

> Fichier n° 4 du dossier de Demande d'Autorisation Unique en matière d'ICPE



ÉTUDE DE DANGERS

Projet de renouvellement du parc éolien de Bougainville

Commune de Bougainville - Somme



SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
TABLE DES ILLUSTRATIONS	4
CHAPITRE 1 - PRÉAMBULE	7
1.1. OBJECTIF DE L'ÉTUDE DE DANGERS	7
1.2. CONTEXTE LÉGISLATIF ET RÉGLEMENTAIRE	7
1.3. NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSÉES	8
CHAPITRE 2 - INFORMATIONS GÉNÉRALES CONCERNANT L'INSTALLATION	10
2.1. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS.....	11
2.2. LOCALISATION DU SITE	11
2.3. DÉFINITION DE L'AIRE D'ÉTUDE.....	11
CHAPITRE 3 - DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION	13
3.1. ENVIRONNEMENT HUMAIN	14
3.2. ENVIRONNEMENT NATUREL	16
3.3. ENVIRONNEMENT MATÉRIEL	18
3.4. CARTOGRAPHIE DE SYNTHÈSE.....	20
CHAPITRE 4. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION	22
4.1 CARACTÉRISTIQUES DE L'INSTALLATION	23
4.2 FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION	28
4.3 FONCTIONNEMENT DES RÉSEAUX DE L'INSTALLATION.....	36
5 IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION	38
5.1 POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX PRODUITS.....	39
5.2 POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION	39
5.3 RÉDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS À LA SOURCE	40
6 ANALYSE DES RETOURS D'EXPÉRIENCE	43
6.1 INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS EN FRANCE	44
6.2 INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS À L'INTERNATIONAL	45
6.3 INVENTAIRE DES ACCIDENTS MAJEURS SURVENUS SUR LES SITES DE L'EXPLOITANT	47
6.4 SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTÉS ISSUS DU RETOUR D'EXPÉRIENCE	47
7 ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES	49
7.1 OBJECTIF DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES.....	50
7.2 RECENSEMENT DES ÉVÉNEMENTS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES	50
7.3 RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES	51
7.4 SCÉNARII ÉTUDIÉS DANS L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES.....	52
7.5 EFFETS DOMINOS	56
7.6 MISE EN PLACE DES MESURES DE SÉCURITÉ	56
7.7 CONCLUSION DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES	62

8	ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES	64
8.1	RAPPEL DES DÉFINITIONS	65
8.2	CARACTÉRISATION DES SCÉNARII RETENUS.....	69
8.3	SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES	85
9	CONCLUSION	95
10	ANNEXE	97
	ANNEXE 1 ; ISSUE DU GUIDE TECHNIQUE : METHODE DE COMPTAGE DES PERSONNES POUR LA DETERMINATION DE LA GRAVITE POTENTIELLE D'UN ACCIDENT A PROXIMITE D'UNE EOLIENNE.....	97
	ANNEXE 2 ; ISSUE DU GUIDE TECHNIQUE : TABLEAU DE L'ACCIDENTOLOGIE FRANCAISE.....	100
	ANNEXE 3 ; ISSUE DU GUIDE TECHNIQUE : SCENARIOS GENERIQUES ISSUS DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES.....	104
	ANNEXE 4 ; ISSUE DU GUIDE TECHNIQUE : PROBABILITE D'ATTEINTE ET RISQUE INDIVIDUEL	108
	ANNEXE 5 : CERTIFICATION DES EOLIENNES.....	109
11	BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES UTILISEES	112



TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur.....	24
Figure 2 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne	25
Figure 3 : Calendrier de maintenance.....	36
Figure 4 : Raccordement électrique des installations	37
Figure 5 : Répartition des événements accidentels et leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et 2015.....	45
Figure 6 : Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2017	46
Figure 7 : Répartition des causes premières d'effondrement.....	46
Figure 8 : Répartition des causes premières de rupture de pale	46
Figure 9 : Répartition des causes premières d'incendies	47
Figure 10 : Évolution du nombre d'incidents annuels en France et de la puissance éolienne installée d'après la base de données de l'ARIA	48
Tableau 1 : Nomenclature des installations classées	9
Tableau 2 : Caractéristiques du modèle d'éolienne retenu	26
Tableau 3 : Coordonnées des éoliennes et du poste de livraison	27
Tableau 4 : Découpage fonctionnel de l'installation	29
Tableau 5 : Description des opérations de maintenance après 3 mois.....	34
Tableau 6 : Description des opérations de maintenance régulières	35
Tableau 7 : Dangers potentiels d'une éolienne	40
Tableau 8 : Agressions externes liées aux activités humaines	51
Tableau 9 : Agressions externes liées aux phénomènes naturels	52
Tableau 10 : Analyse générique des risques.....	55
Tableau 11 : Mesures de sécurité pour prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	57
Tableau 12 : Mesures de sécurité pour prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	58
Tableau 13 : Mesures de sécurité pour prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques.....	58
Tableau 14 : Mesures de sécurité pour prévenir la survitesse.....	59
Tableau 15: Mesures de sécurité pour prévenir les courts-circuits	59
Tableau 16 : Mesures de sécurité pour prévenir les effets de la foudre.....	59
Tableau 17 : Mesures de sécurité pour la protection et l'intervention incendie.....	60



Tableau 18 : Mesures de sécurité pour la prévention et la rétention des fuites	61
Tableau 19 : Mesures de sécurité pour prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	61
Tableau 20 : Mesures de sécurité pour prévenir les erreurs de maintenance.....	62
Tableau 21 : Mesures de sécurité pour prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	62
Tableau 22 : Scénarii exclus de l'étude détaillée.....	63
Tableau 23 : Grille de cotation en intensité issue du guide technique	66
Tableau 24 : Grille de cotation en gravité de l'arrêté du 29 septembre 2005	67
Tableau 25 : Grille de cotation en probabilité de l'arrêté du 29 septembre 2005.....	68
Tableau 26 : Scénario d'effondrement – calcul de l'intensité	70
Tableau 27 : Scénario d'effondrement – cotation de la gravité.....	71
Tableau 28 : Fréquence d'effondrement d'une éolienne d'après la littérature.....	71
Tableau 29 : Scénario d'effondrement- acceptabilité du risque	72
Tableau 30 : Scénario chute de glace – calcul de l'intensité	74
Tableau 31 : Scénario chute de glace – cotation de la gravité	75
Tableau 32 : Scénario chute de glace – acceptabilité du risque.....	75
Tableau 33 : Scénario chute d'éléments de l'éolienne – calcul de l'intensité.....	76
Tableau 34 : Scénario chute d'éléments de l'éolienne – cotation de la gravité.....	77
Tableau 35 : Scénario chute d'éléments de l'éolienne – acceptabilité du risque	78
Tableau 36 : Scénario projection de pale ou fragment de pale – calcul de l'intensité.....	79
Tableau 37 : Scénario de projection de pale ou fragment de pale – cotation de la gravité.....	80
Tableau 38 : Fréquence de projection de tout ou partie de pale d'après la littérature.....	81
Tableau 39 : Scénario projection de pale ou fragment de pale – Acceptabilité du risque.....	82
Tableau 40 : Scénario projection de glace – calcul de l'intensité.....	83
Tableau 41 : Scénario projection de glace – cotation de la gravité.....	84
Tableau 42 : Scénario projection de glace – acceptabilité du risque	84
Tableau 43 : Synthèse de la cotation des risques – étude détaillée.....	86
Tableau 44 : Cotation des risques selon la matrice de criticité de la circulaire du 10 mai 2010.....	87
Carte 1 : Localisation générale du site	11
Carte 2 : Situation de l'installation	12
Carte 3 : Distances aux habitations et zones urbanisables	15
Carte 4 : Axes routiers et voies d'accès	19
Carte 5 : Carte des enjeux	21



Carte 6: Plan détaillé de l'installation

27

Carte 7 : Choix techniques effectués par l'exploitant

42



CHAPITRE 1 - PRÉAMBULE

1.1. OBJECTIF DE L'ÉTUDE DE DANGERS

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par la société SECEB SCS, pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du projet de renouvellement du parc éolien de Bougainville situé dans le département de la Somme, autant que technologiquement réalisable et économiquement acceptable, que leurs causes soient intrinsèques aux substances ou matières utilisées, liées aux procédés mis en œuvre ou dues à la proximité d'autres risques d'origine interne ou externe à l'installation.

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

Elle précise l'ensemble des mesures de maîtrise des risques mises en œuvre sur le parc éolien de Bougainville, qui réduisent le risque à l'intérieur et à l'extérieur des éoliennes à un niveau jugé acceptable par l'exploitant.

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

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

1.2. CONTEXTE LÉGISLATIF ET RÉGLEMENTAIRE

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

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



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

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

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

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

1.3. NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSÉES

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

N°	Désignation de la rubrique	A, E, D, S, C (1)	Rayon (2)
2980	Installation terrestre de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs : 1. Comprenant au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50m.....	A	6
	2. Comprenant uniquement des aérogénérateurs dont le mât a une hauteur inférieur à 50 m et au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur maximale supérieure ou égale à 12 m et pour une puissance totale installée :		

a)	Supérieure ou égale à 20 MW.....	A	6
b)	Inférieure à 20 MW.....	D	

Tableau 1 : Nomenclature des installations classées

Avec :

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

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



CHAPITRE 2 - INFORMATIONS GÉNÉRALES CONCERNANT L'INSTALLATION



2.1. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

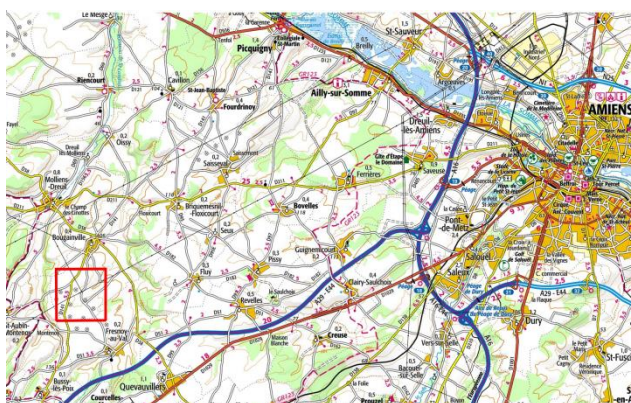
Le porteur du projet est la société SECEB SCS, filiale de Kallista Energy Investment. Le groupe français Kallista Energy exploite 350 MW éoliens en France et développe actuellement plus d'une centaine de mégawatts, dont quelques-uns en cours de construction.

Pour chaque parc éolien français, Kallista Energy constitue une « société de projet ». Cette société de projet, dont Kallista Energy Investment est l'unique actionnaire, porte les droits et autorisations du parc éolien. Elle est ainsi titulaire de l'autorisation unique et propriétaire du parc éolien.

La société SECEB est une Société en Commandité Simple (SCS) au capital de 201 000 €, domiciliée au 82 Boulevard Haussmann – 75008 Paris.

2.2. LOCALISATION DU SITE

Le parc éolien de Bougainville, composé de six aérogénérateurs et de deux postes de livraison, est localisé sur la commune de Bougainville, à proximité des bourgs de Fresnoy-au-Val et Saint-Aubin-Montenoy, dans le département de la Somme (80), en région Hauts-de-France. Il se situe à environ vingt kilomètres de distance d'Amiens.



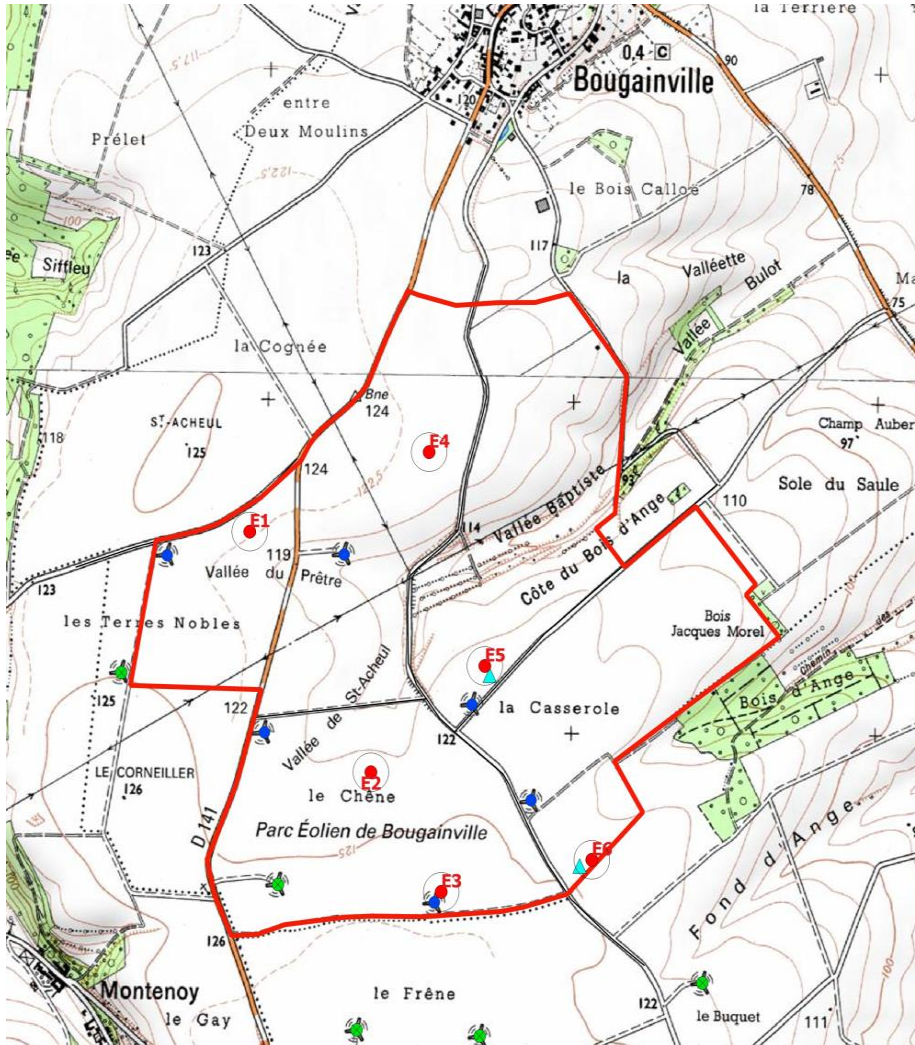
Carte 1 : Localisation générale du site

2.3. DÉFINITION DE L'AIRE D'ÉTUDE

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

Chaque aire d'étude correspond à l'ensemble des points situés à une distance inférieure ou égale à 500 m à partir de l'emprise du mât de l'aérogénérateur. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection, telle que définie au chapitre 7.

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

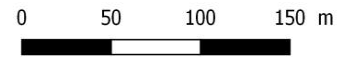


**Parc éolien de Bougainville (80)
Projet de renouvellement**

Etude de dangers

Légende

- Limite communale
- Zone d'étude
- ▲ Postes de livraison
- Eoliennes projetées
- Parc éolien existant de Bougainville
- Parc éolien de Bougainville et Fresnoy-au-val



Echelle : 1/15000

Carte 2 : Situation de l'installation

CHAPITRE 3 - DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

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



3.1. ENVIRONNEMENT HUMAIN

L'étude de dangers doit s'intéresser aux populations situées dans la zone sur laquelle porte l'étude ou à proximité.

La commune de Bougainville dispose d'une carte communale approuvée en mars 2015. Elle n'a pas fait l'objet de modification.

La zone d'étude se trouve en **zone SN (Secteur Naturel)**. La carte communale ne comporte pas de règlement spécifique, elle permet avant tout de déterminer les secteurs urbanisables, naturels et les zones spécifiques destinées aux activités. Les permis de construire sont délivrés sur le fondement du Règlement National d'Urbanisme (RNU) et des autres règles du code de l'urbanisme. Sur les parcelles agricoles, le RNU autorise l'installation d'équipements d'intérêt collectif.

Le projet éolien se situe sur des terres agricoles en zone rurale.

Les habitations et les zones destinées à l'habitation les plus proches des éoliennes sont très largement situées à plus de 500 m de ces dernières.

■ DISTANCE DES EOLIENNES AUX HABITATIONS LES PLUS PROCHEES

Les habitations et les zones destinées à l'habitation les plus proches des éoliennes sont très largement situées à plus de 500 m de ces dernières.

En effet, les éoliennes les plus proches sont situées à 940m de la dernière habitation de Bougainville, 1168 m de celle de Montenoy, et 1127 m pour celle de Fresnoy-au-Val.

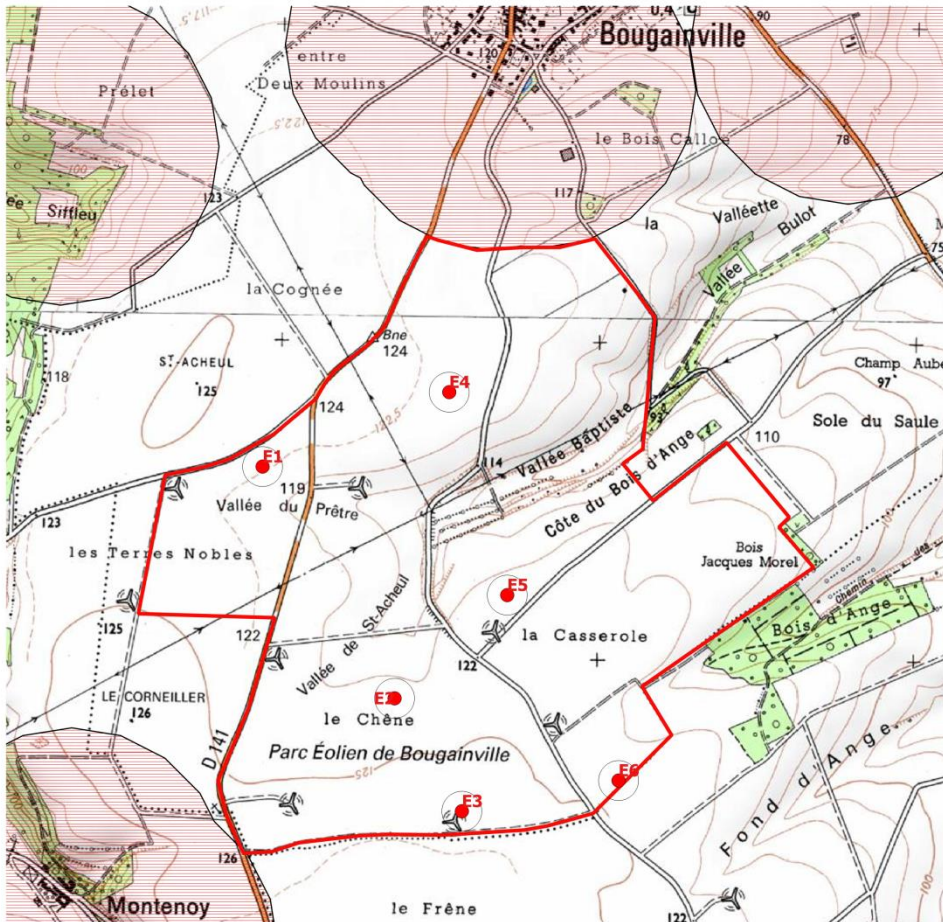
■ DISTANCE AUX ZONES URBANISABLES LES PLUS PROCHEES

Commune	Distance par rapport à la zone d'étude
Molliens-Dreuil (Lieu-dit : Potière)	472 m
Saint Aubin Montenoy	495 m
Saint Aubin Montenoy (Lieu-dit : Montenoy)	492 m
Bougainville	467 m
	472 m
	489 m
Bougainville (Lieu-dit : Le Bosquet)	969 m
Fresnoy-au-val	1 116 m

■ NOMBRE D'HABITANTS DANS LES VILLAGES OU HAMEAU LES PLUS PROCHEES

Selon les dernières données de l'INSEE Bougainville compte 443 habitants, Saint-Aubin-Montenoy 226 et Fresnoy-au-Val 246.¹

¹ Données de l'INSEE 2014



Parc éolien de Bougainville (80)
Projet de renouvellement

Légende

- Zone d'étude
- Distance de 500m par rapport au bâti

Echelle : 1 / 14 000



Carte 3 : Distances aux habitations et zones urbanisables

3.1.1. Établissements recevant du public (ERP)

Pour ce projet de renouvellement du parc éolien de Bougainville, aucun ERP n'est localisé au sein de la zone d'étude.

