



ETUDE DE DANGERS

Projet de renouvellement du parc éolien de Noyers-Saint-Martin
Communes de Thieux et Noyers-Saint-Martin - Oise



SOMMAIRE

SOMMAIRE	2
TABLE DES ILLUSTRATIONS	4
LISTE DES TABLEAUX	5
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
2 . INFORMATIONS GÉNÉRALES CONCERNANT L'INSTALLATION	8
2.1 RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS	8
2.2 LOCALISATION DU SITE.....	8
2.3 DÉFINITION DE L'AIRE D'ÉTUDE.....	9
3 . DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION	9
3.1 ENVIRONNEMENT HUMAIN	9
<i>Zones urbanisées et urbanisables</i>	9
3.1.1	9
3.1.2 <i>Établissements recevant du public (ERP)</i>	10
3.1.3 <i>Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et installations nucléaires de base</i>	10
3.1.4 <i>Autres activités</i>	10
3.2 ENVIRONNEMENT NATUREL.....	11
3.2.1 <i>Contexte climatique</i>	11
3.2.2 <i>Risques naturels</i>	11
3.3 ENVIRONNEMENT MATÉRIEL	12
3.3.1 <i>Voies de communication</i>	12
3.3.2 <i>Réseaux publics et privés</i>	12
3.3.3 <i>Autres ouvrages publics</i>	13
3.4 CARTOGRAPHIE DE SYNTHÈSE	13
3.4.1 <i>Hypothèses de travail</i>	13
4 . DESCRIPTION DE L'INSTALLATION	14
4.1 CARACTÉRISTIQUES DE L'INSTALLATION	14
4.1.1 <i>Caractéristiques générales d'un parc éolien</i>	14
▪ ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UN AÉROGÉNÉRATEUR.....	14
▪ EMPRISE AU SOL.....	15
▪ CHEMINS D'ACCES.....	15
4.1.2 <i>Activité de l'installation</i>	15
4.1.3 <i>Composition de l'installation</i>	15
4.2 FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION	16
4.2.1 <i>Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur</i>	16
Caractéristiques des aérogénérateurs de la variante Nordex	17
4.2.1.1	17
4.2.1.2 Caractéristiques des aérogénérateurs de la variante Vestas.....	19
4.2.2 <i>Sécurité de l'installation</i>	23
4.2.2.1 Règles de conception et système qualité Nordex.....	23
4.2.2.2 Règles de conception et système qualité Vestas.....	23
4.2.2.3 Prescriptions relatives à l'arrêté du 26 août 2011.....	24
4.2.2.3.1.1 Prescriptions Nordex	24
4.2.2.3.1.2 Prescription Vestas	24
Gestion du système.....	26
4.2.2.4.....	26
4.2.2.4.1.1 Gestion Nordex.....	26
4.2.2.4.1.2 Gestion Vestas.....	26
4.2.2.5 Méthodes et moyens d'intervention	26
4.2.3 <i>Opérations de maintenance de l'installation</i>	27
4.2.4 <i>Stockage et flux de produits dangereux</i>	28
4.3 FONCTIONNEMENT DES RÉSEAUX DE L'INSTALLATION.....	29
4.3.1 <i>Raccordement électrique</i>	29
4.3.2 <i>Autres réseaux</i>	29
5 IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION	30
5.1 POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX PRODUITS	30
<i>Produits utilisés par Nordex</i>	30
5.1.1	30
5.1.2 <i>Produits utilisés par Vestas</i>	30
5.2 POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION	31
5.3 RÉDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS À LA SOURCE	31
5.3.1 <i>Principales actions préventives</i>	31
5.3.1.1 Réduction des dangers liés aux produits	31
5.3.1.1.1 Cas Nordex	31
5.3.1.1.2 Cas Vestas.....	32
5.3.1.2 Réduction des dangers liés aux installations	32
5.3.1.2.1.1 Cas Nordex	32
5.3.1.2.1.2 Cas Vestas.....	32
5.3.2 <i>Utilisation des meilleures techniques disponibles</i>	32
6 . ANALYSE DES RETOURS D'EXPÉRIENCE	33
6.1 INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS EN FRANCE.....	33
6.2 INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS À L'INTERNATIONAL	34
6.3 INVENTAIRE DES ACCIDENTS MAJEURS SURVENUS SUR LES SITES DE L'EXPLOITANT	35
6.4 SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTÉS ISSUS DU RETOUR D'EXPÉRIENCE	35
6.4.1 <i>Analyse de l'évolution des accidents en France</i>	35
6.4.2 <i>Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents</i>	35
6.4.3 <i>Limites d'utilisation de l'accidentologie</i>	35
7 ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES	36
7.1 OBJECTIF DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES	36
7.2 RECENSEMENT DES ÉVÉNEMENTS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES	36
7.3 RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES	36
7.3.1 <i>Agresions externes liées aux activités humaines</i>	36
7.3.2 <i>Agresions externes liées aux phénomènes naturels</i>	37
7.4 SCÉNARIOS ÉTUDIÉS DANS L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES	37
7.5 EFFETS DOMINOS	40
7.6 MISE EN PLACE DES MESURES DE SÉCURITÉ.....	40
7.6.1 <i>Caractéristiques Nordex</i>	40
7.6.2 <i>Caractéristiques Vestas</i>	44
7.7 CONCLUSION DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES	49

8	ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES	50			
8.1	RAPPEL DES DÉFINITIONS	50			
8.1.1	Cinétique.....	50			
8.1.2	Intensité	50			
8.1.3	Gravité	51			
8.1.4	Probabilité.....	51			
8.1.5	Acceptabilité des risques.....	52			
8.2	CARACTÉRISATION DES SCENARIOS RETENUS.....	52			
8.2.1	Effondrement de l'éolienne – Variante Nordex.....	52			
8.2.2	Effondrement de l'éolienne – Variante Vestas.....	54			
8.2.3	Chute de glace – Variante Nordex	55			
8.2.4	Chute de glace – variante Vestas.....	56			
8.2.5	Chute d'éléments de l'éolienne – variante Nordex	57			
8.2.6	Chute d'éléments de l'éolienne – variante Vestas	58			
8.2.7	Projection de pales ou de fragments de pales – variante Nordex.....	59			
8.2.8	Projection de pales ou de fragments de pales – variante Vestas.....	61			
8.2.9	Projection de glace – variante Nordex.....	62			
			8.2.10	Projection de glace – variante Vestas.....	63
			8.3	SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES	65
			8.3.1	Tableaux de synthèse des scénarios étudiés	65
			8.3.2	Synthèse de l'acceptabilité des risques	65
			8.3.3	Cartographie des risques.....	67
			8.3.3.1	Cartographie - variante Nordex	67
			8.3.3.2	Cartographie - variante Vestas	73
			9	CONCLUSION.....	79
			10	ANNEXES.....	80
				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.	80
				ANNEXE 2 - ISSUE DU GUIDE TECHNIQUE : DE L'ACCIDENTOLOGIE FRANÇAISE.	82
				ANNEXE 3 - ISSUE DU GUIDE TECHNIQUE : SCENARIOS GENERIQUES DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES	86
				ANNEXE 4 - ISSUE DU GUIDE TECHNIQUE : PROBABILITE D'ATTEINTE ET RISQUE INDIVIDUEL.....	88
				ANNEXE 5 : GLOSSAIRE.....	89
			11	BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES UTILISEES.....	91

TABLE DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 : Localisation générale du site	8	Figure 27 : carte étude de danger E4 - variante Nordex.....	70
Figure 2 : Situation du renouvellement du parc éolien du Cornouiller et de la zone d'étude de dangers.....	9	Figure 28 : carte étude de danger E5 - variante Nordex.....	71
Figure 3: Zones de distances autour des habitations	9	Figure 29 : carte étude de danger E6 - variante Nordex.....	72
Figure 4: Gisement éolien de la région Picardie, à 40 m d'altitude – (source : SRCAE, 2012) Légende : Etoile rouge = Localisation du site	11	Figure 30 : carte étude de danger E1 - variante Vestas.....	73
Figure 5 : Rose des vents - parc éolien du Cornouiller 1 – Garrad Hassan and Partners 2005	11	Figure 31 : carte étude de danger E2 - variante Vestas.....	74
Figure 6: Carte des enjeux éoliennes 1, 2, 3.....	14	Figure 32 : carte étude de danger E3 - variante Vestas.....	75
Figure 7: carte des enjeux éoliennes 4, 5, 6	14	Figure 33 : carte étude de danger E4 - variante Vestas.....	76
Figure 8: Schéma simplifié d'un aérogénérateur	15	Figure 34 : carte étude de danger E5 - variante Vestas.....	77
Figure 9: Illustration des emprises au sol d'une éolienne	15	Figure 35 : carte étude de danger E6 - variante Vestas.....	78
Figure 10: Diamètre de l'éolienne et zone de survol (vue de dessus).....	16		
Figure 11: Composants de la nacelle.....	20		
Figure 12: Schéma de la nacelle	21		
Figure 13 : Schéma simplifié de la chaîne cinématique	22		
Figure 14: Calendrier de maintenance	28		
Figure 15: Raccordement électrique des installations	29		
Figure 16: Calendrier de maintenance	29		
Figure 17: Configuration raccordement électrique.....	29		
Figure 18 : Répartition des événements accidentels et leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et début 2019.....	33		
Figure 19 : Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2018.....	34		
Figure 20 : Répartition des causes premières d'effondrement.....	34		
Figure 21 : Répartition des causes premières de rupture de pale	34		
Figure 22 : Répartition des causes premières d'incendies	35		
Figure 23 : Évolution du nombre d'incidents annuels en France et de la puissance éolienne installée d'après la base de données de l'ARIA et du SDES	35		
Figure 24: carte étude de danger E1 - variante Nordex	67		
Figure 25: carte étude de danger E2 - variante Nordex	68		
Figure 26 : carte étude de danger E3 - variante Nordex	69		

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Nomenclature des installations classées	8	Tableau 31 : Calcul de l'intensité du scénario d'effondrement – variante Nordex	52
Tableau 2: Distances aux lieux de vie (hors lieux-dits) les plus proches	10	Tableau 32 : Gravité du scénario d'effondrement – variante Nordex.....	53
Tableau 3 : Distances aux lieux de vie (lieux-dits) les plus proches	10	Tableau 33 : Fréquence d'effondrement d'une éolienne d'après la littérature.....	53
Tableau 4 : Population des communes autour du projet.....	10	Tableau 34 : Niveau de risque et acceptabilité du scénario effondrement d'une éolienne – variante Nordex	53
Tableau 5: Distance inter éoliennes	10	Tableau 35 : Calcul de l'intensité du scénario d'effondrement – variante Vestas	54
Tableau 6: Synthèse des enjeux	13	Tableau 36 : Gravité du scénario d'effondrement – variante Vestas	54
Tableau 7: Caractéristiques du modèle des éoliennes Nordex retenues.....	15	Tableau 37 : Niveau de risque et acceptabilité du scénario effondrement d'une éolienne – variante Vestas.....	55
Tableau 8 : Caractéristiques des modèles d'éoliennes Vestas retenus.....	16	Tableau 38 : Calcul de l'intensité du scénario de chute de glace – variante Nordex	55
Tableau 9 : Coordonnées des éoliennes et du poste de livraison	16	Tableau 39 : Niveau de risque et acceptabilité du scénario chute de glace – variante Nordex.....	56
Tableau 10 : Synthèse du fonctionnement des éoliennes Nordex N117 3000	18	Tableau 40 : Calcul de l'intensité du scénario de chute de glace – variante Vestas	56
Tableau 11 : Synthèse du fonctionnement des éoliennes Nordex N100 2500	19	Tableau 41 : Niveau de risque et acceptabilité du scénario chute de glace – variante Vestas	57
Tableau 12: Vitesse de fonctionnement.....	19	Tableau 42 : Calcul de l'intensité du scénario chute d'éléments de l'éolienne –variante Nordex	57
Tableau 13: Caractéristiques tour - mât.....	20	Tableau 43 : Niveau de risque et acceptabilité du scénario chute d'éléments de l'éolienne – variante Nordex	58
Tableau 14:Caractéristiques de la nacelle.....	21	Tableau 44 : Calcul de l'intensité du scénario chute d'éléments de l'éolienne –variante Vestas.....	58
Tableau 15: Caractéristiques rotor-pales	22	Tableau 45 : Niveau de risque et acceptabilité du scénario chute d'éléments de l'éolienne – variante Vestas	59
Tableau 16:Description des opérations de maintenance après 3 mois	27	Tableau 46 : Calcul de l'intensité du scénario projection de pale ou fragment de pale	59
Tableau 17 : Description des opérations de maintenance régulières.....	28	Tableau 47 : Gravité du scénario de projection de pale ou fragment de pale – variante Nordex	60
Tableau 18: Types et quantités de produits présents dans l'éolienne.....	30	Tableau 48 : Fréquence de projection de tout ou partie de pale d'après la littérature	60
Tableau 19: Types et quantités de produits présents dans l'éolienne Vestas	30	Tableau 49 : Niveau de risque et acceptabilité du scénario projection de pale ou fragment de pale –variante Nordex	61
Tableau 20 : Dangers potentiels d'une éolienne en fonctionnement.....	31	Tableau 50 : Calcul de l'intensité du scénario projection de pale ou fragment de pale	61
Tableau 21 : Agressions externes liées aux activités humaines	36	Tableau 51 : Niveau de risque et acceptabilité du scénario projection de pale ou fragment de pale –variante Vestas	61
Tableau 22 : Agressions externes liées aux phénomènes naturels.....	37	Tableau 52 : Calcul de l'intensité du scénario projection de glace – variante Nordex.....	62
Tableau 23 : Analyse préliminaire des risques	39	Tableau 53 : Gravité du scénario de projection de glace – variante Nordex.....	63
Tableau 24 : Mesures de sécurité.....	44	Tableau 54 : Niveau de risque et acceptabilité du scénario projection de glace	63
Tableau 25 : Mesures de sécurité.....	48	Tableau 55 : Calcul de l'intensité du scénario projection de glace.....	63
Tableau 26 : Scénarios exclus de l'étude détaillée.....	49	Tableau 56 : Gravité du scénario de projection de glace	64
Tableau 27 : Définition de l'intensité issue du guide technique	50	Tableau 57 : Niveau de risque et acceptabilité du scénario projection de glace	64
Tableau 28 : Définition des seuils de gravité de l'arrêté du 29 septembre 2005	51	Tableau 58 : Synthèse de la cotation des risques – étude détaillée – variante Nordex.....	65
Tableau 29 : Définition des échelles de probabilité de l'arrêté du 29 septembre 2005.....	51	Tableau 59 : Synthèse de la cotation des risques – étude détaillée – variante Vestas	65
Tableau 30 : Définition de l'acceptabilité des risques.....	52	Tableau 60 : Cotation des risques selon la matrice de criticité de la circulaire du 10 mai 2010 – variante Nordex.....	66
		Tableau 61 : Cotation des risques selon la matrice de criticité de la circulaire du 10 mai 2010- variante Vestas.....	66



1 . PRÉAMBULE

Cette étude de dangers se base sur le guide technique dans sa version de mai 2012, qui a été réalisé par un groupe de travail constitué de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), de professionnels du Syndicat des Energies Renouvelables (SER) et de France Energie Eolienne (FEE). Dans la suite de l'étude, ce guide est appelé « guide technique ».

Dans le cadre de cette étude, la trame a été reprise directement du guide.

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 **PARC EOLIEN DE NOYERS ST MARTIN**, pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du projet de renouvellement du parc éolien du Cornouiller situé dans le département de l'Oise 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 du Cornouiller. 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 du Cornouiller, 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.

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 comprend des dispositions constructives et en phase d'exploitation concernant notamment la sécurité (par exemple, normes, sécurité face aux incendies, foudre...). La circulaire du 29 août 2011 relative aux conséquences et orientations du classement des éoliennes dans le régime des installations classées donne des éclairages sur l'instruction. Elle précise notamment que les études de dangers pourront présenter un caractère plus léger que bon nombre d'autres installations classées, bien plus dangereuses, dans un souci de proportionnalité.

Enfin, l'étude de dangers s'intéresse aux risques générés par les aérogénérateurs lorsqu'ils sont en phase d'exploitation. Elle exclut donc la phase de construction.

1.3 NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSÉES

Conformément à l'article R. 511-1 et suivants du Code de l'environnement, au décret n°2011-984 du 23 août 2011, les parcs éoliens sont soumis à la rubrique 2980 de la nomenclature des installations classées :

A – Nomenclature des installations classées			
N°	Désignation de la rubrique	A, E, D, S, C (1)	Rayon (2)
2980	Installation terrestre de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs :		
	1. Comprenant au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50m.....	A	6
	2. Comprenant uniquement des aérogénérateurs dont le mât a une hauteur inférieure à 50 m et au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur maximale supérieure ou égale à 12 m et pour une puissance totale installée :		
	a) Supérieure ou égale à 20 MW.....	A	6
	b) Inférieure à 20 MW.....	D	

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

Tableau 1 : Nomenclature des installations classées

Le renouvellement du parc éolien du Cornouillers 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 environnementale.

2 . INFORMATIONS GÉNÉRALES CONCERNANT L'INSTALLATION

2.1 RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

Le porteur du projet est la société PARC EOLIEN DE NOYERS ST MARTIN, filiale de Kallista Energy. Kallista Energy exploite 213,05 MW éoliens en France et développe actuellement plus d'une centaine de mégawatts. Pour chaque parc éolien français, Kallista Energy constitue une « société de projet ». Cette société de projet porte les droits et autorisations du parc éolien. Elle est ainsi titulaire de l'autorisation environnementale et propriétaire du parc éolien.

Société porteuse du projet : PARC EOLIEN DE NOYERS ST MARTIN

- Adresse du siège : 82 BOULEVARD HAUSSMANN - 75008 PARIS
- Adresse des sites de production : Lieu dit le Cornouiller, 60480 Noyers-Saint-Martin
- Forme juridique : Société par actions simplifiée à associé unique
- Capital : 37 000,00 €
- SIRET : 450 588 298 00064
- Code APE : 3511Z (Production d'électricité)

Le KBIS est présenté dans le volet administratif de la demande.

2.2 LOCALISATION DU SITE

Le renouvellement du parc éolien du Cornouiller, composé de six aérogénérateurs et d'un poste de livraison, est localisé sur les communes de Noyers-Saint-Martin et Thieux, dans le département de l'Oise (60), en région Hauts-de-France. Le projet est localisé à environ 18 km au nord de Beauvais et 35 km au sud d'Amiens. Il vient en renouvellement des cinq éoliennes du parc éolien du Cornouiller actuellement implanté avec l'ajout d'une sixième éolienne.



Figure 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 pour chaque 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 du poste de livraison, qui est néanmoins représenté sur la carte. Les modélisations réalisées dans le cadre du guide de l'INERIS ont en effet montré l'absence d'effet à l'extérieur du poste de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter.

