professionnelles des exploitants de parcs éoliens pour que soit mis en place et géré par celles-ci un système déclaratif purement volontaire des accidents et incidents affectant les éoliennes. Ce dispositif viendrait compléter l'obligation de déclarer les accidents du travail évoquée au chapitre III.1 ci-après. Le retour d'expérience d'un tel dispositif serait profitable à l'ensemble de la profession³.

Proposition n° 1 : Mettre en place avec les organisations professionnelles un système volontaire déclaratif des incidents et accidents affectant les parcs éoliens.

I.2 Inventaire des incidents et accidents en Europe.

La mission a eu connaissance de trois inventaires, de natures différentes, des incidents intervenus sur des parcs d'éoliennes beaucoup plus larges que le parc français.

Le premier a été établi en décembre 2000 par M. Dieter Krâmer, membre d'une association de protection de la nature allemande⁴ opposée aux éoliennes, à partir d'informations parues dans la presse pour la période 1997-2000. Cette étude porte aussi partiellement sur les Pays-Bas et le Danemark. On peut penser, compte tenu des objectifs de cette association, que l'inventaire réalisé doit être proche de l'exhaustivité. Dans cet inventaire, sont essentiellement répertoriés des éjections de pièces (morceaux de pale, voire pale entière ou d'autres éléments), ainsi que celle de morceaux de glace en hiver. L'association prône la mise en place de distances d'éloignement obligatoires. Quelques incidents ayant entraîné la ruine complète de l'éolienne sont également rapportés. Ils sont au nombre de huit, pour un parc allemand estimé à 11.000 éoliennes.

- Le 4 avril 1997, un monteur a été mortellement blessé par la chute de la turbine d'une éolienne prototype, à la ferme éolienne expérimentale de Kaiser-Wilhelm-Kood (Allemagne), par vent violent ;
- Le 5 mars 1998, la nacelle d'une éolienne est tombée du mât de 30 à 40 m, au cours d'un violent orage ;
- Le 16 janvier 1999, le générateur et les pales d'une éolienne tombent de 63 m à Rebgeshain ;
- Le 1^{er} mars 1999, même accident à une éolienne de même marque à Vogelsberg, dans la Hesse ;

³ Les constructeurs allemands ont mis en place un groupe de travail (Arbeitskreis für Sicherheit in der Windenergie) sur la sécurité des éoliennes ayant pour mission de tirer les leçons des incidents constatés et d'émettre des recommandations.

⁴ Bundesverband Landschaftsschutz (BLS)

- Le 20 septembre 1999, la nacelle d'une éolienne est détruite par un incendie à Graftschaft ;
- Le 12 décembre 1999, à Lichtenau, le mât d'une éolienne de 46 m de diamètre, touché par la foudre s'est plié à 10 m du sol entraînant la destruction de la nacelle ;
- Le 19 décembre 1999, à Stöffin, une pale d'une éolienne éclate contre le mât. L'éolienne est démantelée ensuite pour expertise ;
- Le 10 février 2000, à Wittmund, effondrement d'une éolienne, liée à une déféctuosité de la fondation en béton de la tour de 33 m.

S'ajoutent à cette liste deux «épidémies», dont une hors d'Europe rapportées par la même source :

- La chute de 11 petites éoliennes (sur un parc de 5500), détruites par l'ouragan du 3 décembre 1999 au Danemark ;
- La destruction en Inde d'une centaine d'éoliennes dans divers sites (dont plusieurs fermes éoliennes) le 9 juin 1998, également par des ouragans.

La seconde étude a été publiée dans une revue danoise spécialisée⁵ et a été reprise par "La Compagnie du Vent"⁶. Elle porte sur l'ensemble du parc Danois entre 1993 et 2003 qui comprenait 1912 éoliennes. Elle conclut que la probabilité de destruction d'une éolienne serait de $8,3 \cdot 10^{-4}$ par an⁷.

La troisième source d'information⁸ sur les accidents d'éolienne résulte des travaux de M. Paul Gide, USA, sur la mortalité due à l'énergie éolienne. Depuis le milieu des années 70 jusqu'en 2003, il a répertorié dans le monde 20 décès directement liés à l'énergie éolienne : 19 personnes sont mortes en travaillant sur les éoliennes⁹ (13 lors de la construction ou la déconstruction des machines, 7 lors d'opérations de maintenance), un seul accident concerne un tiers : une parachutiste allemande débutante a été tuée par une éolienne en 2000. **M. Gide estime que le taux de mortalité en 2000 de l'énergie éolienne s'élève à 0,15 morts par TWh produit**, en diminution par rapport au taux calculé au milieu des années 90 qui s'établissait à 0,4.

Appliquée à la France, dont la production d'électricité d'origine éolienne s'est élevée à 342 GWh en 2003, ce taux de 0,15 morts par TWh par an correspond à un mort tous les 20 ans.

Enfin, la mission a eu connaissance de deux nouveaux accidents mortels intervenus fin 2003 en Allemagne. Le premier concerne un opérateur qui a chuté alors qu'il effectuait des travaux de maintenance. Il aurait, par erreur, démonté le crochet du frein de secours sur lequel était fixée sa ligne de vie. Le second a touché un visiteur qui aurait eu une attaque cardiaque occasionnée par les efforts consentis pour accéder à la nacelle.

⁵ Windstats Newsletter

⁶ La Compagnie du Vent, 650, rue Louis Lépine 34000 Montpellier.

⁷ Les données françaises rassemblées par la mission (de l'ordre de 5 destructions d'éoliennes sur 5 ans pour un parc d'environ 200 machines) conduiraient à une probabilité de destruction très supérieure. Mais ces données portent sur une population trop restreinte pour être significatives.

⁸ Site web : www.wind-works.org.

⁹ 3 décès concernent les petites éoliennes hors du champ de la présente mission.

I.3 Les causes des incidents.

En nombre, il semble que la première cause d'incident soit la perte de tout ou partie d'une pale, occasionnée, soit par une faiblesse de la structure de la pale ou de sa fixation au moyeu, soit par une mise en survitesse de la machine. La survitesse, causée par une défaillance du système de sécurité par vent violent, amène rapidement des contraintes inacceptables au sein des pales et de leur fixation au moyeu¹⁰. Les accidents de pales peuvent être limités à l'éjection d'un morceau de pale. Mais, du fait des contraintes et vibrations violentes qui en résulte, l'ensemble des pales et la nacelle peut se trouver déséquilibré et entraîner la ruine de la machine. Des anomalies peuvent aussi toucher les éléments du dispositif pale-moyeu. Ainsi, la Société Enercon a expliqué les accidents de janvier et mars 99 à deux de ses éoliennes par des tire-fond défectueux, non conformes à ses spécifications.

La foudre constitue une seconde cause d'incidents. Le mât lui-même, malgré ses protections, peut-être foudroyé avec des conséquences en général sur tout le matériel électrique et être à l'origine d'un incendie. Les pales qui se chargent d'électricité statique peuvent être également foudroyées. Ce phénomène peut entraîner l'explosion de la pale, constituée essentiellement d'une enveloppe creuse en matériau composite.

L'échauffement des parties mécaniques, par suite d'une défaillance des systèmes de lubrification ou de refroidissement, ou encore en raison d'une "survitesse" du rotor engendrant une vitesse de rotation inacceptable pour la génératrice ou le multiplicateur, peut encore conduire à des sinistres majeurs, voire à l'incendie de l'éolienne.

Le non-respect de règles d'exploitation et de maintenance (ou leur insuffisance) semble également être à l'origine d'incidents. Ainsi, la mission a eu connaissance d'un incident occasionné par la mise hors circuit du dispositif de sécurité pour des raisons de maintenance alors que le vent se levait. La machine s'est alors mise en survitesse.

Enfin, les conditions atmosphériques peuvent également engendrer des incidents. Ainsi, l'étude de M. Krâmer citée ci-dessus évoque la formation de couches de givre sur les pales entraînant la chute ou le jet de blocs de glace.

S'agissant des quatre incidents français listés ci-dessus, celui de Port-la-Nouvelle en 2002 était clairement causé par une carence des dispositifs de sécurité contre les survitesses, hors service en cette période d'installation, avec un vent très fort. L'incident signalé sur l'éolienne de Warmhout semble également dû à une survitesse.

L'accident du Portel, s'il se rattache au groupe de ceux «par perte de pales» paraît avoir, sous réserve des expertises en cours, une cause différente, liée à une erreur de

¹⁰ La puissance d'une éolienne varie comme le cube de la vitesse du vent. A partir de la vitesse nominale du vent (celle pour laquelle la puissance nominale est atteinte), et au fur et à mesure que le vent sera plus fort, le profil des pales sera automatiquement ajusté, en vue de maintenir la puissance à cette même valeur (la vitesse des pales restant donc constante) ; ce système est dit "pitch". L'autre système de contrôle, dit "stall" (ou « à décrochage aérodynamique ») est passif et repose sur le profil même de la pale. Au-delà d'une vitesse maximale de vent, l'un comme l'autre deviennent insuffisants, et la production est arrêtée, la puissance s'annulant, avec mise en drapeau des pales. La survitesse n'est normalement pas possible, sauf défectuosité des systèmes de détection, des circuits électriques ou électroniques, défauts mécaniques ou absence d'énergie y compris de l'énergie de secours.

conception du dispositif de fixation des pales sur le moyeu. Le développeur avait choisi des pales fabriquées en France, différentes de celles prévues par le constructeur. L'insuffisance de la liaison au sein de la pale entre le matériau composite et les tire-fond de fixation a entraîné une fissuration bien visible sur les pales éjectées de l'éolienne détruite, mais également, à l'état d'amorce, sur des pales qui ont été démontées sur les quatre éoliennes restantes du parc (et ont été remplacée par des modèles plus adéquats). Contrairement au cas signalé ci-dessus en Allemagne, les tire-fond eux-mêmes étaient hors de cause.

Enfin, le dernier incident français (dune de Dunkerque) a une cause plus originale. Les investigations menées, dont les résultats ont été examinés lors d'une réunion à la sous-préfecture de Dunkerque le 6 avril 2004, amènent à conclure à une grossière erreur de calcul des fondations (erreur d'un facteur 10). De ce fait, l'exploitant a pris la décision de démonter entièrement le parc constitué de 9 éoliennes.

I.4 Les risques.

L'analyse des incidents et accidents constatés en France comme à l'étranger tend à montrer que les dangers présentés pour la sécurité des personnes ou des biens par l'énergie éolienne sont de 4 natures :

- **L'effondrement de la machine.** La zone de risque correspond à une surface dont le rayon est limité à la hauteur de l'éolienne, pale comprise ;

- **La projection d'objets** tels que pales ou morceaux de pale. La zone de risque peut atteindre plusieurs centaines de mètres si l'on en juge par l'étude allemande. La chute, plus localisée géographiquement, de blocs de glace peut également intervenir dans certaines régions ;

- **L'impact de la foudre.** La zone de risque de choc électrique résultant de l'action de la foudre se limite aux abords immédiats de l'éolienne. Toutefois, des projections peuvent résulter des effets induits, comme par exemple l'explosion de pales ;

- **Les accidents du travail.** Il s'agit des risques classiques inhérents à des interventions sur chantier, en présence d'équipements sous haute tension ou sur des installations de grande hauteur. Toutefois, ces risques sont ici particulièrement sensibles en raison de la nature des équipements, des travaux à réaliser (notamment dans les nacelles, voire sur les têtes de pales) et de l'isolement des installations.

Bien qu'aucun incident de cette nature n'ait été porté à sa connaissance, la mission tient enfin à signaler les risques potentiels liés aux possibilités d'intrusion dans les éoliennes ou à ceux résultant d'actes de malveillance. Les éoliennes sont en effet le plus souvent d'accès facile, non dotées de dispositif anti-intrusion, et installées dans des sites isolés non gardés.

Bien évidemment, les dangers doivent être estimés non seulement par leur nature, mais aussi à la lumière de leur probabilité d'occurrence.

La mission a eu connaissance de deux types de travaux sur la probabilité d'occurrence des accidents d'éolienne.

En premier lieu, un "Handbook risk assessment of wind turbines"¹¹ aurait été publié au Danemark en mai 2002. Cet ouvrage a été présenté par ses auteurs¹² lors de la conférence "Global Wind Energy" qui s'est tenue à Paris en 2002. L'approche retenue consiste à exploiter une base de données comportant les incidents constatés sur les parcs d'éoliennes de l'Allemagne, du Danemark et de la Hollande (43 000 machines/an) pour déterminer la probabilité d'occurrence d'une éjection d'une partie de machine à une distance donnée. La probabilité que l'objet projeté atteigne un lieu de vie (bâtiment d'habitation, bureau, gare, route ..) est ensuite calculé en prenant en compte la durée d'occupation et la fréquentation de ce lieu de vie. Les auteurs concluent que le risque individuel atteint une valeur de 10^{-5} accident par an et par machine dans un rayon de 20m (pour une machine dont la puissance est égale à 0,5 MW) à 40 m (2 MW) - c'est à dire en première approximation sous l'emprise au sol pale comprise de la machine- et une valeur de 10^{-6} à une distance de 111 m (0,5 MW) à 144 m (2 MW).

En second lieu, dans ses rapports d'expertise datés d'août et d'octobre 2003 sur la probabilité de projection de pale pour une éolienne de 65 m, le Dr Veenker¹³ estime, en s'appuyant sur des hypothèses très défavorables (plusieurs facteurs de sécurité, parc de référence ancien, non prise en compte des progrès techniques,..), que la probabilité d'éjection d'une pale serait de l'ordre de $5 \cdot 10^{-3}$ événements par an et par machine. La probabilité qu'une pale éjectée atteigne une distance de 215 m serait de l'ordre de 10^{-7} . Le Dr Veenker estime par ailleurs que la probabilité d'éjection d'une partie de pale est inférieure d'un facteur 100 à 1000 à celle d'une éjection de pale entière. La probabilité d'éjection d'une demi-pale à plus de 50 m serait seulement de l'ordre de 10^{-9} événements par an et par machine. Il constatait que ce dernier risque est *"bien inférieur à la valeur limite préconisée par les prescriptions nationales et internationales de 10^{-6} "*.