3.1.2. Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et installations nucléaires de base

Commune	Nom de l'établissement	Classement ICPE	Activité	Distance à l'éolienne la plus proche
Fresnoy-au-Val	Parc éolien ENERTRAG Amienois SCS	Autorisation	Installation terrestre de production d'électricité	Eolienne E1 située à 600m
Bougainville	Parc éolien ENERTRAG Amienois SCS	Autorisation	Installation terrestre de production d'électricité	Eolienne E2 située à 450 m et Eolienne E3 située à 530m

Fresnoy -au-Val	Parc éolien ENERTRAG Amienois SCS	Autorisation	Installation terrestre de production d'électricité	Eolienne E3 située à 500m
Fresnoy -au-Val	Parc éolien ENERTRAG Amienois SCS	Autorisation	Installation terrestre de production d'électricité	Eolienne E3 située à 460m
Fresnoy -au-Val	Parc éolien ENERTRAG Amienois SCS	Autorisation	Installation terrestre de production d'électricité	Eolienne E6 située 525m

Une éolienne du parc voisin du projet est présente dans la zone d'étude.

Il n'y a pas d'établissement SEVESO, ni d'installation nucléaire de base dans un périmètre de 300 m autour des éoliennes (distance d'éloignement à respecter pour ces activités).

3.1.3. Autres activités

La zone d'étude est essentiellement occupée par de la grande culture.

L'activité agricole de Bougainville est diversifiée, orientée autour des grandes cultures céréalières et de l'élevage bovin, laitier et allaitant.

Par ailleurs, la présence de gibiers est donc potentielle et la pratique de la chasse est probablement possible sur la zone d'étude.

3.2. ENVIRONNEMENT NATUREL

La région Hauts-de France dans laquelle se situe la commune de la zone d'étude bénéficie d'un climat océanique à océanique dégradé caractérisé par des hivers plutôt doux et pluvieux et des étés frais et humides.

D'après les informations disponibles auprès de la station Météo-France d'Amiens-Glisy (80) située à environ 15 km de la zone d'étude, la température moyenne annuelle est de 10,9°C. L'amplitude thermique est de 14,5°C. La température moyenne la plus basse s'observe en décembre (4,0°C) tandis que la température moyenne la plus élevée s'observe en août (18,5°C).

Le nombre de jours moyen concerné par des températures inférieures à -5°C est relativement faible à la station d'Amiens-Glisy (7,6 jours par an). La zone d'étude n'est donc pas sensible quant à la formation de glace et de givre.

Les mois les plus exposés au gel sont janvier, février et décembre avec respectivement 11,1 – 9,7 et 11,8 jours de gel par mois. La période allant de mai à septembre n'est pas concernée par des épisodes de gel.

Toutefois, le nombre de jours de fortes gelées (températures inférieures à -5°C) est relativement réduit avec 7,6 jours par an.

La répartition des précipitations est assez homogène sur l'ensemble de l'année. On note cependant deux maximums en juillet (61,0 mm) et en décembre (63,7 mm). Les mois les plus secs sont ceux d'avril (44,3 mm) et de septembre (44,5 mm).

3.2.1. Risques naturels

Les risques naturels ont été étudiés en détail dans le cadre de l'étude d'impact.

- **PRESENCE DE CAVITES SOUTERRAINES**

Il en ressort que des cavités souterraines sont recensées sur la commune de Bougainville, cependant, ces cavités ne sont pas cartographiables.

- **RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES**

Concernant ce risque et selon les données du BRGM, la zone d'étude est située en zone d'aléa nul à moyen.

- **KARSTIFICATIONS**

La karstification est l'ensemble des processus naturels d'érosion et d'altération physicochimiques que subissent les formations carbonatées comme la craie. La zone d'étude se situe dans un secteur susceptible d'être soumis au risque karstique.

- **SISMICITE**

Le projet est localisé en zone de sismicité 1, à savoir **très faible**.

- **MOUVEMENT DE TERRAIN**

La commune de Bougainville a eu un arrêté de catastrophe naturelle pour « ruissellement et coulée de boue ». Ce risque est donc présent pour cette commune.

Toutefois, la zone d'étude étant située en milieu rural, les surfaces étant moins imperméabilisées qu'en zone urbaine, le risque est amoindri. Cependant, le projet ne devra pas augmenter les risques de ruissellement à l'amont.

- **INONDATIONS**

La zone d'étude n'est pas située dans une zone considérée comme inondable par débordement de cours d'eau. La zone d'étude présente globalement un aléa d'inondations dans les sédiments très faible. Le risque d'inondation par remontée de nappe présente une sensibilité faible sur la zone d'étude

- **INCENDIES/FEUX DE FORÊTS**

Le risque d'incendie sur la zone d'étude est très faible mais ne peut être exclu. Concernant les risques d'incendie d'origine anthropique, il faut signaler qu'actuellement, aucune activité à risques n'est recensée sur la zone d'étude.

Selon la base de données du site Géorisques, la commune de Bougainville ne présente pas de risque d'incendie. Toutefois, compte-tenu de la présence de petits boisements, le risque d'incendie ne peut pas être totalement exclu.

- **RUPTURE DE BARRAGE**

Les communes de l'aire d'étude ne sont pas concernées par ce risque.

- **TEMPÊTE**

Selon la réglementation en vigueur, le projet n'est pas soumis aux règles parasismiques que ce soit pour les éoliennes ou pour les bâtiments techniques associés.

Toutes les communes de l'aire d'étude sont concernées par l'arrêté de reconnaissance de catastrophe naturelle suite à la tempête de 1999.

- **FOUDROIEMENT**

Bien que la densité de foudroiement soit faible vis-à-vis de la moyenne nationale, un parc éolien est particulièrement concerné par le risque de foudroiement à cause de la hauteur et la forme des éoliennes. Les

éoliennes sont actuellement conçues de manière à supporter la foudre par un circuit de terre relié aux pales à la nacelle et aux fondations.

La commune de Bougainville n'est pas située dans une zone à risque sur le plan de la foudre.

Ce risque foudre est donc faible sur la zone d'étude

Les risques naturels sont issus de la géologie et du climat, et donc de processus évoluant à des échelles de temps très importante. Le changement climatique actuel peut augmenter certains risques, cependant ces évolutions ne sont pas aujourd'hui prévisibles. L'état des connaissances actuelles ne permet pas de présumer d'une évolution des risques naturels.

3.3. ENVIRONNEMENT MATÉRIEL

3.3.1. Voies de communication

■ TRANSPORT ROUTIER

Les voies suivantes sont présentes dans la zone d'étude :

- La départementale D141 dont le trafic n'a pas été comptabilisé par le Conseil Départemental de la Somme. De fait, on suppose que sa fréquentation n'est pas significative et reste inférieure à 500 véhicules par jour. L'éolienne E1 est situé à 150 m minimum de distance de cet axe. Elle traverse la zone d'étude selon un axe nord/sud ;
- la voie communale reliant Bougainville à Saint-Aubin-Montenoy. L'éolienne E1 est implantée de manière à ne pas la surplomber ; à cette fin, une distance de 63 m minimum la sépare de la chaussée.
- la voie communale reliant Bougainville à Fresnoy-au-Val. Elle traverse la zone d'étude selon un axe nord/sud ;
- des chemins agricoles.

■ TRANSPORT FERROVIAIRE

Aucune voie de chemin de fer n'est située dans la zone d'étude.

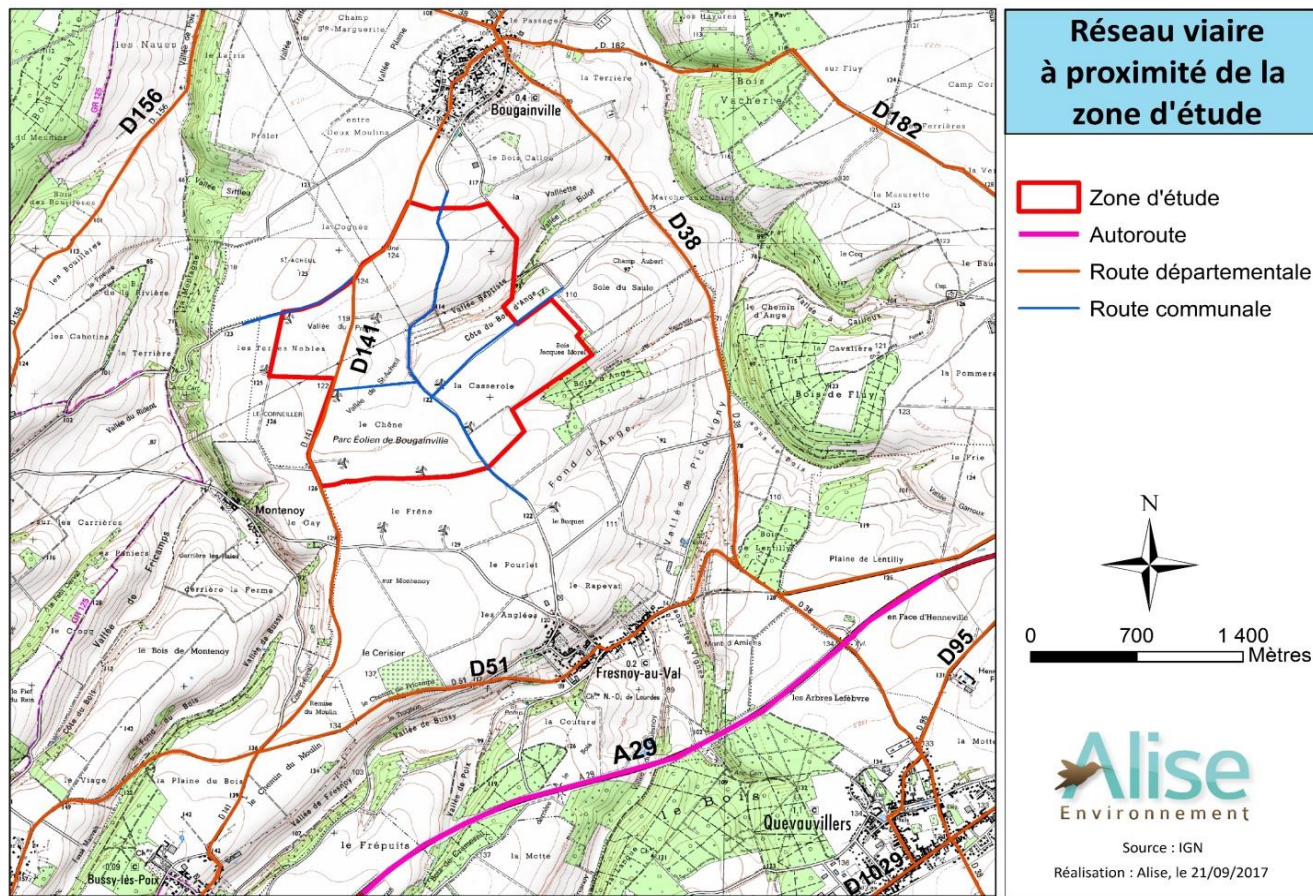
■ TRANSPORT FLUVIAL

Aucune voie navigable n'est située dans la zone d'étude.

■ TRANSPORT AERIEN

Il n'y a pas de contrainte aéronautique particulière dans la zone d'étude.

De plus, compte tenu du fait que le projet se situe à proximité de deux rangées d'éoliennes déjà en exploitation depuis plusieurs années, il est considéré qu'il n'est pas de nature à créer de gêne vis à vis des activités aéronautiques.



Carte 4 : Axes routiers et voies d'accès

3.3.2. Réseaux publics et privés

L'étude de dangers recense les principales installations publiques non enterrées présentes dans les limites de la zone d'étude :

- **TRANSPORT D'ELECTRICITE (lignes électriques haute et très haute tension, postes électriques)**

La zone d'étude est traversée par plusieurs ouvrages électriques :

- Deux liaisons électriques aériennes 90 000 volts gérées par RTE
- Une liaison électrique aérienne gérée par ENEDIS
- Des liaisons électriques souterraines liées au parc éolien ENERTRAG dont 1 éolienne est située au sein de la zone d'étude.

L'arrêté interministériel du 17 mai 2001 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique n'envisage pas expressément de distance d'éloignement entre les éoliennes et les ouvrages électriques. Cependant, l'implantation des éoliennes devra tenir compte de la présence de cette ligne électrique.

- **CANALISATIONS DE TRANSPORT (gaz combustibles, hydrocarbures liquides ou liquéfiés et produits chimiques)**

Selon les données fournies par la société FINAGAZ et la mairie, le projet éolien n'est pas concerné ni par la présence de canalisations ni de gaz d'hydrocarbures

- **RESEAUX D'ASSAINISSEMENT (stations d'épuration) & D'ALIMENTATION EN EAU POTABLE (captages AEP, zone de protection des captages)**

Selon les données fournies par le site internet www.reseaux-et-canalisation.ineris.fr et la mairie, les canalisations exploitées pour l'assainissement ne sont pas concernées par le projet éolien de Bougainville. Par ailleurs il n'y a pas de canalisations exploitées pour l'alimentation en eau potable sur la zone d'étude.

3.3.3. Autres ouvrages publics

Aucun autre ouvrage public (barrage, digue, château d'eau, bassin de rétention,...) n'est présent dans la zone d'étude.

3.4. CARTOGRAPHIE DE SYNTHÈSE

La détermination du nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) présentes dans chacune des zones d'effet est effectuée à l'aide de la méthode présentée en annexe 1.A du guide. Cette méthode se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers. Cette fiche permet de compter aussi simplement que possible, selon des règles forfaitaires, le nombre de personnes exposées.

Cf. Annexe 1 : Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne

Dans chacune des zones d'effet des phénomènes dangereux identifiés, les enjeux humains présents dans les ensembles homogènes (terrains non bâtis, voies de circulation, zones habitées, ERP, zones industrielles, commerces...) situés dans l'aire d'étude de l'éolienne considérée sont comptabilisés.

3.4.1. Hypothèses de travail

En fonction de l'environnement existant dans la zone d'étude, plusieurs hypothèses sont prises suivant l'annexe 1.A.

Comme vu précédemment, la zone d'étude est composée de :

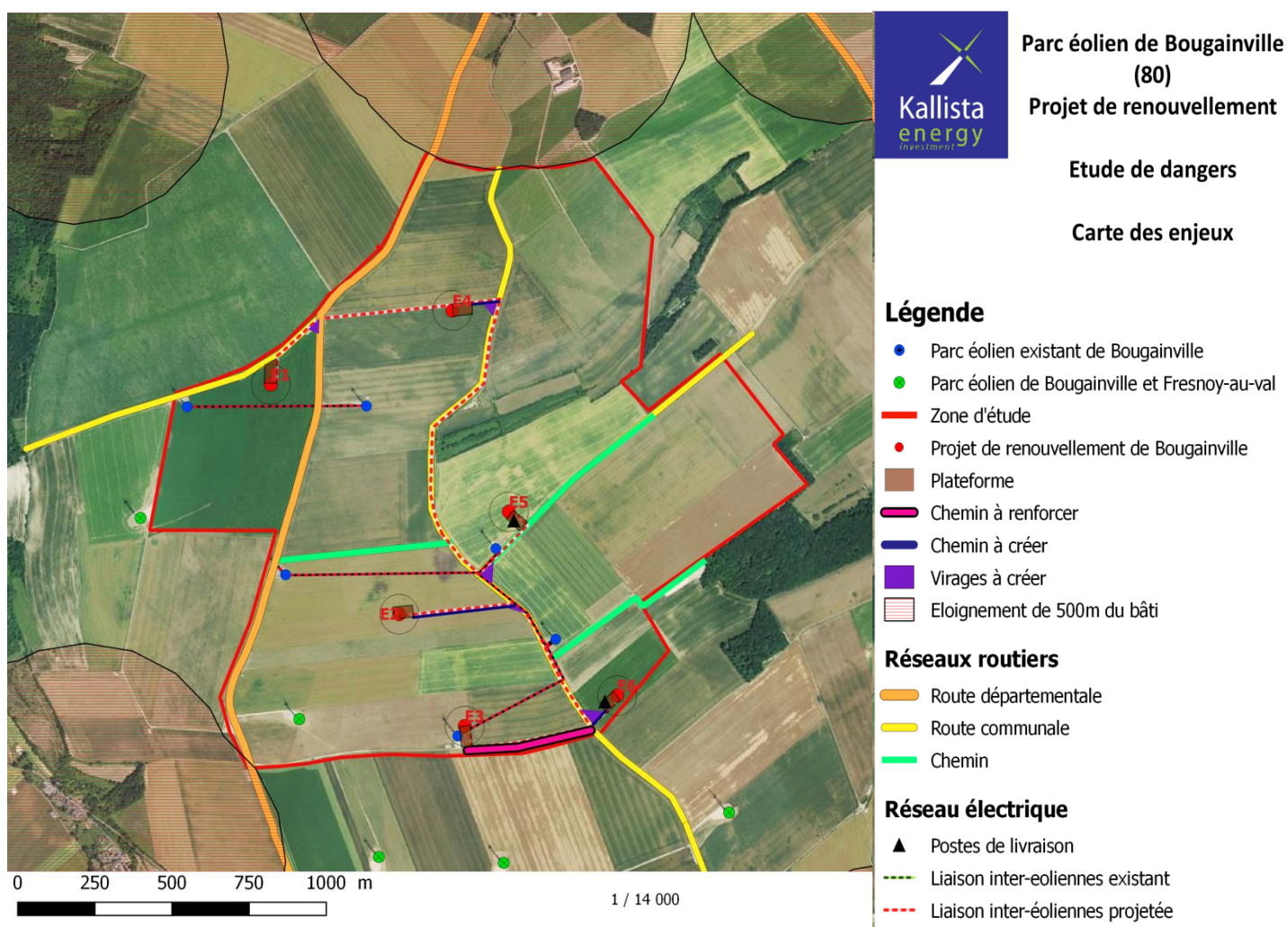
- 6 éoliennes. Les aménagements et installations liées aux aérogénérateurs sont susceptibles d'accueillir les opérateurs et techniciens, qui travaillent en général par 2. La faible fréquentation liée au site nous amène à considérer la zone comme terrain aménagé mais peu fréquenté.
- en majeure partie de champs et forêts qui sont classés en terrains non aménagés et très peu fréquentés et où l'on considère 1 personne présente par tranche de 100 ha. Au sein de ces espaces, il existe des voies de circulation non structurantes ainsi que des chemins agricoles, qui sont considérés comme terrains aménagés mais peu fréquentés où l'on considère 1 personne pour 10 ha.

Pour simplifier l'analyse, les différents éléments ne sont pas différenciés et tous sont classés en terrains aménagés mais peu fréquentés, où l'on comptabilisera **1 personne par tranche de 10 ha**.

- Une portion de la route départementale D141 est considérée comme voie non structurante car la circulation est inférieure à 500 véhicules par jour comme cité au dessus. Elle est donc classée comme terrain aménagé mais peu fréquenté.

Toutes les hypothèses sont majorantes vis-à-vis du comptage du nombre de personnes permanentes.

Les différents enjeux identifiés précédemment apparaissent sur la carte des enjeux suivante :



Carte 5 : Carte des enjeux

CHAPITRE 4. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

Ce chapitre a pour objectif de caractériser l'installation envisagée ainsi que son organisation et son fonctionnement, afin de permettre d'identifier les principaux potentiels de danger qu'elle représente (5), au regard notamment de la sensibilité de l'environnement décrit précédemment.



4.1 CARACTÉRISTIQUES DE L'INSTALLATION

4.1.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien

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

- Plusieurs éoliennes fixées sur une fondation adaptée, accompagnée d'une aire stabilisée appelée « plateforme » ou « aire de grutage »
- Un réseau de câbles électriques enterrés permettant d'évacuer l'électricité produite par chaque éolienne vers le ou les poste(s) de livraison électrique (appelé « réseau inter-éolien »)
- Un ou plusieurs poste(s) de livraison électrique, concentrant l'électricité des éoliennes et organisant son évacuation vers le réseau public d'électricité au travers du poste source local (point d'injection de l'électricité sur le réseau public)
- Un réseau de câbles enterrés permettant d'évacuer l'électricité regroupée au(x) poste(s) de livraison vers le poste source (appelé « réseau externe » et appartenant le plus souvent au gestionnaire du réseau de distribution d'électricité)
- Un réseau de chemins d'accès
- Éventuellement des éléments annexes type mât de mesure de vent, aire d'accueil du public, aire de stationnement, etc.

■ ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UN AEROGENATEUR

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

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

- **Le rotor** qui est composé de trois pales (pour la grande majorité des éoliennes actuelles) construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu. Il se prolonge dans la nacelle pour constituer l'arbre lent.
- **Le mât** est généralement composé de 3 à 4 tronçons en acier ou 15 à 20 anneaux de béton surmonté d'un ou plusieurs tronçons en acier. Dans la plupart des éoliennes, il abrite le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique.
- **La nacelle** abrite plusieurs éléments fonctionnels :
 - le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique
 - le multiplicateur (certaines technologies n'en utilisent pas)
 - le système de freinage mécanique
 - le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent pour une production optimale d'énergie
 - les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette)
 - le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique

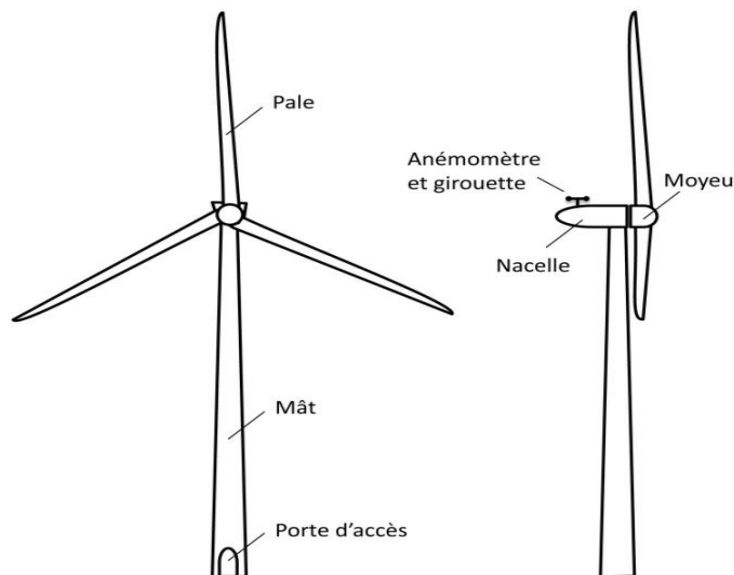


Figure 1 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

■ EMPRISE AU SOL

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

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

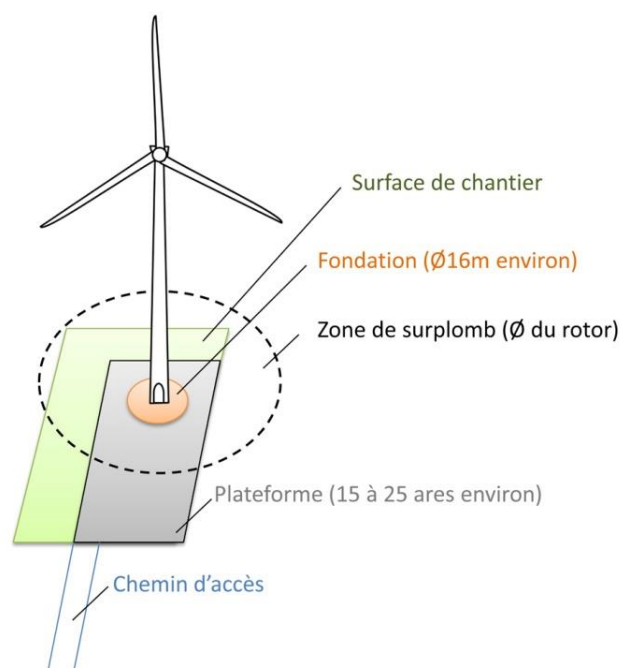


Figure 2 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne

■ CHEMINS D'ACCES

Pour accéder à chaque aérogénérateur, des pistes d'accès sont aménagées pour permettre aux véhicules d'accéder aux éoliennes aussi bien pour les opérations de constructions du parc éolien que pour les opérations de maintenance liées à l'exploitation du parc éolien. L'aménagement de ces accès concerne principalement les chemins agricoles existants ; si nécessaire, de nouveaux chemins sont créés sur les parcelles agricoles.

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

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

4.1.2 Activité de l'installation

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

4.1.3 Composition de l'installation

Le modèle d'éolienne pour le projet n'est pas défini, mais les deux modèles envisagés sont de gabarit et de design similaires. Il s'agit de l'éolienne E126 3 MW, ou de l'éolienne V126 3,45 MW dont les caractéristiques respectives sont les suivantes :

Modèle éolienne	Enercon E126	Vestas V126
Puissance	3 MW	3.6 MW
Hauteur du moyeu	86 m	87 m
Hauteur totale en bout de pale	149.5 m	150 m
Largeur à la base du mât	4.6 m	3.9 m
Longueur de pale	63,5 m	61.66 m
Corde de la pale	4.023m	4.0m
Diamètre de rotor	127 m	126 m
Diamètre de la zone de survol	NC	118.6m

Tableau 2 : Caractéristiques du modèle d'éolienne retenu

Le choix final des aérogénérateurs dépendra de la négociation avec les fabricants et des résultats de l'étude fine du productible.

Afin de ne pas risquer de sous-évaluer les dangers de l'installation, il a été décidé de définir un gabarit théorique dont les paramètres ont été choisis parmi les plus grandes valeurs de l'ensemble des modèles éligibles pour le projet. Les dimensions maximalistes du gabarit théorique permettent d'analyser les risques de manière majorante.

Cette méthode conduit à ne pas retrouver exactement les dimensions finales de l'un ou l'autre des modèles, notamment pour la hauteur en bout de pale.

Le gabarit maximaliste retenu pour cette étude est :

Caractéristique	Dimension retenue
Puissance	3.6 MW
Hauteur du moyeu	87 m
Hauteur totale en bout de pale	150 m
Largeur à la base du mât	6,8 m
Longueur de pale	63.5 m
Corde de la pale	4,0m
Diamètre de rotor	127 m
Diamètre de la zone de survol	118,6 m

Tableau 3 : Gabarit maximaliste retenu

Il est important de noter la différence entre la longueur d'une pale, le diamètre du rotor et le diamètre de la zone de survol. En effet, chaque pale a une longueur donnée mais une fois les trois assemblées sur le moyeu, qui a lui aussi une certaine envergure, le diamètre du disque formé par l'ensemble du rotor n'est pas égal à deux fois la longueur de pale, il est légèrement plus grand.

De même, lorsque l'éolienne est vue du dessus, le centre du moyeu n'est pas à la même position que le centre du mât, ce qui crée un décalage et donc un diamètre de survol plus important que le diamètre du rotor, comme le montre la figure suivante :

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs et du (des) poste(s) de livraison dans le système de coordonnées Lambert 93 :

Éolienne/PDL	Longitude (X)	Latitude (Y)	Altitude en mètres NGF
1	630172.228	6973411.692	123.05
2	630570.571	6972684.893	122.81
3	630801.711	6972323.584	127.23
4	630761.903	6973651.807	121.78
5	630950.805	6972998.311	120.85
6	631296.534	6972420.463	123.64
PDL 1	630960.539	6972973.032	121.30
PDL 2	631252.525	6972399.785	124.15

Tableau 3 : Coordonnées des éoliennes et du poste de livraison



Parc éolien de Bougainville
(80)

Projet de renouvellement

Etude de dangers

Plan de l'installation

Légende

- Zone d'étude
- Eolienne
- Plateforme
- ▲ Postes de livraison
- Liaison inter-éoliennes projetée
- Chemin à renforcer
- Chemin à créer
- ▲ Virages à créer



Echelle : 1/12000

Carte 6: Plan détaillé de l'installation

4.2 FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

4.2.1 Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur

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

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

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

Pour un aérogénérateur de 2,5 MW par exemple, la production électrique atteint 2 500 kWh dès que le vent atteint environ 50 km/h. L'électricité produite par la génératrice correspond à un courant alternatif de fréquence 50 Hz avec une tension de 400 à 690 V. La tension est ensuite élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur placé dans chaque éolienne pour être ensuite injectée dans le réseau électrique public.

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

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

Élément de l'installation	Fonction	Caractéristiques
Fondation	Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol	Composée de béton armé Environ 3,3 m de profondeur pour un diamètre de 20,5 m Système constitué de tiges d'ancrage
Mât	Supporter la nacelle et le rotor	Composé de 4 segments, en acier, pour une hauteur de 87 m Tension des câbles présents dans la tour : 690 V
Nacelle	Supporter le rotor Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice, etc.) ainsi que	Structure métallique habillée de panneaux en fibre de verre et équipée de fenêtres de toit permettant d'accéder à l'extérieur Située au sommet du mât, elle abrite les composants mécaniques, hydrauliques,

Élément de l'installation	Fonction	Caractéristiques
	les dispositifs de contrôle et de sécurité	électriques et électroniques nécessaires au fonctionnement de l'éolienne. Tension statorique : 650 à 710 V
Rotor / pales	Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice	Le rotor est composé de trois pales fixées au moyeu En fonction de la vitesse du vent, les trois pales pivotent jusqu'à 90° pour optimiser le fonctionnement de l'éolienne Tension rotorique : 690 V
Transformateur	Elever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau	Situé en pied de mât Le courant en sortie de génératrice est élevé à 20 000 V pour correspondre au réseau
Poste de livraison	Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public	Comprenant : 1 local équipement et protection 20 000 V 1 local basse tension (supervision, téléphonie) Tension des équipements : 20 000 V et 230 V (auxiliaires)
Plateformes et chemin d'accès	Permettent l'accès à l'éolienne et le positionnement des grues nécessaires au levage et à la maintenance	Empierrement stabilisé pour supporter le poids des grues Largeur du chemin : 5,5 m
Câbles souterrains	Acheminer l'électricité depuis les éoliennes jusqu'au le poste de livraison	Câbles enterrés entre 80 et 120 cm de profondeur Présence d'un grillage avertisseur Réseau borné et repéré Tension des câbles : 20 000 V

Tableau 4 : Découpage fonctionnel de l'installation

4.2.2 Sécurité de l'installation

4.2.2.1 Prescriptions relatives à l'arrêté du 26 août 2011

■ IMPLANTATIONS

L'implantation des éoliennes respecte les prescriptions requises par les articles 3 à 5 de l'arrêté.

Les éoliennes sont situées :

- à plus de 500 m de toute construction à usage d'habitation, de tout immeuble habité ou de toute zone destinée à l'habitation telle que définie dans les documents d'urbanisme opposables en vigueur
- à plus de 300 m d'une installation nucléaire de base visée par l'article 28 de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire ou d'une ICPE soumise à l'arrêté du 10 mai 2000 susvisé en raison de la présence de produits toxiques, explosifs, comburants et inflammables
- de façon à ne pas perturber de manière significative le fonctionnement des radars et des aides à la navigation utilisés dans le cadre des missions de sécurité de la navigation aérienne et de sécurité météorologique des personnes et des biens (cf. Dossier _Etude d'impacts)
- à plus de 250 m de bâtiments à usage de bureaux

Le modèle d'éolienne retenu respecte l'article 6 de l'arrêté du 26 août 2011 : au regard de la localisation des éoliennes et de leurs caractéristiques, les habitations ne seront pas exposées à un champ magnétique émis par les éoliennes supérieur à 100 µT à 50-60 Hz.

■ DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

Les chemins d'accès aux éoliennes et les plateformes sont maintenus et entretenus par l'exploitant selon les termes de l'article 7 de l'arrêté du 26 août 2011.

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

Le modèle d'éolienne choisi respecte les articles 8 à 11 de l'arrêté du 26 août 2011 :

- Les éoliennes seront conformes aux dispositions de la norme NF EN 61 400-1 dans sa version de juin 2006 ou IEC 61 400-1 dans sa version de 2005 ou toute norme équivalente en vigueur dans l'Union Européenne, à l'exception des dispositions contraires aux prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011. Cette norme, intitulée « exigence de conception », spécifie les exigences de conception essentielles pour assurer l'intégrité technique des éoliennes. Elle a pour objet de fournir un niveau de protection approprié contre les dommages causés par tous les risques pendant la durée de vie prévue.

Elle concerne tous les sous-systèmes des éoliennes tels que les mécanismes de commande et de protection, les systèmes électriques internes, les systèmes mécaniques et les structures de soutien et spécifie les exigences de conception essentielles pour assurer l'intégrité technique des éoliennes.

L'exploitant tiendra à disposition de l'inspection des installations classées les rapports des organismes compétents attestant de la conformité des éoliennes à la norme précitée.

En outre, l'exploitant tiendra à disposition de l'inspection des installations classées les justificatifs démontrant que chaque éolienne de l'installation est conforme aux dispositions de l'article R. 111-38 du Code de la construction et de l'habitation.

- Les éoliennes seront conformes à la norme IEC61400-22 / NF EN 61400-22 Avril 2011 intitulée « essais de conformité et certification ». Elle définit les règles et procédures d'un système de certification des éoliennes comprenant la certification de type et la certification des projets d'éoliennes installées sur terre ou en mer. Ce système spécifie les règles relatives aux procédures et à la gestion de mise en œuvre de l'évaluation de la conformité d'une éolienne et des parcs éoliens, avec les normes spécifiques et autres exigences techniques en matière de sécurité, de fiabilité, de performances, d'essais et d'interaction avec les réseaux électriques.

- Les éoliennes respecteront la norme IEC/TS 61400-23 Avril 2001 intitulée « essais en vraie grandeur des structures des pales » relative aux essais mécaniques et essais de fatigue.

D'autres normes de sécurité sont applicables, notamment :

- La génératrice sera construite suivant le standard IEC60034 et les équipements mécaniques répondent aux règles fixées par la norme ISO81400-4.

- L'installation sera mise à la terre. Les éoliennes respecteront les dispositions de la norme IEC 61 400-24 (version de juin 2010). L'exploitant tiendra à disposition de l'inspection des installations classées les rapports des organismes compétents attestant de la conformité des éoliennes à la norme précitée.
- Les installations électriques à l'intérieur de l'éolienne respecteront les dispositions de la directive du 17 mai 2006 susvisée qui leur sont applicables. Les installations électriques extérieures à l'éolienne seront conformes aux normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NFC 13-100 (version de 2001) et NFC 13-200 (version de 2009).
- La Directive 2004/108/EC du 15 décembre 2004 relative aux réglementations qui concernent les ondes électromagnétiques sera respectée.
- Le traitement anticorrosion des éoliennes répond à la norme ISO 9223.
- Le balisage de l'installation sera conforme aux dispositions prises en application des articles L. 6351-6 et L. 6352-1 du Code des transports et des articles R. 243-1 et R. 244-1 du Code de l'aviation civile.

■ EXPLOITATION

Après la mise en service, l'exploitant prendra soin de respecter les articles 13 et 14 de l'arrêté du 26 août 2011 relatifs à la sécurité pendant la phase d'exploitation :

- Les personnes étrangères à l'installation n'auront pas d'accès libre à l'intérieur des éoliennes. Les accès à l'intérieur de chaque éolienne, du poste de livraison seront maintenus fermés à clef afin d'empêcher les personnes non autorisées d'accéder aux équipements.
- Les prescriptions à observer par les tiers seront affichées soit en caractères lisibles, soit au moyen de pictogrammes sur un panneau sur le chemin d'accès de chaque éolienne, sur le poste de livraison. Elles concernent notamment :
 - les consignes de sécurité à suivre en cas de situation anormale ;
 - l'interdiction de pénétrer dans l'éolienne ;
 - la mise en garde face aux risques d'électrocution ;
 - la mise en garde face au risque de chute de glace.

■ LIMITATION DES RISQUES

Afin d'appréhender au mieux les risques et de limiter leurs effets au maximum, l'exploitant respectera les articles 22 à 25 de l'arrêté du 26 août 2011 :

- Des consignes de sécurité seront établies et portées à la connaissance du personnel en charge de l'exploitation et de la maintenance. Ces consignes indiqueront :
 - les procédures d'arrêt d'urgence et de mise en sécurité de l'installation ;
 - les limites de sécurité de fonctionnement et d'arrêt ;
 - les précautions à prendre avec l'emploi et le stockage de produits incompatibles ;
 - les procédures d'alertes avec les numéros de téléphone du responsable d'intervention de l'établissement, des services d'incendie et de secours.

Les consignes de sécurité indiqueront également les mesures à mettre en œuvre afin de maintenir les installations en sécurité dans les situations suivantes : survitesse, conditions de gel, orages, tremblements de

terre, défaillance des freins, balourd du rotor, fixations détendues, défauts de lubrification, tempêtes de sable, incendie ou inondation.

- Chaque éolienne sera dotée d'un système de détection qui permettra d'alerter, à tout moment, l'exploitant ou un opérateur qu'il aura désigné, en cas d'incendie ou d'entrée en survitesse de l'éolienne. L'exploitant ou un opérateur qu'il aura désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de quinze minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'éolienne. L'exploitant dressera la liste de ces détecteurs avec leur fonctionnalité et déterminera les opérations d'entretien destinées à maintenir leur efficacité dans le temps.
- Chaque éolienne sera dotée de moyens de lutte contre l'incendie appropriés aux risques et conformes aux normes en vigueur, notamment :
 - d'un système d'alarme qui pourra être couplé avec le dispositif mentionné précédemment et qui informera l'exploitant à tout moment d'un fonctionnement anormal. Ce dernier sera en mesure de mettre en œuvre les procédures d'arrêt d'urgence mentionnées ci-dessus dans un délai de soixante minutes.
 - d'au moins deux extincteurs situés à l'intérieur de l'éolienne, au sommet et au pied de celui-ci. Ils seront positionnés de façons bien visibles et facilement accessibles. Les agents d'extinction seront appropriés aux risques à combattre.
- Chaque éolienne sera équipée d'un système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales. En cas de formation importante de glace, l'éolienne sera mise à l'arrêt dans un délai maximal de soixante minutes. L'exploitant définira une procédure de redémarrage de l'éolienne en cas d'arrêt automatique lié à la présence de glace sur les pales. Lorsqu'un référentiel technique permettant de déterminer l'importance de glace formée nécessitant l'arrêt de l'éolienne sera reconnu par le ministre des installations classées, l'exploitant respectera les règles prévues par ce référentiel.

■ ORGANISATION DES MOYENS DE SECOURS

En cas d'alarme sur une éolienne, une information est envoyée au centre de supervision qui peut contacter les secours.

L'exploitant déterminera un plan d'intervention en accord avec les services départementaux de secours au moment où le projet sera bien avancé et que les autorisations administratives seront obtenues.

Régulièrement, l'exploitant organisera avec les services de secours des exercices communs sur le parc éolien afin de coordonner les actions et les rendre le plus efficace possible.

4.2.3 Opérations de maintenance de l'installation

La maintenance (curative et préventive) des éoliennes sera réalisée par le constructeur des machines. En effet, pour l'ensemble de ses parcs éoliens, Kallista Energy souhaite toujours confier ces opérations au constructeur dont les équipes sont les plus à même de connaître les spécificités de leurs éoliennes et de réaliser une maintenance des plus efficaces.

L'exploitant mettra en place une maintenance prédictive et préventive des éoliennes. Celle-ci porte essentiellement sur l'analyse des huiles, l'analyse vibratoire des machines et l'analyse électrique des éoliennes.

La maintenance préventive des éoliennes a pour but de réduire les coûts d'interventions et d'immobilisation des éoliennes. En effet, grâce à la maintenance préventive, les arrêts de maintenance sont programmés et optimisés afin d'intervenir sur les pièces d'usure avant que ne survienne une panne. Les arrêts de production d'électricité sont donc anticipés pour réduire leur durée et leurs coûts.

Une première inspection est prévue au bout de 3 mois de fonctionnement du parc, une liste des tâches de maintenance à effectuer est présentée dans le tableau ci-après.