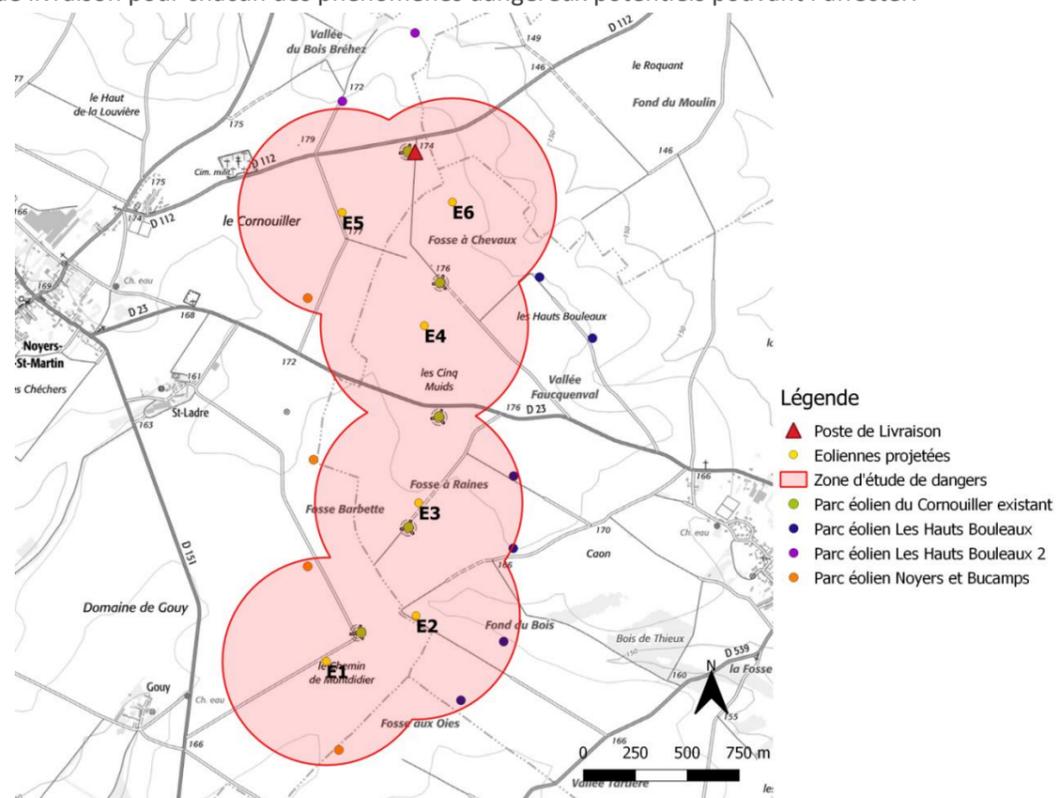


Figure 2 : Situation du renouvellement du parc éolien du Cornouiller et de la zone d'étude de dangers

L'aire d'étude se situe sur les communes de :

- Bucamps
- Camprémy
- Noyers-Saint-Martin
- Thieux

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

3.1.1 Zones urbanisées et urbanisables

L'étude de dangers doit s'intéresser aux populations situées dans la zone sur laquelle porte l'étude ou à proximité. Les communes de Camprémy, Thieux et de Noyers-Saint-Martin sont soumises au RNU. La commune de Noyers-Saint-Martin devrait voir son Plan Local d'Urbanisme validé cette année.

Le territoire de la Commune de Bucamps est couvert par une carte communale approuvée le 23 novembre 2012.

Le projet éolien se situe sur des terres agricoles en zone rurale dans les communes de Thieux et Noyers-Saint-Martin sous RNU.

■ DISTANCE DES EOLIENNES AUX HABITATIONS ET ZONES URBANISABLES LES PLUS PROCHES

Les secteurs d'habitation sont présents sous forme de petits bourgs denses, de fermes et hameaux/lieux-dits. Aucune de ces habitations et des zones destinées à l'habitation par les documents d'urbanisme opposable en vigueur n'est à moins de 500m du renouvellement du parc éolien du Cornouiller. Les aires de 500m, 800m et 1000m autour des habitations les plus proches sont indiquées sur la carte ci-dessous.

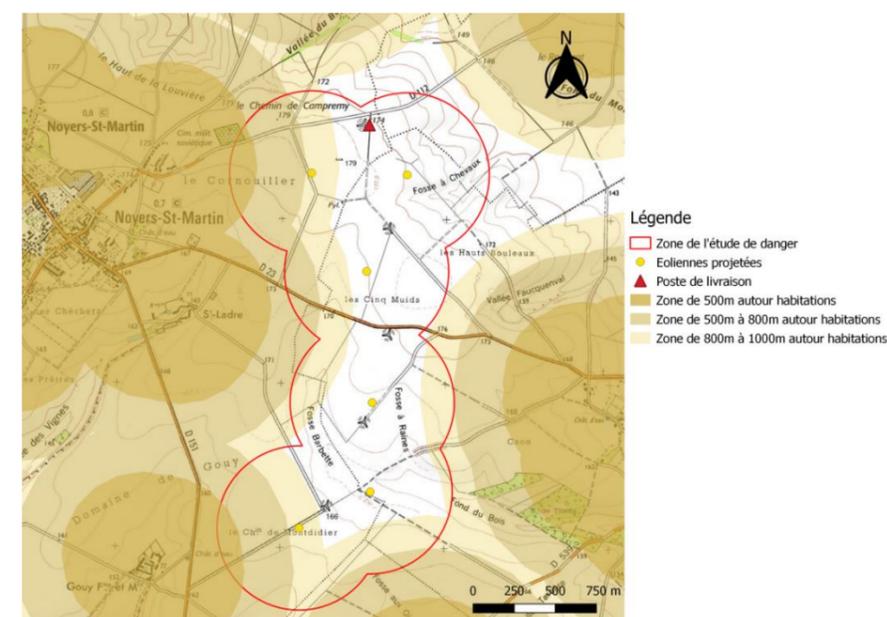


Figure 3: Zones de distances autour des habitations

Les écarts des éoliennes aux habitations les plus proches (hors hameaux et lieux-dits) sont détaillés ci-dessous :

Communes	Distance par rapport à l'éolienne la plus proche (m)
Noyers-Saint-Martin (60480)	830 (E5)
Thieux (60480)	1290 (E3)
Campremy (60480)	1585 (E6)
Bucamps (60113)	2500 (E2)

Tableau 2: Distances aux lieux de vie (hors lieux-dits) les plus proches

Les écarts des éoliennes aux différents lieux-dits riverains sont détaillés ci-dessous :

Lieu-dit et hameaux	Distance par rapport à l'éolienne la plus proche (m)
Saint Ladre, 60480 Noyers-Saint-Martin	1125 (E3)
Gouy, 60480 Noyers-Saint-Martin	850 (E1)
Fresneaux, 60480 Bucamps	1140 (E2)
Bois l'Abbé, 60480 Saint-André-Farivillers	1565 (E5)

Tableau 3 : Distances aux lieux de vie (lieux-dits) les plus proches

Les distances arrondies sont données ici à titre indicatif. Ne sont mentionnées que les distances à l'éolienne la plus proche.

Source. KALLISTA Energy, cadastre informatisé Ministère de l'Intérieur.

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

Les communes présentes sur la zone d'étude de dangers du projet sont toutes peu peuplées avec moins de 1000 habitants et présentent une densité très faible caractéristique des communes rurales :

Population	Noyers-Saint-Martin	Thieux	Campremy	Bucamps
Population municipale en 2016	848	436	497	190

Tableau 4 : Population des communes autour du projet

Source : INSEE

3.1.2 Établissements recevant du public (ERP)

Selon l'Article R 123-2 du code de la construction et de l'habitation, les ERP sont « tous les bâtiments, locaux et enceintes dans lesquels des personnes sont admises, soit librement, soit moyennant une rétribution ou une participation quelconque, ou dans lesquels sont tenues des réunions ouvertes à tout venant ou sur invitation, payantes ou non. »

Les établissements recevant du public autour et à proximité du site sont situés dans les bourgs des villages et hameaux, et sont de type mairies, commerces, églises, écoles, etc.

Pour ce projet de renouvellement du parc éolien du Cornouiller, aucun établissement recevant du public n'est recensé dans un périmètre de 500 m autour des éoliennes.

On note la présence d'un cimetière (en partie sur la zone d'étude), considéré comme Installation Ouverte au Public.

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

Dans la zone d'étude de 500 mètres autour des éoliennes, en plus des 6 éoliennes prévues dans le projet de renouvellement du parc du Cornouiller (soumises à Autorisation au titre des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (rubrique 2980)), on retrouve aussi 7 autres éoliennes provenant de deux parcs éoliens différents. Le parc de Noyers-et-Bucamps a été mis en service en novembre 2018 tandis que le parc des Hauts Bouleaux est autorisé mais non construit à ce jour.

Numéro éolienne	Parc éolien	D* à E1	D à E2	D à E3	D à E4	D à E5	D à E6
NSM2	Noyers et Bucamps	>500m	>500m	>500m	>500m	445m	>500m
NSM4	Noyers et Bucamps	460m	>500m	>500m	>500m	>500m	>500m
NSM5	Noyers et Bucamps	430m	>500m	>500m	>500m	>500m	>500m
LBH1	Les Hauts Bouleaux	>500m	>500m	>500m	>500m	>500m	475m
LHB3	Les Hauts Bouleaux	>500m	>500m	475m	>500m	>500m	>500m
LHB5	Les Hauts Bouleaux	>500m	440m	>500m	>500m	>500m	>500m
LHB6	Les Hauts Bouleaux	>500m	460m	>500m	>500m	>500m	>500m

Tableau 5: Distance inter éoliennes

D = Distance

Les distances arrondies sont données ici à titre indicatif.

D'autres éoliennes sont localisées au sein des communes autour du projet de renouvellement du parc éolien du Cornouiller, mais en dehors de l'aire d'étude.

Aucun établissement SEVESO, et aucune installation nucléaire de base (INB), n'est présent dans les limites de la zone d'étude.

3.1.4 Autres activités

La zone d'étude ne comprend que deux types d'activités : l'agriculture (grandes cultures céréalières principalement) et la production éolienne.

Les parcelles agricoles recouvrant la zone d'étude sont majoritairement utilisées pour la culture céréalière.

La production éolienne dans la zone d'étude est assurée par le parc éolien Cornouiller, parc à renouveler par le présent projet, ainsi que par des éoliennes appartenant aux parcs Les Hauts Bouleaux (autorisé non construit) ainsi que Noyers et Bucamps. Les plateformes et chemins pour accéder à celles-ci peuvent être utilisés par des équipes de maintenance.

Des chemins peuvent être utilisés par des véhicules agricoles dans le cadre de l'activité d'exploitation agricole prépondérante sur le site.

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

3.2 ENVIRONNEMENT NATUREL

3.2.1 Contexte climatique

D'après les informations disponibles auprès de la station Météo-France de Beauvais (60) (*Fiche Climatologique, Statistiques 1981 – 2010 et records, Météo France*), la température moyenne mensuelle varie entre 4°C en décembre à 18,4°C en juillet. On constate un cumul de 55,1 jours de gel répartis entre octobre et mai, dont 9,0 jours pour des températures inférieures ou égales à -5°C réparties entre novembre et mars.

En matière de précipitations, les pluies sont bien réparties sur l'année, ne témoignant pas de période de sécheresse en été, avec un cumul minimum de 45,5mm en février 68,6mm en décembre. On retrouve un nombre de jours moyen de chute neige de 14,3 jours, un nombre de jours moyen de chute de grêle de 1,4 jours, ainsi qu'un nombre de jours moyen de brouillard de 47,4 jours.

Concernant le vent, les données de la station de Beauvais indiquent un nombre moyen de jours avec des rafales supérieures ou égales à 16m/s allant de 2,1 jours en juin/juillet à 8,2 jours en janvier, pour un total de 52,8 jours sur l'année. On retrouve aussi un nombre moyen de jours avec des rafales supérieures ou égales à 28m/s allant de 0,0 jour en avril à 0,4 jour en janvier. Plus précisément sur le site, d'après le Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) de la région Picardie, la vitesse moyenne des vents du site, à 40 m d'altitude, varie entre 5,5 à 6 et m/s (soit entre 19,8 km/h et 21,6 km/h).

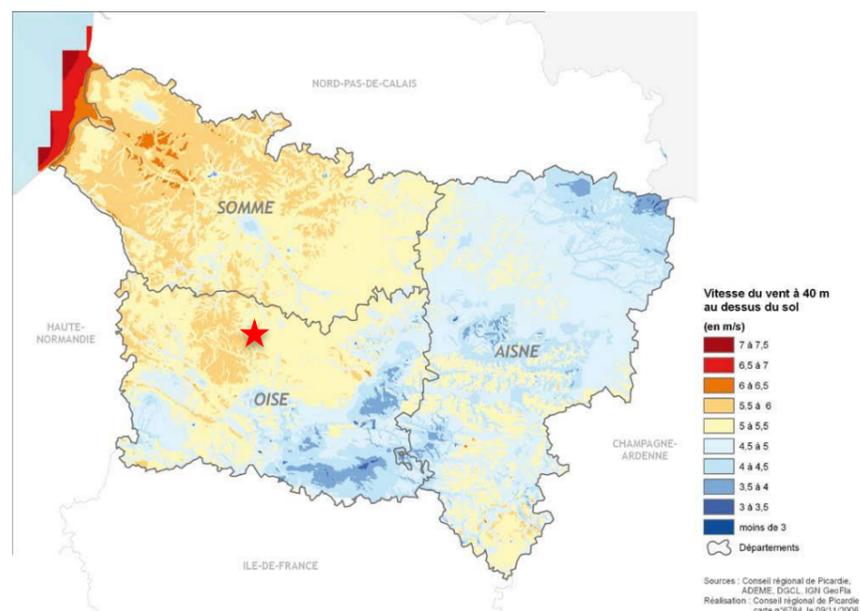


Figure 4: Gisement éolien de la région Picardie, à 40 m d'altitude – (source : SRCAE, 2012) Légende : Etoile rouge = Localisation du site

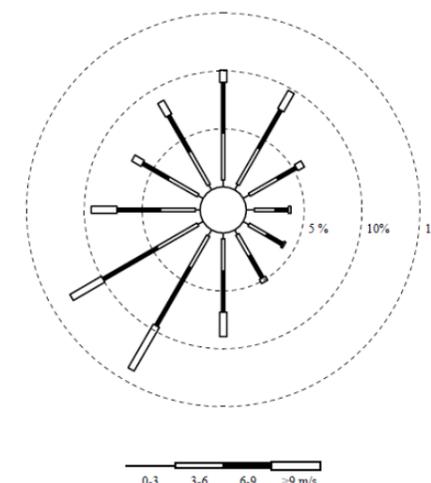


Figure 5 : Rose des vents - parc éolien du Cornouiller 1 – Garrad Hassan and Partners 2005

Les données enregistrées par les éoliennes actuellement en fonctionnement montrent une direction principale du vent sur le site : Sud-Ouest. La vitesse moyenne du vent sur cette période a été de 6.6 m/s à 80 mètres d'altitude (hauteur du moyeu).

3.2.2 Risques naturels

Les risques naturels ont été étudiés en détail dans le cadre de l'étude d'impact sur l'environnement et la santé réalisée dans le cadre de ce projet.

■ SISMICITE

Le projet est localisé en zone de sismicité 1. Le risque sismique est faible.

■ MOUVEMENT DE TERRAIN

Plusieurs cavités sont présentes sur la commune de Bucamps mais aucune de ces cavités n'est située dans la zone d'étude. En revanche, le site georisque.gouv.fr met en avant la présence d'une cavité souterraine « indéterminée » à moins de 500 mètres de l'éolienne 6 prévue, et située sur la commune de Camprémy.

■ RISQUE MINIER

La zone d'étude n'est pas soumise au risque minier.

■ ALEA RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES

La zone d'étude est soumise à un aléa faible pour le retrait et gonflement des argiles. Ce point pourra être confirmé ou infirmé lors de phase de travaux avec la réalisation de sondages.

■ FOUOROIEMENT

Une éolienne étant par définition une construction d'une hauteur importante érigée sur une surface dégagée, la possibilité d'un foudroiement n'est pas à exclure au cours de son utilisation. Une telle éventualité est particulièrement sensible lorsque des pales en fibres de carbone sont utilisées, en raison de la forte conductivité électrique de ce matériau. Aujourd'hui la quasi-totalité des pales d'éoliennes sont constituées de fibres de verre.

Le climat global du département est moyennement orageux. La densité de foudroiement est de 14, nettement inférieure à la moyenne nationale qui est de 20.

■ INCENDIES/FEUX DE FORÊTS

Le département de l'Oise est particulièrement exposé aux feux de végétation. Les feux d'herbes sèches et les feux de plaine sont deux types de feux de végétation possibles. Selon l'étude d'impact sur l'environnement et la santé, les territoires de Noyers-Saint-Martin, Thieux, Camprémy et Bucamps ne jouxtent pas d'espaces boisés ; le risque de feu de forêt est donc nul.

Néanmoins, un éventuel incendie de la végétation aux alentours serait susceptible de se propager aux installations.

■ INONDATIONS ET COULEES DE BOUES

La DDRM de l'Oise n'identifie pas de risque de débordement de cours d'eau sur les communes de Noyers-Saint-Martin, Thieux, Camprémy et Bucamps. La sensibilité va de faible à forte pour le phénomène d'inondation par remontées de nappes.

Les communes concernées par la zone d'étude ont fait l'objet des arrêtés de catastrophe naturelle suivants :

- Deux arrêtés pour « Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain » (29/12/1999) et « Inondations et coulées de boue » (14/08/2009) pour la commune de Noyers-Saint-Martin
- Un arrêté pour « Inondations, coulées de boue et mouvement de terrain » (29/12/1999) pour la commune de Thieux
- Un arrêté pour « Inondations, coulées de boue et mouvement de terrain » (29/12/1999) pour la commune de Bucamps
- Un arrêté pour « Inondations, coulées de boue et mouvement de terrain » (29/12/1999) pour la commune de Campremy

■ TEMPÊTES

Suite aux tempêtes survenues en décembre 1999, le Dossier Départemental des Risques Majeurs de l'Oise qualifie le risque de tempête comme possible.

■ RUPTURE DE BARRAGE

La zone d'étude n'est pas soumise au risque de rupture de barrage.

3.3 ENVIRONNEMENT MATÉRIEL

3.3.1 Voies de communication

■ TRANSPORT ROUTIER

On constate la présence de chemins (notamment celui de Montdidier), comme précisé auparavant, qui sont utilisés dans le cadre de l'activité éolienne ainsi que pour l'exploitation éolienne.

La zone d'étude est aussi traversée par plusieurs routes bitumées :

- La route départementale D23 reliant les communes de Thieux et Noyers-Saint-Martin
- La route département D112 reliant les communes de Noyers-Saint-Martin et Campremy

Selon le Conseil départemental de l'Oise, la route départementale 112 a comptabilisé 732 véhicules/jour, dont 4% de poids lourds (année de comptage : 2008). La route départementale 23 comptabilise 1425 véhicules/jour, dont 8,3% de poids lourds (année de comptage : 2012). Ces deux routes, de par leur trafic inférieur à 2000 véhicules par jour, ne sont pas considérées comme structurantes.

La distance de la route départementale D23 à l'éolienne la plus proche (E4) est d'environ 360m. Cela constitue un éloignement conséquent comparé au parc actuel dont la distance actuelle est d'environ 48m.

La distance de la route départementale D112 à l'éolienne la plus proche est d'environ 283m. Cela constitue ici encore un éloignement comparé au parc actuel dont la distance actuelle est d'environ 50m.

Aucun chemin de la zone d'étude n'est inscrit au PDIPR.

■ TRANSPORT DE MATIERES DANGEREUSES (TMD)

Le DDRM de l'Oise précise que compte tenu de la diversité des produits transportés et des destinations, un accident de Transport de Matières Dangereuses peut survenir pratiquement n'importe où dans le département. Cependant certains axes présentent un risque plus fort du fait de l'importance du trafic.

Dans le département de l'Oise, les matières dangereuses sont essentiellement transportées par voies routières (70%) et ferroviaires (25%). Les transports de matières radioactives représentent environ 2% du nombre total des colis de matières dangereuses. Le risque TMD peut être jugé comme faible compte tenu des caractéristiques des routes présentes sur les communes concernées par la zone d'étude.

■ 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

Une consultation a été réalisée auprès des services de la DGAC qui n'y a pas répondu. Afin de s'assurer de la compatibilité du projet de renouvellement avec les éventuelles servitudes aériennes, Kallista Energy a mandaté un bureau d'étude. Ce dernier a révélé que le projet devra respecter la limitation de 309m NGF en raison des procédures aux instruments de l'aéroport de Beauvais et de l'altitude de Sécurité Radar de Paris Charles de Gaulle. Cette limitation stricte est confirmée par les altitudes maximales de tous les parcs environnants.

Le projet respecte cette préconisation.