S'agissant de la fréquentation par le public des sites éoliens, la visite sur les deux sites des incidents du début 2004 dans le Nord-Pas-de-Calais a montré qu'il s'agissait de sites ayant une fréquentation en été non négligeable (digue du Portel à Boulogne), voire importante (dune de Dunkerque) avec stationnement de véhicules et de personnes sous les éoliennes. Mais cette fréquentation est évidemment beaucoup plus faible par période de vent violent lorsque les risques d'incident sont maximums. Rappelons qu'une vitesse de mise en sécurité de 15 m/s soit 54 km/h correspond à un vent de force 8 «coup de vent» sur l'échelle de Beaufort. En outre, certains sites éoliens situés sur des terrains privés ne sont pas accessibles au public.

A la lumière des données recueillies, la mission observe que la probabilité qu'un incident, tel que la ruine d'une machine ou l'éjection d'une partie de machine entraîne un accident de personne ou des dommages aux biens d'un tiers est extrêmement faible.

¹¹ La mission n'a pas pu se procurer cet ouvrage dans les délais impartis.

¹² MM. H. BRAAM et Luc RADEMAKERS.

¹³ Du cabinet Veenker Ingenieurgesellschaft mbH de Hanovre, Allemagne.

Elle constate qu'aucun accident de cette nature n'a été identifié à ce jour dans le monde.

Elle observe également que les opérations de construction ou de maintenance sont à l'origine de 95% des décès recensés.

Compte tenu de notre parc actuel, la probabilité d'occurrence d'un tel accident dans notre pays serait, selon les études disponibles, de 1 mort tous les 20 ans.

* *

Annexe 2 :

Eléments d'accidentologie

(9 pages)

Accidentologie externe des éoliennes en France (Hors base de données ARIA du BARPI)

A noter que la véracité de certains faits présents dans le tableau suivant peut être remise en cause

<i>Source</i>	<i>Description</i>
Articles de presse Communiqué de presse SER-FEE	19/09/2010 Parc éolien : Montjoyer-Rochefort (Drôme) Jeumont J48/750 Puissance : 0,75 MW Diamètre du rotor (en m) : 48 Hauteur du moyeu (en m) : 45 Année de mise en service : 2004 Technologie actuelle (12/2010) : N Type d'incident : Incendie Description : Emballement de deux éoliennes et incendie des Nacelles Cause probable : Tempête + dysfonctionnement du système de freinage
Article de presse (Ouest France) Site FED	Date : 21/10/2009 Parc éolien : Froidfond -Espinassière (Vendée) Type d'éolienne : Gamesa G80/2000 Puissance : 2 MW Diamètre du rotor (en m) : 80 Année de mise en service : 2006 Technologie actuelle (12/2010) : O Type d'incident : Incendie Description : Incendie de la nacelle Cause inconnue
Article de presse (l'Est Républicain)	Date : 26/12/2008 Parc éolien : Raival - Voie Sacrée (Meuse) Type d'éolienne : Gamesa G90 Puissance : 2 MW Diamètre du rotor (en m) : 90 Hauteur du moyeu (en m) : 78 Année de mise en service : 2007 Technologie actuelle (12/2010) : O Type d'incident : Rupture de pale Description : Chute de pale Cause inconnue

<i>Source</i>	<i>Description</i>
<p>Publié le 28 août 2008 Agence France Presse</p> <p>Source : www.adeva-villebeon.org/eoliennes/medias</p>	<p>Date : 28/08/2008</p> <p>Parc éolien : Vauvillers (Somme) Type d'éolienne : Vestas V80/2000 Puissance : 2 MW Diamètre du rotor (en m) : 80 Hauteur du moyeu (en m) : 100 Année de mise en service : 2006</p> <p>Type d'incident : Incendie Description : Incendie de la nacelle Cause inconnue</p> <p>LILLE – Un incendie s'est déclenché jeudi matin au niveau de la nacelle d'une éolienne à Vauvillers (Somme), à plus de cent mètres de haut, selon le Centre départemental opérationnel d'intervention et de secours (Codis). Ce sont des éléments électroniques qui alimentent un convertisseur de puissance qui ont brûlé, a-t-on appris de même source. Par manque de combustible, le feu a pris fin à l'arrivée des secours. L'éolienne, qui fait partie d'un parc d'une vingtaine de générateurs, est hors service mais il ne devrait y avoir aucune incidence sur le réseau public de distribution électrique, a précisé le Codis à l'AFP. C'est la première fois qu'un sinistre survient sur une éolienne dans la Somme, qui en héberge plus de 200, selon le Codis.</p>

<i>Source</i>	<i>Description</i>
<p>Publié le 22 juillet 2008 Est Républicain</p> <p>Source : www.adeva-villebeon.org/eoliennes/medias</p>	<p>Date : 22/07/2008</p> <p>Parc éolien : Erize-la Brûlée - Voie Sacrée (Meuse) Type d'éolienne : Gamesa G90 Puissance : 2 MW Diamètre du rotor (en m) : 90 Hauteur du moyeu (en m) : 78 Année de mise en service : 2007 Technologie actuelle (12/2010) : O</p> <p>Type d'incident : Rupture de pale Description : Chute de pale et projection de morceaux de pale suite à un coup de foudre Cause probable : Foudre + défaut de pale</p> <p>BAR-LE-DUC. - Samedi, en fin d'après-midi, des débris de l'extrémité d'une pale ont été retrouvés au sol à environ 150 m d'une des éoliennes du parc de Viller, à Erize-la-Brûlée, dans la Meuse. Un mystérieux incident qui n'a fait ni victime ni dégât. C'est le maire d'Erize-la-Brûlée, Charles Purson, qui a prévenu la préfecture de la Meuse et la Protection civile vers 19 h 15. A 19 h 45, l'équipe de permanence de la Société Française d'Eoliennes, exploitant du parc, est intervenue pour arrêter l'éolienne. Dès dimanche, des représentants de la direction de la Française d'Eoliennes étaient présents sur les lieux. Le débris le plus gros pèse 50 kg ! Une trentaine de débris ont été retrouvés éparpillés. Ils sont composés essentiellement de fibre de verre. Le morceau le plus important pèse une cinquantaine de kilos pour une longueur de 5 mètres environ. Une enquête est en cours pour déterminer les raisons de cet incident. Il y a actuellement près de 2.000 éoliennes en fonctionnement en France. Ce type d'incident technique, rarissime, n'a jamais fait de victime ni occasionné de dégâts matériels significatifs. Avec 115 MW en exploitation en 2007, La Française d'Eoliennes se situe parmi les premières sociétés indépendantes de production d'énergie verte en France. La Française d'Eoliennes est notamment exploitant des sites de la Voie Sacrée dans la Meuse (54 MW), et des sites de l'Argonne et des Côtes-de Champagne dans la Marne.</p>
	<p>Date : 04/2008</p> <p>Parc éolien : Plouguin (Finistère) Type d'éolienne : Enercon E66/2000 Puissance : 2 MW Diamètre du rotor (en m) : 66 Hauteur du moyeu (en m) : 65 Année de mise en service : 2004 Technologie actuelle (12/2010) : N</p> <p>Type d'incident : Collision avion Description : Collision d'un petit avion avec une éolienne, sans gravité pour le pilote Cause probable : inconnue</p>

Source	Description
<p>Publié le 15 octobre 2007 Le télégramme</p> <p>Source : www.adeva-villebeon.org/eoliennes/medias</p>	<p>Date : 11/10/2007</p> <p>Parc éolien : Plouvien (Finistère) Type d'éolienne : Siemens SWT 1.3 Puissance : 1,3 MW Diamètre du rotor (en m) : 62 Hauteur du moyeu (en m) : 68 Année de mise en service : 2007</p> <p>Type d'incident : Chute d'élément Description : Chute d'un élément de la nacelle (trappe de visite) Cause probable : inconnue</p> <p>Jeudi matin à Plouvien, un chasseur traversait un champ où sont érigées plusieurs éoliennes. Il a découvert une pièce de plusieurs kilos, en forme de couvercle et a aussitôt alerté un voisin.</p> <p>Mais l'information n'est parvenue en gendarmerie que le soir, à la suite de l'intervention d'un des membres de l'association Les Abers, qui milite pour la protection de l'environnement et de la qualité de vie. Ce sont finalement les militaires qui ont récupéré la pièce, une trappe de visite de 50 cm de diamètre, servant à accéder à la nacelle, 70 m plus haut. Elle se serait détachée de la nacelle de l'éolienne n° 8, qui a été arrêtée. L'association a aussitôt écrit au préfet pour demander que le parc entier soit stoppé et que des vérifications soient faites rapidement, par un organisme agréé par l'État, sur tous les engins. Son président, Bernard Le Borgne, a réitéré sa demande de voir le site clôturé et fermé au public, comme c'est le cas à Saint-Pierre-d'Arthéglise, dans la Manche. « <i>Cet accident confirme les craintes que nous avions évoquées. Depuis six ans, nous demandons que les parcs éoliens soient considérés comme des sites industriels et interdits d'accès à tout un chacun, et notamment aux enfants des écoles.</i> ».</p>
	<p>Date : 03/2007</p> <p>Parc éolien : Clitourps (Manche) Type d'éolienne : Vestas V47/660 Puissance : 0,66 MW Diamètre du rotor (en m) : 47 Technologie actuelle (12/2010) : O</p> <p>Type d'incident : Rupture de pale Description : Bris de pale Cause probable : inconnue</p>
<p>Site Vent de Colère</p>	<p>Date : 31/12/2006</p> <p>Parc éolien : Ally (Haute-Loire) Type d'éolienne : GE 1.5sl Puissance : 1,5 MW Diamètre du rotor (en m) : 77 Année de mise en service : 2005</p> <p>Type d'incident : Rupture de pale Description : Chute de pale lors d'un chantier de maintenance visant à remplacer les rotors Cause probable : Accident faisant suite à une opération de maintenance</p>

<i>Source</i>	<i>Description</i>
<p>Extrait de La Voix du Nord - 05/12/2006</p> <p>Article de presse (La Voix du Nord)</p>	<p>Date : 03/12/2006</p> <p>Parc éolien : Bondues (Nord) Type d'éolienne : Lagerwey LW80-18 Puissance : 0,08 MW Diamètre du rotor (en m) : 18 Année de mise en service : 1993 Technologie actuelle (12/2010) : N</p> <p>Type d'incident : Effondrement Description : Effondrement d'une éolienne dans une zone Industrielle Cause probable : Tempête</p> <p>« Éolienne à terre à Bondues. — Une éolienne de 30 m de haut s'est écrasée sur la chaussée dimanche peu avant midi, ne faisant fort heureusement aucune victime. Plantée devant l'entreprise Natural & Wood, au cœur de la zone industrielle de Ravennes-les-Francis, elle est tombée de tout son poids sur la grille de l'entreprise, n'emportant avec elle que quelques plaques de bitume. Son propriétaire, Patrick Gaveau, ne comprend pas comment un tel accident a pu se produire. "Cette éolienne de 13 ans a essuyé bien d'autres tempêtes, mais il faut noter que même si les rafales de dimanche n'étaient pas d'une extrême puissance, elles étaient très, très brutales." La machine avait fait l'objet d'un contrôle approfondi en juillet dernier. Sectionnée à la base par le vent violent, elle a ensuite été entièrement déboulonnée à la main. »</p>
	<p>Date : 18/11/2006</p> <p>Parc éolien : Roquetaillade (Aude) Type d'éolienne : Gamesa G47 Puissance : 0,66 MW Diamètre du rotor (en m) : 47 Année de mise en service : 2001</p> <p>Type d'incident : Incendie Description : Incendie d'une éolienne Cause probable : Malveillance</p>
<p>Site FED</p> <p>Articles de presse (Ouest France) Journal FR3</p>	<p>Date : 08/10/2006</p> <p>Parc éolien : Pleyber-Christ - Site du Télégraphe (Finistère) Type d'éolienne : Windmaster WM28/300 Puissance : 0,3 MW Diamètre du rotor (en m) : 28 Année de mise en service : 2004 Technologie actuelle (12/2010) : N</p> <p>Type d'incident : Rupture de pale Description : Chute d'une pale Cause probable : inconnue</p>
<p>Le sapeur pompier magazine, n°966 mars 2005</p> <p>http://pompiers.fr/index.php?id=1244&0=</p>	<p>22 décembre 2005 à Montjoyer-Rochefort-en-Valdaine (Drôme) : les pales d'une éolienne se brisent par vent fort, car le dispositif de freinage n'aurait pas fonctionné</p> <p>« Une des 23 éoliennes s'est désintégrée suite à une avarie technique ».</p> <p>« ... deux pales sont tombées au sol... l'autre est pendante... ».</p>

<i>Source</i>	<i>Description</i>
Site Vent de Colère	<p>Date : 2005</p> <p>Parc éolien : Wormhout (Nord) Type d'éolienne : Turbowinds T400-34 Puissance : 0,4 MW Diamètre du rotor (en m) : 34 Technologie actuelle (12/2010) : N</p> <p>Type d'incident : Rupture de pale Description : Bris de pale Cause probable : inconnue</p>
Site Vent de Colère	<p>Date : 2004</p> <p>Parc éolien : Escales-Conilhac (Aude) Type d'éolienne : Jeumont J48/750 Puissance : 0,75 MW Diamètre du rotor (en m) : 48 Année de mise en service : 2003 Technologie actuelle (12/2010) : N</p> <p>Type d'incident : Rupture de pale Description : Bris de trois pales Cause probable : inconnue</p>
Article du 22 juin 2004 http://www.ventdecolere.org/archives/accident/Bretagne_chute_1.jpg Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	<p>Date : 22/06/2004 et 08/07/2004</p> <p>Parc éolien : Pleyber-Christ - Site du Télégraphe (Finistère) Type d'éolienne : Windmaster WM28/300 Puissance : 0,3 MW Diamètre du rotor (en m) : 28 Année de mise en service : 2004 Technologie actuelle (12/2010) : N</p> <p>Type d'incident : Rupture de pale Description : Bris et projection de pale sur deux éoliennes Cause probable : Tempête</p> <p>22 juin 2004 : premier incident à Pleyber-Christ (Finistère) : une pale se brise par vent fort</p> <p>« ... tombée à quelques mètres de l'éolienne ».</p>
Le télégramme Publié le 10 juillet 2004	<p>8 juillet 2004 : second incident à Pleyber-Christ : une autre pale se brise par vent fort</p> <p>« ... deux morceaux de 2,5 et 1,5 m ont été retrouvés... ».</p>