	Composants	Opérations
Inspection après 3 mois de fonctionnement	État général	Vérification de la propreté de l'intérieur de l'éolienne Vérification qu'aucun matériau combustible ou inflammable n'est entreposé dans l'éolienne
	Moyeu	Inspection visuelle du moyeu Vérification des boulons entre le moyeu et les supports de pale* Vérification des boulons maintenant la coque du moyeu
	Pales	Vérification des roulements et du jeu Inspection visuelle des pales, de l'extérieur et de l'intérieur Vérification des boulons de chaque pale* Vérification des bandes paratonnerres
	Système de transfert de courant foudre Moyeu / nacelle	Vérification des boulons et de l'absence d'impacts de foudre.
	Arbre principal	Vérification des boulons fixant l'arbre principal et le moyeu* Inspection visuelle des joints d'étanchéité Vérification des dommages au niveau des boulons de blocage du rotor
	Système d'orientation de la nacelle (Yaw system)	Vérification des boulons fixant le haut du palier d'orientation et la tour* Vérification du système de lubrification
	Tour	Vérification de l'état du béton à l'intérieur et à l'extérieur de la tour Vérification des boulons entre la partie fondation et la tour, entre les sections de la tour et sur l'échelle* Vérification des brides et des cordons de soudure Vérification des plateformes Vérification du câble principal
	Bras de couple	Vérification boulons
	Système d'inclinaison des pales	Vérification des boulons du cylindre principal et du bras de manivelle Vérification des boulons de l'arbre terminal et des roulements
	Multiplicateur	Vérification du niveau d'huile Vérification du niveau sonore lors du fonctionnement du multiplicateur Vérification des joints, de l'absence de fuite, etc...
	Générateur	Vérification des câbles électriques dans le générateur Vérification des boulons
	Système de refroidissement par eau	Vérification du fonctionnement des pompes à eau Vérifications des tubes et des tuyaux

	Composants	Opérations
	Système hydraulique	Vérification d'absence de fuites dans la nacelle, l'arbre principal et le moyeu
	Onduleur	vérification du fonctionnement de l'onduleur.
	Nacelle	Vérification boulons Vérification d'absence de fissures autour des raccords Vérification des points d'ancrage et des fissures autour de ceux-ci
	Extérieur	Vérification de la protection de surface Nettoyage des têtes de boulons et d'écrous, des raccords, etc.
	Transformateur	Inspection du transformateur
	Sécurité générale	Inspection des câbles électriques Vérification du système antichute Test du système de freinage Test du capteur de vibrations Test des boutons d'arrêt d'urgence**

Tableau 5 : Description des opérations de maintenance après 3 mois

* Ces vérifications sont effectuées au bout de trois mois, puis d'un an de fonctionnement, puis tous les trois ans, conformément à l'arrêté du 26 août 2011.

** Ces tests sont ensuite effectués tous les ans, conformément à l'arrêté du 26 août 2011.

Ces opérations de maintenance courante seront répétées régulièrement selon le calendrier de maintenance. Les principales opérations de maintenance supplémentaires sont présentées ci-après.

	Composants	Opérations	6 mois	1 an
Inspections après 6 mois et 1 an	Moyeu	Vérification de l'état de la fibre de verre Vérification des boulons Vérification des blocs parafoudre		x x x
	Pales	Vérification des tubes de graissage et du bloc de distribution de graisse Vérification du système de lubrification Remplacement des bidons collecteurs de graisse usagée Vérification des bandes anti-foudre		x x x x
	Arbre principal	Vérification du niveau sonore et vibratoire Vérification, lubrification des roulements principaux tous les 5 ans Lubrification des boulons de blocage du rotor	x x x	x x x
	Générateur	Vérification du bruit des roulements Lubrification des roulements	x x	x x
	Système d'inclinaison des pales	Vérification du bon fonctionnement du système d'inclinaison des pales Vérification des boulons tous les 3 ans Vérification des pistons des vérins hydrauliques		x x x

	Composants	Opérations	6 mois	1 an
	Bras de couple	Vérification des boulons entre le bras de couple et le bâti tous les 4 ans		
	Multiplicateur	Vérification de l'absence de débris métalliques	x	x
		Vérification et remplacement (si nécessaire) des filtres à air	x	
		Remplacement des filtres à air		x
		Inspection du multiplicateur	x	x
		Changement de l'huile	x	x
		Extraction d'un échantillon d'huile pour analyse	x	x
	Remplacement des tuyaux tous les 7 ans			
	Système de refroidissement par eau	Remplacement du liquide de refroidissement tous les 5 ans		
	Système hydraulique	Changement d'huile selon les rapports d'analyse tous les 4 ans		
		Remplacement des filtres (tous les ans, tous les 2 ans ou tous les 4 ans, selon le filtre)		
		Remplacement des filtres (tous les ans, tous les 2 ans ou tous les 4 ans, selon le filtre)		
		Vérification de la pression dans le système de freinage		x
		Extraction d'un échantillon d'huile pour analyse		x
	Onduleur	Vérification du bon fonctionnement de l'onduleur		x
		Remplacement des différents filtres des ventilateurs		x
		Remplacement des différents ventilateurs tous les 5 ans		
		Remplacement de la batterie tous les 5 ans		
	Capteur de vent	Inspection visuelle du capteur de vitesse de vent		x
	Système de détection d'arc électrique	Test du capteur de détection d'arc électrique du jeu de barres et dans la salle du transformateur		x
	Tour	Vérification des filtres de ventilation		x
		Maintenance de l'élèveur de personnes		x
	Armoire de contrôle en pied de tour	Test des batteries des processeurs et remplacement si nécessaire	x	
		Remplacement des batteries de secours tous les 5 ans		x
		Remplacement des filtres à air		
	Sécurité générale	Test d'arrêt en cas de survitesse		x
		Vérification des équipements de sécurité	x	x
		Vérification de la date d'inspection des extincteurs		x
		Inspection du système de freinage		x

Tableau 6 : Description des opérations de maintenance régulières

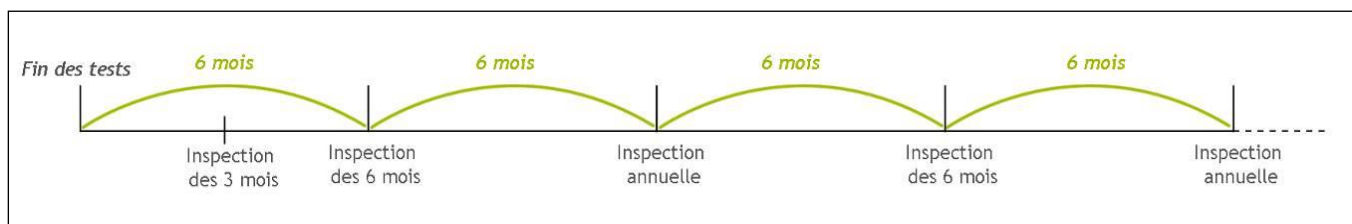


Figure 3 : Calendrier de maintenance

Les maintenances sont catégorisées sur quatre niveaux selon leur périodicité :

- Type 1 (T1) : vérification après 500 à 1500 heures de fonctionnement (contrôle visuel du mât, des fixations fondation/tour, tour/nacelle, rotor...et test du système de déclenchement de la mise en sécurité de l'éolienne).
- Type 2 (T2) : maintenance intermédiaire semestrielle (partielle T3).
- Type 3 (T3) : vérification annuelle des matériaux (soudures, corrosions), des équipements mécaniques et hydrauliques, de l'électrotechnique et des éléments de raccordement électrique.
- Type 4 (T4) : vérification quinquennale de forte ampleur pouvant inclure le remplacement de pièces.

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

Enfin, **une maintenance curative** pour l'éolienne est prévue dès lors qu'un défaut a été identifié lors d'une analyse ou dès qu'un incident (comme le foudroiement) a endommagé l'éolienne. Les techniciens de maintenance éolienne se chargent alors de réparer et de remettre en fonctionnement les machines lors des pannes et assurent les reconnections aux réseaux.

Ainsi l'installation est conforme aux prescriptions de l'arrêté ministériel relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées en matière d'exploitation.

4.2.4 Stockage et flux de produits dangereux

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

4.3 FONCTIONNEMENT DES RÉSEAUX DE L'INSTALLATION

4.3.1 Raccordement électrique

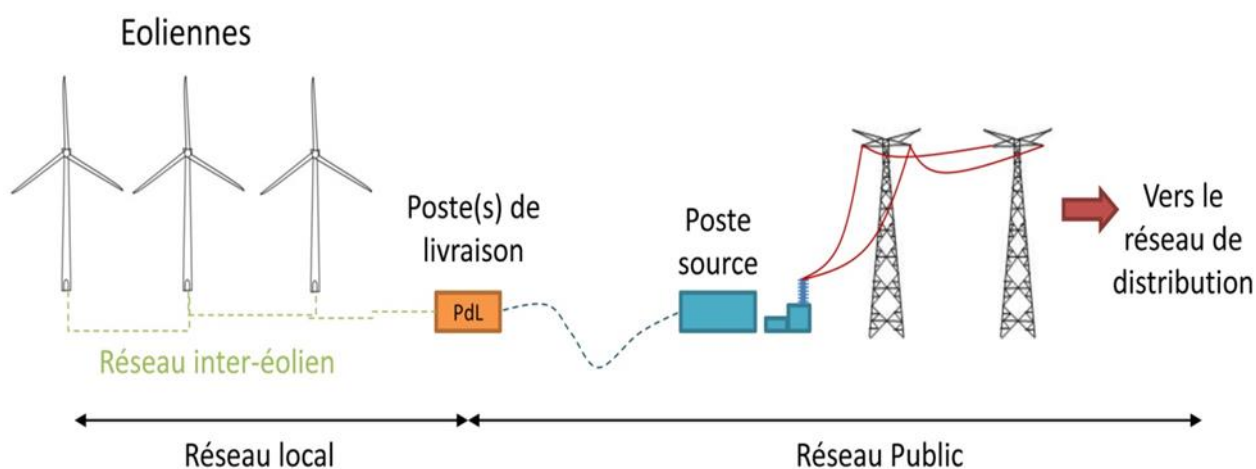


Figure 4 : Raccordement électrique des installations

■ RESEAU INTER-EOLIEN

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

■ POSTE DE LIVRAISON

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

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

■ RESEAU ELECTRIQUE EXTERNE

Le réseau électrique externe relie le ou les postes de livraison avec le poste source (réseau public de transport d'électricité). Ce réseau est réalisé par le gestionnaire du réseau de distribution (généralement ERDF-Électricité Réseau Distribution France) ; il est entièrement enterré.

4.3.2 Autres réseaux

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

5 IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION

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

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



5.1 POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX PRODUITS

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

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

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

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

5.2 POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien de Bougainville sont de cinq types :

- Chute d'éléments de l'aérogénérateur (boulons, morceaux d'équipements, etc.)
- Projection d'éléments (morceau de pale, brides de fixation, etc.)
- Effondrement de tout ou partie de l'aérogénérateur
- Échauffement de pièces mécaniques
- Court-circuit électriques (aérogénérateur ou poste de livraison)

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant :

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

Installation ou système	Fonction	Phénomène redouté	Danger potentiel
	mécanique		
Nacelle	Protection des équipements destinés à la production électrique	Chute de nacelle	Énergie cinétique de Chute

Tableau 7 : Dangers potentiels d'une éolienne

5.3 RÉDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS À LA SOURCE

5.3.1 Principales actions préventives

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

- Les conditions de vent sont connues grâce aux données du parc en exploitation depuis près de dix ans. Le modèle de machines choisi est adapté à ces conditions.
- Lors de la démarche de conception du projet, le porteur du projet a étudié plusieurs scénarii d'implantation afin de déterminer celui qui minimise les impacts vis-à-vis des intérêts mentionnés par l'article L. 511-1 du Code de l'environnement.

Dans le cadre de l'étude d'impacts, le choix de la localisation des éoliennes a fait l'objet d'études spécifiques en fonction des contraintes suivantes :

- o L'analyse paysagère ;
- o L'analyse de l'environnement naturel ;
- o L'analyse de l'environnement humain ;
- o Les contraintes techniques ;
- o La disponibilité foncière ;
- o Les volontés politiques locales.
- Le respect des prescriptions générales de l'arrêté du 26 août 2011 impose au projet :
 - o Un éloignement des éoliennes de 500 m des habitations,
 - o Un choix d'éoliennes respectant des normes de sécurité et disposant d'équipements de prévention des risques,
 - o La réalisation obligatoire d'un contrôle technique des ouvrages.
- Le projet prévoit un éloignement des éoliennes des routes structurantes du département.
- Le projet bénéficie de l'expérience de Kallista Energy dans le développement de projet éolien.
- Lors de l'exploitation, les principaux potentiels de dangers liés aux produits utilisés pour la maintenance et à l'installation en elle-même (éoliennes et réseaux électriques) sont réduits au maximum à la source :
 - o Produits :

- Aucun stockage dans l'éolienne ou dans le poste de livraison,
- Apport de la quantité nécessaire et suffisante uniquement,
- Personnel formé aux risques présentés par les produits utilisés,
- Consignes de sécurité strictes, affichées et connues des employés (interdiction de fumer ou d'apporter une flamme nue, arrêt de l'éolienne lors des opérations de maintenance, équipements de travail adaptés, présence d'équipements de lutte incendie,...),
- La maintenance annuelle prévoit un contrôle des systèmes hydrauliques (fuite, niveaux, etc.),
- La tour et la nacelle jouent le rôle de rétention en cas de fuite.

o Installation :

- Maintenance régulière,
- Contrôle des différents paramètres d'exploitation (vent, température, niveau de vibrations, puissance électrique, etc.),
- Report des messages d'alarmes au centre de conduite.

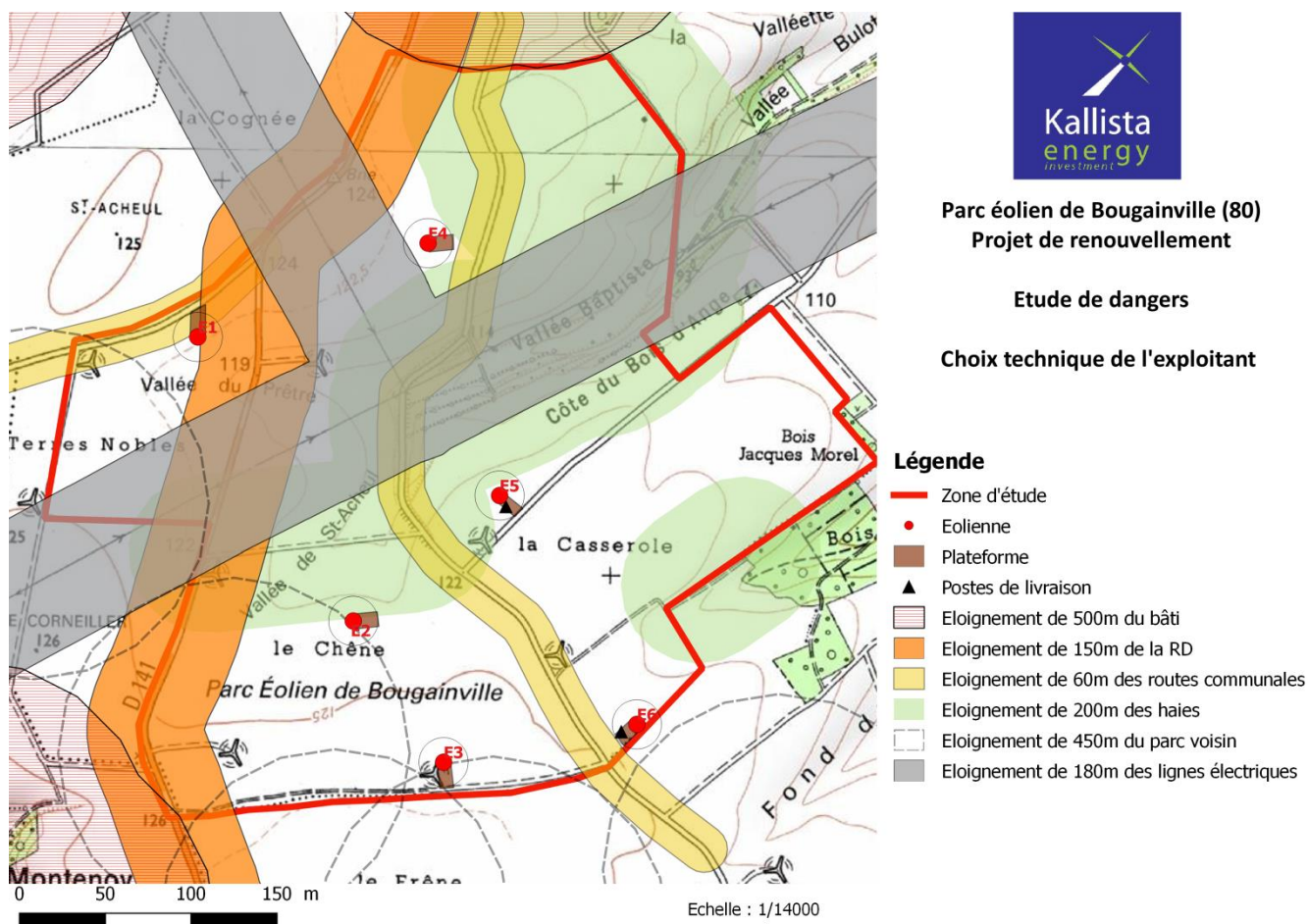
5.3.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles

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

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

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

5.3.3. Choix technique effectué par l'exploitant



Carte 7 : Choix techniques effectués par l'exploitant

6 ANALYSE DES RETOURS D'EXPÉRIENCE

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

L'analyse des retours d'expérience vise donc ici à faire émerger des typologies d'accident rencontrés tant au niveau national qu'international. Ces typologies apportent un éclairage sur les scénarios les plus rencontrés. D'autres informations sont également utilisées dans le Chapitre 8 pour l'analyse détaillée des risques.

6.1 INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS EN FRANCE

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

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

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

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

Dans l'état actuel, la base de données élaborée par le groupe de travail de SER/FEE ayant élaboré le guide technique d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis l'année 2000. L'ensemble de ces sources permet d'arriver à un inventaire aussi complet que possible des incidents survenus en France. Un total de 37 incidents a pu être recensé entre 2000 et début 2012 par le groupe de travail. Il est complété par 34 incidents supplémentaires enregistrés en France entre 2012 et août 2017.

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

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et 2015. Cette synthèse exclut les accidents du travail (maintenance, chantier de construction, etc.) et les événements qui n'ont pas conduit à des effets sur les zones autour des aérogénérateurs. L'identification des causes est nécessairement réductrice. Dans ce graphique sont présentés :

- La répartition des événements effondrement, rupture de pale, chute de pale, chute d'éléments et incendie, par rapport à la totalité des accidents observés en France. Elles sont représentées par des histogrammes de couleur foncée.
- La répartition des causes premières pour chacun des événements décrits ci-dessus. Celle-ci est donnée par rapport à la totalité des accidents observés en France. Elles sont représentées par des histogrammes de couleur claire.

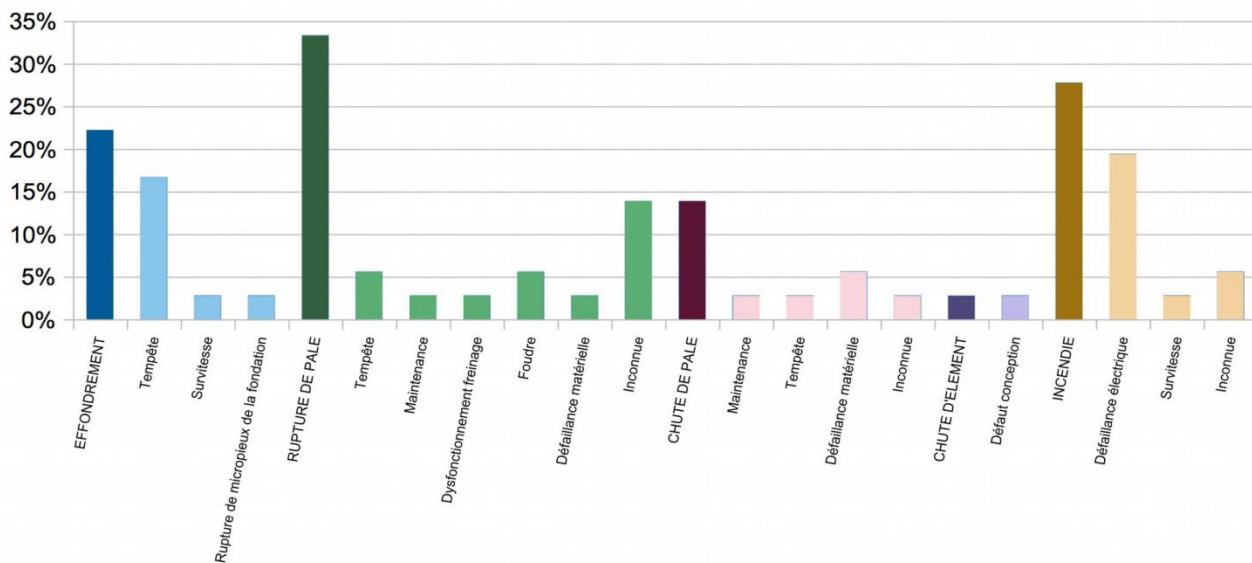


Figure 5 : Répartition des événements accidentels et leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et 2015

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

6.2 INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS À L'INTERNATIONAL

Un inventaire des incidents et accidents à l'international a également été réalisé. Il se base lui aussi sur le retour d'expérience de la filière éolienne au mois de mai 2017.