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)

Aucune ligne, aérienne ou souterraine, appartenant au réseau public de transport d'énergie électrique (ouvrage de tension supérieure à 50 kV) ne traverse la zone d'étude.

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

Selon l'étude d'impact sur l'environnement et la santé aucune servitude pour le transport de gaz n'est présente sur les territoires de la zone d'étude.

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

La zone d'implantation du projet n'interfère avec aucun captage d'eau potable ni aucun périmètre de protection de captage. Pour Noyers-Saint-Martin, l'alimentation en eau potable provient d'un captage situé sur la commune. Le réseau est exploité directement par la commune par délégation de service public. Pour les communes de Thieux et Bucamps, l'alimentation en eau potable provient de deux puits situés à Maisoncelle-Tuilerie. La distribution de l'eau est assurée par l'entreprise Véolia.

La cartographie présente sur geo.data.gouv permet de confirmer l'absence de stations d'épurations sur les communes de Thieux, Noyers-Saint-Martin, Bucamps et Campremy.

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 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.

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

- 6 éoliennes Kallista Energy. 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. On prendra une zone d'un rayon de 26 mètres autour de ces éoliennes comme zone de fréquentation. On retrouve aussi dans la zone d'étude 3 éoliennes du parc de Noyers et Bucamps (E5, E4, E2) ainsi que 3 éoliennes des Hauts Bouleaux (E6, E5, E3). En ayant pris une zone de fréquentation de 26 mètres autour des éoliennes, une éolienne a sa zone de fréquentation en partie à l'intérieur de la zone d'étude (bien qu'ayant l'implantation du mat situé à l'extérieur). Il s'agit de l'éolienne E4 du parc des Hauts Bouleaux
- Parcelles agricoles, champs 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 les chemins ruraux, d'exploitations ou piste d'accès aux éoliennes, nous considérerons une largeur moyenne de 5 m.

- Un cimetière présent en partie sur la zone d'étude. Ce dernier est classé en terrain aménagé et fréquenté et où l'on considère 10 personnes présentes par tranche de 1 ha.
- Le tableau a été réalisé en s'appuyant sur les données de terrains actuelles

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

Occupation du sol		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)			
Nature	Quantité	Catégorie	Calcul	Détail	Total
Parcelles agricoles, champs, friches etc.	3 471 241 m ²	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	3,47 personnes	6,29 personnes
Chemins ruraux, Voie communale et Route Départementale (D112 et D23)	36 905 m ²	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,37 personnes	
Aires des éoliennes et aire du Poste de Livraison	28 337 m ²			0,28 personnes	
Cimetière	2 172 m ²	Terrains aménagés et fréquentés	10 pers / 1 ha	2,17 personnes	

Tableau 6: Synthèse des enjeux

4 . DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

Les différents enjeux identifiés précédemment apparaissent sur les deux cartes des enjeux suivants :

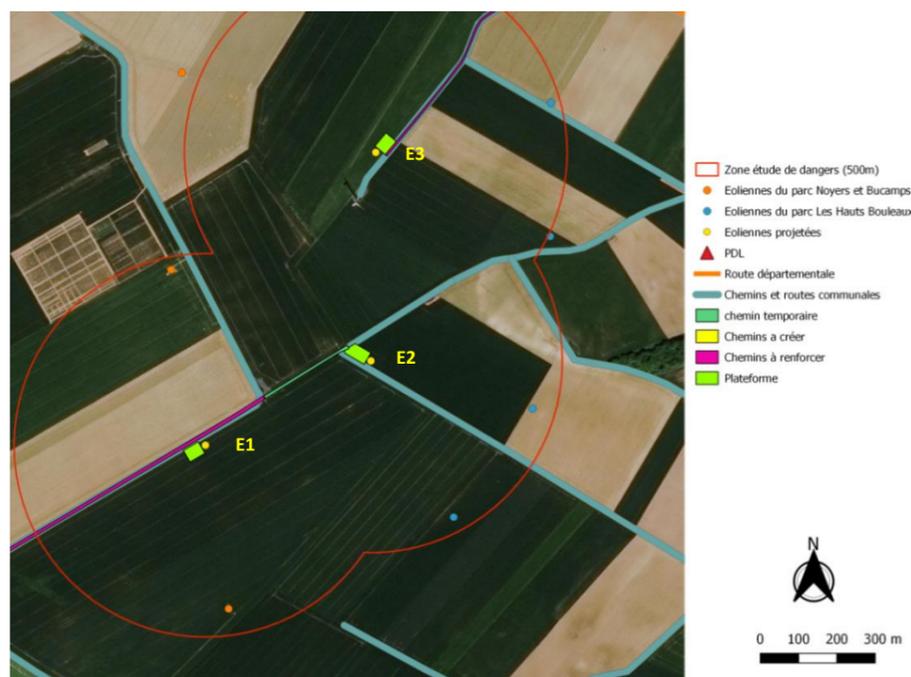


Figure 6: Carte des enjeux éoliennes 1, 2, 3

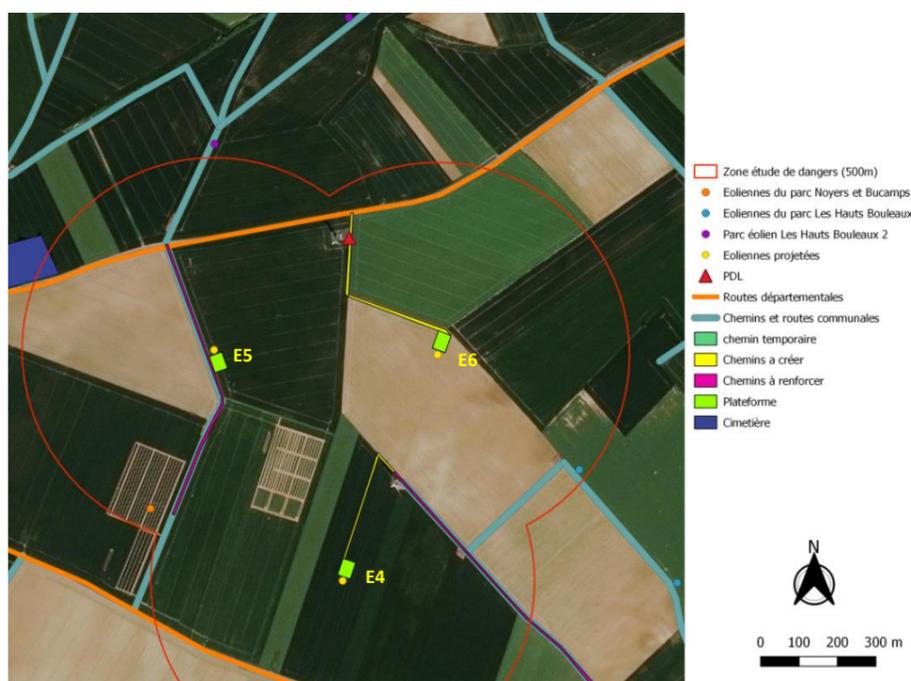


Figure 7: carte des enjeux éoliennes 4, 5, 6

On entend Poste de Livraison par PDL.

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 (2), 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, chacune fixé 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 poste de livraison électrique (appelé « réseau inter-éolien »)
- Un poste 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.pâle

■ 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.

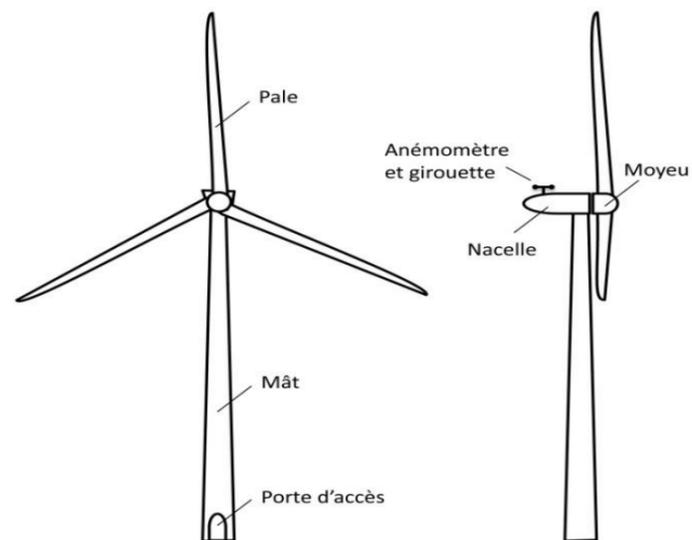


Figure 8: Schéma simplifié d'un aérogénérateur

■ 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.

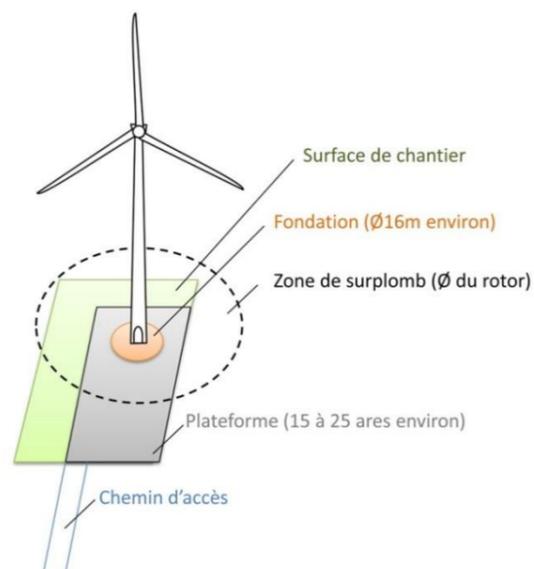


Figure 9: Illustration des emprises au sol d'une éolienne

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

■ 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 du Cornouiller est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur (mât + nacelle) de 76 m ou 80m (détaillé ci-dessous). 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

Dans le cadre de ce renouvellement, deux variantes sont envisagées.

Première variante de gabarit :

Le renouvellement du parc éolien du Cornouiller est composé de 5 aérogénérateurs (toutes sauf E5) NORDEX N117 3MW, 1 aérogénérateur (éolienne E5) NORDEX N100 2.5MW et d'un poste de livraison. Les aérogénérateurs N117 ont une hauteur de mât de 76 mètres au sens de la réglementation ICPE et un diamètre de rotor de 116,8 mètres, soit une hauteur en bout de pale de 134,4 mètres. L'aérogénérateur N100 a une hauteur de mât de 80m au sens de la réglementation ICPE et un diamètre rotor de 99,8 mètres, soit une hauteur de bout de pale de 129,9 mètres.

	Abb	Nordex N117		Nordex N100	
Type		N117 3000 Controlled		N100	
Classe de vent		IEC 2		IEC 2	
Puissance nominale		3000	kW	2500	kW
Hauteur Mât au moyeu (centre du rotor)	H	76	m	80	m
Diamètre de rotor	Drotor	116,8	m	99,8	m
Hauteur totale en bout de pale	Htot	134,4	m	129,9	m
Longueur Pale	Rp	57,3	m	48,7	m
Largeur à la base du mât	L	4,3	m	4,06	m
Largeur maximale de la pale	LB	3,5	m	3,1	m
Diamètre de la zone de survol	S	117,8	m	101,1	m

Tableau 7: Caractéristiques du modèle des éoliennes Nordex retenues

Deuxième variante de gabarit :

Le renouvellement du parc éolien du Cornouiller est composé de 5 aérogénérateurs (toutes sauf E5) VESTAS V110 2,2MW, 1 aérogénérateur (éolienne E5) VESTAS V100 2,2MW et d'un poste de livraison. Les aérogénérateurs V110 ont une hauteur de mât de 80 mètres au sens de la réglementation ICPE et un diamètre de rotor de 110 mètres, soit une hauteur en bout de pale de 135 mètres. L'aérogénérateur V100 a une hauteur de mât de 80m au sens de la réglementation ICPE et un diamètre rotor de 100 mètres, soit une hauteur de bout de pale de 130 mètres.

	Abb	V110		V100	
Type		V110-2.2MW		V100-2.2MW	
Classe de vent		IEC 3A		IEC 2B	
Puissance nominale		2200	kW	2200	kW
Hauteur Mât au moyeu (centre du rotor)	H	80	m	80	m
Diamètre de rotor	Drotor	110	m	100	m
Hauteur totale en bout de pale	Htot	135	m	130	m
Longueur Pale	Rp	54	m	49	m
Largeur à la base du mât	L	3,65	m	3,65	m
Largeur maximale de la pale	LB	3,6	m	3,9	m

Tableau 8 : Caractéristiques des modèles d'éoliennes Vestas retenus

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 :

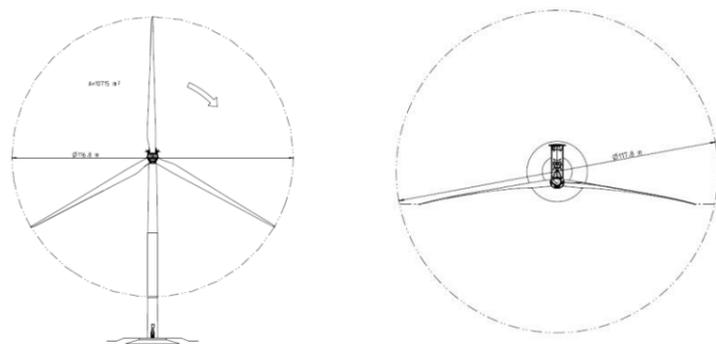


Figure 10: Diamètre de l'éolienne et zone de survol (vue de dessus)

Dans le cas des modèles Vestas d'éoliennes traités dans cette étude, l'angle formé entre les pales au niveau du moyeu est assez faible pour considérer le diamètre de la zone de survol comme le diamètre du rotor.

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

Éolienne/PDL	Longitude (X)	Latitude (Y)	Altitude du terrain en mètres NGF au pied de l'éolienne
E1	648 070.49	6937751.55	166
E2	648 502.74	6937971.43	161
E3	648 515.48	6938514.91	171
E4	648 481.63	6939313.22	174,3
E5	648 146.55	6939913.37	179
E6	648728,7	6939900,99	173,7
PDL	648497	6940204	176

Tableau 9 : Coordonnées des éoliennes et du poste de livraison

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 3 MW par exemple, la production électrique atteint 3 000 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 90 km/h, l'éolienne cesse de fonctionner pour des raisons de sécurité. Deux systèmes de freinage permettent 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.

4.2.1.1 Caractéristiques des aérogénérateurs de la variante Nordex

Eolienne Nordex N117 3000		
Conditions climatiques	Température ambiante de survie	-20 °C à +50 °C
	Puissance nominale	-20 °C à +40 °C
	Arrêter	-20 °C, redémarrage à -18 °C
	Certificat	Classe 2 selon IEC 61400-1
Conception technique	Puissance nominale	3000 kW
	Régulation de puissance	Variation active de pale individuelle
	Diamètre du rotor	116,8 m
	Hauteur du moyeu	76 m
	Concept de l'installation	Boite de vitesse, vitesse de rotation variable
	Plage de vitesse de rotation du rotor	8,0 à 14,1 tours par min
Rotor <i>Capte l'énergie mécanique du vent et la transmette à la génératrice</i>	Type	Orientation active des pales face au vent
	Sens de rotation	Sens horaire
	Nombre de pales	3
	Surface balayée	10 715 m ²
	Contrôle de vitesse	Variable via microprocesseur
	Contrôle de survitesse	Pitch électromotorisé indépendant sur chaque pale
	Matériau des pales	Plastique renforcé à la fibre de verre (GFK), protection contre la foudre intégrée en accord complet avec la norme IEC 61 - 400-24 (Juin 2010)
Nacelle <i>Supporte le rotor et abrite le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice, etc.) ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité</i>	Arbre de rotor <i>Transmet le mouvement de rotation des pales</i>	Entraîné par les pales
	Multiplicateur <i>Augmente le nombre de rotation de l'arbre</i>	Engrenage planétaire à plusieurs étages + étage à roue dentée droite ou entraînement différentiel Tension nulle
	Génératrice <i>Produit l'électricité</i>	Asynchrone à double alimentation Tension de 660 V
Système de freinage	Frein principal aérodynamique	Orientation individuelle des pales par activation électromécanique avec alimentation de secours
	Frein auxiliaire mécanique	Frein à disque à actionnement actif sur l'arbre

Eolienne Nordex N117 3000		
		rapide
Mât <i>Supporte le rotor et la nacelle</i>	Type	Tubulaire en acier
	Nombre de sections	3
	Protection contre la corrosion	Revêtement multicouche résine époxy
	Fixation du pied du mât	Cage d'ancrage noyée dans le béton de fondation
	-	La tour permet le cheminement des câbles électriques de puissance et de contrôle et abrite : une échelle d'accès à la nacelle, un élévateur de personnes, une armoire de contrôle et des armoires de batteries d'accumulateurs (en point bas), les cellules de protection électriques. Tension des câbles présents dans la tour : 480 ou 690 V.
Transformateur <i>Elève la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau</i>	Caractéristiques	A l'intérieur du mât Tension de 20 kV à la sortie
Fondation <i>Ancre et stabilise le mât dans le sol</i>	Type	En béton armé, de forme octogonale
	Dimensions	Design adapté en fonction des études géotechnique et hydrogéologique réalisées avant la construction (entre 2,5 et 3 mètres d'épaisseur pour un diamètre maximal d'environ 21 mètres)
Contrôle commande	Type matériel logiciel	Remote Field Controller/PLC, Nordex Control 2
	Démarrage automatique après coupure de réseau	Oui
	Démarrage automatique après vent de coupure	Oui
Périodes de fonctionnement	1,1 à 3 m/s	Un automate, informé par une girouette, commande aux moteurs d'orientation de placer l'éolienne face au vent
	Environ 3 m/s	Le vent est suffisant pour générer de l'électricité. L'éolienne peut être couplée au réseau électrique

Eolienne Nordex N117 3000		
	> 3 m/s	La génératrice délivre un courant électrique alternatif, dont l'intensité varie en fonction de la vitesse du vent
	12 à 25 m/s	L'éolienne fournit sa puissance nominale. Cette dernière est maintenue constante grâce à une réduction progressive de la portance des pales
Poste de livraison <i>Adapte les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public</i>	Caractéristiques	Equipé de différentes cellules électriques et automates qui permettent la connexion et la déconnexion du parc éolien au réseau 20 kV
Plateformes et chemin d'accès <i>Permettre l'accès à l'éolienne et le positionnement des grues nécessaires au levage et à la maintenance</i>	Caractéristiques	Empierrement stabilisé pour supporter le poids des grues Largeur du chemin : 5 m
Câbles souterrains <i>Acheminer l'électricité depuis les éoliennes jusqu'au le poste de livraison</i>	Caractéristiques	Câbles enterrés entre 80 et 100 cm de profondeur Présence d'un grillage avertisseur Réseau borné et repéré Tension des câbles : 20 000 V

Tableau 10 : Synthèse du fonctionnement des éoliennes Nordex N117 3000

Eolienne Nordex N100 2500		
Conditions climatiques	Température ambiante de survie	-20 °C à +50 °C
	Puissance nominale	-10 °C à +40 °C
	Arrêter	-20 °C, redémarrage à -18 °C
	Certificat	Classe 2a selon IEC 61400-1
Conception technique	Puissance nominale	2500 kW
	Régulation de puissance	Variation active de pale individuelle
	Diamètre du rotor	99,8 m
	Hauteur du moyeu	80 m
	Concept de l'installation	Boite de vitesse, vitesse de rotation variable