<i>Source</i>	<i>Description</i>
<p>Article dans l'Indépendant du 15 novembre 2003</p> <p>/www.ventdecolere.org/archives/accident/ACCIDENT-Sall%e8le-Limousis.pdf</p> <p>Rapport du CGM Article de presse (Midi Libre du 15/11/2003)</p>	<p>05/11/2003</p> <p>Parc éolien : Sallèles-Limousis (Aude) Type d'éolienne : Windmaster WM43/750 Puissance : 0,75 MW Diamètre du rotor (en m) : 43 Hauteur du moyeu (en m) : 48 Année de mise en service : 1998 Technologie actuelle (12/2010) : N</p> <p>Type d'incident : Rupture de pale Description : Bris de pales sur trois éoliennes Cause probable : Dysfonctionnement du système de freinage</p> <p>5 novembre 2003 à Sallèles-Limousis (Aude) : trois éoliennes du parc éolien de Sallèles-Limousis subissent des dégâts</p> <p>« Des morceaux de pales disséminés sur une centaine de mètres... ».</p>
<p>Article de presse (La Dépêche du 26/03/2003)</p>	<p>Date : 25/02/2002</p> <p>Parc éolien : Sallèles-Limousis (Aude) Type d'éolienne : Windmaster WM43/750 Puissance : 0,75 MW Diamètre du rotor (en m) : 43 Hauteur du moyeu (en m) : 48 Année de mise en service : 1998 Technologie actuelle (12/2010) : N</p> <p>Type d'incident : Rupture de pale Description : Bris de pale sur une éolienne bipale Cause probable : Tempête</p>
<p>http://ventdecolere.org/archives/accident/nevian.pdf</p> <p>http://www.ventdecolere.org/archives/accident/nevian.pdf</p> <p>Rapport du CGM Site Vent de Colère Article de presse (Midi Libre)</p>	<p>Date : 28/12/2002</p> <p>Parc éolien : Néviau - Grande Garrigue (Aude) Type d'éolienne : Gamesa G52/850 Puissance : 0,85 MW Diamètre du rotor (en m) : 52 Hauteur du moyeu (en m) : 44 Année de mise en service : 2002</p> <p>Type d'incident : Effondrement Description : Effondrement d'une éolienne suite au dysfonctionnement du système de freinage Cause probable : inconnue</p> <p>28 décembre 2002 à Néviau (Aude) : une éolienne s'effondre, le système de freinage du rotor n'aurait pas fonctionné</p>

<i>Source</i>	<i>Description</i>
Rapport du CGM	<p>Date : 01/07/2002</p> <p>Parc éolien : Port la Nouvelle -Sigean (Aude) Type d'éolienne : Gamesa G47 Puissance : 0,66 MW Diamètre du rotor (en m) : 47 Hauteur du moyeu (en m) : 38 Année de mise en service : 2000 Technologie actuelle (12/2010) : non</p> <p>Type d'incident : Maintenance Description : Electrocutation et brûlures d'un opérateur par contact avec une partie sous haute tension d'un transformateur. Cause probable de l'accident : Accident électrique</p>
Rapport du CGM Site Vent du Bocage	<p>Date : 01/02/2002</p> <p>Parc éolien : Wormhout Nord (Nord) Type d'éolienne : Turbowinds T400-34 Puissance : 0,4 MW Diamètre du rotor (en m) : 34 Année de mise en service : 1997 Technologie actuelle (12/2010) : non</p> <p>Description : Bris d'hélice et mât plié. Effondrement Cause probable de l'accident : Tempête</p>
Site Vent de Colère	<p>Date : 2001</p> <p>Parc éolien : Sallèles-Limousis (Aude) Type d'éolienne : Windmaster WM43/750 Puissance : 0,75 MW Diamètre du rotor (en m) : 43 Hauteur du moyeu (en m) : 48 Année de mise en service : 1998 Technologie actuelle (12/2010) : non</p> <p>Description : Bris de pales. Type d'incident : rupture de pale Cause probable de l'accident : inconnue</p>

<i>Source</i>	<i>Description</i>
Rapport du CGM Site Vent de Colère	<p>Date : 2000</p> <p>Parc éolien : Port la Nouvelle (Aude) Puissance : 0,2 et 0,5 MW Type d'éolienne : Vestas V25 et V39 Diamètre du rotor (en m) : 25 et 39 Hauteur du moyeu (en m) : 30 et 39 Année de mise en service : 1991 et 1993 Technologie actuelle (12/2010) : non</p> <p>Description : Le mât d'une éolienne s'est plié lors d'une tempête suite à la perte d'une pale Type d'incident : effondrement Cause probable de l'accident : tempête</p>

Annexe 3 :

Détails des modélisations des effets des phénomènes dangereux

(6 pages)

Modélisation des effets des phénomènes dangereux maximum

Phénomène dangereux n°1 (PhD1) Chute de l'éolienne = effondrement de la machine.....	2
Phénomène dangereux n°2 (PhD2) Projection de tout ou partie d'une pale	3
Phénomène dangereux n°3 (PhD3) Chute de glace	5

**Phénomène dangereux n°1 (PhD1)
Chute de l'éolienne = effondrement de la machine**

PHENOMENE

Le phénomène dangereux maximum consiste à considérer un effondrement de l'éolienne (chute) suite à un mauvais dimensionnement des fondations.

Conséquence(s) étudiée(s) : Effets de projection

DONNEES D'ENTREE

La distance retenue est la hauteur du point haut soit 149,5 m.

RESULTATS

Projection Effets sur les personnes et les structures	Distance par rapport à la base de l'éolienne
Seuil des effets létaux significatifs Seuil des premiers effets létaux Seuil des effets irréversibles	150 m

Phénomène dangereux n°2 (PhD2) Projection de tout ou partie d'une pale

PHENOMENE

Le phénomène dangereux maximum consiste à considérer la projection de tout ou d'une partie d'une pale suite à :

- une défaillance humaine pendant la phase de montage,
- un vent violent et une défaillance du système de sécurité « vent violent »,
- une erreur humaine (non respect des règles d'exploitation et de maintenance ou insuffisance des règles d'exploitation et de maintenance,
- une erreur de conception,
- la présence d'eau dans la pale et la foudre.

4 cas sont considérés :

- Cas 1 : rupture d'une pale entière à la vitesse nominale,
- Cas 2 : rupture du tiers extrême d'une pale à la vitesse nominale,
- Cas 3 : rupture d'une pale entière en surrégime,
- Cas 4 : rupture du tiers extrême d'une pale en surrégime.

Conséquence(s) étudiée(s) : Effets de projection

DONNEES D'ENTREE

Les principales caractéristiques des fragments lors du bris d'une pale de l'éolienne pour les trois cas considérés, sont présentées dans le tableau suivant :

Eolienne Enercon E-82-E2				
Paramètres	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
	Pale entière	Tiers extrême	Pale entière	Tiers extrême
	Rupture à la vitesse nominale maximale		Rupture en surrégime	
Longueur du fragment (m)	38,8 (1)	12,93 (1)	38,8 (1)	12,93 (1)
Masse du fragment (kg)	8500,74 (1)	1128,7(1)	8500,74 (1)	1128,7 (1)
Surface de la face du projectile perpendiculaire à l'écoulement (m ²)	46,90 (2)	7,54 (2)	46,90 (2)	7,54 (2)
Position du centre de gravité (m)	11,7 (1)	32,1 (1)	11,7 (1)	32,1 (1)
Vitesse de rotation nominale maximale (tr/min)	18		-	-
Vitesse de rotation en surrégime = 2 fois la vitesse de rotation nominale maximale (tr/min)	-	-	36	
Hauteur au moyeu (m)	108,38 m			

Eolienne Enercon E-82-E2				
Paramètres	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
	Pale entière	Tiers extrême	Pale entière	Tiers extrême
	Rupture à la vitesse nominale maximale		Rupture en surrégime	
Cx : Coefficient de traînée (3)	<p align="center">1,435 (0,82 x 50% + 2,05 x 50%)</p> <p>Le coefficient de traînée est calculé en assimilant le projectile :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 50 % du temps à un cylindre dont l'une des extrémités est perpendiculaire à l'écoulement soit 0,82, • 50 % du temps à un parallélépipède allongé dont l'une des faces est perpendiculaire à l'écoulement soit 2,05. 			

Avec :

(1) Données techniques fournies par Enercon pour une éolienne E-82 E2,

(2) Valeurs calculées à partir des données techniques fournies par Enercon pour une éolienne E-82-E2. A noter que la surface de la face du projectile perpendiculaire à l'écoulement est calculée en assimilant le projectile :

- 50 % du temps, à un cylindre dont l'une des extrémités est perpendiculaire à l'écoulement,
- 50 % du temps, à un parallélépipède allongé dont l'une des faces est perpendiculaire à l'écoulement,

(3) Coefficient de traînée pour différentes formes de projectiles, source Duplantier, 1996.

RESULTATS

Projection Effets sur les personnes et les structures	Distance par rapport à la base de l'éolienne
Cas 1 : rupture d'une pale entière à la vitesse nominale	
Seuil des effets létaux significatifs / Seuil des premiers effets létaux / Seuil des effets irréversibles	104 m
Cas 2 : rupture du tiers extrême d'une pale à la vitesse nominale	
Seuil des effets létaux significatifs / Seuil des premiers effets létaux / Seuil des effets irréversibles	239 m
Cas 3 : rupture d'une pale entière en surrégime	
Seuil des effets létaux significatifs / Seuil des premiers effets létaux / Seuil des effets irréversibles	186 m
Cas 4 : rupture du tiers extrême d'une pale en surrégime	
Seuil des effets létaux significatifs / Seuil des premiers effets létaux / Seuil des effets irréversibles	349 m

Phénomène dangereux n°3 (PhD3) Chute / Projection de bloc de glace

PHENOMENE

Le phénomène dangereux maximum consiste à considérer un la chute ou projection de blocs de glace suite à un givrage sur les pales d'une éolienne.

La modélisation de la projection de blocs de glace depuis les pales d'une éolienne est complexe. Elle dépend étroitement du mode de formation de la glace (givre, glace), de la taille des blocs, du profil d'aile, de la vitesse de rotation de la pale, de l'utilisation d'un système de dégivrage, etc.

Plusieurs études ont été menées afin d'étudier ce phénomène de givrage. La projection de glace a fait l'objet de développement de plusieurs modèles théoriques et de collecte de données expérimentales. L'étude WECO (**en annexe 7**) recommande, au regard des modèles théoriques développés et les données expérimentales recueillies, de maintenir une distance de sécurité (pour les sites présentant un niveau de risque de formation de givre / glace élevé), entre l'éolienne et les cibles le plus proches égale à :

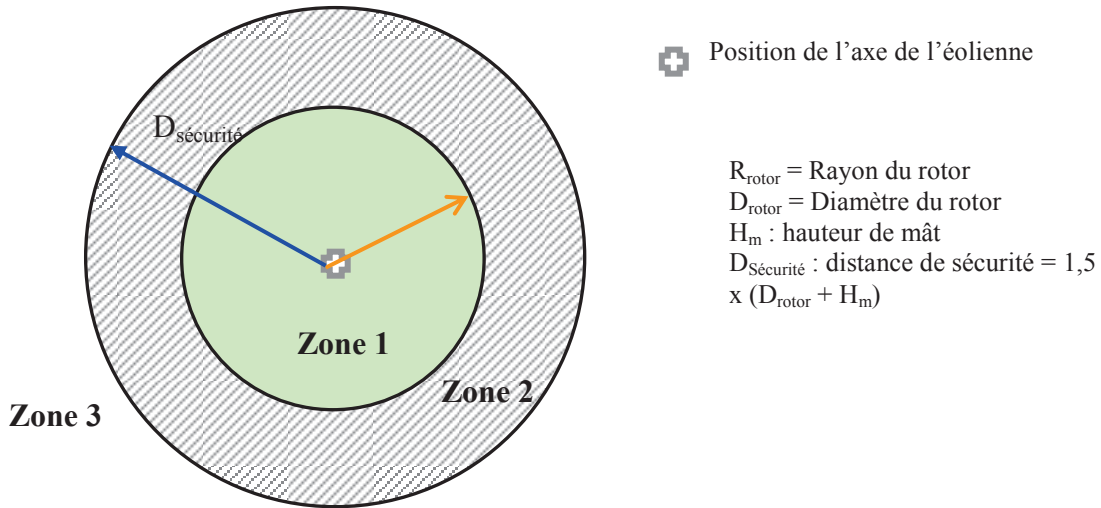
$$d_{\text{sécurité}} = 1,5 \times (H_m + d_{\text{rotor}})$$

Avec :

- $d_{\text{sécurité}}$: distance de sécurité (m)
- H_m : hauteur du moyeu (m)
- d_{rotor} : diamètre du rotor (m)

Pour l'évaluation du niveau de risques, on définit :

- 2 cercles :
 - le premier cercle est un cercle centré sur l'éolienne et dont le diamètre est égal à celui du rotor.
 - Le second cercle correspond à la distance de sécurité calculée au chapitre **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, soit $1,5 \times (\text{diamètre rotor} + \text{hauteur du mât})$.
- et 3 zones d'impact de blocs de glace :
 - Zone 1 (vert) : disque de centre l'éolienne et de rayon égal au rayon du rotor (zone de chute de blocs de glace depuis l'éolienne à l'arrêt)
 - Zone 2 (hachures) : surface annulaire formée entre le rayon du rotor et la distance de sécurité (zone de projection de blocs de glace depuis l'éolienne en fonctionnement)
 - Zone 3 (blanc) : la zone située au-delà de la distance de sécurité.