La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur les 2089 accidents décrits dans la base de données au mois de mai 2017, seuls 804 sont considérés comme des « accidents majeurs ». Les autres concernant plutôt des accidents du travail, des presque-accidents, des incidents, etc. et ne sont donc pas pris en compte dans l'analyse suivante.

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

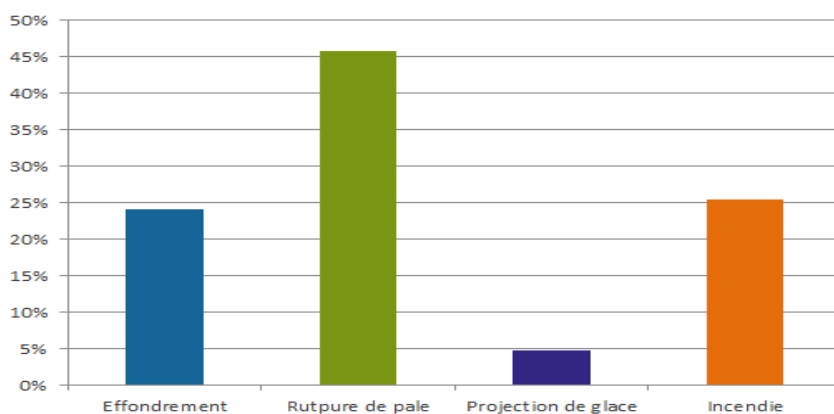


Figure 6 : Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2017

La répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2017 est du même ordre de grandeur que celle qui avait été observée entre 2000 et 2011 par le groupe de travail de SER/FEE.

Ci-après, est présenté le recensement des causes premières pour chacun des événements accidentels recensés entre 2000 et fin 2015 (données en répartition par rapport à la totalité des accidents analysés).

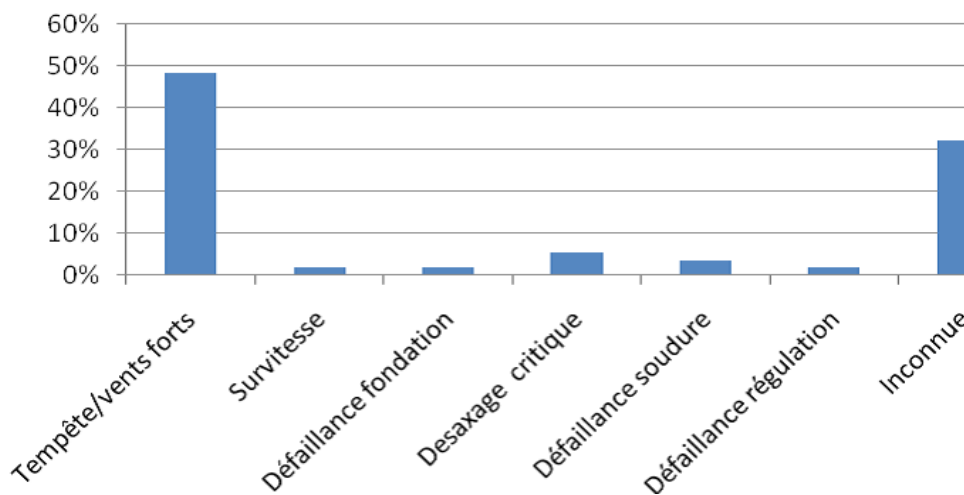


Figure 7 : Répartition des causes premières d'effondrement

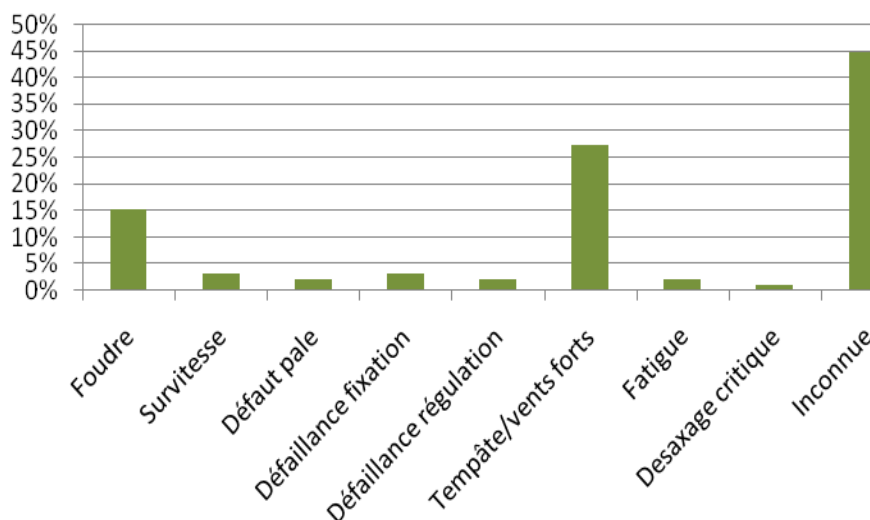


Figure 8 : Répartition des causes premières de rupture de pale

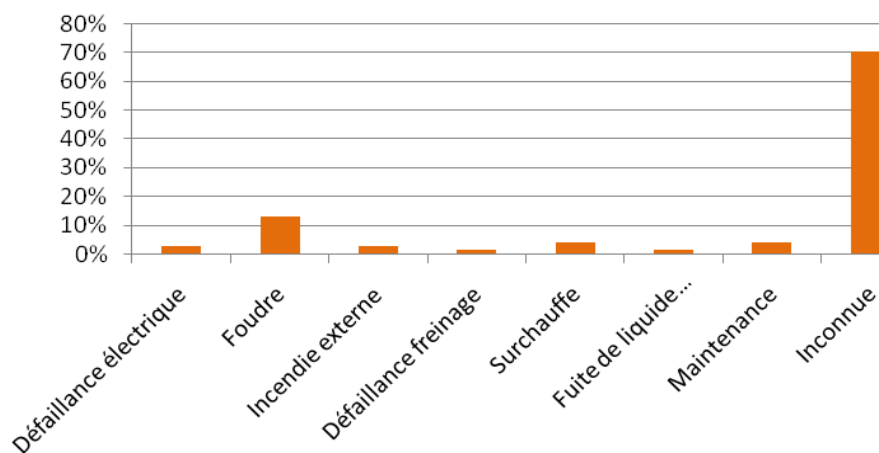


Figure 9 : Répartition des causes premières d'incendies

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

6.3 INVENTAIRE DES ACCIDENTS MAJEURS SURVENUS SUR LES SITES DE L'EXPLOITANT

En France, Kallista Energy exploite 35 parcs éoliens dont le plus vieux, démantelé aujourd'hui, avait été mis en service en 2002. Aucun accident majeur n'a été recensé depuis cette date.

6.4 SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTÉS ISSUS DU RETOUR D'EXPÉRIENCE

6.4.1 Analyse de l'évolution des accidents en France

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

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

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

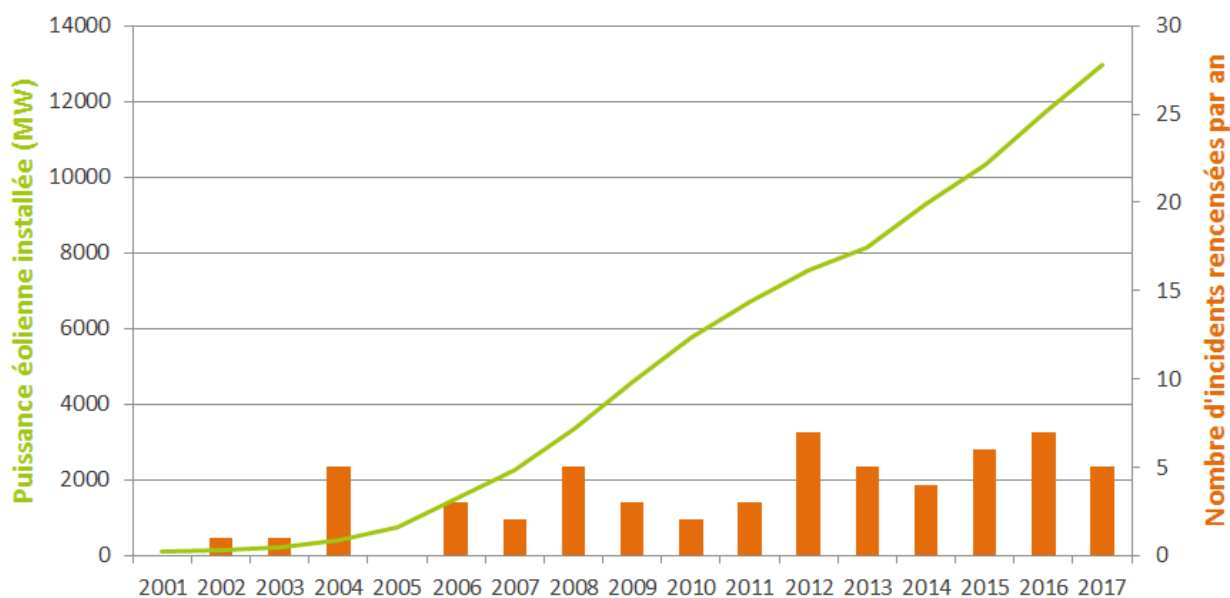


Figure 10 : Évolution du nombre d'incidents annuels en France et de la puissance éolienne installée d'après la base de données de l'ARIA

6.4.2 Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

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

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

6.4.3 Limites d'utilisation de l'accidentologie

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

- La **non-exhaustivité des événements** : ce retour d'expérience, constitué à partir de sources variées, ne provient pas d'un système de recensement organisé et systématique. Dès lors certains événements ne sont pas reportés. En particulier, les événements les moins spectaculaires peuvent être négligés : chutes d'éléments, projections et chutes de glace.
- La **non-homogénéité des aérogénérateurs** inclus dans ce retour d'expérience : les aérogénérateurs observés n'ont pas été construits aux mêmes époques et ne mettent pas en œuvre les mêmes technologies. Les informations sont très souvent manquantes pour distinguer les différents types d'aérogénérateurs (en particulier concernant le retour d'expérience mondial).
- Les **importantes incertitudes** sur les causes et sur la séquence qui a mené à un accident : de nombreuses informations sont manquantes ou incertaines sur la séquence exacte des accidents.

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

7 ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES



7.1 OBJECTIF DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

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

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

7.2 RECENSEMENT DES ÉVÉNEMENTS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES

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

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

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

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

7.3 RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES

7.3.1 Agression externes liées aux activités humaines

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

Infrastructure	Fonction	Événement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Distance par rapport au mât des éoliennes
Voies de circulation	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	58 m
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Énergie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2000 m	(>10 km)
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	231 m de la E4. Toutes les éoliennes sont hors périmètre.
Autres aérogénérateurs	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	Le parc de Bougainville et Fresnoy-au-Val est situé à proximité. Les six éoliennes du projet sont à moins de 500 m de plusieurs éoliennes en exploitation : - E2 est à 450 m d'une éolienne du parc Bougainville et Fresnoy-au-Val. - E3 est à 450 m d'une éolienne du parc de Bougainville et Fresnoy au Val.

Tableau 8 : Agressions externes liées aux activités humaines

7.3.2 Agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

Agression externe	Intensité
Vents et tempête	La zone d'étude se situe dans un secteur présentant des vents à 50 m du sol d'une vitesse de l'ordre de 6,5 à 8,5 m/s.
Foudre	Il est à retenir, d'une part que la densité de foudroiement est faible. D'autre part, les éoliennes respectent la norme IEC 61 400-24 et sont en outre équipées d'un dispositif agréé reliant les pales à la terre. Ce dispositif permet de réduire considérablement les risques d'atteinte grave de l'éolienne en cas de foudre
Glissement de sols/ affaissement miniers	Le risque de mouvement de terrain sur la zone d'étude est très faible mais ne peut être exclu. En effet, du 25 au 29 décembre 1999, on relève un arrêté de catastrophe naturelle concernant des « inondations, coulées de boue et mouvements de terrain » sur la commune

Tableau 9 : Agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

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

7.4 SCÉNARIIS ÉTUDIÉS DANS L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

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

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

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

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

Les différents scénariis listés dans le tableau générique de l'APR sont regroupés et numérotés par thématique, en fonction des typologies d'événement redoutés centraux identifiés grâce au retour d'expérience du groupe

de travail précédemment cité (« G » pour les scénarios concernant la glace, « I » pour ceux concernant l'incendie, « F » pour ceux concernant les fuites, « C » pour ceux concernant la chute d'éléments de l'éolienne, « P » pour ceux concernant les risques de projection, « E » pour ceux concernant les risques d'effondrement).

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité	Phénomène dangereux	Intensité
G01	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales, le mât et la nacelle	Chute de glace lorsque les éoliennes sont arrêtées	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace (N°2)	Impact de glace sur les enjeux	1
G02	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	Projection de glace lorsque les éoliennes sont en mouvement	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de la glace (N°1)	Impact de glace sur les enjeux	2
I01	Humidité / Gel	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les court-circuit (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I02	Dysfonctionnement électrique	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les court-circuit (N°5) Prévenir les effets de la foudre (N°6)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I03	Survitesse	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3) Prévenir la survitesse (N°4)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I04	Désaxage de la génératrice / Pièce défectueuse / Défaut de lubrification	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I05	Conditions climatiques humides	Surtension	Court-circuit	Prévenir les court-circuit (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I06	Rongeur	Surtension	Court-circuit	Prévenir les court-circuit (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I07	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité	Phénomène dangereux	Intensité
F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur Fuite transformateur	Écoulement d'huile hors de la nacelle et le long du mât, puis sur le sol avec infiltration	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Écoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
C01	Défaut de fixation	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	1
C02	Défaillance fixation anémomètre	Chute anémomètre	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
C03	Défaut fixation nacelle – pivot central - mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop importante sur les pales	Projection de tout ou partie de pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie de pale	Prévenir les effets de la foudre (N°6) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°11)	Impact sur cible	2
P03	Serrage inapproprié Erreur maintenance - desserrage	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie de pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	2
E01	Effets dominos autres installations	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute de fragments et chute de mât	2
E02	Glissement de sol	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute de fragments et chute de mât	2

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité	Phénomène dangereux	Intensité
E03	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute de fragments et chute de mât	2
E04	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Chute de fragments et chute de mât	2
E05	Vents forts	Défaillance fondation/fixation fondation mât/défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°11)	Projection/chute de fragments et chute de mât	2
E06	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute de fragments et chute de mât	2
E07	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute de fragments et chute de mât	2

Tableau 10 : Analyse générique des risques

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



7.5 EFFETS DOMINOS

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

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

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

C'est la raison pour laquelle le guide technique propose de négliger les conséquences des effets dominos dans le cadre de la présente étude.

Aucune installation ICPE n'a été identifiée à moins de 100 m des éoliennes.

7.6 MISE EN PLACE DES MESURES DE SÉCURITÉ

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

- **Fonction de sécurité** : il est proposé ci-dessous un tableau par fonction de sécurité. Cet intitulé décrit l'objectif de la ou des mesure(s) de sécurité : il s'agira principalement de « empêcher, éviter, détecter, contrôler ou limiter » et sera en relation avec un ou plusieurs événements conduisant à un accident majeur identifié dans l'analyse des risques. Plusieurs mesures de sécurité peuvent assurer une même fonction de sécurité.
- **Numéro de la fonction de sécurité** : ce numéro vise à simplifier la lecture de l'étude de dangers en permettant des renvois à l'analyse de risque par exemple.
- **Mesures de sécurité** : cette ligne permet d'identifier les mesures assurant la fonction concernée. Dans le cas de systèmes instrumentés de sécurité, tous les éléments de la chaîne devront être présentés (détection + traitement de l'information + action).
- **Description** : cette ligne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires.
- **Indépendance** (« oui » ou « non ») : cette caractéristique décrit le niveau d'indépendance d'une mesure de maîtrise des risques vis-à-vis des autres systèmes de sécurité et des scénarios d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner « oui ») ou non (renseigner « non »).
- **Temps de réponse** (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité.
- **Efficacité** (100% ou 0%) : l'efficacité mesure la capacité d'une mesure de maîtrise des risques à remplir la fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation.

- **Test (fréquence)** : Il s'agit ici de reporter les tests/essais qui seront réalisés sur les mesures de maîtrise des risques. Conformément à la réglementation, un essai d'arrêt, d'arrêt d'urgence et d'arrêt à partir d'une situation de survitesse seront réalisés avant la mise en service de l'aérogénérateur. Dans tous les cas, les tests effectués sur les mesures de maîtrise des risques seront tenus à la disposition de l'inspection des installations classées pendant l'exploitation de l'installation.
- **Maintenance (fréquence)** : ce critère porte sur la périodicité des contrôles qui permettront de vérifier la performance de la mesure de maîtrise des risques dans le temps. Pour rappel, la réglementation demande qu'à minima : un contrôle tous les ans soit réalisé sur la performance des mesures de sécurité permettant de mettre à l'arrêt, à l'arrêt d'urgence et à l'arrêt à partir d'une situation de survitesse et sur tous les systèmes instrumentés de sécurité.

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	1
Mesures de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage	
Description	Le système « ice deduction » déduit la formation de glace en couplant un capteur de température à une dégradation de la courbe de puissance. Si la température se situe dans des conditions givrantes et que la courbe de puissance est dégradée, le système déduit que de la glace se forme sur les pales et entraîne une mise à l'arrêt rapide.	
Indépendance	Non Les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. En cas de danger particulièrement élevé sur site (survol d'une zone fréquentée sur site soumis à des conditions de gel importantes), des systèmes additionnels peuvent être envisagés.	
Temps de réponse	Quelques minutes (<60 min.) conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011	
Efficacité	100 %	
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne	
Maintenance	Maintenance régulière du SCADA puis maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement	

Tableau 11 : Mesures de sécurité pour prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace

Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	2
Mesures de sécurité	Panneautage en pied de machine Éloignement des zones habitées et fréquentées	
Description	Mise en place de panneaux informant de la possible formation de glace en pied de machines (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011).	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	NA	
Efficacité	100 %. Nous considérons que compte tenu de l'implantation des panneaux et de l'entretien prévu, l'information des promeneurs sera systématique.	
Tests	NA	
Maintenance	Vérification de l'état général du panneau, de l'absence de détérioration,	

	entretien de la végétation afin que le panneau reste visible.
--	---

Tableau 12 : Mesures de sécurité pour prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	3
Mesures de sécurité	Capteurs de température des pièces mécaniques Définition de seuils critiques de températures pour chaque type de composant avec alarmes Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement	
Description	Des capteurs de température sont mis en place sur certains équipements (paliers et roulements des machines tournantes, enroulements du générateur et du transformateur). Ces capteurs ont des seuils hauts qui, une fois dépassés, conduisent à une alarme et à une mise à l'arrêt du rotor	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	NA	
Efficacité	100 %	
Tests	Surveillance via la maintenance prédictive, avec détection de la déviation de températures de chaque capteur.	
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.	

Tableau 13 : Mesures de sécurité pour prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage.	
Description	Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande. NB : Le système de freinage est généralement constitué d'un frein aérodynamique principal (mise en drapeau des pales) et / ou d'un frein mécanique auxiliaire.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Temps de détection < 1 minute L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011	
Efficacité	100 %	
Tests	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procédure d'arrêt en cas de survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs conformément à l'article	

	15 de l'arrêté du 26 août 2011.
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 (notamment de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence.) Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.