Eolienne Nordex N100 2500		
	Plage de vitesse de rotation du rotor	9,6 à 16,8 tours par min
Rotor <i>Capte l'énergie mécanique du vent et la transmette à la génératrice</i>	Type	Orientation active des pales face au vent
	Sens de rotation	Sens horaire
	Nombre de pales	3
	Surface balayée	7 823 m ²
	Contrôle de vitesse	Variable via microprocesseur
	Contrôle de survitesse	Pitch électromotorisé indépendant sur chaque pale
	Matériau des pales	Plastique renforcé à la fibre de verre (GFK), protection contre la foudre intégrée en accord complet avec la norme IEC 61 - 400-24 (Juin 2010)
Nacelle <i>Supporte le rotor et abrite le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice, etc.) ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité</i>	Arbre de rotor <i>Transmet le mouvement de rotation des pales</i>	Entraîné par les pales
	Multiplicateur <i>Augmente le nombre de rotation de l'arbre</i>	Engrenage planétaire à plusieurs étages + étage à roue dentée droite ou entraînement différentiel Tension nulle
	Génératrice <i>Produit l'électricité</i>	Asynchrone à double alimentation Tension de 660 V
Système de freinage	Frein principal aérodynamique	Orientation individuelle des pales par activation électromécanique avec alimentation de secours
	Frein auxiliaire mécanique	Frein à disque à actionnement actif sur l'arbre rapide
Mât <i>Supporte le rotor et la nacelle</i>	Type	Tubulaire en acier
	Nombre de sections	4
	Protection contre la corrosion	Revêtement multicouche résine époxy
	Fixation du pied du mât	Cage d'ancrage noyée dans le béton de fondation

Eolienne Nordex N100 2500		
Transformateur <i>Elève la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau</i>	Caractéristiques	A l'intérieur du mât Tension de 20 kV à la sortie
Fondation <i>Ancre et stabilise le mât dans le sol</i>	Type	En béton armé, de forme octogonale
	Dimensions	Design adapté en fonction des études géotechnique et hydrogéologique réalisées avant la construction (entre 2,5 et 3 mètres d'épaisseur pour un diamètre maximal d'environ 21 mètres)
Contrôle commande	Type matériel logiciel	Remote Field Controller/PLC, Nordex Control 2
	Démarrage automatique après coupure de réseau	Oui
	Démarrage automatique après vent de coupure	Oui
Périodes de fonctionnement	1,1 à 3 m/s	Un automate, informé par une girouette, commande aux moteurs d'orientation de placer l'éolienne face au vent
	Environ 3 m/s	Le vent est suffisant pour générer de l'électricité. L'éolienne peut être couplée au réseau électrique
	> 3 m/s	La génératrice délivre un courant électrique alternatif, dont l'intensité varie en fonction de la vitesse du vent
	13 à 25 m/s	L'éolienne fournit sa puissance nominale. Cette dernière est maintenue constante grâce à une réduction progressive de la portance des pales
Poste de livraison <i>Adapte les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public</i>	Caractéristiques	Equipé de différentes cellules électriques et automates qui permettent la connexion et la déconnexion du parc éolien au réseau 20 kV
Plateformes et chemin d'accès <i>Permettre l'accès à l'éolienne et le positionnement des grues nécessaires au levage et à la</i>	Caractéristiques	Empierrement stabilisé pour supporter le poids des grues Largeur du chemin : 5 m

Eolienne Nordex N100 2500		
<i>maintenance</i>		
Câbles souterrains <i>Acheminer l'électricité depuis les éoliennes jusqu'au le poste de livraison</i>	Caractéristiques	Câbles enterrés entre 80 et 100 cm de profondeur Présence d'un grillage avertisseur Réseau borné et repéré Tension des câbles : 20 000 V

Tableau 11 : Synthèse du fonctionnement des éoliennes Nordex N100 2500

4.2.1.2 Caractéristiques des aérogénérateurs de la variante Vestas

	V100 - 2.2 MW	V110 - 2.2 MW
Vitesse de couplage au réseau	> 3 m/s	> 3 m/s
Vitesse minimale nécessaire à la production maximale	> 12 m/s	> 11,5 m/s
Vitesse maximale de fonctionnement	> 22 m/s	> 20 m/s

Tableau 12: Vitesse de fonctionnement

Découpage fonctionnel de l'installation :

❖ Fondations

Fonction	Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol
Description	Le massif de fondation est composé de béton armé et conçu pour répondre aux prescriptions de l'Eurocode 2. Les fondations ont entre 2.5 et 3.5 mètres d'épaisseur pour un diamètre de l'ordre de 15 à 20 mètres. Ceci représente une masse de béton d'environ 1 000 tonnes. Un système constitué de tiges d'ancrage, dit « anchor cage » disposé au centre du massif de fondation, permet la fixation de la bride inférieure de la tour. Cette structure doit répondre aux calculs de dimensionnement des massifs qui prennent en compte les caractéristiques suivantes : <ul style="list-style-type: none"> • Le type d'éolienne ; • La nature des sols ;

- Les conditions météorologiques extrêmes ;
- Les conditions de fatigue.

❖ Tour / mât

Fonction	Supporter la nacelle et le rotor
Description	<p>La tour des éoliennes (également appelée mât) est constituée de plusieurs sections tubulaires en acier, de plusieurs dizaines de millimètres d'épaisseur et de forme tronconique, qui sont assemblées entre elles par brides. Fixée par une bride aux tiges d'ancrage disposées dans le massif de fondation, la tour est autoportante.</p> <p>La hauteur de la tour, ainsi que ses autres dimensions, sont en relation avec le diamètre du rotor, la classe des vents, la topologie du site et la puissance recherchée.</p> <p>La tour permet le cheminement des câbles électriques de puissance et de contrôle et abrite :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Une échelle d'accès à la nacelle ; • Un élévateur de personnes ; • Une armoire de contrôle et des armoires de batteries d'accumulateurs (en point bas) ; • Les cellules de protection électriques.
Tension dans les câbles présents dans la tour	Jusqu'à 20 000 V

	Hauteur de la tour (au moyen)	Nombre de sections de la tour	Masse*	Diamètre maximum à la base
V100 – 2.2 MW	80 m	3	116 tonnes	3.65 m
V110 – 2.2 MW	80 m	3	132 tonnes	3.65 m

Tableau 13: Caractéristiques tour - mât

* susceptible d'être inférieure

❖ Nacelle

Fonctions	<ul style="list-style-type: none"> • Supporter le rotor • Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité
Description	<p>La nacelle se situe au sommet de la tour et abrite les composants mécaniques, hydrauliques, électriques et électroniques, nécessaires au fonctionnement de l'éolienne (voir figure ci-après).</p> <p>Elle est constituée d'une structure métallique habillée de panneaux en fibre de verre et est équipée de fenêtres de toit permettant d'accéder à l'extérieur.</p> <p>Le système de refroidissement Vestas CoolerTop™ assure le refroidissement des principaux éléments de l'éolienne et sert également de support pour les</p>

balisages lumineux et les capteurs de vent (voir la photo ci-après). Ces capteurs à ultrasons mesurent en permanence la vitesse et la direction du vent. Une sonde de température extérieure est placée sous la nacelle et reliée au contrôle commande.

La nacelle n'est pas fixée de façon rigide à la tour. La partie intermédiaire entre la tour et la nacelle constitue le système d'orientation, appelé « yaw system », permettant à la nacelle de s'orienter face au vent, c'est-à-dire de positionner le rotor dans la direction du vent.

Le système d'orientation est constitué de plusieurs dispositifs motoréducteurs solidaires de la nacelle. Ces dispositifs permettent la rotation de la nacelle et son maintien en position face au vent. La vitesse maximum d'orientation de la nacelle est de moins de 0,5 degrés par seconde soit environ une vingtaine de minutes pour faire un tour complet.

Afin d'éviter une torsion excessive des câbles électriques reliant la génératrice au réseau public, il existe un dispositif de contrôle de rotation de la nacelle. Celle-ci peut faire 3 à 5 tours de part et d'autre d'une position moyenne. Au-delà, un dispositif automatique provoque l'arrêt de l'éolienne, le retour de la nacelle à sa position dite « zéro », puis la turbine redémarre.

Tension dans les armoires électriques

Entre 0 et 1 200 V.

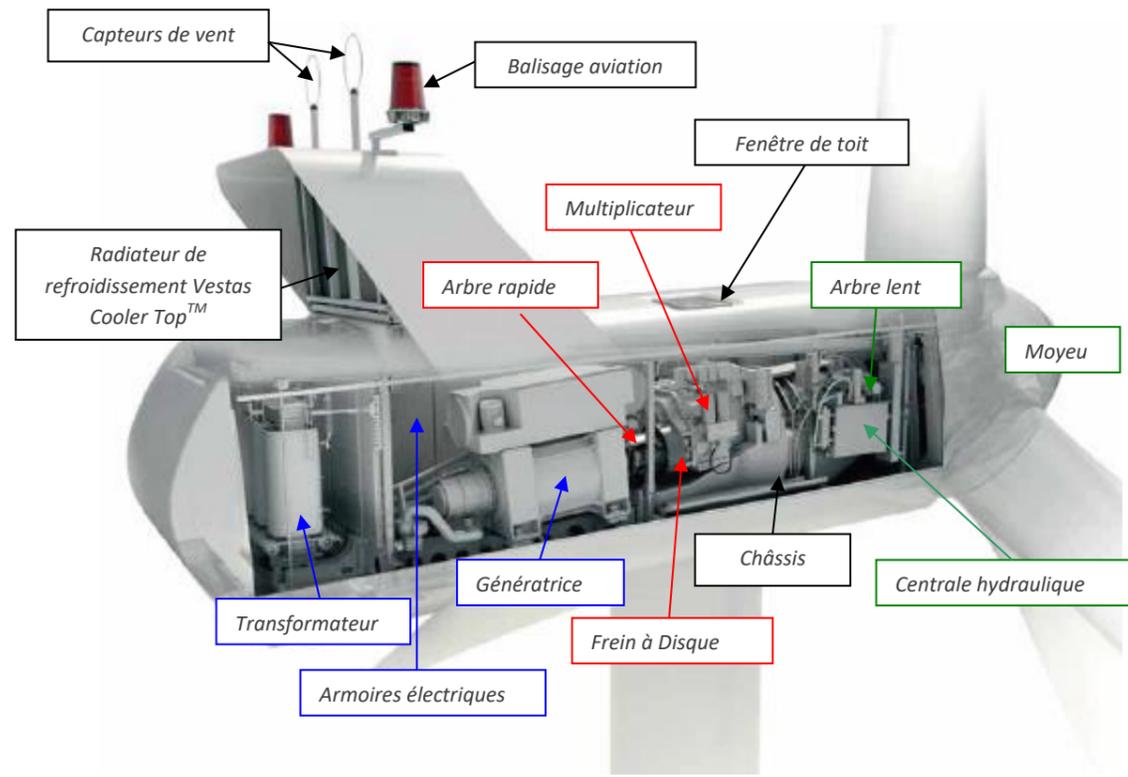


Figure 11: Composants de la nacelle

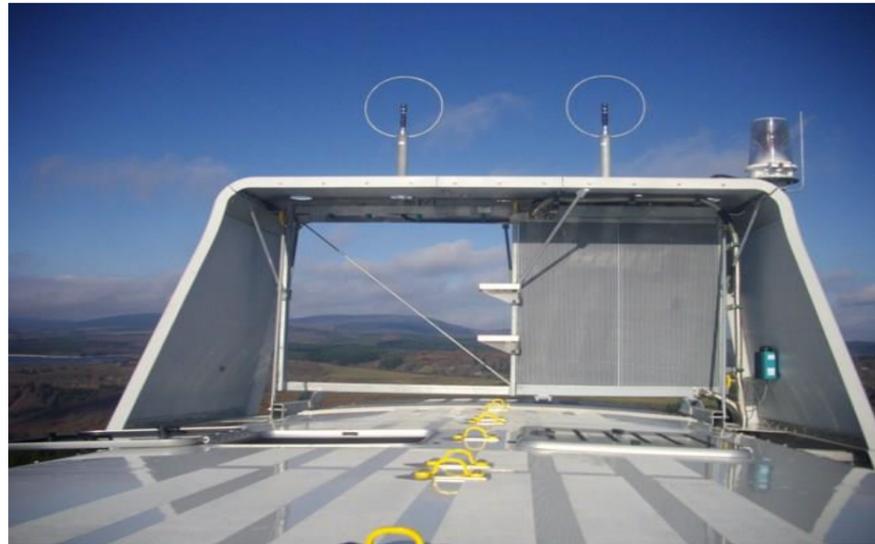


Photo 1: Toit de la nacelle

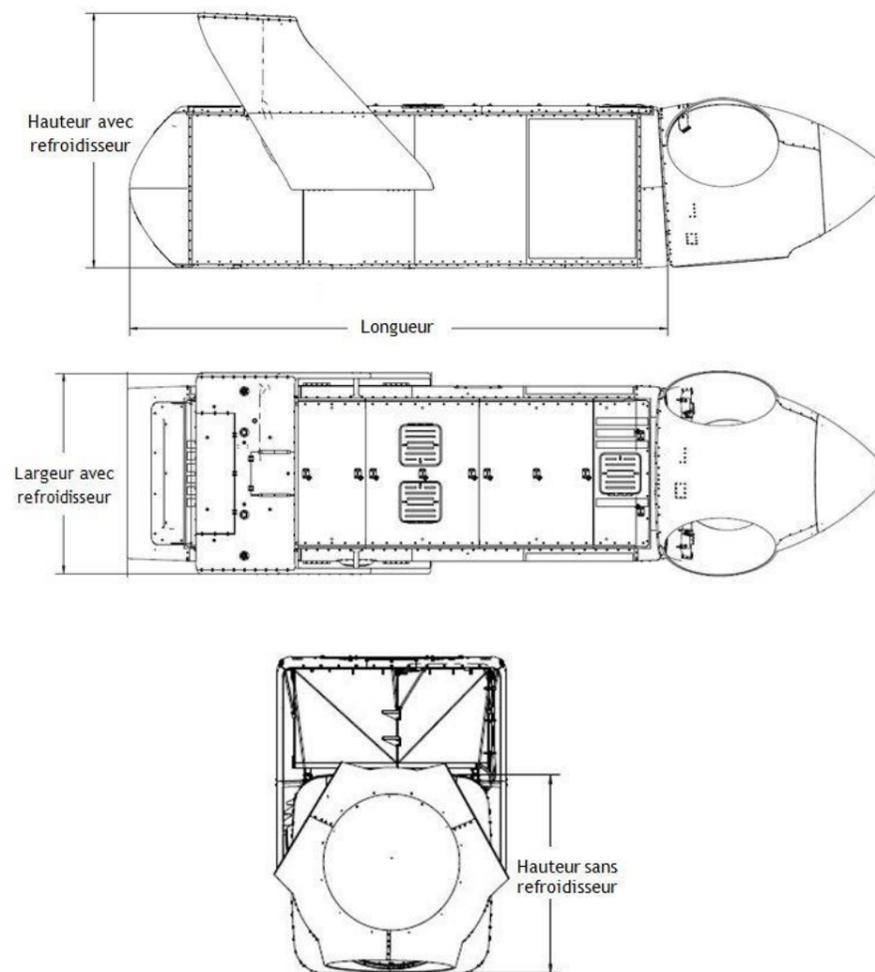


Figure 12: Schéma de la nacelle

	V100 – 2.2 MW	V110 – 2.2 MW
Longueur	10,4 m	
Largeur avec Cooler Top	3,9 m	
Hauteur sans Cooler Top	3,4 m	
Hauteur avec Cooler Top	5,4 m	
Poids	69 tonnes	

Tableau 14:Caractéristiques de la nacelle

❖ Rotor

Fonction	Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice
Description du rotor	<p>Les rotors Vestas sont composés de trois pales fixées au moyeu via des couronnes à deux rangées de billes et double contact radial. La rotation du rotor permet de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Elle est transmise à la génératrice via le multiplicateur.</p> <p>Les pales peuvent pivoter d'environ 90 degrés sur leur axe grâce à des vérins hydrauliques montés dans le moyeu. La position des pales est alors ajustée par un système d'inclinaison, appelé « Vestas Pitch System ». Ainsi, les variations de vitesse de vents sont constamment compensées par l'ajustement de l'angle d'inclinaison des pales. Le « Vestas Pitch System » est conçu pour optimiser au maximum la production de l'éolienne.</p> <p>Dans le cas où la vitesse de vent devient trop importante risquant d'amener une usure prématurée des divers composants ou de conduire à un emballement du rotor, le « Vestas Pitch System » ramène les pales dans une position où elles offrent le moins de prise au vent, dite « en drapeau », conduisant à l'arrêt du rotor (freinage aérodynamique). Ce système comprend également la présence d'accumulateurs hydropneumatiques disposés au plus près des vérins. Ces accumulateurs permettent, même en cas de perte du système de contrôle, de perte d'alimentation électrique ou de défaillance du système hydraulique, de ramener les pales en drapeau.</p> <p>Chaque pale est indépendante et équipée de son propre pitch system afin de garantir un calage continu même en cas de dysfonctionnement du contrôle commande.</p> <p>Plusieurs notions caractérisent les pales :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La longueur, fonction de la puissance désirée ; • La corde (largeur maximale), fonction du couple nécessaire au démarrage et de celui désiré en fonctionnement ; • Les matériaux, fonction de la résistance souhaitée. <p>La géométrie de la pale est légèrement vrillée autour de son axe longitudinal pour un meilleur rendement.</p>

	V100 – 2.2 MW	V110 – 2.2 MW
ROTOR		
Diamètre	100 m	110 m
Surface balayée	7 854 m ²	9 503 m ²
Vitesse de rotation théorique	14,9 tours/min	14,9 tours/min
PALES		
Longueur	49 m	54 m
Largeur maximale (corde)	3,9 m	3.6 m
Poids unitaire*	7 700 kg	8 300 kg
Matériau	Fibre de verre renforcée avec époxy et fibre de carbone	Fibre de verre renforcée avec époxy et fibre de carbone

Tableau 15: Caractéristiques rotor-pales

* En cours d'optimisation, susceptible d'être inférieur.