Conséquence(s) étudiée(s) : Effets de projection

DONNEES D'ENTREE

$R_{\text{rotor}} = 41 \text{ m}$
 $D_{\text{rotor}} = 82 \text{ m}$
 $H_m : 108,38 \text{ m}$
 $D_{\text{Sécurité}} : \text{distance de sécurité} = 285,57 \text{ m}$



RESULTATS

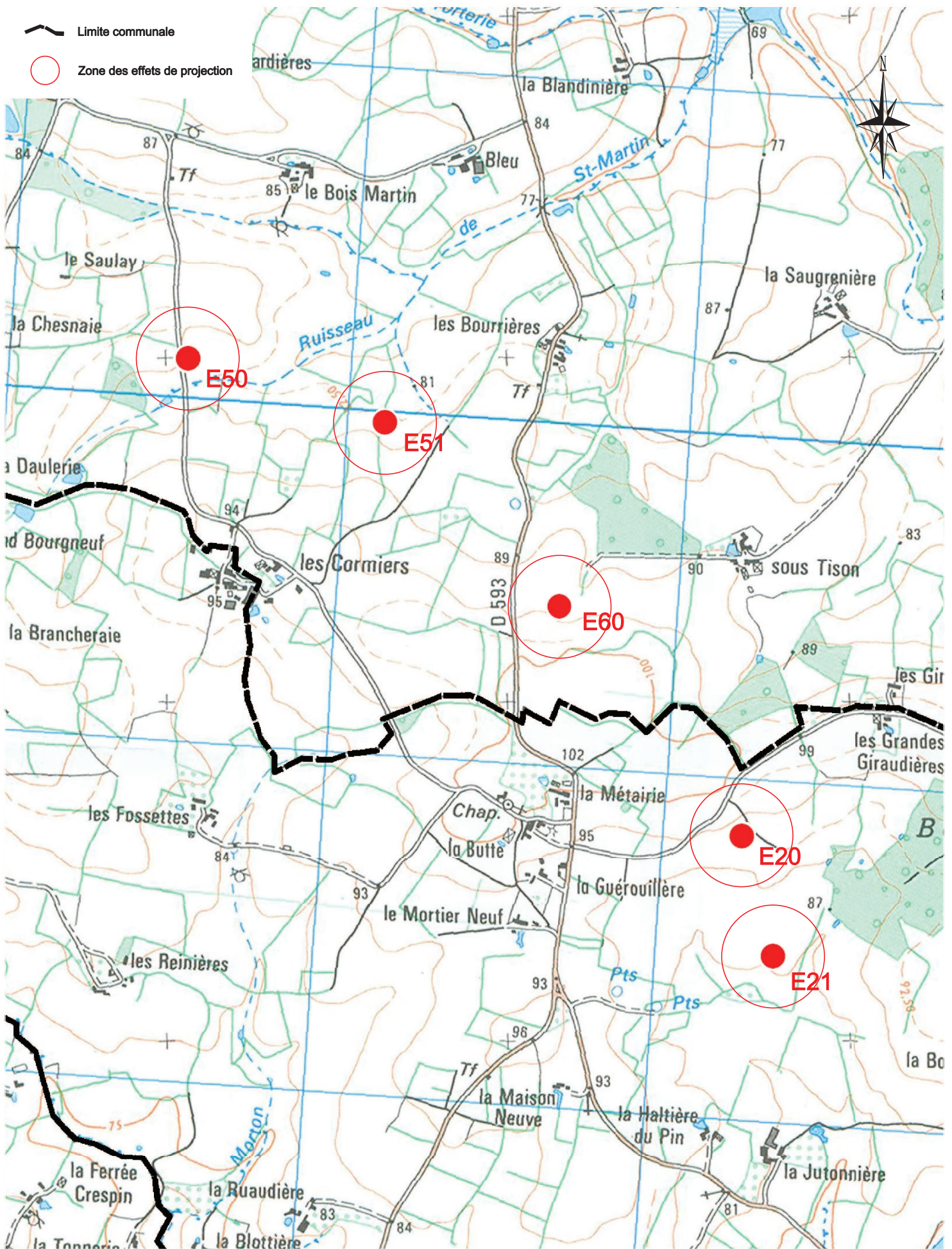
Projection Effets sur les personnes et les structures	Distance par rapport à la base de l'éolienne
Cas 1 : Chute de bloc de glace depuis l'éolienne à l'arrêt	
Distance de chute maximale	41 m
Cas 2 : Projection de bloc de glace depuis l'éolienne en fonctionnement	
Distance de projection maximale	286 m

Annexe 4 :

Cartographie des zones d'effets des phénomènes dangereux maximum

(10 pages)

-  Limite communale
-  Zone des effets de projection



Erelia Groupe - GDF Suez

Modélisations et calculs de probabilité
Parc éolien de Château-Gontier (53) : Secteur Est

Type de document : Format A3

Echelle : 1/7500

Projet N° : CARP100188

Fichier : CHATEAU-GONTIER.DGN

Février 2011

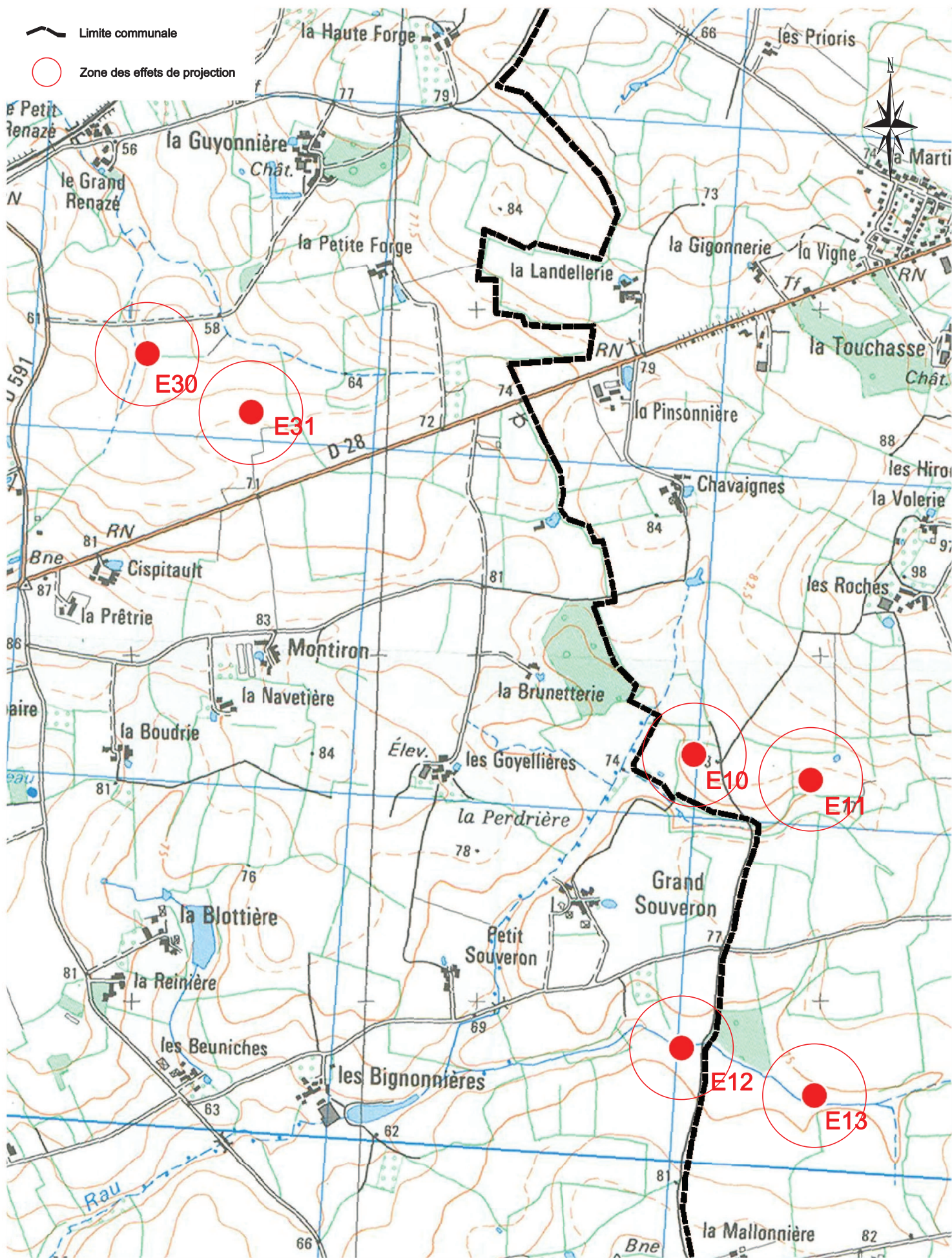
Rapport N° : 61202

PHENOMENE DANGEREUX 1 :
Chute d'une éolonne

Echelle
0 m  1000 m

0	Février 2011	FD			
Indice	Date	Etalé par	Vérifié par	Validé par	





Erelia Groupe - GDF Suez

Modélisations et calculs de probabilité
Parc éolien de Château-Gontier (53) : Secteur Ouest

Type de document : Format A3

Echelle : 1/7500

Projet N° : CARP100188

Fichier : CHATEAU-GONTIER.DGN



Février 2011

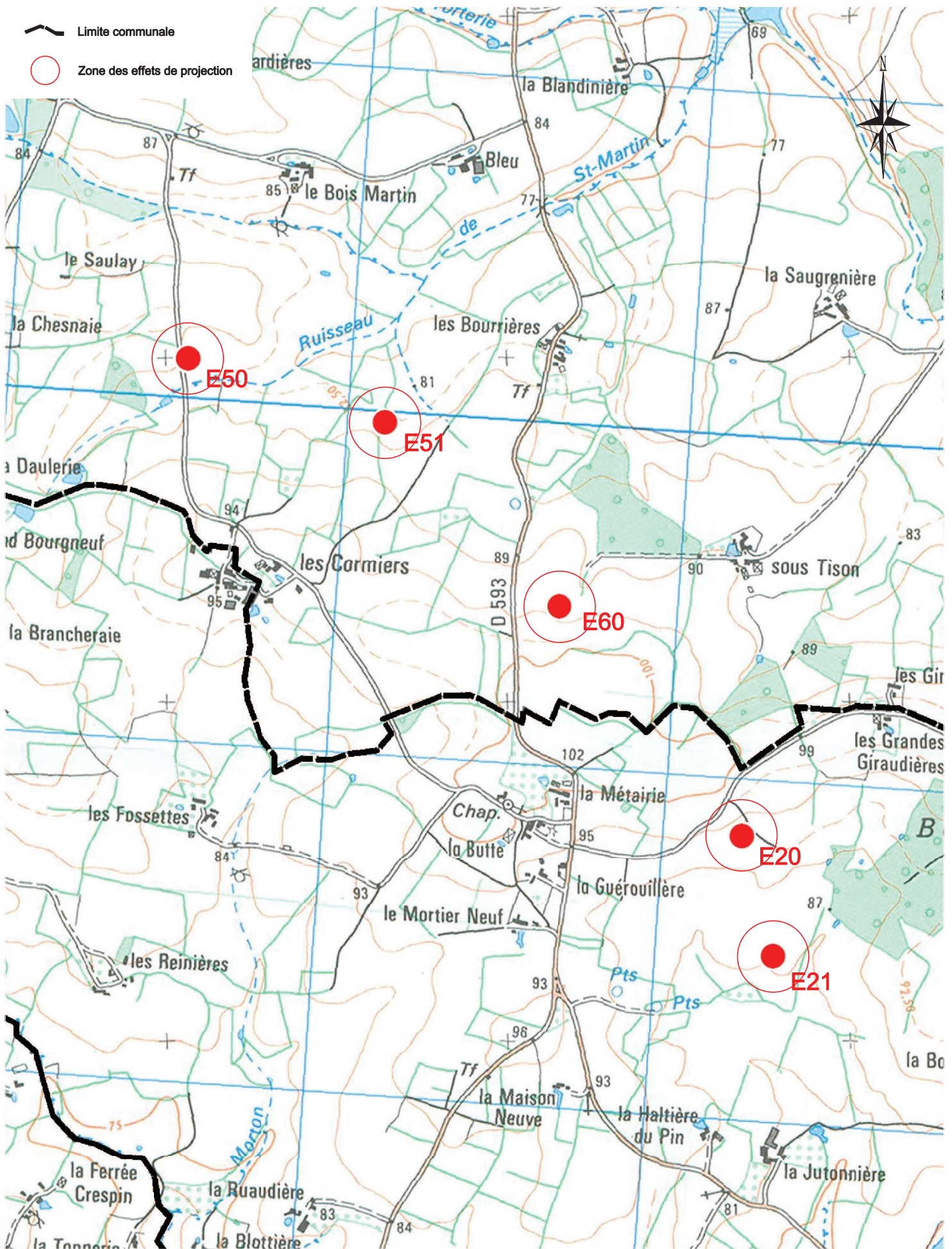
Rapport N° : 61202

PHENOMENE DANGEREUX 1 :
Chute d'une éolonne

Echelle
0 m 1000 m

0	Février 2011	FD		
Indice	Date	Etabli par	Vérifié par	Validé par

-  Limite communale
-  Zone des effets de projection



Erelia Groupe - GDF Suez

Modélisations et calculs de probabilité
Parc éolien de Château-Gontier (53) : Secteur Est