Tableau 14 : Mesures de sécurité pour prévenir la survitesse

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

Tableau 15: Mesures de sécurité pour prévenir les courts-circuits

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

Tableau 16 : Mesures de sécurité pour prévenir les effets de la foudre

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	7
Mesures de sécurité	Capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne pouvant permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de la machine Système de détection incendie relié à une alarme transmise à un poste de contrôle Intervention des services de secours	
Description	Détecteurs d'incendie qui lors de leur déclenchement conduisent à la mise en arrêt de la machine et au découplage du réseau électrique. De manière concomitante, un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance. L'éolienne est également équipée d'extincteurs qui peuvent être utilisés par les personnels d'intervention (cas d'un incendie se produisant en période de maintenance)	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	< 1 minute pour les détecteurs et l'enclenchement de l'alarme L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur. Le temps d'intervention des services de secours est quant à lui dépendant de la zone géographique.	
Efficacité	100 %	
Tests	/	
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Le matériel incendie (type extincteurs) est contrôlé périodiquement par le fabricant du matériel ou un organisme extérieur. Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.	

Tableau 17 : Mesures de sécurité pour la protection et l'intervention incendie

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	8
Mesures de sécurité	Détecteurs de niveau d'huiles Procédure d'urgence Kit antipollution	
Description	Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de prévenir les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange. Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin : – de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; – d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...) ; – de récupérer les déchets absorbés.	

	Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, une société spécialisée récupérera et traitera le gravier souillé via les filières adéquates, puis le remplacera par un nouveau revêtement.
Indépendance	Oui
Temps de réponse	Dépendant du débit de fuite
Efficacité	100 %
Tests	/
Maintenance	Inspection des niveaux d'huile plusieurs fois par an

Tableau 18 : Mesures de sécurité pour la prévention et la rétention des fuites

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

Tableau 19 : Mesures de sécurité pour prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)

Fonction de sécurité	Prévenir les erreurs de maintenance	10
Mesures de sécurité	Procédure maintenance	
Description	Préconisations du manuel de maintenance Formation du personnel	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	NA	

Efficacité	100 %
Tests	/
Maintenance	NA

Tableau 20 : Mesures de sécurité pour prévenir les erreurs de maintenance

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	11
Mesures de sécurité	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pâles) par le système de conduite	
Description	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale pour laquelle elle a été conçue.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	< 1 min	
Efficacité	100 %. NB : En fonction de l'intensité attendue des vents, d'autres dispositifs de diminution de la prise au vent de l'éolienne peuvent être envisagés.	
Tests	Pitch system testé régulièrement lors des maintenances préventives.	
Maintenance	Tous les ans.	

Tableau 21 : Mesures de sécurité pour prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort

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

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

7.7 CONCLUSION DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

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

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m ² n'est pas atteinte. Dans le cas d'un incendie au niveau du mât les effets sont également mineurs et l'arrêté du 26 Août 2011 encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc

	<p>pas étudiés dans l'étude détaillée des risques. Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.</p>
Incendie du poste de livraison ou du transformateur	<p>En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 Août 2011 [9] impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200).</p>
Chute et projection de glace dans les cas particuliers où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C	<p>Lorsqu'un aérogénérateur est implanté sur un site où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C, il peut être considéré que le risque de chute ou de projection de glace est nul. Des éléments de preuves doivent être apportés pour identifier les implantations où de telles conditions climatiques sont applicables.</p>
Infiltration d'huile dans le sol	<p>En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérés dans le sol restent mineurs. Ce scénario peut ne pas être détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques sauf en cas d'implantation dans un périmètre de protection rapprochée d'une nappe phréatique.</p>

Tableau 22 : Scénarii exclus de l'étude détaillée

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

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

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

8 ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

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

8.1 RAPPEL DES DÉFINITIONS

Les règles méthodologiques applicables pour la détermination de l'intensité, de la gravité et de la probabilité des phénomènes dangereux sont précisées dans l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005 (référence [13]).

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

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

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

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

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

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

8.1.1 Cinétique

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

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

Dans le cadre d'une étude de dangers pour des aérogénérateurs, il est supposé, de manière prudente, que tous les accidents considérés ont une cinétique rapide.

Ce paramètre ne sera donc pas détaillé à nouveau dans chacun des phénomènes redoutés étudiés par la suite.

8.1.2 Intensité

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

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

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

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

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

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

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

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

Tableau 23 : Grille de cotation en intensité issue du guide technique

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

8.1.3 Gravité

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

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

Tableau 24 : Grille de cotation en gravité de l'arrêté du 29 septembre 2005

8.1.4 Probabilité

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

Niveaux	Échelle qualitative	Échelle quantitative (probabilité annuelle)
A	<p>Courant</p> <p>Se produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie des installations, malgré d'éventuelles mesures correctives.</p>	$P > 10^{-2}$

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

Tableau 25 : Grille de cotation en probabilité de l'arrêté du 29 septembre 2005

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

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

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

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

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

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

Avec :

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

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

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

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

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

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

8.2 CARACTÉRISATION DES SCÉNARII RETENUS

Toutes les formules employées dans ce chapitre sont issues du guide technique, sauf mention contraire. Nous avons également choisi d'établir les calculs des différents scénarii en se basant sur les données constructeur du modèle VESTAS V126.

8.2.1 Effondrement de l'éolienne

■ ZONE D'EFFET

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 150 m dans le cas des éoliennes du parc de Bougainville.

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

■ INTENSITE

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

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

- > Z_I est la zone d'impact
- > Z_E est la zone d'effet
- > d est le degré d'exposition
- > R est la longueur d'une pale ($R = 61.66$ m)
- > D est le diamètre du rotor ($D = 126$ m)
- > H est la hauteur du mât ($H = 87$ m)
- > L est la largeur du mât à la base ($L = 3.9$ m)
- > LB est la corde maximale de la pale ($LB = 4,0$ m)

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur de l'éolienne en bout de pôle soit 150m)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = H \times L + 3 \times R \times LB/2$	$Z_E = \pi \times (H + D/2)^2$ ²	$D = Z_I/Z_E$	
709.26	70 686	1 %	Exposition forte

Tableau 26 : Scénario d'effondrement – calcul de l'intensité

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

■ GRAVITE

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe 8.1.3), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène d'effondrement, dans le rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne :

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

² Dans le guide technique INERIS, la formule initiale est : $\pi \times (H+R)^2$. Or, $D/2$ c'est-à-dire le demi-diamètre semble plus cohérent que R la longueur d'une pale (voir explication en partie 4.1.3).

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

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à 150 m)					
Éolienne	Type de terrain dans la zone d'effet	Zone d'effet du phénomène étudié en ha	Hypothèse de comptage	Nombre équivalent de personnes permanentes	Gravité
E1 à E6	Terrains aménagés mais peu fréquentés	7,0	1 pers. / 10 ha	0,7	Sérieuse

Tableau 27 : Scénario d'effondrement – cotation de la gravité

■ **PROBABILITE**

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

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

Tableau 28 : Fréquence d'effondrement d'une éolienne d'après la littérature

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

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C ». En effet, il a été recensé seulement 7 événements pour 15 667 années d'expérience³, soit une probabilité de $4,47 \times 10^{-4}$ par éolienne et par an.

³ Une année d'expérience correspond à une éolienne observée pendant une année. Ainsi, si on a observé une éolienne pendant 5 ans et une autre pendant 7 ans, on aura au total 12 années d'expérience.

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

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

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

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

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

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

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

▪ **ACCEPTABILITE**

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

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale soit 150 m)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
E1 à E6	Sérieuse	Acceptable

Tableau 29 : Scénario d'effondrement- acceptabilité du risque

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

8.2.2 Chute de glace

■ CONDITIONS GENERALES

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

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

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

■ ZONE D'EFFET

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne. Pour le parc éolien de Bougainville, la zone d'effet a donc un rayon maximum de 63 mètres. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

■ INTENSITE

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

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

- > Z_I est la zone d'impact,
- > Z_E est la zone d'effet,
- > d est le degré d'exposition,
- > S est le diamètre de la zone de survol ($S= 127.7$ m),
- > SG est la surface du morceau de glace majorant ($SG= 1$ m²).

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à la zone de survol soit 127.7m)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = SG$	$Z_E = \pi \times (S/2)^2$ ⁴	$d = Z_I/Z_E$	
1	12 807	0,0078 %	Exposition modérée

Tableau 30 : Scénario chute de glace – calcul de l'intensité

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

■ GRAVITE

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

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

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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à la zone de survol soit 127.7 m)					
Éolienne	Type de terrain dans la zone d'effet	Zone d'effet du phénomène étudié en ha	Hypothèse de comptage	Nombre équivalent de personnes permanentes	Gravité
E1 à E6	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,0	1 pers. / 10 ha	0,1	Modérée

⁴ Il est à noter que dans le guide technique la formule initiale est : $\pi \times R^2$, $S/2$ semble plus cohérent car R ne correspond pas au rayon de la zone de survol, mais à la longueur des pales (voir explication en partie 4.1.3).

Tableau 31 : Scénario chute de glace – cotation de la gravité

■ **PROBABILITE**

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

■ **ACCEPTABILITE**

Avec une classe de probabilité de A, le risque de chute de glace pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable si la présence humaine exposée est inférieure à une personne.

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

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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à la zone de survol soit 127.7 m)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
E1 à E6	Modérée	Acceptable

Tableau 32 : Scénario chute de glace – acceptabilité du risque

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

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

8.2.3 Chute d'éléments de l'éolienne

■ ZONE D'EFFET

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

Le risque de chute d'élément est cantonné à la zone de survol des pales, c'est-à-dire une zone d'effet correspondant à un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor, soit 63 m pour la V126.

■ INTENSITE

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

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

- > d est le degré d'exposition,
- > Z_I la zone d'impact,
- > Z_E la zone d'effet,
- > R la longueur de pale (R= 61.66 m),
- > LB la largeur de la base de la pale (LB= 4 m),
- > S est le diamètre de la zone de survol (S= 127.7 m).

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la zone de survol soit 127.7m)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = R \times LB/2$	$Z_E = \pi \times (S/2)^2$ ⁵	$d = Z_I/Z_E$	
123.32	12807	1%	Exposition forte

* Il est à noter que dans le guide technique la formule initiale est : $\pi \times R^2$, D/2 semble plus cohérent que R.

Tableau 33 : Scénario chute d'éléments de l'éolienne – calcul de l'intensité

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

⁵ Il est à noter que dans le guide technique la formule initiale est : $\pi \times R^2$, D/2 semble plus cohérent que R.

■ **GRAVITE**

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

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

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

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

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

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

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la zone de survol)					
Éolienne	Type de terrain dans la zone d'effet	Zone d'effet du phénomène étudié en ha	Hypothèse de comptage	Nombre équivalent de personnes permanentes	Gravité
E1 à E6	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,0	1 pers. / 10 ha	0,1	Modéré

Tableau 34 : Scénario chute d'éléments de l'éolienne – cotation de la gravité

■ PROBABILITE

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

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

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

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

■ ACCEPTABILITE

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

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

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à $D/2$ = zone de survol)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
E1 à E6	Sérieux	Acceptable

Tableau 35 : Scénario chute d'éléments de l'éolienne – acceptabilité du risque

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

8.2.4 Projection de pales ou de fragment de pale

■ ZONE D'EFFET

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

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

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

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

■ INTENSITE

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

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

- > d est le degré d'exposition,
- > Z_i est la zone d'impact,
- > Z_E est la zone d'effet,
- > R est la longueur de pale ($R= 61.66$ m),
- > LB est la corde maximale de la pale ($LB= 4,0$ m).

Projection de pale ou fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_i = R \times LB/2$	$Z_E = \pi \times R^2$	$d = Z_i/Z_E$	
123.32	11 944	1 %	Exposition forte

Tableau 36 : Scénario projection de pale ou fragment de pale – calcul de l'intensité

■ **GRAVITE**

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe 8.1.3, il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection, dans la zone de 500 m autour de l'éolienne :

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

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

Projection de pale ou fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)					
Éolienne	Type de terrain dans la zone d'effet	Zone d'effet du phénomène étudié en ha	Hypothèse de comptage	Nombre équivalent de personnes permanentes	Gravité
E1 à E6	Terrains aménagés mais peu fréquentés	78,539	1 pers. / 10 ha	7.9	Sérieux

Tableau 37 : Scénario de projection de pale ou fragment de pale – cotation de la gravité

■ **PROBABILITE**

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

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

Specification of minimum distances [6]	$6,1 \times 10^{-4}$	Recherche Internet des accidents entre 1996 et 2003
--	----------------------	---

Tableau 38 : Fréquence de projection de tout ou partie de pale d'après la littérature

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

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

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

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

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

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

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

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

■ ACCEPTABILITE

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

Projection de pale ou fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
E1 à E6	Sérieux	Acceptable

Tableau 39 : Scénario projection de pale ou fragment de pale – Acceptabilité du risque

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

8.2.5 Projection de glace

■ ZONE D'EFFET

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

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

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

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

■ INTENSITE

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

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

- > d est le degré d'exposition,
- > Z_i est la zone d'impact,
- > Z_E est la zone d'effet,

- > D est la longueur du diamètre du rotor (D= 126 m),
- > H est la hauteur au moyeu (H= 87 m),
- > SG est la surface majorante d'un morceau de glace (1 m²).

Projection de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+D) = 319.5$ m autour de l'éolienne)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = SG$	$Z_E = \pi \times (1,5 \times (H + D))^2$ ⁶	$d = Z_I/Z_E$	
1	320695	0,0003 %	Exposition modérée

Tableau 40 : Scénario projection de glace – calcul de l'intensité

■ GRAVITE

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

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

Il a été observé dans la littérature disponible [17] qu'en cas de projection, les morceaux de glace se cassent en petits fragments dès qu'ils se détachent de la pale.

La possibilité de l'impact de glace sur des personnes abritées par un bâtiment ou un véhicule est donc négligeable et ces personnes ne doivent pas être comptabilisées pour le calcul de la gravité.

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

⁶ Dans le guide technique la formule initiale est : $Z_E = \pi \times 1,5 \times (H + 2R)^2$, or H+2R ne correspond pas à H+D préconisée dans l'étude [15], car R ne tient pas compte de la taille du moyeu

Projection de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+D) = 319.5$ m autour de l'éolienne)					
Éolienne	Type de terrain dans la zone d'effet	Zone d'effet du phénomène étudié en ha	Hypothèse de comptage	Nombre équivalent de personnes permanentes	Gravité
E1 à E6	Terrains aménagés mais peu fréquentés	30,7	1 pers. / 10 ha	3	Sérieux

Tableau 41 : Scénario projection de glace – cotation de la gravité

■ PROBABILITE

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

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

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

■ ACCEPTABILITE

Le risque de projection pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un niveau de gravité « sérieux ». Cela correspond pour cet événement à un nombre équivalent de personnes permanentes inférieures à 10 dans la zone d'effet.

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

Projection de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+D) = 319.5$ m autour de l'éolienne)			
Éolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou de déduction de glace et de procédure de redémarrage	Niveau de risque
E1 à E6	Sérieux	Oui	Acceptable

Tableau 42 : Scénario projection de glace – acceptabilité du risque

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

8.3 SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

8.3.1 Tableaux de synthèse des scénarii étudiés

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

Scénario	Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
S1	Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale	Rapide	Exposition forte	D (pour des éoliennes récentes) ⁷	Sérieuse Pour les éoliennes E1 à E6
S2	Chute de glace	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	A sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Modérée Pour les éoliennes E1 à E6
S3	Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	C	Modérée Pour les éoliennes E1 à E6

⁷ Voir paragraphe 8.2.1

S4	Projection de tout ou partie de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition forte	D (pour des éoliennes récentes) ⁵	Sérieuse Pour les éoliennes E1 à E6
S5	Projection de glace	1,5 x (H + 2R) autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	B sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Sérieuse Pour les éoliennes E1 à E6

Tableau 43 : Synthèse de la cotation des risques – étude détaillée

8.3.2 Synthèse de l'acceptabilité des risques

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

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

Conséquence	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		S1, S4		S5	
Modéré			S3		S2

Tableau 44 : Cotation des risques selon la matrice de criticité de la circulaire du 10 mai 2010

Légende de la matrice

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

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- > aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice ;
- > certains accidents figurent en case jaune. Pour ces accidents, il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 sont mises en place.

8.3.3 Cartographie des risques



Parc éolien de Bougainville (80)

Projet de renouvellement

Etude de dangers

Carte des risques –E1

- Eolienne du projet
- Eolienne existante
- Plateforme de grutage
- Virage à créer

Réseau routier

- Route départementale
- Route secondaire
- Chemin d'exploitation

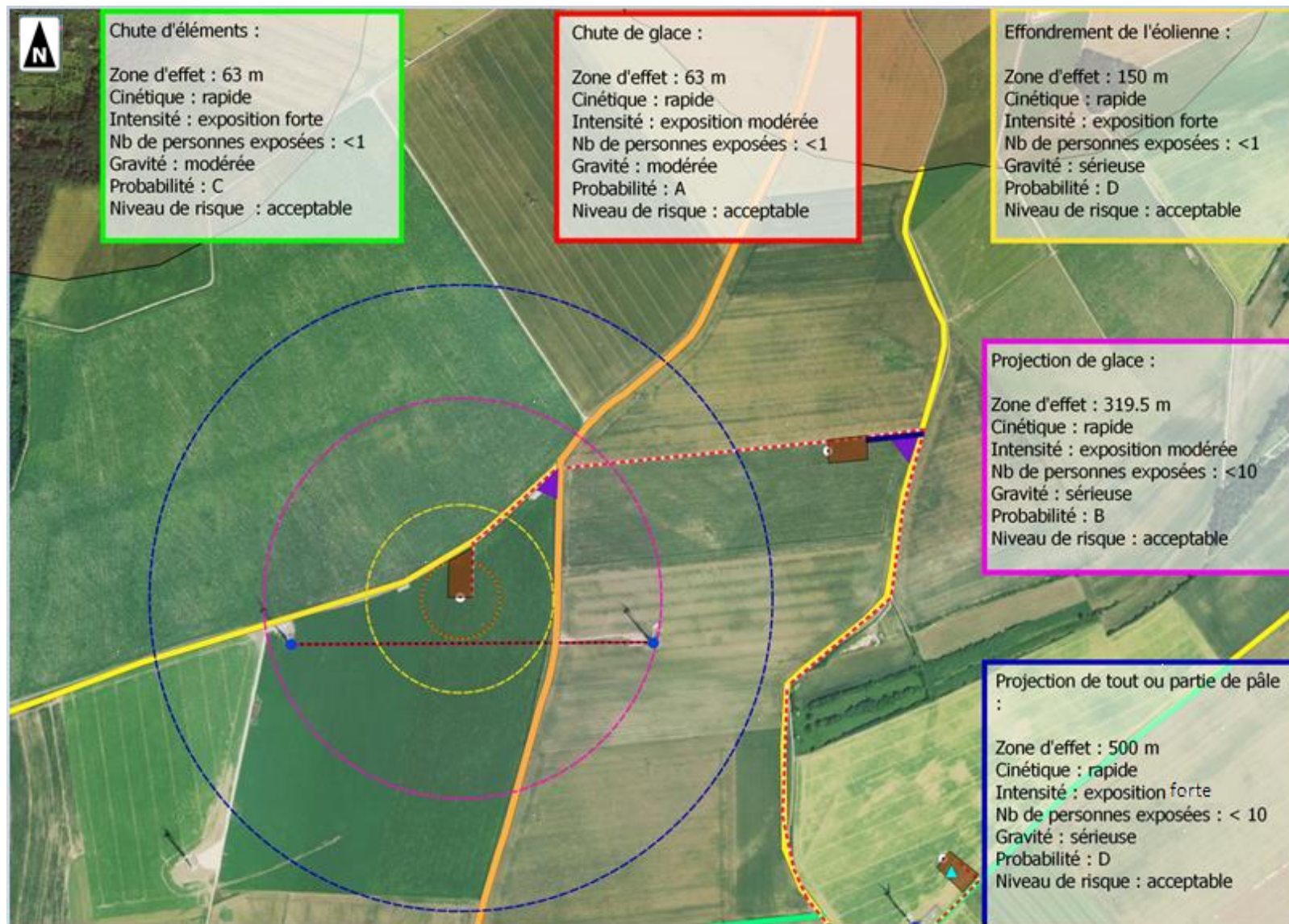
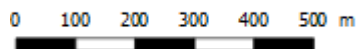
Réseau électrique