❖ Multiplicateur (Gearbox)

Fonction	Multiplier la vitesse de rotation issue de l'arbre lent
Description	<p>Le multiplicateur permet de multiplier la vitesse de rotation d'un facteur de l'ordre de 100 à 130 selon les modèles, de telle sorte que la vitesse de sortie (« arbre rapide ») est d'environ 1 500 tours par minute. Le multiplicateur est constitué d'un étage de train épicycloïdal et de deux arbres parallèles à roues dentées à dentures hélicoïdales.</p> <p>Le dispositif de transmission entre l'arbre rapide et la génératrice (coupling) est un dispositif flexible, réalisé en matériau composite afin de compenser les éventuels défauts d'alignement mais surtout afin de constituer une zone de moindre résistance et de pouvoir rompre en cas de blocage d'un des deux équipements.</p> <p>Sur l'arbre rapide du multiplicateur est monté un disque de frein, à commande hydraulique, utilisé pour l'arrêt de la turbine en cas d'urgence.</p>

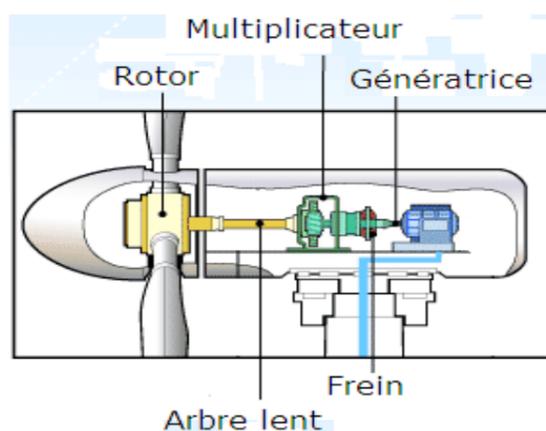


Figure 13 : Schéma simplifié de la chaîne cinématique

❖ Générateur et transformateur

Fonctions	<ul style="list-style-type: none"> • Produire de l'énergie électrique à partir d'énergie mécanique • Elever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau
Description	<p>Les éoliennes sont équipées d'un système générateur/transformateur fonctionnant à vitesse variable (et donc à puissance mécanique fluctuante). Le générateur, de type asynchrone, convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. Il s'agit d'un générateur triphasé, du type quadripolaire à rotor bobiné avec alimentation électrique du stator au démarrage. Il délivre deux niveaux de tension différents (690 V et 480 V en courant alternatif) qui sont dirigés vers le transformateur élévateur de tension.</p> <p>Le dispositif de contrôle « Vestas Converter System » (VCS) permet de réguler le fonctionnement du générateur.</p> <p>Le refroidissement du générateur est effectué par un système de circulation forcée d'air.</p> <p>En sortie de générateur, les deux niveaux de tension (480 V et 690 V) sont élevés jusqu'à 20 000V par un transformateur sec. Le courant de sortie est régulé par des dispositifs électroniques de façon à pouvoir être compatible avec le réseau public. Le transformateur est localisé dans une pièce fermée à l'arrière de la nacelle.</p>

❖ Connexion au réseau électrique public

Fonction	Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public
Description	<p>Les éoliennes d'un même champ éolien sont ensuite raccordées au réseau électrique de distribution (ERDF ou régies) ou de transport (RTE) via un ou plusieurs postes de livraison. Ces postes font ainsi l'interface entre les installations et le réseau électrique.</p> <p>Chaque poste est équipé d'appareils de comptage d'énergie indiquant l'énergie soutirée au réseau mais également celle injectée. Il comporte aussi la protection générale dont le but est de protéger les éoliennes et le réseau inter-éolien en cas de défaut sur le réseau électrique amont.</p> <p>Les liaisons électriques entre éoliennes et poste(s) de livraison sont assurées par des câbles souterrains.</p> <p>Les câbles sont enterrés entre 80 et 100 cm de profondeur.</p> <p>Un grillage avertisseur est présent.</p> <p>Le réseau est borné et repéré.</p>
Tension dans les câbles souterrains	20 000 V
Tensions dans les postes de livraison	20 000 V

❖ Plateforme et chemin d'accès

Fonction	Permettre l'accès à l'éolienne et le positionnement des grues nécessaires au levage et à la maintenance
Description	Empierrement stabilisé pour supporter le poids des grues Largeur du chemin : 5 m

❖ Poste de livraison

Fonction	Adapte les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public
Description	Equipé de différentes cellules électriques et automates qui permettent la connexion et la déconnexion du parc éolien au réseau 20 kV

4.2.2 Sécurité de l'installation

4.2.2.1 Règles de conception et système qualité Nordex

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

Les aérogénérateurs de type N117/3000 et les N100/2500 font l'objet d'évaluations de conformité (tant lors de la conception que lors de la construction), de certifications de type (certifications CE) par un organisme agréé et de déclarations de conformité aux standards et directives applicables. Les équipements projetés répondront aux normes internationales de la Commission électrotechnique internationale (CEI) et Normes françaises (NF) homologuées relatives à la sécurité des éoliennes, et notamment :

- la norme IEC61400-1 / NF EN 61400-1 Juin 2006 intitulée « Exigence de conception », qui spécifie les exigences de conception essentielles pour assurer l'intégrité technique des éoliennes. Elle a pour objet de fournir un niveau de protection approprié contre les dommages causés par tous les risques pendant la durée de vie prévue. Elle concerne tous les sous-systèmes des éoliennes tels que les mécanismes de commande et de protection, les systèmes électriques internes, les systèmes mécaniques et les structures de soutien ; La norme IEC 61400-1 spécifie les exigences de conception essentielles pour assurer l'intégrité technique des éoliennes.
- la norme IEC61400-22 / NF EN 61400-22 Avril 2011 intitulée « essais de conformité et certification », qui définit les règles et procédures d'un système de certification des éoliennes comprenant la certification de type et la certification des projets d'éoliennes installées sur terre ou en mer. Ce système spécifie les règles relatives aux procédures et à la gestion de mise en œuvre de l'évaluation de la conformité d'une éolienne et des parcs éoliens, avec les normes spécifiques et autres exigences techniques en matière de sécurité, de fiabilité, de performance, d'essais et d'interaction avec les réseaux électriques.
- la norme CEI/TS 61400-23:2001 Avril 2001 intitulée « essais en vraie grandeur des structures des pales » relative aux essais mécaniques et essais de fatigue.

D'autres normes de sécurité sont applicables :

- la génératrice est construite suivant le standard IEC60034 et les équipements mécaniques répondent aux règles fixées par la norme ISO81400-4.
- la protection foudre de l'éolienne répond au standard IEC61400-24 et aux standards non spécifiques aux éoliennes comme IEC62305-1, IEC62305-3 et IEC62305-4.
- la Directive 2004/108/EC du 15 décembre 2004 relative aux réglementations qui concernent les ondes électromagnétiques.
- le traitement anticorrosion des éoliennes répond à la norme ISO 9223.

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

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

4.2.2.2 Règles de conception et système qualité Vestas

La liste des codes et standards appliqués pour la construction des éoliennes Vestas, présentée ci-après, n'est pas exhaustive (il y a en effet des centaines de standards applicables). Seuls les principaux standards sont présentés ci-dessous.

- La norme IEC61400-1 intitulée « 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 : IEC61400-1. Les pales respectent le standard IEC61400-1 ; 12 ; 23.
- La génératrice est construite suivant le standard IEC60034.
- La conception du multiplicateur répond aux règles fixées par la norme ISO81400-4.
- La protection foudre de l'éolienne répond au standard IEC61400-24 et aux standards non spécifiques aux éoliennes comme IEC62305-1, IEC62305-3 et IEC62305-4.
- Les éoliennes Vestas répondent aux réglementations qui concernent les ondes électromagnétiques, notamment la Directive 2004/108/EC du 15 décembre 2004.
- Les éoliennes Vestas sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air. Le traitement anticorrosion des éoliennes répond à la norme ISO 12944.

	Partie extérieure	Partie intérieure
Nacelle Vestas	C5	Minimum C3
Moyeu	C5	C3
Tour	C5-I	C3

Les divers types d'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.

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

4.2.2.3 Prescriptions relatives à l'arrêté du 26 août 2011

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

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
- à plus de 250 m de bâtiments à usage de bureaux

Article 12 de l'arrêté du 26 août 2011 : Kallista Energy fera réaliser une étude de suivi de mortalité.

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 et, le cas échéant, sur le poste de raccordement. 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.
- Deux signalétiques, validées par la DREAL lors de contrôles précédents seront mis en place :
 - un panneau à l'entrée des chemins empruntés par les
 - un panneau de signalisation autocollant (dimensions d'environ 60 par 120) placé au pied de la tour
- L'interdiction d'entreposage à l'intérieur de l'aérogénérateur de matériaux combustibles ou inflammables.

La description détaillée des différents systèmes de sécurité de l'installation sera quant à elle effectuée au stade de l'analyse préliminaire des risques, dans la partie 7.6.

4.2.2.3.1.1 PRESCRIPTIONS NORDEX

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.

Article 7 de l'arrêté du 26 août 2011.

La voie d'accès carrossable est entretenue et permet l'intervention des services d'incendie et de secours.

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.

D'autres normes de sécurité sont respectées, notamment :

- Le respect des normes suivantes : norme IEC 61 400-24 (version de juin 2010), normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NFC 13-100 (version de 2001) et NFC 13-200 (version de 2009),
- L'installation conforme aux dispositions de la directive du 17 mai 2006 susvisée qui leur sont applicables,
- Le balisage de l'installation conformément aux dispositions prises en application des articles L. 6351-6 et L.6352-1 du code des transports et des articles R. 243-1 et R. 244-1 du code de l'aviation civile,
- La réalisation d'essais d'arrêt permettant de s'assurer du fonctionnement correct de l'ensemble des équipements avant la mise en service industrielle des aérogénérateurs.

4.2.2.3.1.2 PRESCRIPTION VESTAS

Article 5 de l'arrêté du 26 août 2011 :

Vestas est en mesure de proposer en option, un système de détection et d'arrêt automatique en cas d'effets stroboscopiques sur des cibles éventuelles qui consiste en un paramétrage du système SCADA, qui détecte ces effets en fonction de l'angle de la nacelle, du moment de la journée et du moment de l'année. Cette option sera levée en fonction du besoin, et suite à l'étude d'ombre.

Article 6 de l'arrêté du 26 août 2011 : L'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques est un enjeu sur lequel Vestas travaille depuis plusieurs années. Une étude a été réalisée en juin 2010 par la CRAM et les membres

du CHSCT afin d'estimer cette exposition. Les résultats montrent que les valeurs d'exposition sont très inférieures aux « valeurs déclenchant l'action » (VDA).

De nouvelles mesures ont été réalisées afin d'évaluer la valeur du champ électromagnétique émis par un parc d'éoliennes Vestas de 2 MW en fonctionnement. L'induction magnétique maximale mesurée est de 1,049 μ T, elle est donc 100 fois inférieure à la valeur limite. (Source EMITECH)

Article 7 de l'arrêté du 26 août 2011 : Vestas assure à travers ses contrats de maintenance, l'entretien et le maintien en bon état des voies d'accès. Les contrats de fourniture proposés par Vestas prévoient systématiquement la mise en place d'une voie d'accès carrossable permettant l'intervention des services d'incendie et de secours.

Article 8 de l'arrêté du 26 août 2011 : Vestas remet à chacun de ses clients un document « Type certificate » qui atteste de la conformité de l'éolienne fournie au standard IEC 61400-1 (édition 2005).

De plus, des organismes compétents externes, mandatés par l'exploitant du parc, produisent des rapports attestant de la conformité de nos turbines à la fin de la phase d'installation.

L'article R111-38 du code de la construction et de l'habitation fait référence au contrôle technique de construction. Il est obligatoire, à la charge de l'exploitant et réalisé par des organismes agréés par l'État. Ce contrôle assure la solidité des ouvrages ainsi que la sécurité des biens et des personnes.

Article 9 de l'arrêté du 26 août 2011 : L'ensemble des éoliennes Vestas respectent le standard IEC 61400-24. Le contrôle visuel des pales est inclus dans nos opérations de maintenance annuelles (visite planifiée Inspection Record Form - IRF).

Article 10 de l'arrêté du 26 août 2011 : Le certificat de conformité « *Declaration of Conformity* », remis avec chaque machine, atteste du respect de la Directive européenne dite « machine » du 17 mai 2006.

Les installations électriques doivent faire l'objet d'un contrôle avant la mise en service industrielle du parc éolien, puis annuellement, ce contrôle donnant lieu à un rapport, dit rapport de vérification annuel, réalisé par un organisme agréé.

Vestas propose à ses clients des contrôles électriques supplémentaires dans le cadre des maintenances annuelles.

Article 11 de l'arrêté du 26 août 2011 : Vestas propose un balisage conforme aux dispositions citées dans cet article.

Article 15 de l'arrêté du 26 août 2011 : Lors de la mise en service d'une éolienne, une série de tests est réalisée afin de s'assurer du fonctionnement et de la sécurité de l'éolienne. Parmi ces tests, les arrêts simples, d'urgence et de survitesse sont effectués.

Les essais des différents arrêts sont ensuite effectués tous les 6 mois suivant nos manuels de maintenance et sont reportés sur nos documents IRF attestant la réalisation de l'ensemble des opérations de maintenance. La mise à l'arrêt de la turbine est testée lors de la mise en service de la turbine puis à chaque intervention.

Article 16 de l'arrêté du 26 août 2011 : Le maintien de la propreté des équipements fait partie intégrante des prestations réalisées par les équipes Vestas dans le cadre des contrats de maintenance. Afin d'assurer un suivi précis, un rapport de service, intégrant des photos de l'intérieur des turbines, est réalisé après nos maintenances planifiées.

Aucun matériau combustible ou inflammable n'est entreposé dans les éoliennes Vestas.

Article 17 de l'arrêté du 26 août 2011 : La formation BST (Basic Safety Training) forme tous les techniciens Vestas et ses sous-traitants aux risques et à la conduite à tenir en cas de problème. Nos techniciens disposent également de formations leur permettant de travailler en toute sécurité. Parmi ces formations : utilisation des extincteurs, habilitation au travail en hauteur, habilitations électriques ou encore formation Sauveteur Secouriste du Travail (SST).

Article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 : Tous ces contrôles sont effectués par la société Vestas.

Article 19 de l'arrêté du 26 août 2011 : Le manuel de maintenance remis à l'exploitant fait état de la nature et de la fréquence des entretiens et opérations de maintenance. L'exploitant pourra tenir à jour un registre dans lequel sont consignées toutes les opérations de maintenance.

Toutes nos opérations sont sanctionnées par des Rapports de Service, reprenant l'ensemble des informations nécessaires, qui sont communiqués à l'exploitant au travers d'un Customer Portal.

Article 20 de l'arrêté du 26 août 2011 : Vestas a mis en place en 2011 le système d'Eol'tainer, dans le but d'améliorer la gestion de nos déchets et de respecter les objectifs environnementaux fixés à l'article L. 511-1 du code de l'environnement. Ces containers sont mis à disposition des techniciens directement sur site pendant les phases de maintenances programmées.

Durant les maintenances correctives, le tri est effectué au centre de maintenance.

A l'issue du service, l'Eol'tainer est récupéré par notre prestataire qui assure le traitement des déchets en centre agréé, et qui nous fournit ensuite un suivi sur chaque parc.

Le contrôle et la traçabilité des déchets jusqu'à leur élimination finale sont assurés grâce à l'édition d'un BSD (Bordereau de Suivi des Déchets), qui est une obligation réglementaire. Ces BSD sont ensuite mis à disposition de nos clients via le Customer Portal.

Article 21 de l'arrêté du 26 août 2011 : Les déchets non dangereux sont triés au centre de maintenance dans des contenants adaptés. Leur collecte et leur élimination sont assurées par des sociétés spécialisées.

Article 22 de l'arrêté du 26 août 2011 : Les consignes de sécurité et procédures mentionnées dans cet article se retrouvent dans les deux documents :

- Le manuel SST VESTAS répertorie l'ensemble des directives générales de santé et de sécurité au travail, ainsi que les conduites à tenir et les procédures à suivre en cas de fonctionnement anormal.
- Le document « Safety Regulations for operators and technicians » regroupe les règles de sécurité pour le travail à l'intérieur des turbines.

Les éoliennes Vestas ne sont pas concernées par les situations suivantes : haubans rompus ou relâchés et fixations détendues.

Article 23 de l'arrêté du 26 août 2011 : Les détecteurs de fumée font partie des équipements de série sur les turbines Vestas.

Le couplage des éléments de détection de fumée au système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant. Kallista Energy utilisera un système d'envoi d'email pour l'avertissement de ce type d'incident.

La détection de survitesse est également en série sur les turbines Vestas, et testée lors de nos opérations de maintenance.

Article 24 de l'arrêté du 26 août 2011 : Le système d'alarme contre les incendies est celui décrit précédemment. Par ailleurs, toutes nos éoliennes Vestas sont équipées d'extincteurs en pied de tour et dans la nacelle. Nos techniciens sont formés à leur utilisation.

Article 25 de l'arrêté du 26 août 2011 : Un détecteur fixe de glace sera installé sur la nacelle permettant de détecter la formation de glace. L'arrêt se fait également automatiquement ou manuellement sur décision des opérateurs. Le redémarrage est à définir par l'exploitant (manuellement après estimation de la quantité de givre par exemple).

Article 26 de l'arrêté du 26 août 2011 : Vestas met à la disposition de l'exploitant :

- Les courbes acoustiques garanties par vitesse de vent de chaque modèle d'aérogénérateur (reprises dans les Spécifications Générales de chaque modèle)
- Des rapports de mesure incluant les données acoustiques par bandes d'octave

Article 27 de l'arrêté du 26 août 2011 : Vestas respecte les normes en vigueur lors des phases d'installation, et dans l'exécution de ses contrats de maintenance. Ces normes concernent les véhicules, matériels, engins et appareils de communication.

4.2.2.4 Gestion du système

4.2.2.4.1.1 GESTION NORDEX

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

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

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

De plus, les éoliennes N117/3000 et N100/2500 sont équipées d'un système de contrôle à distance des données. La supervision peut s'effectuer à distance depuis un PC équipé d'un navigateur Internet et d'une connexion ADSL ou RNIS. Le logiciel de supervision (SCADA – Supervising Control And Data Acquisition) utilisé est le Nordex Control 2.

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

4.2.2.4.1.2 GESTION VESTAS

Les éoliennes sont des équipements de production d'énergie qui sont disposés à l'écart des zones urbanisées et qui ne nécessitent pas de présence permanente de personnel. Bien que certaines opérations nécessitent des interventions sur site, les éoliennes Vestas sont surveillées et pilotées à distance.

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

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

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

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

Afin d'assurer la sécurité des équipes intervenantes, un dispositif de prise de commande locale de l'éolienne est disposé en partie basse de la tour. Ainsi, lors des interventions sur l'éolienne, les opérateurs basculent ce dispositif sur « commande locale » ce qui interdit toute action pilotée à distance.

Toute intervention dans le rotor n'est réalisée qu'après mise à l'arrêt de celui-ci. De plus, des dispositifs de sectionnement sont répartis sur l'ensemble de la chaîne électrique afin de pouvoir isoler certaines parties et protéger ainsi le personnel intervenant.

Au-delà de certaines vitesses de vent, les interventions sur les équipements ne sont pas autorisées.

4.2.2.5 Méthodes et moyens d'intervention

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

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

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

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

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

	Composants	Opérations
Inspection après 3 mois de fonctionnement		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
	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 16: 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
	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

Composants	Opérations	6 mois	1 an
Arbre principal	Vérification du niveau sonore et vibratoire	x	x
	Vérification, lubrification des roulements principaux tous les 5 ans	x	x
	Lubrification des boulons de blocage du rotor	x	x
Générateur	Vérification du bruit des roulements	x	x
	Lubrification des roulements	x	x
Système d'inclinaison des pales	Vérification du bon fonctionnement du système d'inclinaison des pales		x
	Vérification des boulons tous les 3 ans		x
	Vérification des pistons des vérins hydrauliques		x
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
Système de refroidissement par eau	Remplacement des tuyaux tous les 7 ans		
	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
Onduleur	Extraction d'un échantillon d'huile pour analyse		x
	Vérification du bon fonctionnement de l'onduleur		x
	Remplacement des différents filtres des ventilateurs		x
Capteur de vent	Remplacement des différents ventilateurs tous les 5 ans		
	Remplacement de la batterie tous les 5 ans		
Système de détection d'arc électrique	Inspection visuelle du capteur de vitesse de vent		x
Tour	Test du capteur de détection d'arc électrique du jeu de barres et dans la salle du transformateur		x
	Vérification des filtres de ventilation		x
Armoire de contrôle en pied de tour	Maintenance de l'élévateur de personnes		x
	Test des batteries des processeurs et remplacement si nécessaire	x	
	Remplacement des batteries de secours tous les 5 ans		x

Composants	Opérations	6 mois	1 an
	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 17 : Description des opérations de maintenance régulières

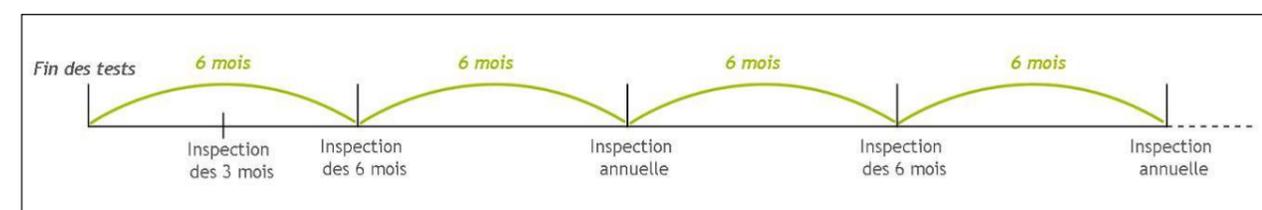


Figure 14: Calendrier de maintenance

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 renouvellement du parc éolien du Cornouiller.