Type de document : Format A3

Echelle : 1/7500

Projet N° : CARP100188

Fichier : CHATEAU-GONTIER.DGN

Février 2011

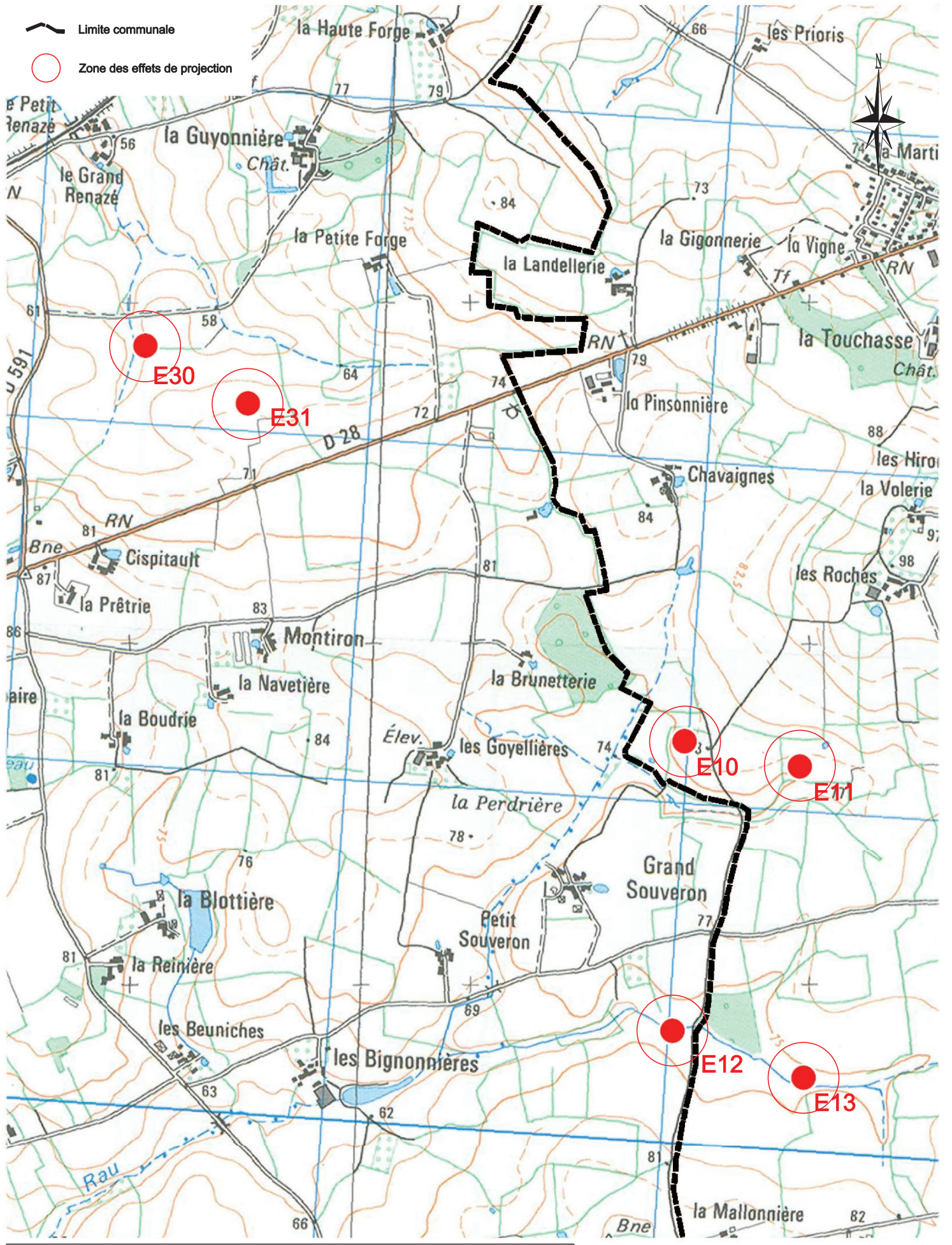
Rapport N° : 61202



PHENOMENE DANGEREUX 2 cas 1 :
Projection d'une pale entière à vitesse nominale

Echelle
0 m  1000 m

Indice	Date	Établi par	Vérfié par	Validé par
0	Février 2011	FD		





 Limite communale
 Zone des effets de projection

Erelia Groupe - GDF Suez

Modélisations et calculs de probabilité
 Parc éolien de Château-Gontier (53) : Secteur Ouest

Type de document : Format A3

Echelle : 1/7500

Projet N° : CARP100188

Fichier : CHATEAU-GONTIER.DGN

Février 2011



Rapport N° : 61202

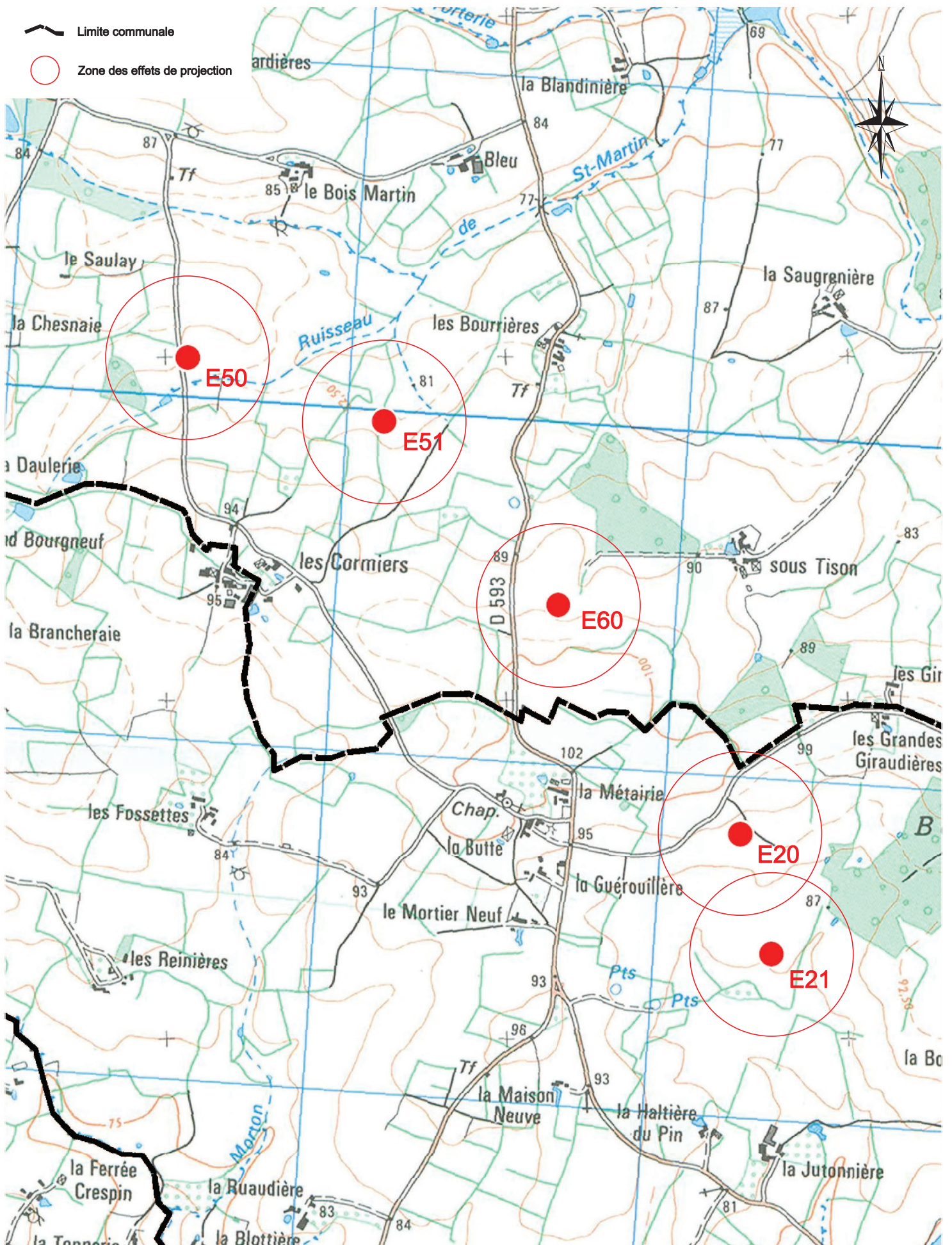
PHENOMENE DANGEREUX 2 cas 1 :
Projection d'une pale entière à vitesse nominale

Echelle
 0m  1000m



Indice	Date	Établi par	Véifié par	Validé par
0	Février 2011	FD		

-  Limite communale
-  Zone des effets de projection



Erelia Groupe - GDF Suez

Modélisations et calculs de probabilité
Parc éolien de Château-Gontier (53) : Secteur Est

Type de document : Format A3

Echelle : 1/7500

Projet N° : CARP100188

Fichier : CHATEAU-GONTIER.DGN

Février 2011

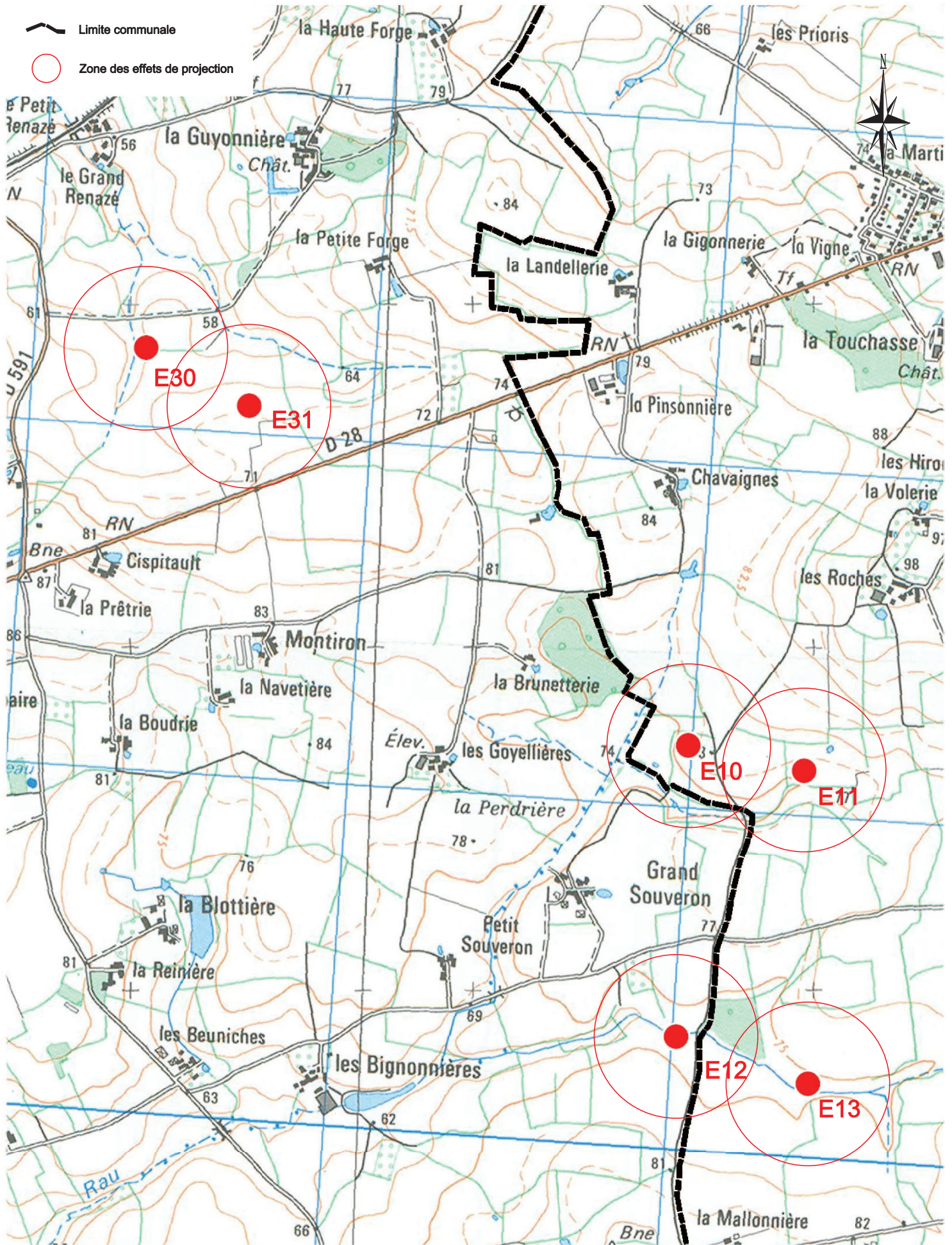
Rapport N° : 61202



PHENOMENE DANGEREUX 2 cas 2 :
Projection du tiers extrême d'une pale à vitesse nominale

Echelle
0 m  1000 m

0	Février 2011	FD			
Indice	Date	Etalé par	Vérifié par	Validé par	





 Limite communale
 Zone des effets de projection

Erelia Groupe - GDF Suez

Modélisations et calculs de probabilité
 Parc éolien de Château-Gontier (53) : Secteur Ouest