- Réseau de câblage existant
- - - Réseau de câblage projeté

Périmètres de zones d'effet des scénarii :

- Chute d'éléments de l'éolienne (63 m)
- Chute de glace (63m)
- Effondrement de l'éolienne (150m)
- Projection de glace (319.5m)
- Projection de tout ou partie de pâle (500m)

1/6000



Carte des risques –E2

- ⊙ Eolienne du projet
- Eolienne existante
- Plateforme de grutage
- Virage à créer
- Chemins à créer
- Chemin à renforcer

Réseau routier

- Route départementale
- Route secondaire
- Chemin d'exploitation

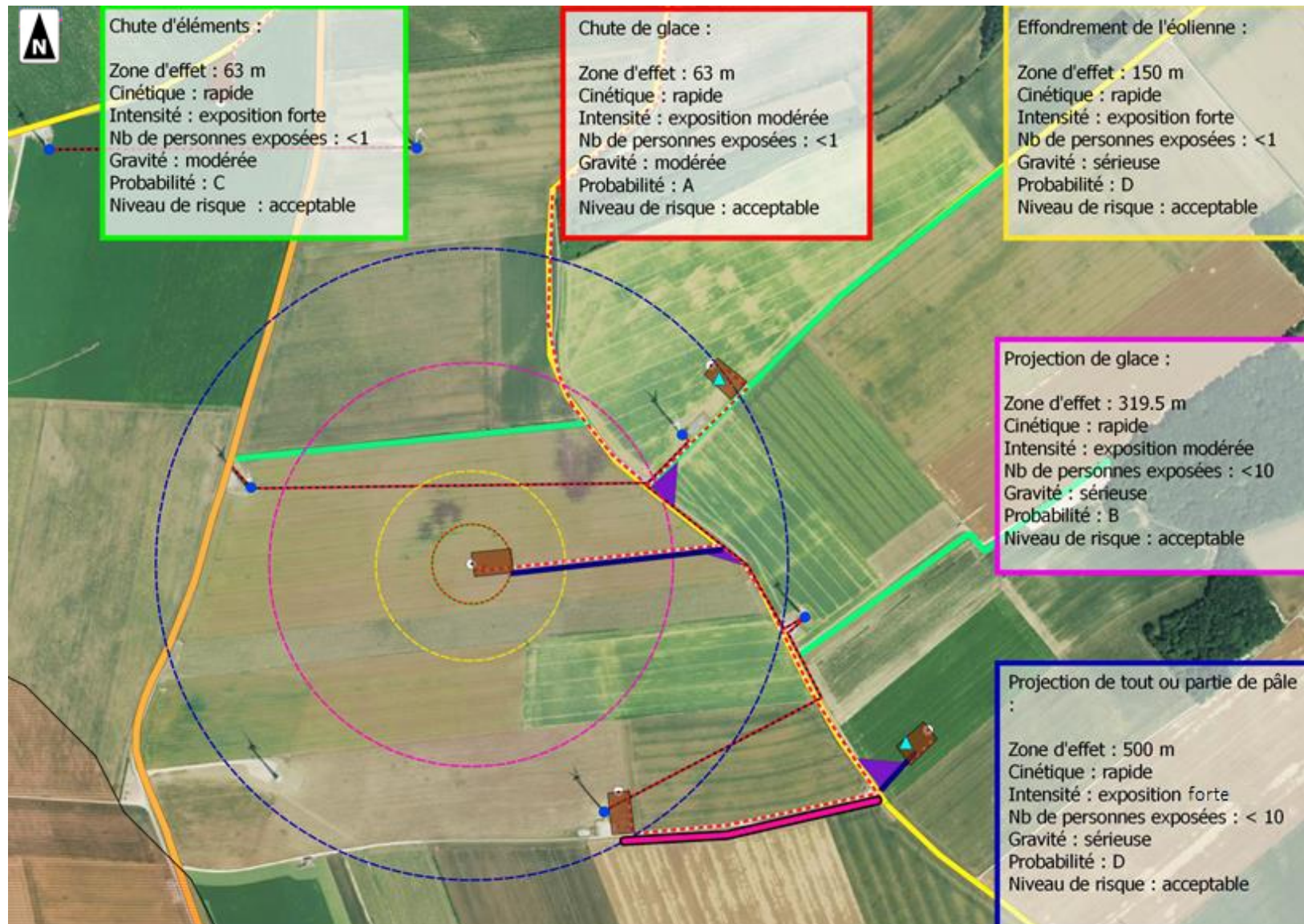
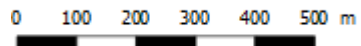
Réseau électrique

- ▲ Poste de livraison
- Réseau de câblage existant
- Réseau de câblage projeté

Périmètres de zones d'effet des scénarii :

- Chute d'éléments de l'éolienne (63 m)
- Chute de glace (63m)
- Effondrement de l'éolienne (150m)
- Projection de glace (319.5m)
- Projection de tout ou partie de pale (500m)

1/6000





Parc éolien de Bougainville (80)
 Projet de renouvellement
 Etude de dangers

Carte des risques –E3

- ⊙ Eolienne du projet
- Eolienne existante
- Plateforme de grutage
- Virage à créer
- Chemins à créer
- Chemin à renforcer

Réseau routier

- Route départementale
- Route secondaire
- Chemin d'exploitation

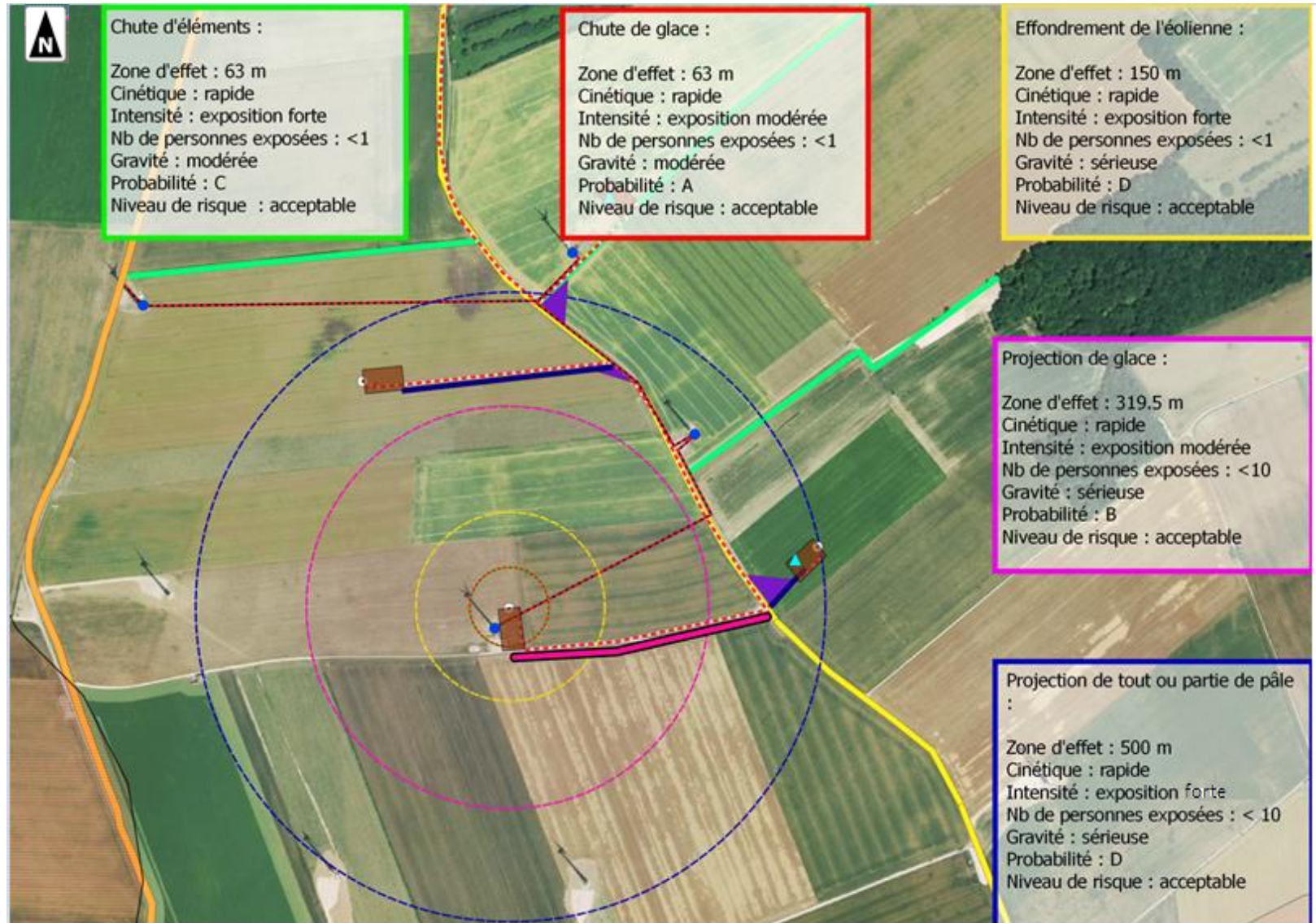
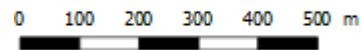
Réseau électrique

- ▲ Poste de livraison
- Réseau de câblage existant
- - - Réseau de câblage projeté

Périmètres de zones d'effet des scénarii :

- Chute d'éléments de l'éolienne (63 m)
- Chute de glace (63m)
- Effondrement de l'éolienne (150m)
- Projection de glace (319.5m)
- Projection de tout ou partie de pale (500m)

1/6000



Carte des risques –E4

- Eloignement de 500m du bâti
- Eolienne du projet
- Eolienne existante
- Plateforme de grutage
- Virage à créer
- Chemins à créer

Réseau routier

- Route départementale
- Route secondaire
- Chemin d'exploitation

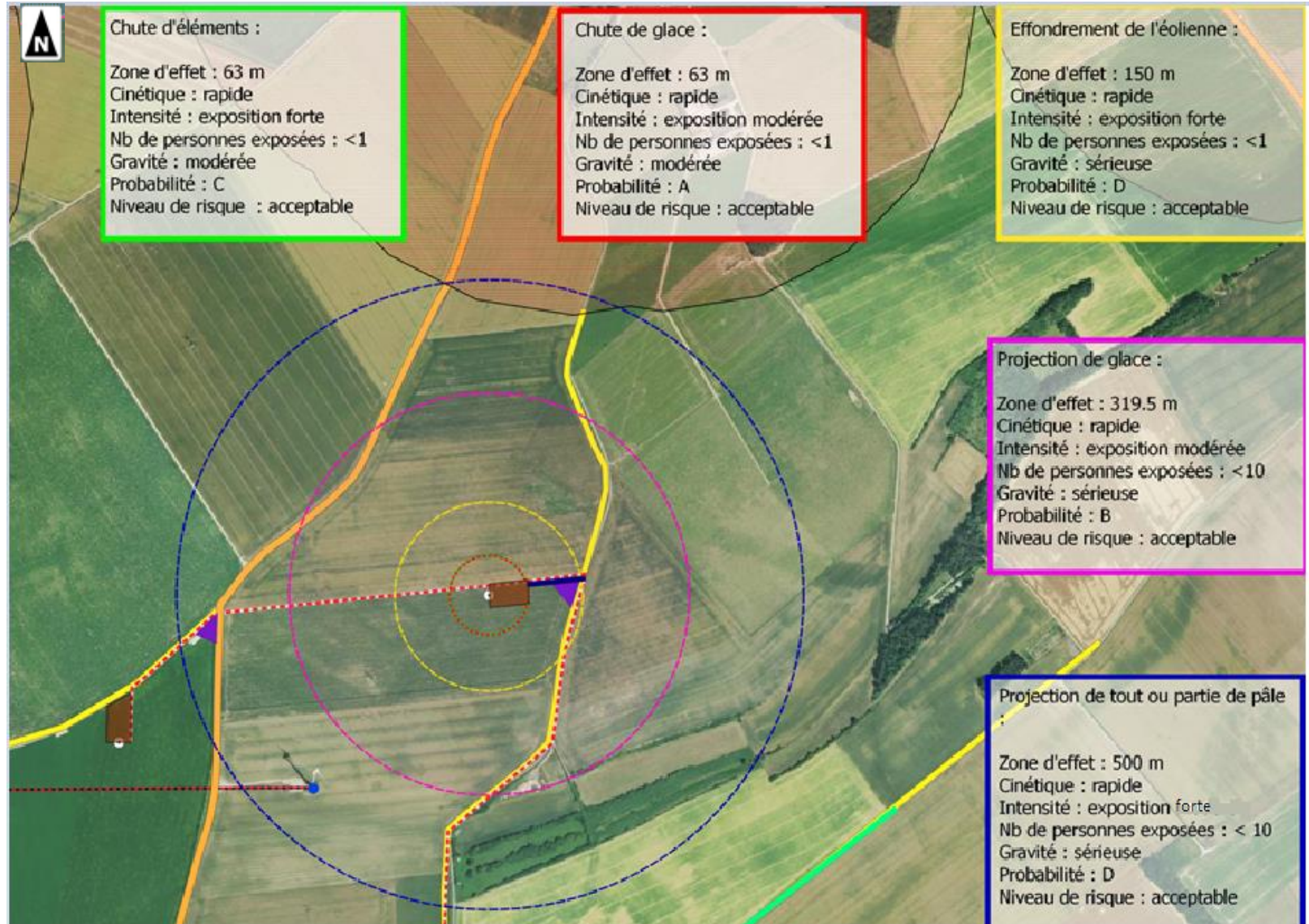
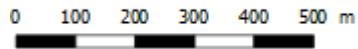
Réseau électrique

- Poste de livraison
- Réseau de câblage existant
- Réseau de câblage projeté

Périmètres de zones d'effet des scénarii :

- Chute d'éléments de l'éolienne (63 m)
- Chute de glace (63m)
- Effondrement de l'éolienne (150m)
- Projection de glace (319.5m)
- Projection de tout ou partie de pale (500m)

1/6000



Carte des risques –E5

- ⊙ Eolienne du projet
- Eolienne existante
- Plateforme de grutage
- Virage à créer
- Chemins à créer

Réseau routier

- Route départementale
- Route secondaire
- Chemin d'exploitation

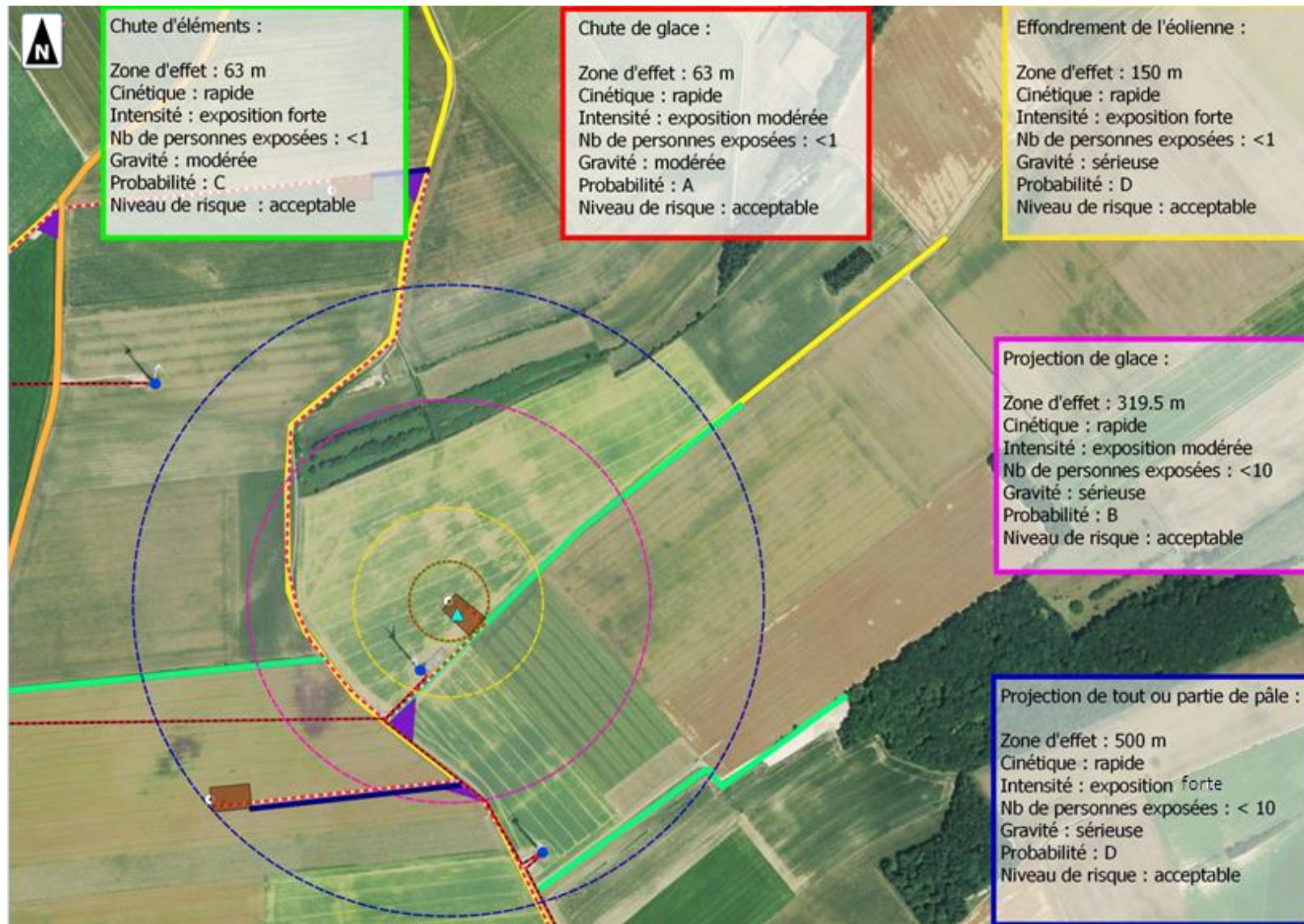
Réseau électrique

- ▲ Poste de livraison
- Réseau de câblage existant
- - - Réseau de câblage projeté

Périmètres de zones d'effet des scénarii :

- Chute d'éléments de l'éolienne (63 m)
- Chute de glace (63m)
- Effondrement de l'éolienne (150m)
- Projection de glace (319.5m)
- Projection de tout ou partie de pale (500m)

1/6000



Carte des risques - E6

- ⊙ Eolienne du projet
- Eolienne existante
- Plateforme de grutage
- Virage à créer
- Chemins à créer