4.3 FONCTIONNEMENT DES RÉSEAUX DE L'INSTALLATION

4.3.1 Raccordement électrique

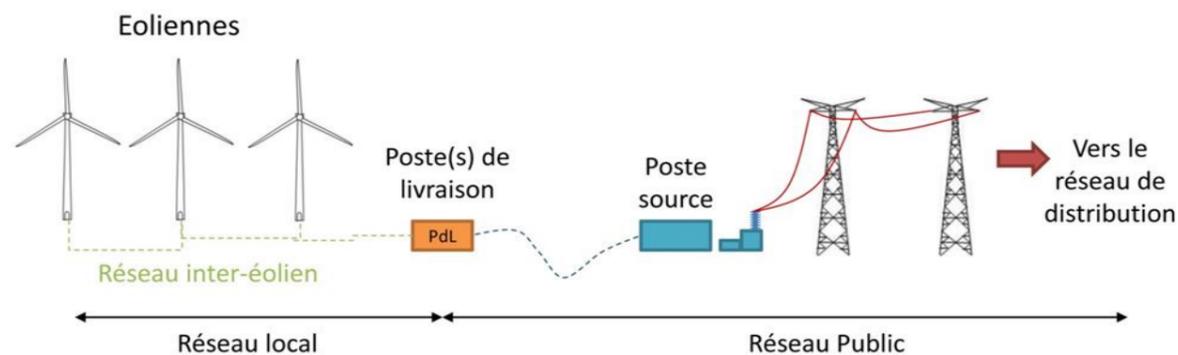


Figure 15: Raccordement électrique des installations

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 en 20 000 V. 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 de 80 à 100 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.

Pour le renouvellement du parc éolien du Cornouiller, un seul poste de livraison électrique est prévu.

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 ENEDIS). Il est lui aussi entièrement enterré.

4.3.2 Autres réseaux

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

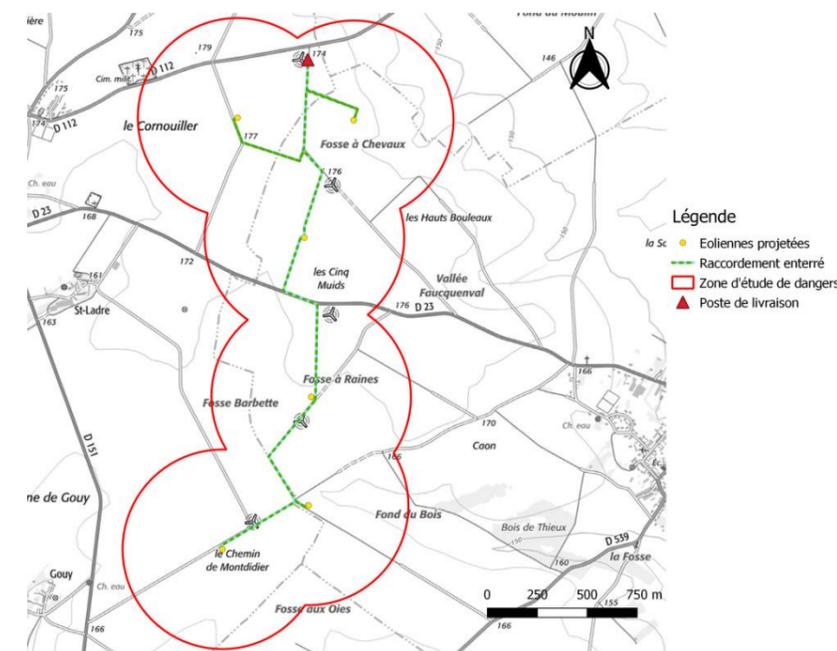


Figure 17: Configuration raccordement électrique

⇒ Les câbles utilisés sont enfouis à une profondeur de 80 à 100 cm. Ils sont en 150 mm² aluminium..

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 renouvellement du parc éolien du Cornouiller sont utilisés pour le bon fonctionnement des éoliennes, leur maintenance et leur entretien :

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

5.1.1 Produits utilisés par Nordex

La liste en est fournie dans le tableau suivant :

Lieu de lubrification	Désignation	Lubrifiant	Quantité	Classe de matière dangereuse
Système de refroidissement /Génératrice, /Convertisseur	Varidos FSK 45	Liquide de refroidissement	env. 70 L	Xn
Roulements de la génératrice	Klüberplex BEM 41-132	Graisse	env. 9,4 kg	-
Multiplicateurs, circuits de refroidissement inclus	Mobilgear XMP 320	Huile minérale Huile synthétique	450L	-
	Pour CCV : Optigear Synthetic / A320Optigear Synthetic		ou	
			550 L	
			ou 650 L	

	X320Mobilgear SHC XMP 320			
Système Hydraulique	Shell Tellus S4 VX 32	Huile minérale	env. 25 L	-
Palier de rotor	Mobil SHC Graisse 460 WT	Graisse	env. 30 kg	-
Roulement d'orientation de pale /Voie de roulement	Mobil SHC Graisse 460 WT	Graisse	3 x 4,9 kg	-
Engrenage	Ceplattyn BL gleitmo 585 K pour CCV	Graisse Graisse	env. 0,5 kg	-
Engrenage (orientation de pale)	Mobil SHC 629	Huile synthétique	3 x 11 L	-
Engrenage de système d'orientation	Mobil SHC 629	Huile synthétique	3/4 x 21 L	-
Roulements de système d'orientation /Voie de roulement	Mobil SHC Graisse 460 WT	Graisse	3,8 kg	-
/ Engrenage	Ceplattyn BL gleitmo 585 K pour CCV	Graisse Graisse	env. 0,5 kg	-
Transformateur	-	-	-	-

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

Tableau 18: Types et quantités de produits présents dans l'éolienne

5.1.2 Produits utilisés par Vestas

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

Lieu de lubrification	Désignation	Utilisation	Quantité
circuit haute pression	Texaco Rando WM 32	huile hydraulique	env. 260 L
multiplicateur	Mobil Gear SHCXMP 320	huile de lubrification	env. 300 à 400 L
liquide de refroidissement	eau glycolée	eau glycolée	env. 120 L
Roulements et systèmes d'entrainements	graisse	-	-
cellules de protection électrique	L'hexafluorure de soufre (SF ₆)	Gaz isolant	entre 1.5 kg et 2.15 kg

Tableau 19: Types et quantités de produits présents dans l'éolienne Vestas

D'autres produits peuvent être utilisés lors des phases de maintenance (lubrifiants, décapants, produits de nettoyage), mais toujours en faibles quantités (quelques litres au plus).

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, aucun produit inflammable ou combustible n'est stocké dans les aérogénérateurs ou le poste de livraison en dehors des produits nécessaires à leur fonctionnement.

Les risques associés aux différents produits concernant le site du renouvellement du parc éolien du Cornouiller sont :

L'incendie : des produits combustibles sont présents le site. Ainsi, la présence d'une charge calorifique peut alimenter un incendie en cas de départ de feu.

La toxicité : Ce risque peut survenir suite à un incendie créant certains produits de décomposition nocifs, entraînés dans les fumées de l'incendie.

La pollution : En cas de fuite sur une capacité de stockage, la migration des produits liquides dans le sol peut entraîner une pollution, également en cas d'entraînement dans les eaux d'extinction incendie.

5.2 POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

Les dangers liés au fonctionnement du renouvellement du parc éolien du Cornouiller 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 mécanique	Projection d'objets	Énergie cinétique des objets

Nacelle	Protection des équipements destinés à la production électrique	Chute de nacelle	Énergie cinétique de chute
----------------	--	------------------	----------------------------

Tableau 20 : Dangers potentiels d'une éolienne en fonctionnement

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 actuellement en exploitation. 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 scénarios 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 analyses des 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 zones dédiées à l'habitation,
 - 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 projets éoliens.

5.3.1.1 Réduction des dangers liés aux produits

5.3.1.1.1 CAS NORDEX

Comme précédemment indiqué, les produits présents dans une éolienne sont des lubrifiants. La quantité est estimée à environ 850 L par éolienne, et les lubrifiants doivent être contrôlés et partiellement renouvelés tous les 6 mois à 5 ans selon le type.

Les quantités de produits ne peuvent être diminuées et les produits lubrifiants en eux-mêmes ne peuvent faire l'objet de substitution (considérés comme non dangereux pour l'environnement si utilisés comme recommandés et combustibles mais non inflammables).

Les produits de nettoyage de type solvant, classés comme dangereux pour l'environnement peuvent quant à eux potentiellement faire l'objet de substitution. On rappelle cependant que ces produits ne sont utilisés que de manière ponctuelle et ne sont pas présents sur le site.

Il faut noter que la nacelle fait office de bac de récupération en cas de fuite au niveau de la couronne d'orientation. Le transformateur, présent dans le pied de l'éolienne ne nécessite pas de bac de récupération car un système sec est utilisé, il ne nécessite donc l'usage d'aucun lubrifiant.

La réduction des dangers liés aux produits dépend donc essentiellement de la bonne maintenance des appareils et du respect des règles de sécurité. Une attention particulière devra également être portée au transport des lubrifiants sur le site lors des phases de renouvellement.

5.3.1.1.1.2 CAS VESTAS

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

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

Le SF₆ est un très bon isolant et ne dispose pas à ce jour de produit de substitution présentant des qualités équivalentes. De plus, malgré son caractère de gaz à effet de serre, il ne présente pas de danger pour l'homme (inflammable et non toxique). Il n'est donc pas prévu de solution de substitution. Il faut rappeler que ce gaz est contenu dans les cellules d'isolement disposées en pied d'éolienne (cellules étanches) qui sont des matériels du commerce, et ne sont pas fabriqués par Vestas.

5.3.1.2 Réduction des dangers liés aux installations

Les deux constructeurs Nordex et Vestas accentuent les points suivants :

5.3.1.2.1.1 CAS NORDEX

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

- NORDEX, fournisseur des éoliennes et assurant leur maintenance, dispose d'un système de management HSE respecté par tous ses salariés.
- Le respect des règles de conduite et la limitation de la vitesse de circulation des engins et véhicules seront imposés. Un plan de circulation sera établi pour l'accès depuis les routes les plus proches.
- Les interventions se font par du personnel possédant l'habilitation électrique et la législation du travail dans les installations en hauteur, après visite de conformité par un organisme de contrôle agréé. Les techniciens de NORDEX sont formés, entraînés et autorisés. Ils sont équipés de leurs EPI.
- Des procédures d'installation et de maintenance claires et détaillées seront disponibles pour chacun des équipements.
- Le design et l'assemblage des équipements respectent les normes en vigueur et normes constructeur.

5.3.1.2.1.2 CAS VESTAS

Les dangers des équipements sont principalement dus au caractère mobile de ceux-ci (pièces en rotation) et à leur situation (à plusieurs dizaines de mètres au-dessus du sol). Ceci peut entraîner des chutes ou projection de pièces au sol.

Un autre danger est lié à la présence d'installations électriques avec des tensions élevées (jusqu'à 35 000 volts), dont le dysfonctionnement peut être à l'origine d'incendies.

Les équipements qui constituent à ce jour l'éolienne sont tous indispensables à son fonctionnement. Il n'est donc pas possible à priori de les substituer.

Depuis les débuts du développement de l'éolien, des évolutions technologiques ont permis de mettre en place des équipements plus performants en termes d'optimisation des rendements et de diminution des risques :

- Remplacement de pales métalliques par des pales en matériaux composites, plus légères et moins sujettes aux phénomènes de fatigue ;
- Dispositif d'orientation des pales permettant de fonctionner par vent faible et de diminuer les contraintes par vent fort ;
- Dispositif aérodynamique d'arrêt en cas de survitesse ;
- Dispositifs de surveillance des dysfonctionnements électriques (détecteur d'arcs notamment).

Ces évolutions se poursuivent toujours afin d'améliorer la sécurité.

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 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.

6 . ANALYSE DES RETOURS D'EXPÉRIENCE

L'objectif de ce chapitre de l'étude de dangers est de rappeler les différents incidents et accidents qui sont survenus dans la filière éolienne, afin d'en faire une synthèse en vue de l'analyse des risques pour l'installation et d'en tirer des enseignements pour une meilleure maîtrise du risque dans les parcs éoliens.

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

L'analyse des retours d'expérience vise donc ici à faire émerger des typologies d'accident rencontrés tant au niveau national qu'international. Ces typologies apportent un éclairage sur les scénarios les plus rencontrés. D'autres informations sont également utilisées dans la partie 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 renouvellement du parc éolien du Cornouiller. 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), complété par les données disponibles de la base de données ARIA (consultation en mars 2019) ainsi que par certains articles de presse divers (données jusqu'en mars 2019). Voir le Tableau de l'accidentologie française, au J.3. en Annexe.

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 (consultation mars 2019)
- Communiqués de presse du SER-FEE et/ou des exploitants éoliens (consultation mars 2019)
- Site Internet de l'association « Vent de Colère » (consultation mars 2019)
- Site Internet de l'association « Fédération Environnement Durable » (consultation mars 2019)
- Articles de presse divers (consultation mars 2019)
- 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 créée 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

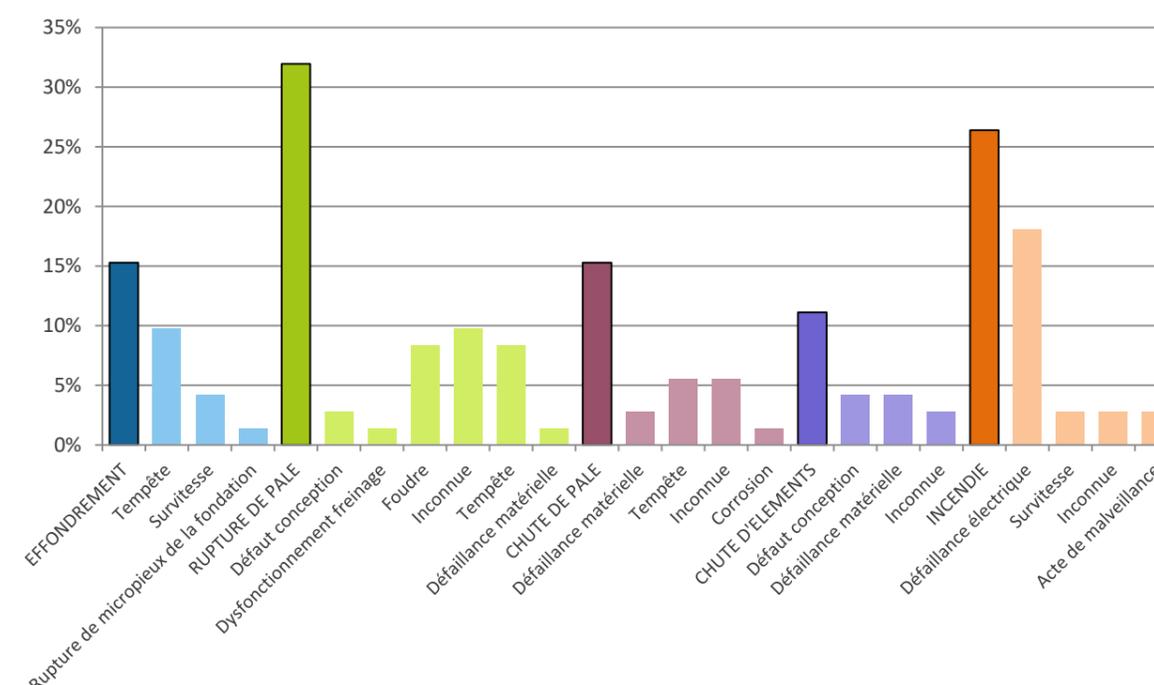
entre 2000 et début 2012 par le groupe de travail. Il est complété en mars 2019 par 43 incidents supplémentaires enregistrés en France entre 2012 et mars 2019.

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 début 2019. Cette synthèse exclut les accidents du travail (maintenance, chantier de construction, etc.) et les événements qui n'ont pas conduits à des effets sur les zones autour des aérogénérateurs. Dans ce graphique sont présentés :

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

Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et mars 2019



Sources : Kallista Energy 2019 d'après le retour d'expérience de la filière éolienne du guide INERIS 2012, complément d'après consultation base ARIA et articles de presse mars 2019

Figure 18 : Répartition des événements accidentels et leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et début 2019

Par ordre d'importance, les accidents les plus recensés sont les ruptures de pale, les incendies, les chutes de pale, les effondrements 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 décembre 2018.

La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur les 2372 accidents décrits dans la base de données au mois de décembre 2018, 985 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.

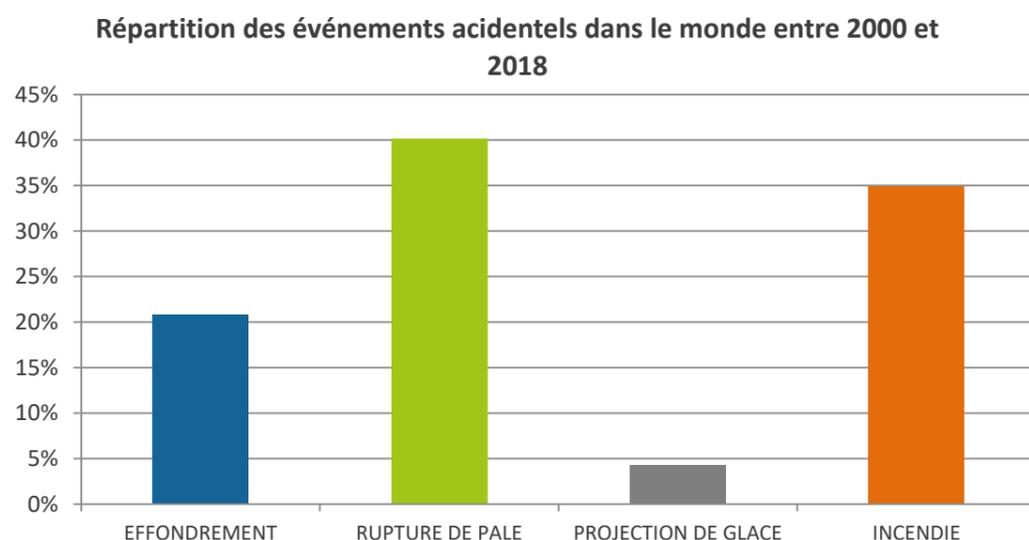


Figure 19 : Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2018

La répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2018 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 2011 (données en répartition par rapport à la totalité des accidents analysés).