Type de document : Format A3

Echelle : 1/7500

Projet N° : CARP100188

Fichier : CHATEAU-GONTIER.DGN

Février 2011



Rapport N° : 61202

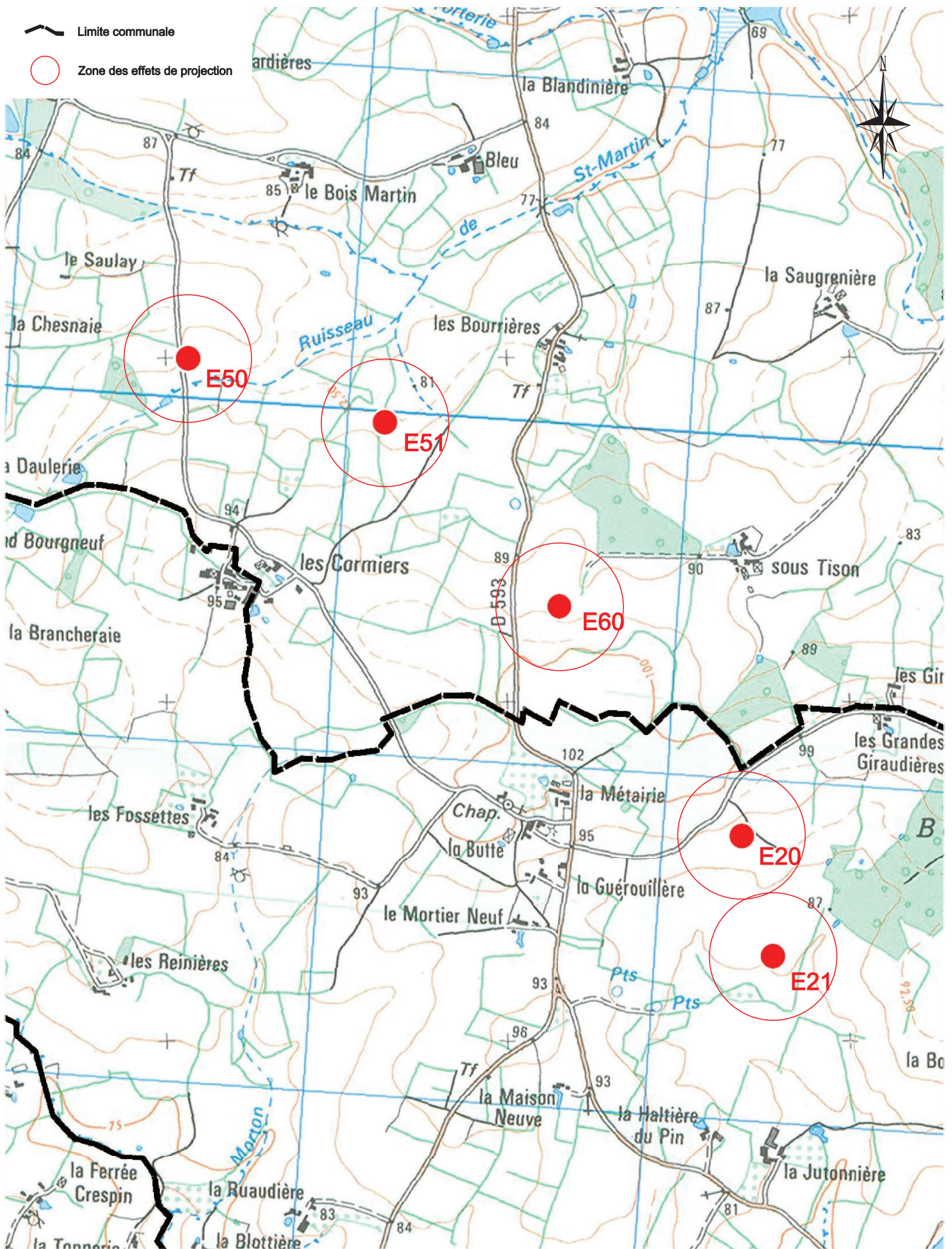
PHENOMENE DANGEREUX 2 cas 2 :
Projection du tiers extrême d'une pale à vitesse nominale



Indice	Date	Établi par	Vérfié par	Validé par
0	Février 2011	FD		



-  Limite communale
-  Zone des effets de projection



Erelia Groupe - GDF Suez

Modélisations et calculs de probabilité
Parc éolien de Château-Gontier (53) : Secteur Est

Type de document : Format A3

Echelle : 1/7500

Projet N° : CARP100188

Fichier : CHATEAU-GONTIER.DGN

Février 2011

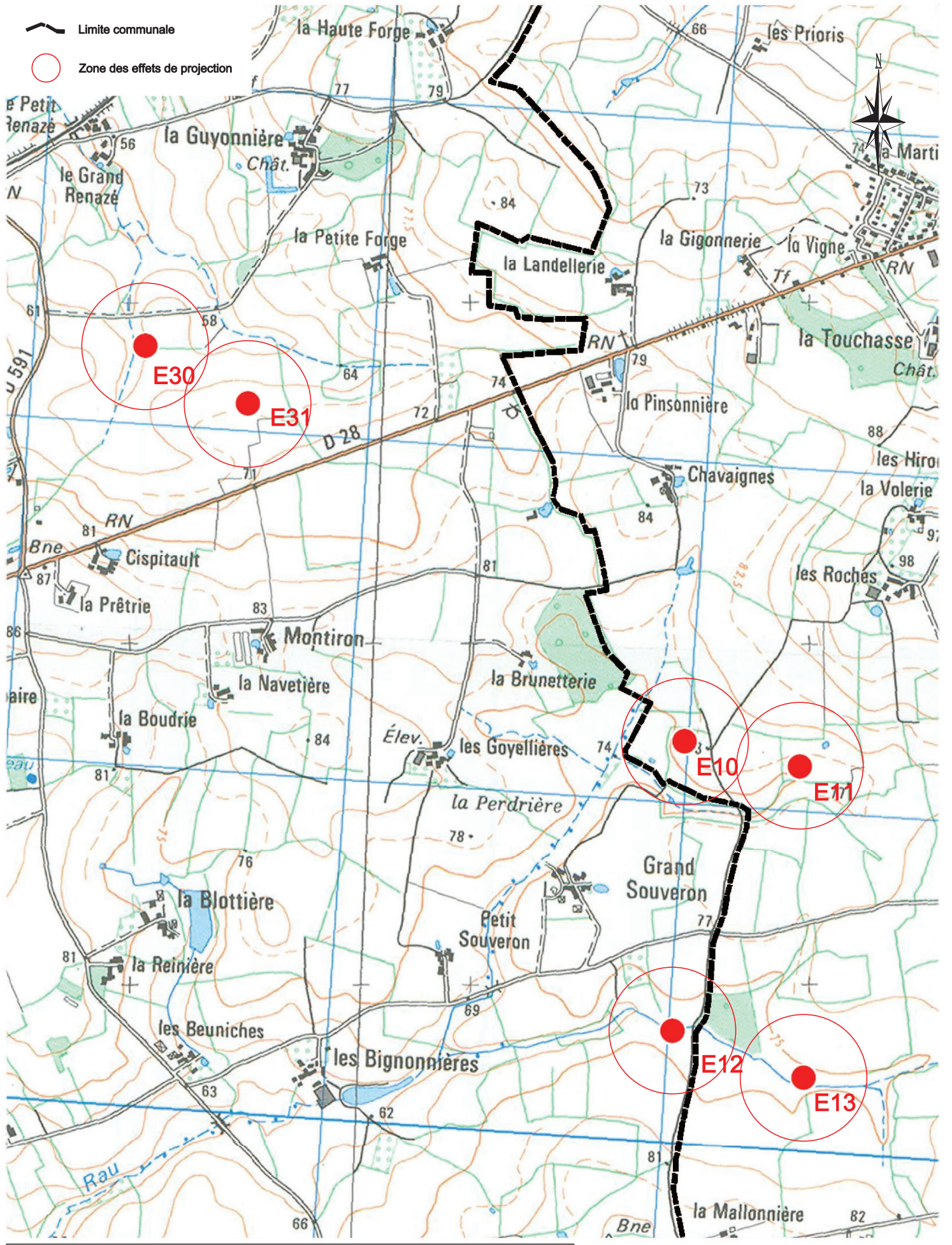
Rapport N° : 61202



PHENOMENE DANGEREUX 2 cas 3 :
Projection d'une pale entière en surrégime

Echelle
0 m  1000 m

0	Février 2011	FD		
Indice	Date	Etalé par	Vérifié par	Validé par





 Limite communale
 Zone des effets de projection

Erelia Groupe - GDF Suez

Modélisations et calculs de probabilité
 Parc éolien de Château-Gontier (53) : Secteur Ouest



Type de document : Format A3 Echelle : 1/7500 Projet N° : CARP100188
 Fichier : CHATEAU-GONTIER.DGN Février 2011 Rapport N° : 61202

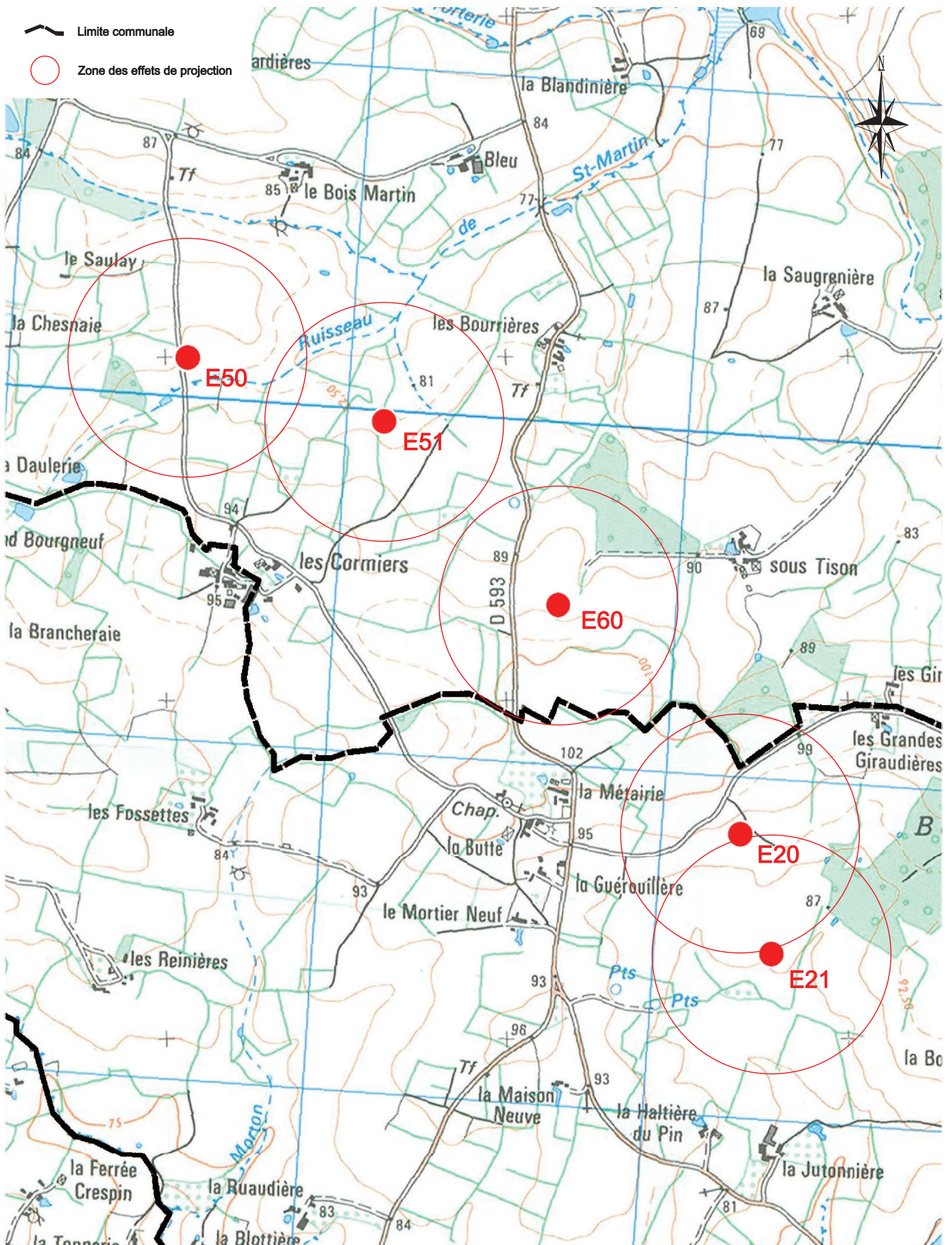
PHENOMENE DANGEREUX 2 cas 3 :
Projection d'une pale entière en surrégime

Echelle
 0m  1000m

Indice	Date	Établi par	Vérfié par	Validé par
0	Février 2011	FD		



-  Limite communale
-  Zone des effets de projection



Erelia Groupe - GDF Suez

Modélisations et calculs de probabilité
Parc éolien de Château-Gontier (53) : Secteur Est

Type de document : Format A3

Echelle : 1/7500

Projet N° : CARP100188

Fichier : CHATEAU-GONTIER.DGN

Février 2011

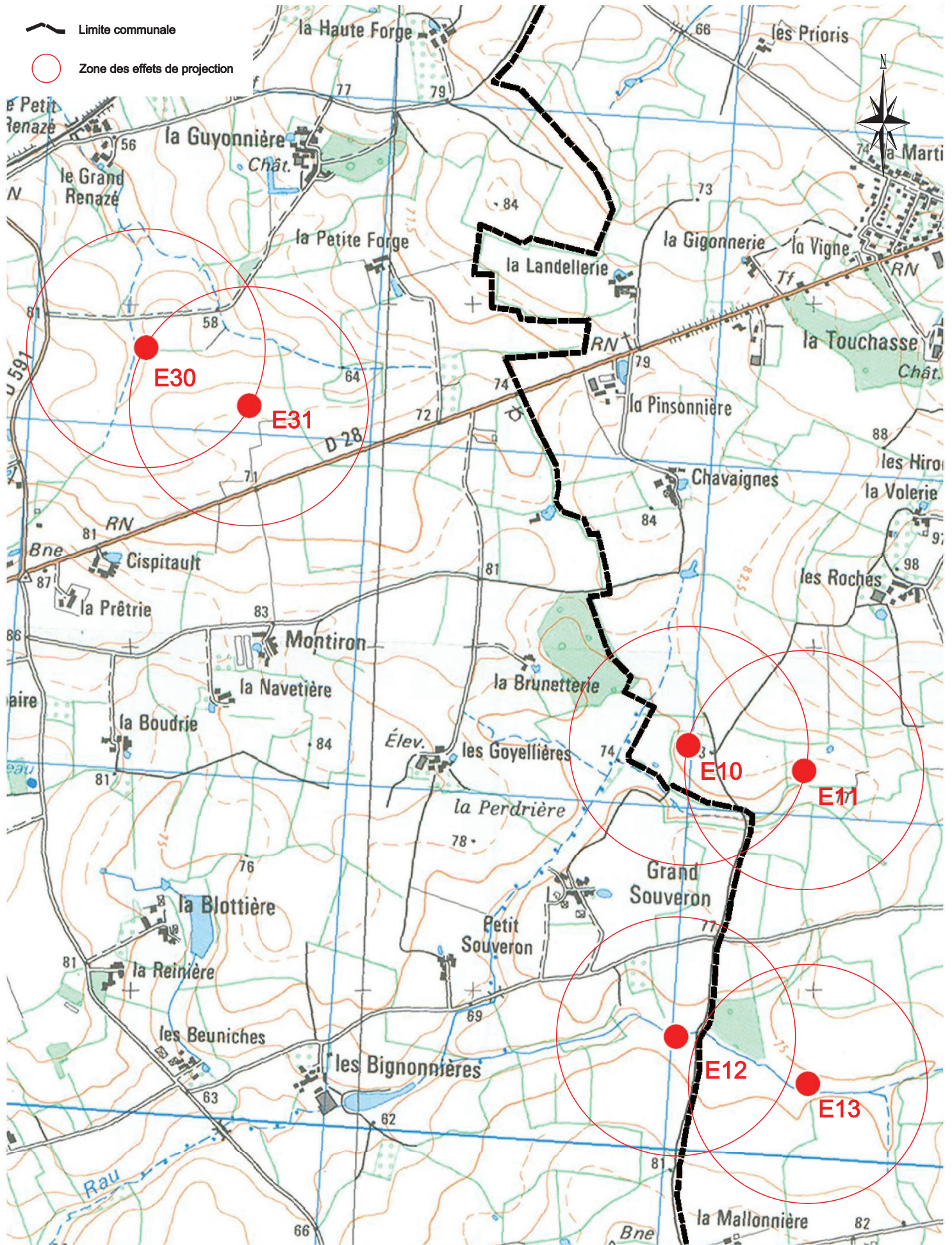
Rapport N° : 61202



PHENOMENE DANGEREUX 2 cas 4 :
Projection du tiers extrême d'une pale en surrégime