Réseau routier

- Route départementale
- Route secondaire
- Chemin d'exploitation

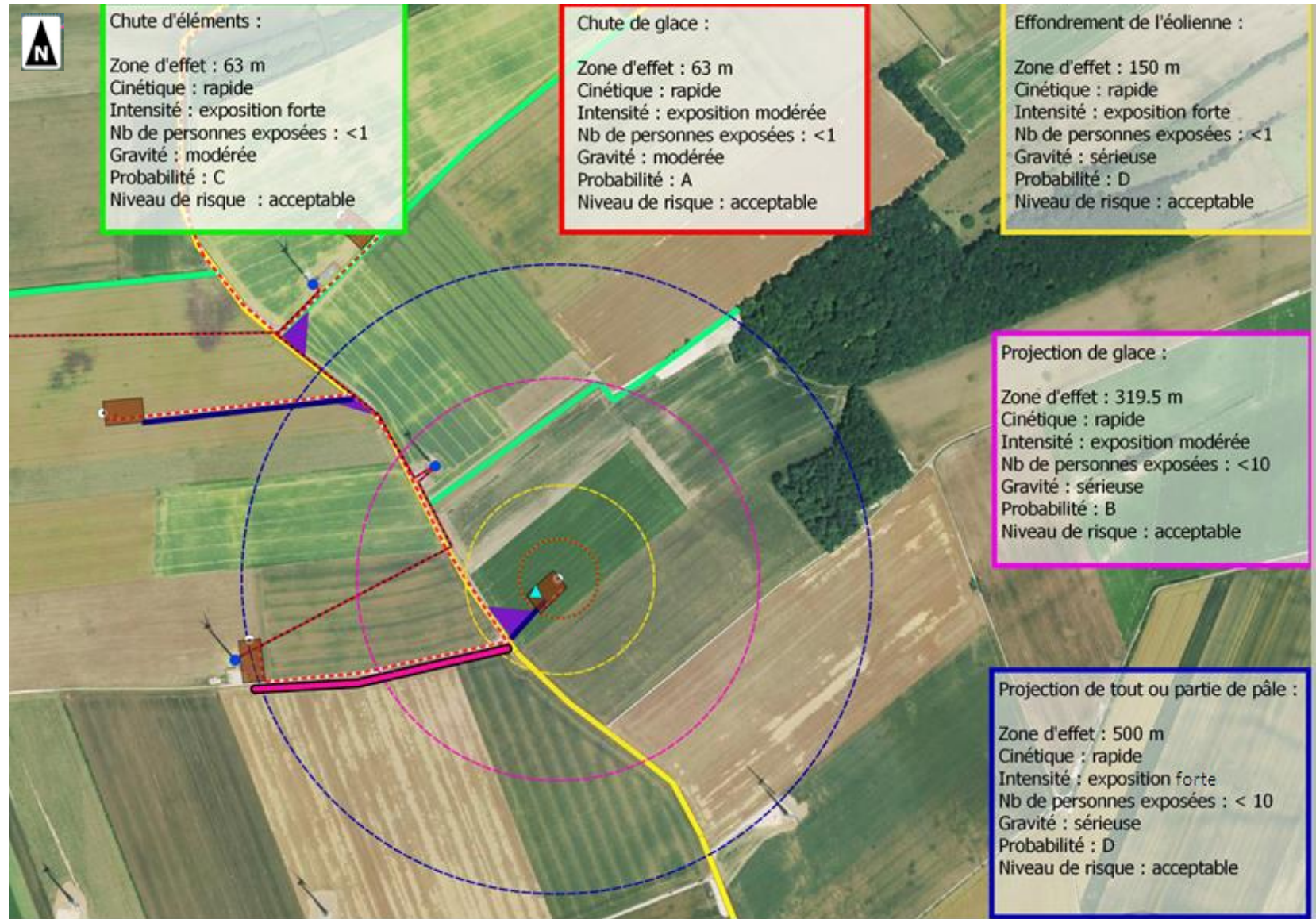
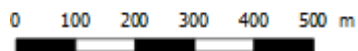
Réseau électrique

- ▲ Poste de livraison
- Réseau de câblage existant
- Réseau de câblage projeté

Périmètres de zones d'effet des scénarii :

- Chute d'éléments de l'éolienne (63 m)
- Chute de glace (63m)
- Effondrement de l'éolienne (150m)
- Projection de glace (319,5m)
- Projection de tout ou partie de pale (500m)

1/6000



9 CONCLUSION

Après description de l'installation et de son environnement, il ressort que les potentiels de dangers du parc éolien de Bougainville sont relatifs :

- > à des causes externes :
 - présence d'ouvrages (voies de communications, réseaux) ;
 - risques naturels (vents violents, foudre, mouvements de terrains, tremblements de terres, inondations, givre ou gel).
- > à des causes internes liées au fonctionnement des machines et aux produits utilisés :
 - chute d'éléments de l'éolienne (boulons, morceaux d'équipements, pale, etc.) ;
 - projection d'éléments (morceaux de pale, brides de fixation, etc.) ;
 - effondrement de tout ou partie de l'éolienne ;
 - échauffement de pièces mécaniques ;
 - court-circuit électriques (éolienne ou poste de livraison).

Une analyse préliminaire des risques a été réalisée, basée d'une part sur l'accidentologie permettant d'identifier les accidents les plus courants et d'autre part sur une identification des scénarii d'accidents potentiels.

Pour chaque scénario d'accident, l'étude a procédé à une analyse systématique des mesures de maîtrise des risques.

Cinq scénarii sont ressortis de l'analyse préliminaire et ont fait l'objet d'une étude détaillée des risques :

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

Ces scénarii regroupent plusieurs causes et séquences d'accident. Une cotation en cinétique, intensité, gravité et probabilité de ces événements permet de caractériser les risques pour toutes les séquences d'accidents.

Une recherche d'enjeux humains vulnérables a été réalisée dans chaque périmètre d'effet des cinq scénarii, permettant de repérer les interactions possibles entre les risques et les enjeux.

La cotation en gravité et probabilité pour chacune des éoliennes permet de classer le risque de chaque scénario selon la matrice de criticité inspirée de la circulaire du 10 mai 2010.

Après étude détaillée des risques, selon la méthodologie préconisée dans le guide technique, il apparaît que tous les scénarii étudiés présentent un risque acceptable pour les personnes pour l'ensemble des éoliennes du parc éolien de Bougainville.

L'exploitant mettra en œuvre des mesures adaptées pour maîtriser les risques :

- > l'implantation permet d'assurer un éloignement suffisant des zones fréquentées ;
- > l'exploitant respectera les prescriptions générales de l'arrêté du 26 août 2011 ;
- > les systèmes de sécurité des éoliennes sont adaptés aux risques (ils seront maintenus dans le temps et testés régulièrement en conformité avec la section 4 de l'arrêté du 26 août 2011).

Le projet de renouvellement du parc éolien de Bougainville permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques actuelles.



10 ANNEXE

ANNEXE 1 ; ISSUE DU GUIDE TECHNIQUE : METHODE DE COMPTAGE DES PERSONNES POUR LA DETERMINATION DE LA GRAVITE POTENTIELLE D'UN ACCIDENT A PROXIMITE D'UNE EOLIENNE.

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

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

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

■ **TERRAINS NON BÂTIS :**

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

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

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

■ **VOIES DE CIRCULATION TERRAINS**

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

Voies de circulation automobiles

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

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

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

Voies ferroviaires

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

Voies navigables

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

Chemins et voies piétonnes

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

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

■ LOGEMENTS

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

■ ETABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC (ERP)

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

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

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

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

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

- **ZONES D'ACTIVITE**

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



ANNEXE 2 ; ISSUE DU GUIDE TECHNIQUE : TABLEAU DE L'ACCIDENTOLOGIE FRANCAISE.

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

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Effondrement	Novembre 2000	Port la Nouvelle	Aude	0,5	1993	Non	Le mât d'une éolienne s'est plié lors d'une tempête suite à la perte d'une pale (coupure courant prolongée pendant 4 jours suite à la tempête)	Tempête avec foudre répétée	Rapport du CGM Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2001	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts)	?	Site Vent de Colère	Information peu précise
Effondrement	01/02/2002	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris d'hélice et mât plié	Tempête	Rapport du CGM Site Vent du Bocage	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Maintenance	01/07/2002	Port la Nouvelle - Sigean	Aude	0,66	2000	Oui	Grave électrisation avec brûlures d'un technicien	Lors de mesures pour cartériser la partie haute d'un transformateur 690V/20kV en tension. Le mètre utilisé par la victime, déroulé sur 1,46m, s'est soudainement plié et est entré dans la zone du transformateur, créant un arc électrique.	Rapport du CGM	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	28/12/2002	Névian - Grande Garrigue	Aude	0,85	2002	Oui	Effondrement d'une éolienne suite au dysfonctionnement du système de freinage	Tempête + dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Site Vent de Colère Article de presse (Midi Libre)	-
Rupture de pale	25/02/2002	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pale en bois (avec inserts) sur une éolienne bipale	Tempête	Article de presse (La Dépêche du 26/03/2003)	Information peu précise
Rupture de pale	05/11/2003	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts) sur trois éoliennes. Morceaux de pales disséminés sur 100 m.	Dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Article de presse (Midi Libre du 15/11/2003)	-
Effondrement	01/01/2004	Le Portel - Boulogne sur Mer	Pas de Calais	0,75	2002	Non	Cassure d'une pale, chute du mât et destruction totale. Une pale tombe sur la plage et les deux autres dérivent sur 8 km.	Tempête	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (Windpower Monthly May 2004, La Voix du Nord du 02/01/2004)	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Effondrement	20/03/2004	Loon Plage – Port de Dunkerque	Nord	0,3	1996	Non	Couchage du mât d'une des 9 éoliennes suite à l'arrachement de la fondation	Rupture de 3 des 4 micropieux de la fondation, erreur de calcul (facteur de 10)	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (La Voix du Nord du 20/03/2004 et du 21/03/2004)	-
Rupture de pale	22/06/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50 m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	-
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	Incident identique à celui s'étant produit 15 jours auparavant
Rupture de pale	2004	Escales-Conilhac	Aude	0,75	2003	Non	Bris de trois pales		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale + incendie	22/12/2004	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne (survitesse de plus de 60 tr/min)	Survitesse due à une maintenance en cours, problème de régulation, et dysfonctionnement du système de freinage	Base de données ARIA Article de presse (La Tribune du 30/12/2004) Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2005	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris de pale		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale	08/10/2006	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2004	Non	Chute d'une pale de 20 m pesant 3 tonnes	Allongement des pales et retrait de sécurité (débridage), pas de REX suite aux précédents accidents sur le même parc	Site FED Articles de presse (Ouest France) Journal FR3	-

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

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Emballement	03/2008	Dinéault	Finistère	0,3	2002	Non	Emballement de l'éolienne mais pas de bris de pale	Tempête + système de freinage hors service (boulon manquant)	Base de données ARIA	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (événement unique et sans répercussion potentielle sur les personnes)
Collision avion	04/2008	Plouguin	Finistère	2	2004	Non	Léger choc entre l'aile d'un bimoteur Beechcraft (liaison Quessant-Brest) et une pale d'éolienne à l'arrêt. Perte d'une pièce de protection au bout d'aile. Mise à l'arrêt de la machine pour inspection.	Mauvaise météo, conditions de vol difficiles (sous le plafond des 1000m imposé par le survol de la zone) et faute de pilotage (altitude trop basse)	Articles de presse (Le Télégramme, Le Post)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident aéronautique)
Rupture de pale	19/07/2008	Erize-la-Brûlée - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale et projection de morceaux de pale suite à un coup de foudre	Foudre + défaut de pale	Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain 22/07/2008)	-
Incendie	28/08/2008	Vauvillers	Somme	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Problème au niveau d'éléments électroniques	Dépêche AFP 28/08/2008	-
Rupture de pale	26/12/2008	Raival - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale		Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain)	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Maintenance	26/01/2009	Clastres	Aisne	2,75	2004	Oui	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance	Accident électrique (explosion d'un convertisseur)	Base de données ARIA	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Rupture de pale	08/06/2009	Bollène	Vaucluse	2,3	2009	Oui	Bout de pale d'une éolienne ouvert	Coup de foudre sur la pale	Interne exploitant	Non utilisable dans les chutes ou les projections (la pale est restée accrochée)
Incendie	21/10/2009	Froidfond - Espinassière	Vendée	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit dans transformateur sec embarqué en nacelle ?	Article de presse (Ouest-France) Communiqué de presse exploitant Site FED	-
Incendie	30/10/2009	Freysenet	Ardèche	2	2005	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit faisant suite à une opération de maintenance (problème sur une armoire électrique)	Base de données ARIA Site FED Article de presse (Le Dauphiné)	-
Maintenance	20/04/2010	Toufflers	Nord	0,15	1993	Non	Décès d'un technicien au cours d'une opération de maintenance	Crise cardiaque	Article de presse (La Voix du Nord 20/04/2010)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Effondrement	30/05/2010	Port la Nouvelle	Aude	0,2	1991	Non	Effondrement d'une éolienne	Le rotor avait été endommagé par l'effet d'une survitesse. La dernière pale (entière) a pris le vent créant un balourd. Le sommet de la tour a plié et est venu buter contre la base entraînant la chute de l'ensemble.	Interne exploitant	-
Incendie	19/09/2010	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Emballement de deux éoliennes et incendie des nacelles.	Maintenance en cours, problème de régulation, freinage impossible, évacuation du personnel, survitesse de +/- 60 tr/min	Articles de presse Communiqué de presse SER-FEE	-
Maintenance	15/12/2010	Pouillé-les-Côteaux	Loire Atlantique	2,3	2010	Oui	Chute de 3 m d'un technicien de maintenance à l'intérieur de l'éolienne. L'homme de 22 ans a été secouru par le GRIMP de Nantes. Aucune fracture ni blessure grave.		Interne SER-FEE	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Transport	31/05/2011	Mesvres	Saône-et-Loire	-	-	-	Collision entre un train régional et un convoi exceptionnel transportant une pale d'éolienne, au niveau d'un passage à niveau Aucun blessé		Article de presse (Le Bien Public 01/06/2011)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident de transport hors site éolien)
Rupture de pale	14/12/2011	Non communiqué	Non communiqué	2,5	2003	Oui	Pale endommagée par la foudre. Fragments retrouvés par l'exploitant agricole à une distance n'excédant pas 300 m.	Foudre	Interne exploitant	Information peu précise sur la distance d'effet
Incendie	03/01/2012	Non communiqué	Non communiqué	2,3	2006	Oui	Départ de feu en pied de tour. Acte de vandalisme : la porte de l'éolienne a été découpée pour y introduire des pneus et de l'huile que l'on a essayé d'incendier. Le feu ne s'est pas propagé, dégâts très limités et restreints au pied de la tour.	Malveillance / incendie criminel	Interne exploitant	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'incendie)
Rupture de pale	05/01/2012	Widehem	Pas-de-Calais	0,75	2000	Non	Bris de pales, dont des fragments ont été projetés jusqu'à 380 m. Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne).	Tempête + panne d'électricité	Article de presse (La Voix du Nord 06/01/2012) Vidéo DailyMotion Interne exploitant	-

ANNEXE 3 ; ISSUE DU GUIDE TECHNIQUE : SCENARIOS GENERIQUES ISSUS DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

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

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

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

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

Scénario G01

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

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

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

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

Scénario G02

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

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

■ SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES D'INCENDIE (I01 ET I07)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

■ SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES DE FUITES (F01 ET F02)

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

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

Scénario F01

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

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

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

- Procédure de gestion des situations d'urgence

Deux événements peuvent être aggravants :

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

Scénario F02

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

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

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

Ce scénario est à adapter en fonction des produits utilisés.

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

■ SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES DE CHUTES (C01 ET C03)

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

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

■ SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES DE PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES (P01 à P06)

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

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

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

L'emballlement de l'éolienne constitue un facteur aggravant en cas de projection de tout ou partie d'une pale. Cet emballlement peut notamment être provoqué par la perte d'utilité dans les scénarios incendies.

Scénario P01

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

Scénario P02

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

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

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

Scénarios P03

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

■ **SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES D'EFFONDREMENT DES EOLIENNES (E01 ET E10)**

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

- Erreur de dimensionnement de la fondation : Contrôle qualité, respect des spécifications techniques du constructeur de l'éolienne, étude de sol, contrôle technique de construction ;

Non-respect des instructions de montage et/ou de maintenance : Formation du personnel
Intervenant

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



ANNEXE 4 ; ISSUE DU GUIDE TECHNIQUE : PROBABILITE D'ATTEINTE ET RISQUE INDIVIDUEL

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

Cette probabilité est appelée probabilité d'accident.

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

$$P_{\text{accident}} = \text{PERC} \times \text{Porientation} \times \text{Protation} \times \text{Patteinte} \times \text{Pprésence}$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ANNEXE 5 : CERTIFICATION DES EOLIENNES

ENERCON E126 : « Design Assement Certificate »

TÜVNORD EnSys GmbH & Co. KG



TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG • Postfach 54 02 20 • 22022 Hamburg

ENERCON GmbH
WRD Innovationszentrum
Borsigstraße 26
26607 Aurich
Deutschland

Standort Hamburg
Große Bahnstraße 31
22525 Hamburg
Telefon +49 40 8557-0
Telefax +49 40 8557-2429
TNEnc@tuv-nord.de
www.tuv-nord.de

TUV®

Your reference, your message of	Our reference	Telephone, Name	Date
helmut.feldmanni@enercon.de	2017-0303	+49 40 8557.1479 Herr Stutzik	11.09.2017

Confirmation letter: Type Certificate according to IEC 61400-22 – IEC 61400-1 Ed.3 and Type Approval according to DIBt 2012 incl. GL Technical Note 007, Rev.5

Wind turbine: E-126 EP3; 3,5 MW; Rotor Blade E-126 EP3-RB 05 with Vortex Generators; HH 86m, 116m, 135m, 149m; 50/60 Hz; CC/NC; Wind class IIA; Design Lifetime 25 Years

To whom it may concern:

We, TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG (TÜV NORD), hereby confirm that we have been contracted by ENERCON GmbH (ENERCON) by the order 7700091287 from 24.08.2017 for the Type Approval for the mentioned above wind turbine according to DIBt 2012 in connection with IEC 61400-1: 2005 and A1 :2010, including corresponding foundations. The order 7700091288 from 24.08.2017 covers following modules: design evaluation, type testing and manufacturing evaluation resulting in a type certificate according to IEC 61400-22 with IEC 61400-1 Ed.3.

The orders are based on TÜV NORD offer number 2017-0303.

Sitz der Gesellschaft
TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG
Große Bahner 31
22022 Hamburg
Telefon: +49 40 8557-0
Telefax: +49 40 8557-2429
TNEnc@tuv-nord.de
www.tuv-nord.de

Antwortschein HAMBURG, HKA 100221
USt. Id.Nr.: DE212002777, Steuer-Nr.: 27/828/00023
Commerzbank AG, Hamburg
BIC: 25120310, 123456789
IBAN-Code: DE25 2504 0000 0409 2820 00
Deutsche Bank AG, Hannover
BIC Swift-Code: DEUTDE33
IBAN-Code: DE95 2507 0070 0060 0710 00

Komplementär
TÜV NORD SysTec
Verwaltungsgesellschaft mbH, Hamburg
Antwortschein HAMBURG, HIRD 90231

Leadschaffungsleiter
Dr. Astrid Petersen



2017-09-11 ENERCON Confirmation letter E-126 EP3 (2017-0303) .docx

TÜVNORD EnSys GmbH & Co. KG



Both parties (TÜV & ENERCON) have signed a non-disclosure agreement and are not allowed to disclose the contract details to any party outside the contract.

In case of questions or remarks please do not hesitate to contact us.

Yours sincerely

TÜV NORD EnSys GmbH & Co. KG
Project Management

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Siudzik".

Dominik Siudzik



TYPE CERTIFICATE

Certificate No.: TC-DNVGL-SE-0074-02867-1 Issued: 2017-10-13 Valid until: 2022-05-02

Issued for:
Vestas V126-3.45 MW / V126-3.60 MW HTq

Specified in Annex 1 and Annex 2

Issued to:
Vestas Wind Systems A/S

Hedeager 42
 8200 Aarhus N
 Denmark

According to:
IEC 61400-22:2010-05 Wind turbines – Part 22: Conformity testing and certification


Based on the documents:

DB-DNVGL-SE-0074-02868-1	Design Basis Conformity Statement, dated 2017-10-13
DE-DNVGL-SE-0074-02869-2	Design Evaluation Conformity Statement, dated 2017-10-13
TT-DNVGL-SE-0074-02870-1	Type Test Conformity Statement, dated 2017-10-13
ME-DNVGL-SE-0074-02871-1	Manufacturing Conformity Statement, dated 2017-10-13
FER-TC-DNVGL-SE-0074-02867-1	Final Evaluation Report, dated 2017-10-13

Changes of the system design, the production and erection or the manufacturer's quality system are to be approved by DNV GL.

Hellerup, 2017-10-13

For DNV GL Renewables Certification




Christer Eriksson
 Service Line Leader Type Certification



By DAkkS according DIN EN IEC/ISO 17065 accredited Certification Body for products. The accreditation is valid for the fields of certification listed in the certificate.

Hellerup, 2017-10-13

For DNV GL Renewables Certification



F. Ramakrishna Parasarampuram
 Project Manager

The accredited certification body is Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH, Brooktorkai 18, 20457 Hamburg.

DNV GL Renewables Certification is the trading name of DNV GL's certification business in the renewable energy industry.

VESTAS PROPRIETARY NOTICE: This document contains valuable confidential information of Vestas Wind Systems A/S. It is protected by copyright law and its equivalent laws. Vestas reserves all patent, copyright, trade secret, and other proprietary rights to it. The information in this document may not be used, reproduced, or disclosed except if and to the extent rights are expressly granted by Vestas in writing and subject to applicable conditions. Vestas declines all warranties except as expressly granted by written agreement and is not responsible for unauthorized uses, for which it may pursue legal remedies against responsible parties.

Original Instruction: T05 0066-6896 VER 01

T05 0066-6896 Ver 01 - Approved - Exported from DMS: 2017-10-19 by FA/CA

11 BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES UTILISEES

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