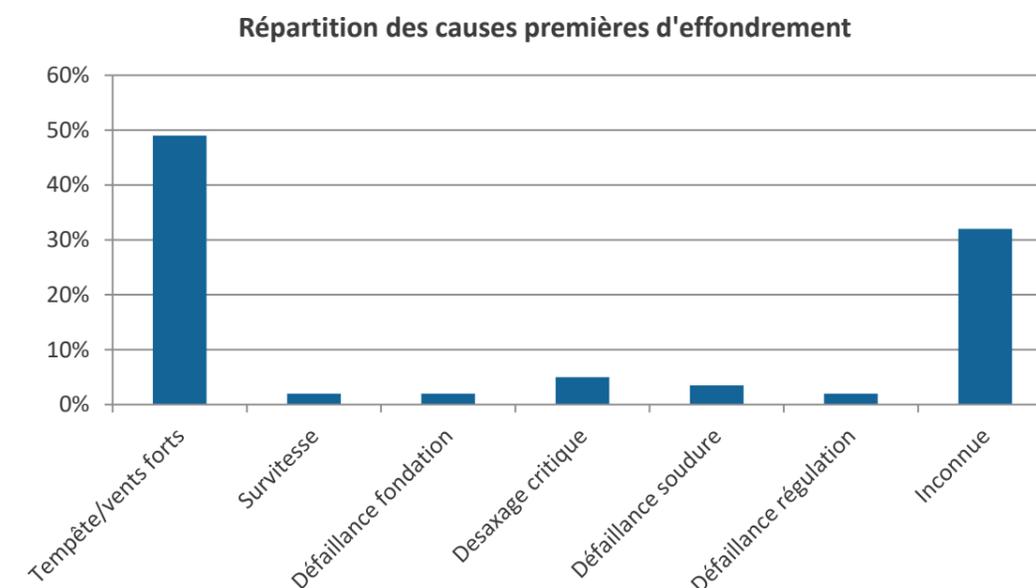


Figure 20 : Répartition des causes premières d'effondrement

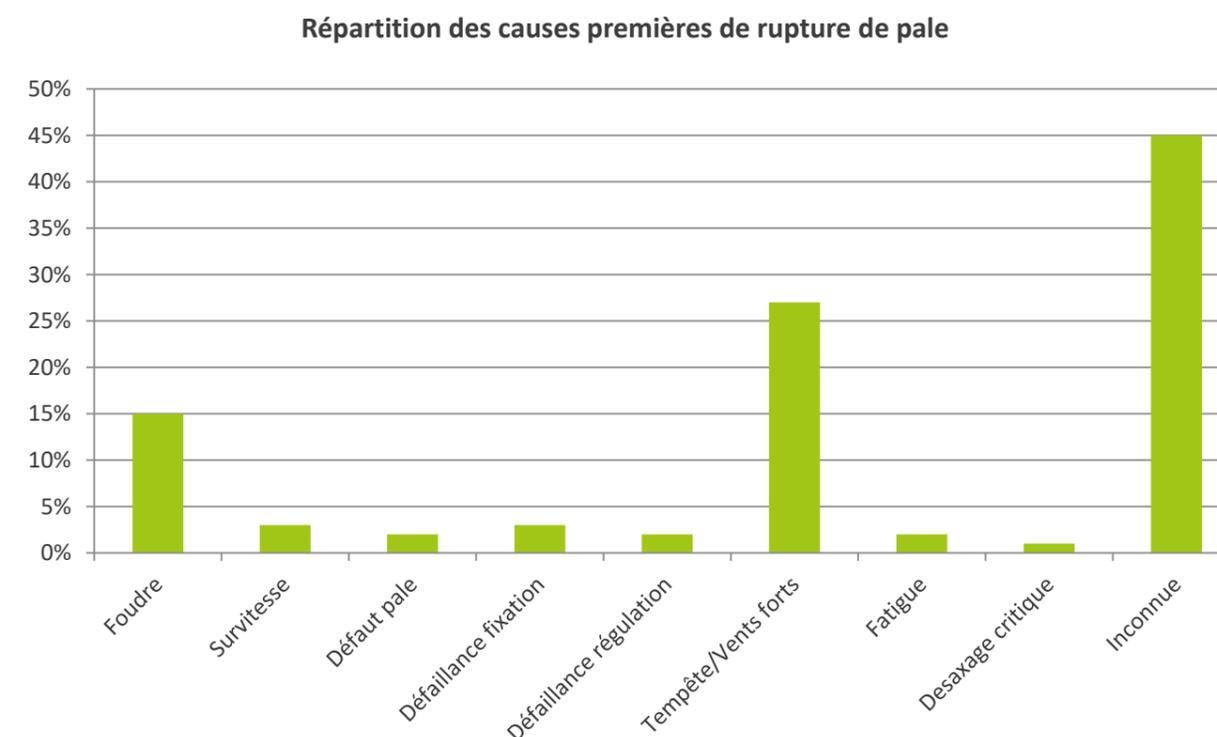


Figure 21 : Répartition des causes premières de rupture de pale

Répartition des causes premières d'incendie

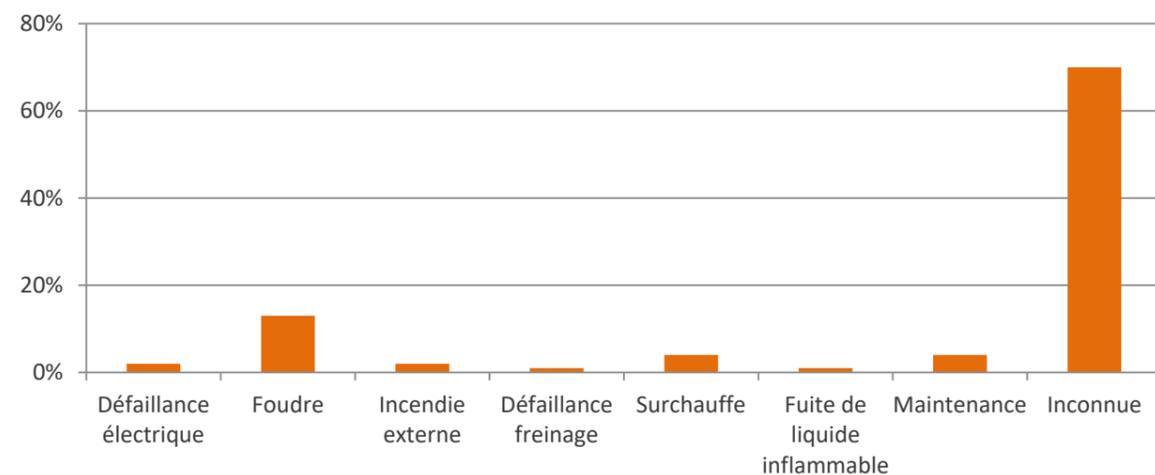


Figure 22 : Répartition des causes premières d'incendies

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 20 parcs éoliens dont le plus vieux, renouvelé aujourd'hui, avait été mis en service en 2002. Aucun accident majeur n'a été recensé depuis cette date, notamment sur le Parc du Cornouiller.

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 à la puissance éolienne installée (et donc 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. On note bien l'essor de la filière française à partir de 2005, alors que le nombre d'accidents reste relativement constant.

Evolution du nombre d'incidents annuels en France et puissance éolienne installée

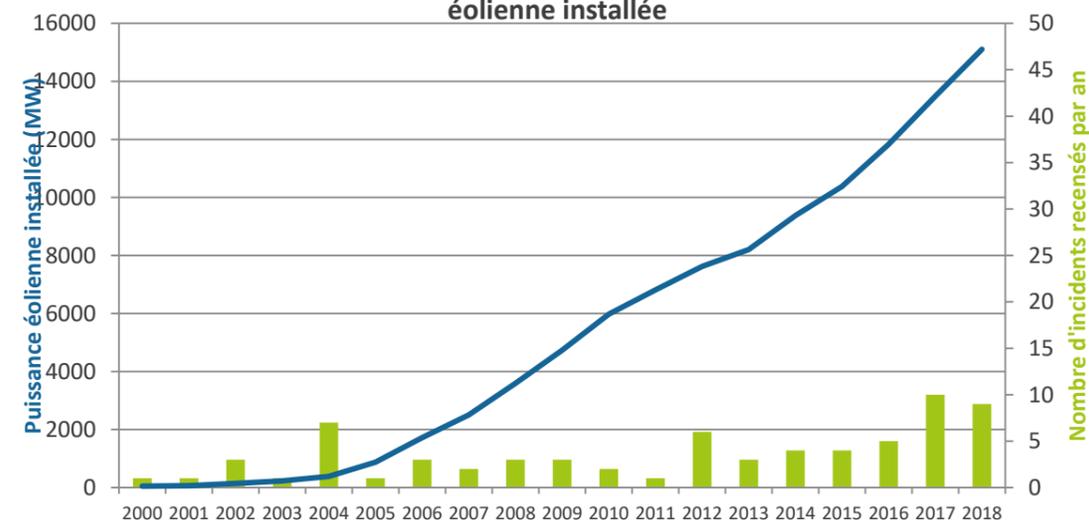


Figure 23 : Évolution du nombre d'incidents annuels en France et de la puissance éolienne installée d'après la base de données de l'ARIA et du SDES

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

Les outils d'analyse des risques sont nombreux (ex : AMDEC, APR, HAZOP, etc.). Le guide technique de l'INERIS propose l'utilisation de la méthode APR qui est souple d'utilisation, adaptée et plus facile à mettre en oeuvre et à instruire dans le contexte des éoliennes. La présente analyse reprend cette méthode.

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 matière 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

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

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

7.3.1 Agressions 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 centre du 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	Aucune voie structurante n'est présente dans un rayon de 200m des éoliennes. Leurs chemins d'accès peuvent néanmoins être aussi utilisés pour l'exploitation agricole.
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Énergie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2000 m	Aucun aérodrome dans un périmètre de 2 kilomètres autour des éoliennes
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	Aucune ligne THT aérienne dans le périmètre de 200 mètres autour des éoliennes.
Autres aérogénérateurs	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	Les distances des éoliennes du projet de renouvellement du Cornouiller avec celles d'autres parcs sont détaillées partie 3.1.3. Les six éoliennes du projet de renouvellement du parc éolien du Cornouiller sont situées à plus de 500 mètres les unes des autres, excepté E1 et E2 (485 mètres).

Tableau 21 : 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	Entre 1981 et 2010, on observe en moyenne à la station de Beauvais Tille, 52,8 jours par an avec un vent supérieur ou égal à 16 m/s, et 1,5 jour par an avec un vent supérieur ou égal à 28 m/s. D'après le Schéma Régional Climat Air Energie (SRCAE) de la région Picardie, la vitesse moyenne des vents du site, à 40 m d'altitude, varie entre 5,5 à 6 m/s (soit entre 19,8 km/h et 21,6 km/h).
Foudre	Il est à retenir, d'une part que la densité de foudroiement est de 14, ce qui est nettement inférieure à la moyenne nationale qui est de 20, d'autre part que les phénomènes de tornades et orages violents sont rares. D'autre part, les éoliennes respectent la norme IEC 61 400-24, qui permet de protéger l'éolienne de la foudre.
Glissement de sols/ affaissement miniers	Une cavité « indéfinie » est potentiellement présente sur la commune de Campremy et dans un rayon inférieur à 500m de l'éolienne E6. L'aléa de retrait gonflement des argiles est d'une sensibilité faible.

Tableau 22 : Agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

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

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

7.4 SCÉNARIOS ÉTUDIÉS DANS L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

Après avoir recensé, dans un premier temps, les potentiels de danger des installations, qu'ils soient constitués par des substances dangereuses ou des équipements dangereux (voir paragraphes 5.1. et 5.2.), l'APR doit identifier l'ensemble des séquences accidentelles et phénomènes dangereux associés pouvant déclencher la libération du danger.

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 scénarios 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
« G » les scénarios concernant la glace						
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
« I » les scénarios concernant l'incendie						
I01	Humidité / Gel	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I02	Dysfonctionnement électrique	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5) 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 courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I06	Rongeur	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I07	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2
« F » les scénarios concernant les fuites						
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
« C » les scénarios concernant la chute d'éléments de l'éolienne						
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
« P » les scénarios concernant les risques de projection						
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°12)	Impact sur cible	2

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité	Phénomène dangereux	Intensité
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
« E » les scénarios concernant les risques d'effondrement						
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
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°12)	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
E08	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°12) Dans les zones cycloniques, mettre en place un système de prévision cyclonique et équiper les éoliennes d'un dispositif d'abattage et d'arrimage au sol (N°13)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

Tableau 23 : Analyse préliminaire 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.
Des précisions sur les différents scénarios décrits dans ce tableau sont disponibles en annexe.

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

La troisième étape de l'analyse préliminaire des risques consiste à identifier les barrières de sécurité installées sur les aérogénérateurs et qui interviennent dans la prévention et/ou la limitation des phénomènes dangereux listés dans le tableau APR et de leurs conséquences.

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

7.6.1 Caractéristiques Nordex

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	Système déduisant 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. Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site.	
Indépendance	Non Les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. En cas de danger particulièrement élevé sur site (survol d'une zone fréquentée sur site soumis à des conditions de gel importantes), des systèmes additionnels peuvent être envisagés.	
Temps de réponse	Immédiat (L'alarme est déclenchée dès que le capteur est gelé ou détecte de la neige.)	
Efficacité	100 %	
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne	
Maintenance	Maintenance régulière du SCADA puis maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement Vérification des capteurs du système de détection de givre lors des maintenances préventives annuelles.	

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.	

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 Systèmes de refroidissement indépendants pour le multiplicateur et la génératrice	
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 préventive annuelle de la génératrice et de son système de refroidissement, ainsi que du multiplicateur (y compris le système de refroidissement de l'huile du multiplicateur). Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.	

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage. Éléments du système de protection contre la survitesse conformes aux normes IEC 61508 (SIL 2) et EN 954-1	
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	15 à 60s (arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage adapté) L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011.	
Efficacité	100 %	
Tests	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procédure d'arrêt en cas de survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011.	
Maintenance	Maintenance préventive annuelle de l'éolienne avec notamment contrôle de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.	

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

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	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) Parafoudres sur la nacelle + récepteurs de foudre sur les 2 faces des pales Mise à la terre (nacelle/mât, sections de mât, mât/fondation) Parasurtenseurs sur les circuits électriques	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Immédiat dispositif passif	
Efficacité	100 %	
Tests	Mesure de terre lors des vérifications réglementaires des installations électriques	
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011. Contrôle de l'état de l'installation de mise à la terre dans le mât à chaque maintenance préventive.	

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

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	8
Mesures de sécurité	Détecteurs de niveau d'huiles Systèmes d'étanchéité et dispositifs de collecte / récupération Procédure d'urgence Kit antipollution	
Description	Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. Présence de plusieurs bacs collecteurs au niveau des principaux composants. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange. Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin : – de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; – d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...) ; – de récupérer les déchets absorbés. Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, une société spécialisée récupérera et traitera le gravier souillé via les filières adéquates, puis le remplacera par un nouveau revêtement.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Dépendant du débit de fuite	
Efficacité	100 %	
Tests	/	
Maintenance	Inspection des niveaux d'huile plusieurs fois par an	

Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	9
Mesures de sécurité	Surveillance des vibrations 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 équipées de capteurs de vibration, qui entraînent l'arrêt en cas de dépassement des seuils définis. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223 (peinture et revêtement anti-corrosion).	
Indépendance	Oui	

Temps de réponse	NA
Efficacité	100 %
Tests	Déclenchement manuel des capteurs de vibration et vérification de la réponse du système
Maintenance	Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du 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. Inspection visuelle du mât et, si besoin, nettoyage lors des maintenances préventives annuelles.

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	

Fonction de sécurité	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	11
Mesures de sécurité	Procédure de contrôle des équipements lors des maintenances planifiées. Suivi de données mesurées par les capteurs et sondes présentes dans les éoliennes CMS	
Description	Données mesurées et traitées afin de détecter les dégradations des équipements. Condition Monitoring System (CMS) qui permet de suivre par une analyse vibratoire continue, l'état des éléments roulants de la chaîne cinématique du rotor, de l'arbre lent, du multiplicateur, de la génératrice et de leur environnement.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Entre 12 heures et 6 mois selon le type de dégradation	
Efficacité	NA	
Tests	Traçabilité : rapport de service	
Maintenance	NA	

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	12
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	15 à 60 s suivant le programme de freinage	
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	Test des programmes de freinage lors de la mise en service de l'éolienne. Test automatique du système de freinage mécanique et du fonctionnement de chaque système pitch (freinage aérodynamique) lors de la séquence de démarrage de l'éolienne.	
Maintenance	Maintenance préventive du système pitch (les points contrôlés varient suivant le type de maintenance – T1 / T2 / T3 / T4), notamment vérification du câblage et du système de lubrification automatique, graissage des roulements de pitch. Maintenance préventive du frein mécanique (les points contrôlés varient suivant le type de maintenance – T1 / T2 / T3 / T4), notamment inspection visuelle, vérification de l'épaisseur des plaquettes de frein et des capteurs du frein mécanique.	

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de cyclones dans les zones cycloniques	13
Sans objet		

Fonction de sécurité	Empêcher la perte de contrôle de l'éolienne en cas de défaillance réseau	N° de la fonction de sécurité	14
Mesures de sécurité	Détection des défaillances du réseau électrique Batteries pour chaque système pitch Système d'alimentation sans coupure (UPS)		
Description	Surveillance du réseau + surveillance des défaillances réseau par le convertisseur principal qui entraîne la déconnexion de l'éolienne du réseau électrique. Commande de l'éolienne et communication externe assurées pendant environ 10 min, permettant l'arrêt automatique de l'éolienne.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	150 ms pour identifier une défaillance réseau 15 à 60 s pour l'arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage		

Efficacité	100%
Tests	Vérification de la charge des batteries d'alimentation de secours des systèmes pitch lors de la séquence de démarrage de l'éolienne
Maintenance	Remplacement des batteries du système pitch au cours de la maintenance quinquennal. Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.

Tableau 24 : Mesures de sécurité

7.6.2 Caractéristiques Vestas

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	1-a
Mesures de sécurité	Système de déduction de la formation de glace.	
Description	Ce système déduit la formation de glace sur les pales à partir des données de température et de rendement de l'éolienne (l'accumulation de glace alourdit les pales et diminue le rendement de la turbine). Une configuration du système SCADA permet d'alerter les opérateurs par un message type « Ice Climate ». Une mise à l'arrêt est ensuite effectuée de manière automatique ou manuelle, selon le type de contrat. Les procédures de redémarrage sont définies par l'exploitant.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Mise à l'arrêt de la turbine < 1 min	
Efficacité	100 %	
Tests	NA	
Maintenance	Surveillance via la maintenance prédictive	

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	1-b
Mesures de sécurité	Système de détection de glace sur la nacelle.	
Description	Ce système Vestas est composé d'une sonde vibratoire installée sur la nacelle, permettant d'alerter les opérateurs dès que l'accumulation de glace dépasse un certain niveau. Ce dispositif détecte la formation de glace sur la nacelle, et donc par déduction sur les pales. Lorsqu'il y a détection, la mise à l'arrêt de la turbine est automatique ou manuelle, après vérification de la glace formée, selon le type de configuration demandé. En cas de détection de glace, la machine sera arrêté et le redémarrage ne sera décidé qu'après contrôle visuel validant l'absence de glace.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min	
Efficacité	100 %	
Tests	NA	
Maintenance	Le système de détection est supervisé par les contrôleurs de la machine. Un	

	warning est envoyé via le SCADA en cas de défaut => maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement
--	---

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

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	3
Mesures de sécurité	Sondes de température sur pièces mécaniques Suivant les niveaux d'alarme et les capteurs, la machine peut être bridée ou mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement. Le redémarrage peut être effectué à distance, si les seuils de température sont au-dessous des seuils d'alarme.	
Description	Des sondes de température sont mises en place sur les équipements ayant de fortes variations de température au cours de leur fonctionnement (paliers et roulements des machines tournantes, enroulements du générateur et du transformateur). Ces sondes 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	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min	
Efficacité	100 %	
Tests	Surveillance via la maintenance prédictive, avec détection de la déviation de températures de chaque capteur.	
Maintenance	Surveillance via la maintenance prédictive, avec détection de la déviation de température de chaque capteur (comparaison avec les données des autres éoliennes du parc). Remplacement de la sonde de température en cas de dysfonctionnement de l'équipement. 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.	

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	4-a
Mesures de sécurité	Détection de vent fort et freinage aérodynamique par le système de contrôle.	
Description	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale de 22 m/s pour la V100 et 20 m/s pour la V110. Cet arrêt est réalisé par le frein aérodynamique de l'éolienne avec mise en drapeau des pales (le freinage est effectué en tournant ensemble les 3 pales à un angle de 85 à 90°, afin de positionner celles-ci en position où elles offrent peu de prise au vent). Cette mise en drapeau est effectuée par le système d'orientation des pales « Vestas Pitch System ».	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min 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. L'alerte aux services d'urgence est donnée par le responsable d'exploitation de l'entreprise Kallista Energy.	
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. Tests à chaque maintenance préventive.	
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 (notamment de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence.) Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.	
Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	4-b
Mesures de sécurité	Détection de survitesse du générateur	
Description	Les vitesses de rotation du générateur et de l'arbre lent sont mesurées et analysées en permanence par le système de contrôle. Cette mesure redondante permet de limiter les défaillances liées à un seul capteur. En cas de discordance des mesures, l'éolienne est mise à l'arrêt. Si la vitesse de rotation est supérieure à la vitesse d'alarme, l'éolienne est considérée comme étant en survitesse et est donc mise à l'arrêt.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min 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. L'alerte aux services d'urgence est donnée par le responsable d'exploitation de l'entreprise Kallista Energy.	
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. Tests à chaque maintenance préventive (tous les ans).	
Maintenance	Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.	
Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	4-c
Mesures de sécurité	« Vestas Overspeed Guard » (VOG)	
Description	En complément aux capteurs de mesure de vitesse, un système instrumenté de sécurité est présent (automate totalement indépendant de l'automate de conduite utilisé pour la fonction 4-b), et dispose d'un capteur de vitesse de rotation disposé sur l'arbre lent. Le dépassement d'une vitesse de 17 tours par minute sur l'arbre lent conduit à la mise à l'arrêt de la machine par mise en drapeau des pales (cette mise en drapeau est assurée par le circuit hydraulique avec l'assistance complémentaire des accumulateurs disposés sur les vérins). En cas d'arrêt par survitesse (déclenchement du VOG), l'éolienne ne peut pas être redémarrée à distance. Il est nécessaire de venir acquitter localement le défaut et d'effectuer un contrôle de la machine avant de relancer l'éolienne.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Temps de détection < 1 min Le couplage du système de détection de survitesse au système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant. L'exploitant sera ainsi 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 à l'article 23 de l'arrêté du 26 août 2011.	
Efficacité	100 %	
Tests	Lors de la mise en service de l'aérogénérateur, une série de tests (arrêts simples, d'urgence et de survitesse) est réalisée afin de s'assurer du fonctionnement et de la sécurité de l'éolienne conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011.	
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 6 mois suivant les manuels de maintenance Vestas. Ces vérifications sont consignées dans le document IRF Vestas. Maintenance conforme aux dispositions des articles 15 et 18 de l'arrêté du 26 août 2011.	