Echelle
0 m 1000 m

Indice	Date	Établi par	Vérfié par	Validé par
0	Février 2011	FD		





 Limite communale
 Zone des effets de projection

Erelia Groupe - GDF Suez

Modélisations et calculs de probabilité
 Parc éolien de Château-Gontier (53) : Secteur Ouest

Type de document : Format A3

Echelle : 1/7500

Projet N° : CARP100188

Fichier : CHATEAU-GONTIER.DGN

Février 2011

Rapport N° : 61202

PHENOMENE DANGEREUX 2 cas 4 :
Projection du tiers extrême d'une pale en surrégime

Echelle
 0m  1000m



Indice	Date	Établi par	Vérfié par	Validé par
0	Février 2011	FD		

Annexe 5 :

Détails des calculs de gravité

(12 pages)

Annexe 5
Détail des gravités

Gravité du PhD1, Chute d'une éolienne	2
Gravité du PhD2, Cas 1 : rupture d'une pale entière à la vitesse nominale.....	4
Gravité du PhD2, Cas 2 : rupture du tiers extrême d'une pale à la vitesse nominale.....	6
Gravité du PhD2, Cas 3 : rupture d'une pale entière en surrégime	8
Gravité du PhD2, Cas 4 : rupture du tiers extrême d'une pale en surrégime	8

Gravité du PhD1, Chute d'une éolienne

Eolienne	Zone impactée	Surface impactées par les zones d'effets	Nombre de personnes exposées	Gravité associé
E30	Cultures/prairies	~ 6 250 m ² (surfaces rotor + tour)	6 250 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00625 équivalent personne	Important
	Voie communale	82 m (diamètre du rotor)	82 m x 4.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,0328 équivalent personne	Important
E31	Cultures/prairies	~ 6 250 m ² (surfaces rotor + tour)	6 250 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00625 équivalent personne	Important
E10	Cultures/prairies	~ 6 250 m ² (surfaces rotor + tour)	6 250 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00625 équivalent personne	Important
E11	Cultures/prairies	~ 6 250 m ² (surfaces rotor + tour)	6 250 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00625 équivalent personne	Important
E12	Cultures/prairies	~ 6 250 m ² (surfaces rotor + tour)	6 250 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00625 équivalent personne	Important
E13	Cultures/prairies	~ 6 250 m ² (surfaces rotor + tour)	6 250 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00625 équivalent personne	Important
E50	Cultures/prairies	~ 6 250 m ² (surfaces rotor + tour)	6 250 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00625 équivalent personne	Important
	Voie communale	82 m (diamètre du rotor)	82 m x 4.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,0328 équivalent personne	Important
E51	Cultures/prairies	~ 6 250 m ² (surfaces rotor + tour)	6 250 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00625 équivalent personne	Important

E60	Cultures/prairies	~ 6 250 m ² (surfaces rotor + tour)	6 250 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00625 équivalent personne	Important
	Route départementale 593	82 m (diamètre du rotor)	82 m x 6.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,0492 équivalent personne	Important
E20	Cultures/prairies	~ 6 250 m ² (surfaces rotor + tour)	6 250 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00625 équivalent personne	Important
	Voie communale	82 m (diamètre du rotor)	82 m x 4.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,0328 équivalent personne	Important
E21	Cultures/prairies	~ 6 250 m ² (surfaces rotor + tour)	6 250 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00625 équivalent personne	Important
Gravité maximale : 0,0492 équivalent personne				Important

Gravité du PhD2, Cas 1 : rupture d'une pale entière à la vitesse nominale

Eolienne	Zone impactée	Surface impactées par les zones d'effets	Nombre de personnes exposées	Gravité associé
E30	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pale entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important
	Voie communale	38,8 m (longueur d'une pale entière)	38.8 m x 4.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,01552 équivalent personne	Important
E31	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pale entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important
E10	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pale entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important
E11	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pale entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important
E12	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pale entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important
E13	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pale entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important
E50	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pale entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important
	Voie communale	38,8 m (longueur d'une pale entière)	38.8 m x 4.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,01552 équivalent personne	Important
E51	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pale entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important

E60	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pâle entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important
E20	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pâle entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important
	Voie communale	38,8 m (longueur d'une pâle entière)	38.8 m x 4.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,01552 équivalent personne	Important
E21	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pâle entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important
Gravité maximale : 0,01552 équivalent personne				Important

Gravité du PhD2, Cas 2 : rupture du tiers extrême d'une pale à la vitesse nominale

Eolienne	Zone impactée	Surface impactées par les zones d'effets	Nombre de personnes exposées	Gravité associé
E30	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale: 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
	Voie communale	12,93 m (longueur d'un tiers extrême de pale)	12.93 m x 4.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,005172 équivalent personne	Important
E31	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale: 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
	Route départementale 28	12,93 m (longueur d'un tiers extrême de pale)	12.93 m x 2,4.10 ⁻⁰² équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,31032 équivalent personne	Important
E10	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale: 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
E11	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale : 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
E12	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale : 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
E13	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale : 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
E50	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale : 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important

	Voie communale	12,93 m (longueur d'un tiers extrême de pale)	12.93 m x 4.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,005172 équivalent personne	Important
E51	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale : 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
E60	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale : 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
	Route départementale 593	12,93 m (longueur d'un tiers extrême de pale)	12.93 m x 6.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,007758 équivalent personne	Important
E20	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale : 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
	Voie communale	12,93 m (longueur d'un tiers extrême de pale)	12.93 m x 4.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,005172 équivalent personne	Important
E21	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale : 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
Gravité maximale : 0,31032 équivalent personne				Important

Gravité du PhD2, Cas 3 : rupture d'une pale entière en surrégime

Eolienne	Zone impactée	Surface impactées par les zones d'effets	Nombre de personnes exposées	Gravité associé
E30	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pale entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important
	Voie communale	38,8 m (longueur d'une pale entière)	38.8 m x 4.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,01552 équivalent personne	Important
E31	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pale entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important
E10	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pale entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important
E11	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pale entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important
E12	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pale entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important
E13	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pale entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important
E50	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pale entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important
	Voie communale	38,8 m (longueur d'une pale entière)	38.8 m x 4.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,01552 équivalent personne	Important
E51	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pale entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important

E60	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pâle entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important
	Route départementale 593	38,8 m (longueur d'un tiers extrême de pâle)	38,8 m x 6.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,02328 équivalent personne	Important
E20	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pâle entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important
	Voie communale	38,8 m (longueur d'un tiers extrême de pâle)	38,8 m x 4.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,01552 équivalent personne	Important
E21	Cultures/prairies	~ 90 m ² (dimensions d'une pâle entière : 38,8 m : longueur x 2,31 m : largeur) de cultures/prairies	90 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,00009 équivalent personne	Important
Gravité maximale : 0,02328 équivalent personne				Important

Gravité du PhD2, Cas 4 : rupture du tiers extrême d'une pale en surrégime

Eolienne	Zone impactée	Surface impactées par les zones d'effets	Nombre de personnes exposées	Gravité associé
E30	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale : 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
	Voie communale	12,93 m (longueur d'un tiers extrême de pale)	12.93 m x 4.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,005172 équivalent personne	Important
	Route départementale 591	12,93 m (longueur d'un tiers extrême de pale)	12.93 m x 1,44.10 ⁻⁰³ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,0186192 équivalent personne	Important
E31	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale : 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
	Route départementale 28	12,93 m (longueur d'un tiers extrême de pale)	12.93 m x 2,4.10 ⁻⁰² équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,31032 équivalent personne	Important
E10	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale : 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
E11	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale : 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
E12	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale : 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
	Voie communale	12,93 m (longueur d'un tiers extrême de pale)	12.93 m x 4.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,005172 équivalent personne	Important

E13	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale : 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
E50	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale : 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
	Voie communale	12,93 m (longueur d'un tiers extrême de pale)	12.93 m x 4.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,005172 équivalent personne	Important
E51	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale : 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
E60	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale : 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
	Route départementale 593	12,93 m (longueur d'un tiers extrême de pale)	12.93 m x 6.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,007758 équivalent personne	Important
E20	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale : 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
	Voie communale	12,93 m (longueur d'un tiers extrême de pale)	12.93 m x 4.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,005172 équivalent personne	Important
E21	Cultures/prairies	~ 15 m ² (dimensions d'un tiers extrême de pale : 12,93 m : longueur x 1,09 m : largeur) de cultures/prairies	15 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000015 équivalent personne	Important
Gravité maximale : 0,31032 équivalent personne				Important

Gravité du PhD3: chute de bloc de glace à partir d'une éolienne à l'arrêt

Eolienne	Zone impactée	Surface impactées par les zones d'effets	Nombre de personnes exposées	Gravité associé
E50	Cultures/prairies	~ 1 m ² (dimensions d'un bloc de glace: 1 m : longueur x 1 m : largeur) de cultures/prairies	1 m ² x 1.10 ⁻⁰⁶ équivalent personne/ m ² (terrains non aménagés et très peu fréquentés) soit 0,000006 équivalent personne	Important
	Voie communale	1 m (longueur d'un bloc de glace)	1 m x 4.10 ⁻⁰⁴ équivalent personne/ m (voie communale) soit 0,0004 équivalent personne	Important
Gravité maximale : 0,0004 équivalent personne				Important

Annexe 6 :

Détails des calculs de probabilité

(13 pages)

Annexe 6
Probabilités d'atteintes des cibles (voies de communication routières) par les phénomènes dangereux

Probabilité du PhD1, Chute d'une éolienne.....	2
Probabilité du PhD2, Cas 1 : rupture d'une pale entière à la vitesse nominale	4
Probabilité du PhD2, Cas 2 : rupture du tiers extrême d'une pale à la vitesse nominale.....	6
Probabilité du PhD2, Cas 3 : rupture d'une pale entière en surrégime.....	8
Probabilité du PhD2, Cas 4 : rupture du tiers extrême d'une pale en surrégime.....	10

Probabilité du PhD1, Chute d'une éolienne

Cible susceptible d'être atteinte	Eolienne susceptible d'atteindre la cible	Position de la cible par rapport à l'éolienne		Probabilité d'atteinte de la cible (/an)	Probabilité totale d'atteinte de la cible (/an)
		Angle par rapport au Nord (°)	Distance entre la cible et l'éolienne (m)		
PhD1 : Chute d'une éolienne					
RD 28	Aucune	-	-	-	-
RD 591	Aucune	-	-	-	-
RC du Grand Sauveyron	Aucune	-	-	-	-
Route communale du Château	E30	0	85	3,35E-06	4,08E-05
		10	86	3,35E-06	
		20	88	3,35E-06	
		30	94	2,16E-06	
		40	104	2,16E-06	
		50	124	2,16E-06	
		310	147	4,84E-06	
		320	120	4,84E-06	
		330	104	4,87E-06	
		340	93	4,87E-06	
RD593	E60	60	149	3,03E-06	2,42E-05
		70	138	3,03E-06	
		80	133	3,03E-06	
		90	131	3,41E-06	
		100	132	3,41E-06	
		110	137	3,41E-06	
		120	147	4,84E-06	
Route communale des Cormiers	E20	10	136	3,35E-06	2,57E-05
		20	112	3,35E-06	
		30	96	2,16E-06	
		40	89	2,16E-06	
		50	89	2,16E-06	
		60	89	3,03E-06	
		70	100	3,03E-06	
		80	119	3,03E-06	
	90	139	3,41E-06		
	E50	10	139	3,35E-06	

Cible susceptible d'être atteinte	Eolienne susceptible d'atteindre la cible	Position de la cible par rapport à l'éolienne		Probabilité d'atteinte de la cible (/an)	Probabilité totale d'atteinte de la cible (/an)
		Angle par rapport au Nord (°)	Distance entre la cible et l'éolienne (m)		
PhD1 : Chute d'une éolienne					
		20	55	3,35E-06	
		30	38	1,80E-06	
		40	29	1,70E-06	
		50	25	1,64E-06	
		60	20	2,22E-06	
		70	18	2,19E-06	
		80	18	2,19E-06	
		90	17	2,44E-06	
		100	16	2,43E-06	
		110	18	2,46E-06	
		120	21	3,55E-06	
		130	20	3,55E-06	
		140	23	3,60E-06	
		150	25	3,68E-06	
		160	33	3,90E-06	
		170	41	4,17E-06	
		180	104	3,35E-06	
Probabilité totale d'atteinte d'une cible					1,42E-04

Probabilité du PhD2, Cas 1 : rupture d'une pale entière à la vitesse nominale

Cible susceptible d'être atteinte	Eolienne susceptible d'atteindre la cible	Position de la cible par rapport à l'éolienne		Probabilité d'atteinte de la cible (/an)	Probabilité totale d'atteinte de la cible (/an)
		Angle par rapport au Nord (°)	Distance entre la cible et l'éolienne (m)		
<i>PhD2 Cas 1 : rupture d'une pale entière à la vitesse nominale</i>					
D 591	Aucune	-	-	-	-
D 28	Aucune	-	-	-	-
RD 593	Aucune	-	-	-	-
Route communale du Grand Sauveyron	Aucune	-	-	-	-
Route communale du Château	E30	0	85	6,86E-07	5,37E-06
		10	86	6,74E-07	
		20	88	6,62E-07	
		30	94	3,92E-07	
		40	104	3,38E-07	
		330	104	7,61E-07	
		340	93	8,92E-07	
		350	87	9,62E-07	
Route communale des Cormiers	E20	30	96	3,81E-07	2,31E-06
		40	89	4,23E-07	
		50	89	4,20E-07	
		60	89	5,81E-07	
		70	100	5,05E-07	
	E50	20	55	5,47E-07	8,00E-06
		30	38	3,19E-07	
		40	29	3,07E-07	
		50	25	2,80E-07	
		60	20	3,53E-07	
		70	18	3,42E-07	
		80	18	3,42E-07	
		90	17	3,80E-07	
		100	16	3,67E-07	
		110	18	3,86E-07	
		120	21	5,82E-07	
		130	20	5,65E-07	
		140	23	6,08E-07	
		150	25	6,38E-07	

Cible susceptible d'être atteinte	Eolienne susceptible d'atteindre la cible	Position de la cible par rapport à l'éolienne		Probabilité d'atteinte de la cible (/an)	Probabilité totale d'atteinte de la cible (/an)
		Angle par rapport au Nord (°)	Distance entre la cible et l'éolienne (m)		
<i>PhD2 Cas 1 : rupture d'une pale entière à la vitesse nominale</i>					
		160	33	7,26E-07	
		170	41	7,35E-07	
		180	104	5,23E-07	
Probabilité totale d'atteinte d'une cible					1,57E-05

Probabilité du PhD2, Cas 2 : rupture du tiers extrême d'une pale à la vitesse nominale

Cible susceptible d'être atteinte	Eolienne susceptible d'atteindre la cible	Position de la cible par rapport à l'éolienne		Probabilité d'atteinte de la cible (/an)	Probabilité totale d'atteinte de la cible (/an)
		Angle par rapport au Nord (°)	Distance entre la cible et l'éolienne (m)		
<i>PhD2 Cas 2 : rupture du tiers extrême d'une pale à la vitesse nominale</i>					
RD 591	Aucune	-	-	-	-
RC du Grand Sauveyron	Aucune	-	-	-	-
RD 28	E31	180	239	1,08E-07	5,66E-07
		190	230	1,53E-07	
		200	227	1,34E-07	
		210	228	1,01E-07	
		220	239	6,97E-08	
Route communale du Château	E30	0	85	4,84E-08	7,07E-07
		10	86	4,84E-08	
		20	88	4,84E-08	
		30	94	2,89E-08	
		40	104	2,89E-08	
		50	124	2,89E-08	
		60	166	4,37E-08	
		300	200	8,61E-08	
		310	147	6,99E-08	
		320	120	6,99E-08	
		330	104	6,50E-08	
		340	93	7,04E-08	
		350	87	7,04E-08	
RD 593	E60	30	219	6,01E-08	7,66E-07
		40	186	3,37E-08	
		50	166	3,13E-08	
		60	149	4,37E-08	
		70	138	4,04E-08	
		80	133	3,70E-08	
		90	131	4,93E-08	
		100	132	4,93E-08	
		110	137	4,93E-08	
		120	147	6,99E-08	
		130	160	6,99E-08	
140	186	7,53E-08			

Cible susceptible d'être atteinte	Eolienne susceptible d'atteindre la cible	Position de la cible par rapport à l'éolienne		Probabilité d'atteinte de la cible (/an)	Probabilité totale d'atteinte de la cible (/an)
		Angle par rapport au Nord (°)	Distance entre la cible et l'éolienne (m)		
PhD2 Cas 2 : rupture du tiers extrême d'une pale à la vitesse nominale					
Route communale des Cormiers	E20	150	239	1,57E-07	6,99E-07
		0	168	4,84E-08	
		10	136	4,47E-08	
		20	112	4,47E-08	
		30	96	3,13E-08	
		40	89	3,13E-08	
		50	89	2,89E-08	
		60	89	4,37E-08	
		70	100	4,37E-08	
		80	119	4,04E-08	
		90	139	4,55E-08	
		100	168	5,30E-08	
		340	239	1,57E-07	
		350	197	8,66E-08	
	E50	10	139	4,47E-08	1,11E-06
		20	55	5,21E-08	
		30	38	3,37E-08	
		40	29	3,85E-08	
		50	25	3,85E-08	
		60	20	5,38E-08	
		70	18	5,04E-08	
		80	18	5,04E-08	
		90	17	6,44E-08	
		100	16	6,44E-08	
		110	18	6,44E-08	
		120	21	8,61E-08	
		130	20	8,61E-08	
140	23	9,14E-08			
150	25	8,66E-08			
160	33	8,12E-08			
170	41	8,12E-08			
180	104	4,47E-08			
Probabilité totale d'atteinte d'une cible					3,85E-06

Probabilité du PhD2, Cas 3 : rupture d'une pale entière en surrégime

Cible susceptible d'être atteinte	Eolienne susceptible d'atteindre la cible	Position de la cible par rapport à l'éolienne		Probabilité d'atteinte de la cible (/an)	Probabilité totale d'atteinte de la cible (/an)
		Angle par rapport au Nord (°)	Distance entre la cible et l'éolienne (m)		
<i>PhD2 Cas 3 : rupture d'une pale entière en surrégime</i>					
RD 591	Aucune	-	-	-	-
RC du Grand Sauveyron	Aucune	-	-	-	-
RD 28	Aucune	-	-	-	-
Route communale du Château	E30	0	85	3,44E-09	4,88E-08
		10	86	3,37E-09	
		20	88	3,44E-09	
		30	94	2,17E-09	
		40	104	2,22E-09	
		50	124	2,36E-09	
		60	166	4,92E-09	
		310	147	6,72E-09	
		320	120	5,27E-09	
		330	104	5,00E-09	
		340	93	4,89E-09	
		350	87	5,00E-09	
RD 593	E60	40	186	2,73E-09	5,09E-08
		50	166	3,52E-09	
		60	149	4,33E-09	
		70	138	3,69E-09	
		80	133	3,49E-09	
		90	131	3,94E-09	
		100	132	3,94E-09	
		110	137	4,15E-09	
		120	147	6,62E-09	
		130	160	8,38E-09	
		140	186	6,10E-09	
Route communale des Cormiers	E20	0	168	5,30E-09	3,84E-08
		10	136	4,01E-09	
		20	112	3,44E-09	
		30	96	2,22E-09	
		40	89	2,22E-09	
		50	89	2,17E-09	

Cible susceptible d'être atteinte	Eolienne susceptible d'atteindre la cible	Position de la cible par rapport à l'éolienne		Probabilité d'atteinte de la cible (/an)	Probabilité totale d'atteinte de la cible (/an)
		Angle par rapport au Nord (°)	Distance entre la cible et l'éolienne (m)		
<i>PhD2 Cas 3 : rupture d'une pale entière en surrégime</i>					
		60	89	3,04E-09	
		70	100	3,10E-09	
		80	119	3,23E-09	
		90	139	4,23E-09	
		100	168	5,39E-09	
	E50	10	139	4,15E-09	
		20	55	3,51E-09	
		30	38	2,36E-09	
		40	29	2,31E-09	
		50	25	2,17E-09	
		60	20	2,78E-09	
		70	18	2,65E-09	
		80	18	2,65E-09	
		90	17	2,91E-09	
		100	16	2,91E-09	
		110	18	2,99E-09	
		120	21	4,45E-09	
		130	20	4,45E-09	
		140	23	4,65E-09	
		150	25	4,89E-09	
		160	33	5,31E-09	
170	41	5,31E-09			
	180	104	3,44E-09	6,39E-08	
Probabilité totale d'atteinte d'une cible					2,02E-07

Probabilité du PhD2, Cas 4 : rupture du tiers extrême d'une pale en surrégime

Cible susceptible d'être atteinte	Eolienne susceptible d'atteindre la cible	Position de la cible par rapport à l'éolienne		Probabilité d'atteinte de la cible (/an)	Probabilité totale d'atteinte de la cible (/an)
		Angle par rapport au Nord (°)	Distance entre la cible et l'éolienne (m)		
<i>PhD2 Cas 4 : rupture du tiers extrême d'une pale en surrégime</i>					
RD 591	E30	60	338	1,08E-07	2,73E-07
		70	303	4,04E-08	
		80	286	3,36E-08	
		90	290	3,79E-08	
		100	315	5,30E-08	
RD 28	E31	150	349	1,30E-07	5,00E-07
		160	294	5,96E-08	
		170	261	4,87E-08	
		180	239	2,98E-08	
		190	230	2,98E-08	
		200	227	2,98E-08	
		210	228	1,68E-08	
		220	239	1,92E-08	
		230	261	2,16E-08	
		240	294	3,36E-08	
		250	349	8,07E-08	
		Route communale du Château	E30	0	
10	86			4,10E-08	
20	88			3,72E-08	
30	94			2,65E-08	
40	104			2,41E-08	
50	124			1,92E-08	
60	166			2,69E-08	
70	258			2,69E-08	
300	200			4,30E-08	
310	147			3,76E-08	
320	120			4,84E-08	
330	104			5,41E-08	
340	93			5,41E-08	
350	87		5,41E-08		
E31	0		349	8,94E-08	2,73E-07
	10		294	4,10E-08	
	20		290	3,72E-08	

Cible susceptible d'être atteinte	Eolienne susceptible d'atteindre la cible	Position de la cible par rapport à l'éolienne		Probabilité d'atteinte de la cible (/an)	Probabilité totale d'atteinte de la cible (/an)
		Angle par rapport au Nord (°)	Distance entre la cible et l'éolienne (m)		
<i>PhD2 Cas 4 : rupture du tiers extrême d'une pale en surrégime</i>					
		30	309	3,13E-08	
		40	341	7,46E-08	
D593	E60	20	264	3,03E-08	5,80E-07
		30	219	2,69E-08	
		40	186	2,35E-08	
		50	166	3,03E-08	
		60	149	3,41E-08	
		70	138	3,03E-08	
		80	133	4,84E-08	
		90	131	3,76E-08	
		100	132	4,30E-08	
		110	137	4,33E-08	
		120	147	4,33E-08	
		130	160	4,33E-08	
		140	186	2,61E-08	
		150	239	2,98E-08	
				160	
RC du Grand Sauveyron	E12	0	264	3,35E-08	4,76E-07
		10	259	3,35E-08	
		20	262	3,35E-08	
		30	263	2,16E-08	
		40	269	2,16E-08	
		50	287	2,65E-08	
		60	338	1,11E-07	
		330	320	8,12E-08	
		340	299	5,96E-08	
		350	281	5,41E-08	
Route communale des Cormiers	E20	0	168	2,98E-08	4,75E-07
		10	136	3,35E-08	
		20	112	3,72E-08	
		30	96	2,16E-08	
		40	89	2,41E-08	
		50	89	2,41E-08	
		60	89	3,03E-08	
		70	100	3,36E-08	
		80	119	3,03E-08	

Cible susceptible d'être atteinte	Eolienne susceptible d'atteindre la cible	Position de la cible par rapport à l'éolienne		Probabilité d'atteinte de la cible (/an)	Probabilité totale d'atteinte de la cible (/an)
		Angle par rapport au Nord (°)	Distance entre la cible et l'éolienne (m)		
<i>PhD2 Cas 4 : rupture du tiers extrême d'une pale en surrégime</i>					
		90	139	2,65E-08	
		100	168	2,65E-08	
		330	317	7,58E-08	
		340	239	4,33E-08	
		350	197	3,79E-08	
		10	139	2,61E-08	
		20	55	4,47E-08	
		30	38	3,37E-08	
		40	29	3,61E-08	
		50	25	3,37E-08	
		60	20	5,04E-08	
		70	18	5,04E-08	
		80	18	5,04E-08	
		90	17	5,30E-08	
		100	16	5,30E-08	
		110	18	5,68E-08	
		120	21	7,53E-08	
		130	20	8,07E-08	
		140	23	7,53E-08	
		150	25	7,58E-08	
		160	33	7,04E-08	
		170	41	7,04E-08	
	E50	180	104	3,72E-08	9,74E-07
Probabilité totale d'atteinte d'une cible					4,08E-06

Probabilité du PhD3 : Chute d'un bloc de glace d'une éolienne à l'arrêt

Cible susceptible d'être atteinte	Eolienne susceptible d'atteindre la cible	Probabilité d'atteinte de l'aire concernée par le risque de chute de glace d'une éolienne à l'arrêt (chute/m ² /an)	Surface de la cible recoupée par l'aire mentionnée à la colonne précédente (m ²)	Probabilité d'atteinte de la cible (/an)	Probabilité totale d'atteinte de la cible (/an)
<i>PhD2 Cas 4 : rupture du tiers extrême d'une pale en surrégime</i>					
Route communale des Cormiers	E50	1	904	904	904
Probabilité totale d'atteinte d'une cible					904