Fonction de sécurité	Prévenir les courts-circuits	5
Mesures de sécurité	Détecteur d'arc avec coupure électrique (salle transfo et armoires électriques).	
Description	Outre les protections traditionnelles contre les surintensités et les surtensions, les armoires électriques disposées dans les nacelles Vestas (qui abritent notamment les divers jeux de barres), sont équipées de détecteurs d'arc. Ce système de capteurs photosensibles a pour objectif de détecter toute formation d'un arc électrique (caractéristique d'un début d'amorçage) qui pourrait conduire à des phénomènes de fusion de conducteurs et de début d'incendie. Le fonctionnement de ce détecteur commande le déclenchement de la cellule HT	

	située en pied de mât, conduisant ainsi à la mise hors tension de la machine. La remise sous tension puis le recouplage de la machine ne peuvent être faits qu'après inspection visuelle des éléments HT de la nacelle, puis du réarmement du détecteur d'arc et de l'acquiescement manuel du défaut.
Indépendance	Oui
Temps de réponse	50 millisecondes Le couplage du système de détection d'arc électrique avec le système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant. Un courriel est envoyé à Kallista Energy est envoyé pour prévenir du problème.
Efficacité	100 %
Tests	Test des détecteurs d'arc à la mise en service puis tous les 6 mois.
Maintenance	Les installations électriques font l'objet d'un contrôle avant la mise en service industrielle du parc éolien, puis annuellement conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011. Ce contrôle donne lieu à un rapport, dit rapport de vérification annuel, réalisé par un organisme agréé. Des vérifications de tous les équipements électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrés dans le manuel de maintenance préventive Vestas.

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	6
Mesures de sécurité	Système de protection contre la foudre conçu pour répondre à la classe de protection I de la norme internationale IEC 61400.	
Description	Compte tenu de leur situation et des matériaux de construction, les pales sont les éléments les plus sensibles à la foudre. Des pastilles métalliques en acier inoxydable permettant de capter les courants de foudre sont disposées à intervalles réguliers sur les deux faces des pales. Elles sont reliées entre elles par une tresse en cuivre, interne à la pale. Le pied de pale est muni d'une plaque métallique en acier inoxydable, sur une partie de son pourtour, raccordée à la tresse de cuivre. Un dispositif métallique flexible (nommé LCTU – Lightning Current Transfer Unit) assure la continuité électrique entre la pale et le châssis métallique de la nacelle (il s'agit d'un système de contact glissant comportant deux points de contact par pale). Ce châssis est relié électriquement à la tour, elle-même reliée au réseau de terre disposé en fond de fouille. En cas de coup de foudre sur une pale, le courant de foudre est ainsi évacué vers la terre via la fondation et des prises profondes. L'aérogénérateur peut être équipé en option de « copper cap », c'est à dire d'un habillage de l'extrémité de la pale d'une plaque de cuivre qui améliore le captage de l'arc de foudre et assure ainsi une meilleure protection de la pale.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Immédiat, dispositif passif	
Efficacité	100 %	
Tests	Avant la première mise en route de l'éolienne, une mesure de mise à la terre est effectuée.	
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la	

	foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011.
--	---

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	7
Mesures de sécurité	1. Sondes de température sur pièces mécaniques. Suivant les niveaux d'alarme et les capteurs, la machine peut être bridée ou mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement. Le redémarrage peut être effectué à distance, si les seuils de température sont au-dessous des seuils d'alarme. Système de détection incendie	
Description	1. Des sondes de température sont mises en place sur les équipements ayant de fortes variations de température au cours de leur fonctionnement (paliers et roulements des machines tournantes, enroulements du générateur et du transformateur). Ces sondes ont des seuils hauts qui, une fois dépassés, conduisent à une alarme et à une mise à l'arrêt du rotor. 2. Les éoliennes sont équipées par défaut d'un système autonome de détection composé de plusieurs capteurs de fumée et de chaleur disposés aux possibles points d'échauffements tels que : <ul style="list-style-type: none"> - La chambre du transformateur - Le générateur - La cellule haute tension - Le convertisseur - Les armoires électriques principales - Le système de freinage. En cas de détection, une sirène est déclenchée, l'éolienne est mise à l'arrêt en « emergency stop » et isolement électrique par ouverture de la cellule en pied de mât. De façon concomitante un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance via le système de contrôle commande. Le système de détection incendie est alimenté par le réseau secours (UPS). Un courriel est envoyé à Kallista Energy est envoyé pour prévenir du problème. Vis-à-vis de la protection incendie, deux extincteurs sont présents dans la nacelle et un extincteur est disponible en pied de tour (utilisables par le personnel sur un départ de feu).	
Indépendance	oui	
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Le couplage des éléments de détection de fumée au système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant. L'exploitant sera ainsi 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 à l'article 23 de l'arrêté du 26 août 2011.	
Efficacité	100%	
Tests	Test des détecteurs de fumée à la mise en service puis tous les ans.	

Maintenance	<p>Contrôle tous les 6 mois du système de détection incendie pour être conforme à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2012</p> <p>Le matériel incendie (extincteurs) est contrôlé périodiquement par un organisme spécialisé.</p> <p>Maintenance prédictive sur les capteurs de température</p>
--------------------	---

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	8
Mesures de sécurité	<ol style="list-style-type: none"> Détecteurs de niveau d'huile et capteurs de pression Capteur de niveau du circuit de refroidissement (niveau bas alarmé avec arrêt après temporisation) Procédure d'urgence Kit antipollution <p>Nacelle et dernière plateforme de la tour formant rétention</p>	
Description	<ol style="list-style-type: none"> Le circuit hydraulique est équipé de capteurs de pression (une mesure de pression dans le bloc hydraulique de chaque pale) permettant de s'assurer de son bon fonctionnement. Toute baisse de pression au-dessous d'un seuil préalablement déterminé, conduit au déclenchement de l'arrêt du rotor (mise en drapeau des pales). Afin de pouvoir assurer la manœuvre des pales en cas de perte du groupe de mise en pression ou en cas de fuite sur le circuit, chaque bloc hydraulique (situé au plus près du vérin de pale) est équipé d'un accumulateur hydropneumatique (pressurisé à l'azote) qui permet la mise en drapeau de la pale. Le système hydraulique, et notamment le maintien en pression des accumulateurs, est testé avant chaque démarrage de l'éolienne. La pression du circuit de lubrification du multiplicateur fait également l'objet d'un contrôle, asservissant le fonctionnement de l'éolienne. Les niveaux d'huile sont surveillés d'une part au niveau du multiplicateur et d'autre part au niveau du groupe hydraulique. L'atteinte du niveau bas sur le multiplicateur ou sur le groupe hydraulique, déclenche une alarme et conduit à la mise à l'arrêt du rotor. Le circuit de refroidissement (eau glycolée) est équipé d'un capteur de niveau bas, qui en cas de déclenchement conduit à l'arrêt de l'éolienne. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. 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. Une procédure Vestas en cas de pollution accidentelle du sol est communiquée au personnel intervenant dans les aérogénérateurs. En cas de fuite, les véhicules de maintenance Vestas sont équipés de kits de dépollution composés de grandes feuilles absorbantes. Ces kits d'intervention d'urgence permettent : <ul style="list-style-type: none"> de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides 	

	<p>(huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...) ;</p> <ul style="list-style-type: none"> de récupérer les déchets absorbés. <p>Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, Vestas se charge de faire intervenir une société spécialisée qui récupérera et traitera la terre souillée via les filières adéquates. La nacelle et la dernière plateforme de la tour font office de bacs de rétention en cas de fuite d'huile.</p>
Indépendance	Oui
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min
Efficacité	100%
Tests	Tests des systèmes hydrauliques à la mise en service, au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les ans suivant les manuels de maintenance Vestas. Ces vérifications sont consignées dans le document IRF Vestas. Dépendant du débit de fuite.
Maintenance	Les vérifications d'absence de fuites sont effectuées à chaque service planifié. Surveillance des niveaux d'huile via des outils d'analyses instantanées ou hebdomadaires. Inspection et maintenance curative en fonction du type de déclenchement d'alarme.

Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	9
Mesures de sécurité	<p>Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblage (ex : brides, joints, etc.)</p> <p>Procédures et contrôle qualité</p>	
Description	<p>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. Vestas remet à chacun de ses clients, un document « Type certificate » qui atteste de la conformité de l'éolienne fournie au standard IEC 61400-1 (édition 2005). Ainsi la nacelle, le moyeu, les fondations et la tour répondent aux standards IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400 -1 ; 12 ; 23.</p> <p>De plus, des organismes compétents externes, mandatés par l'exploitant du parc, produisent des rapports attestant de la conformité de nos turbines à la fin de la phase d'installation. L'article R111-38 du code de la construction et de l'habitation fait référence au contrôle technique de construction. Il est obligatoire, à la charge de l'exploitant et réalisé par des organismes agréés par l'État. Ce contrôle assure la solidité des ouvrages ainsi que la sécurité des biens et des personnes. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223.</p>	
Indépendance	oui	

Temps de réponse	NA
Efficacité	100%
Tests	NA
Maintenance	Le plan de maintenance Vestas prévoit le contrôle des brides de fixation, des brides de mât, des fixations des pales et le contrôle visuel du mât trois mois puis un an après la mise en service industrielle puis tous les trois ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011

Fonction de sécurité	Prévenir les erreurs de maintenance	10
Mesures de sécurité	Procédure de maintenance.	
Description	Préconisation du manuel de maintenance Formation du personnel	
Indépendance	oui	
Temps de réponse	NA	
Efficacité	100%	
Tests	Traçabilité : rapport de service	
Maintenance	NA	

Fonction de sécurité	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	11
Mesures de sécurité	1. Procédure de contrôle des équipements lors des maintenances planifiées. 2. Suivi de données mesurées par les capteurs et sondes présentes dans les éoliennes Vestas 3. CMS	
Description	1. Ce point est détaillé dans le chapitre dédié aux maintenances planifiées. 2. L'intégralité des données mesurées par les capteurs et sondes présentes dans les éoliennes Vestas est suivie et enregistrée dans une base de données unique. Ces données sont traitées par des algorithmes en permanence afin de détecter, au plus tôt, les dégradations des équipements. Lorsqu'elle est nécessaire, une inspection de l'équipement soupçonné de se dégrader est planifiée. Les algorithmes de détection et de génération d'alarmes sont en amélioration continue. 3. Présence d'un Condition Monitoring System (CMS) qui permet de suivre par une analyse vibratoire continue, l'état des éléments roulants de la chaîne cinématique du rotor, de l'arbre lent, du multiplicateur, de la génératrice et de leur environnement.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Entre 12 heures et 6 mois selon le type de dégradation	
Efficacité	NA	
Tests	Traçabilité : rapport de service	

Maintenance	NA
--------------------	----

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	12
Mesures de sécurité	1. Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents 2. Mise à l'arrêt sur détection de vent fort et freinage aérodynamique par le système de contrôle	
Description	1. En France, la classification de vents des éoliennes fait référence à la norme « IEC 61400-1 ». Les éoliennes Vestas sont dimensionnées pour chacune de ces classes. Il est donc important de faire correspondre la classe du site avec la classe de la turbine Les éoliennes sont mises à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale de 22 m/s pour la V100 et 20 m/s pour la V110. Cet arrêt est réalisé par le frein aérodynamique de l'éolienne avec mise en drapeau des pales. Cette mise en drapeau est effectuée par le système d'orientation des pales « Vestas Pitch System ».	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde. Mise drapeau des pales < 1 min	
Efficacité	100%	
Tests	Pitch system testé tous les ans lors des maintenances préventives.	
Maintenance	Tous les ans.	

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de cyclones dans les zones cycloniques	13
Sans objet		

Tableau 25 : Mesures de sécurité

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

A l'issue de l'analyse préliminaire des risques, l'étude de dangers doit préciser quels scénarios sont retenus en vue de l'analyse détaillée des risques. Ne sont retenus que les séquences accidentelles dont l'intensité est telle que l'accident peut avoir des effets significatifs sur la vie humaine.

Dans le cadre de l'analyse préliminaire des risques génériques des parcs éoliens, trois catégories de scénarios 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)	<p>En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m² n'est pas atteinte. Dans le cas d'un incendie au niveau du mât les effets sont également mineurs et l'arrêté du 26 Août 2011 encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques.</p> <p>Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.</p>
Incendie du poste de livraison ou du transformateur	<p>En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 Août 2011 [9] impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200).</p>
Infiltration d'huile dans le sol	<p>En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérés dans le sol restent mineurs.</p> <p>Ce scénario ne sera pas détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques car aucune implantation n'est présente dans un périmètre de protection rapprochée d'une nappe phréatique.</p>

Tableau 26 : Scénarios 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 scénarios regroupent plusieurs causes et séquences d'accident. En estimant la probabilité, gravité, cinétique et intensité de ces événements, il est possible de caractériser les risques pour toutes les séquences d'accidents.

8 ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

L'étude détaillée des risques vise à caractériser les scénarios 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.

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 [13]).

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

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

Dans le cas de scénarios de projection, l'annexe 2 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 : seuil 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 27 : Définition de l'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 3 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.

Gravité \ Intensité	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 28 : Définition des seuils de gravité de l'arrêté du 29 septembre 2005

8.1.4 Probabilité

L'annexe 1 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	Courant Se produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie des installations, malgré d'éventuelles mesures correctives.	$P > 10^{-2}$
B	Probable S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations.	$10^{-3} < P \leq 10^{-2}$
C	Improbable Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité.	$10^{-4} < P \leq 10^{-3}$

D	Rare S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité.	$10^{-5} < P \leq 10^{-4}$
E	Extrêmement rare Possible mais non rencontré au niveau mondial. N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles.	$P \leq 10^{-5}$

Tableau 29 : Définition des échelles de 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.

8.1.5 Acceptabilité des risques

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

GRAVITÉ (conséquences sur les personnes exposées au risque)	Classe de Probabilité				
	E Événement possible mais extrêmement peu probable	D Événement très improbable	C Événement improbable	B Événement probable	A Événement courant
Désastreux	Risque faible	Risque important	Risque important	Risque important	Risque important
Catastrophique	Risque faible	Risque faible	Risque important	Risque important	Risque important
Important	Risque faible	Risque faible	Risque faible	Risque important	Risque important
Sérieux	Risque très faible	Risque très faible	Risque faible	Risque faible	Risque important
Modéré	Risque très faible	Risque très faible	Risque très faible	Risque très faible	Risque faible

Légende de la matrice

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

Tableau 30 : Définition de l'acceptabilité des risques

8.2 CARACTÉRISATION DES SCENARIOS RETENUS

Toutes les formules employées dans cette partie sont issues du guide technique. Les deux variantes de gabarit seront présentées ici

8.2.1 Effondrement de l'éolienne – Variante Nordex

■ 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 135 mètres pour cinq éoliennes, et 130 mètres pour l'éolienne E5 dans le cas des éoliennes du renouvellement du parc éolien du Cornouiller.

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 renouvellement du parc éolien du Cornouiller.

- 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 ($R = 48,7\text{m}$ pour l'éolienne E5, $57,3\text{m}$ pour les autres) ;
- D est le diamètre du rotor ($D = 99,8\text{m}$ pour l'éolienne E5, $116,8\text{m}$ pour les autres) ;
- H est la hauteur du mât ($H = 80$ pour l'éolienne E5, 76m pour les autres) ;
- L est la largeur du mât à la base ($L = 4,06\text{m}$ pour l'éolienne E5, $4,3\text{m}$ pour les autres) ;
- LB est la largeur maximale de la pale ($LB = 3,1\text{m}$ pour l'éolienne E5, $3,5\text{m}$ pour les autres).

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur de l'éolienne en bout de pale soit 135m pour N117 et 130m pour N100)				
Eolienne(s)	Zone d'impact en m^2	Zone d'effet ¹ du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_I = H \times L + 3 \times R \times LB/2$	$Z_E = \pi \times (H + D/2)^2$	$d = Z_I/Z_E$	
Toutes sauf E5	628	56 748	1,11 %	Exposition forte
E5	551	53 011	1,04 %	Exposition forte

Tableau 31 : Calcul de l'intensité du scénario d'effondrement – variante Nordex

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 léthalité en dehors de l'établissement → « Modéré »

¹ 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 la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale soit 135m pour toutes les éoliennes sauf E5 à 130m)							
Éolienne	Occupation du sol		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)			Gravité	
	Nature	Quantité	Catégorie	Hypothèse de comptage	Détail		Total
E1	Parcelles agricoles	5,38 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,0538 pers.	0,09 pers. exposées	Sérieux
	Aire éolienne E1	0,21 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,021 pers.		
	Chemin rural	0,13 ha			0,013 pers.		
E2	Parcelles agricoles	5,34 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,053 pers.	0,09 pers. exposées	Sérieux
	Aire éolienne E2	0,21 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,021 pers.		
	Chemins ruraux	0,17 ha			0,017 pers.		
E3	Parcelles agricoles	5,38 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,0538 pers.	0,09 pers. exposées	Sérieux
	Aire éolienne E3	0,21 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,021 pers.		
	Chemin rural	0,13 ha			0,013 pers.		
E4	Parcelles agricoles	5,45 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,0545 pers.	0,08 pers. exposées	Sérieux
	Aire éolienne E4	0,21 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,021 pers.		
	Chemin rural	0,058 ha			0,006 pers.		
E5	Parcelles agricoles	4,97 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,0497 pers.	0,08 pers. exposées	Sérieux
	Aire éolienne E5	0,21 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,021 pers.		
	Chemin rural	0,13 ha			0,013 pers.		
E6	Parcelles agricoles	5,45 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,0545 pers.	0,08 pers. exposées	Sérieux
	Aire éolienne E6	0,21 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,021 pers.		
	Chemin rural	0,06 ha			0,006 pers.		

Tableau 32 : Gravité du scénario d'effondrement – variante Nordex

■ 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 33 : 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'expérience², soit une probabilité de $4,47 \times 10^{-4}$ par éolienne et par an.

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

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

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 renouvellement du parc éolien du Cornouiller, 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 135 m ou 130m)			
Éolienne	Gravité	Niveau de risque	Acceptabilité
E1	Sérieux	Risque très faible	Acceptable
E2	Sérieux	Risque très faible	Acceptable
E3	Sérieux	Risque très faible	Acceptable
E4	Sérieux	Risque très faible	Acceptable
E5	Sérieux	Risque très faible	Acceptable
E6	Sérieux	Risque très faible	Acceptable

Tableau 34 : Niveau de risque et acceptabilité du scénario effondrement d'une éolienne – variante Nordex

Ainsi, pour le renouvellement du parc éolien du Cornouiller, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

² Une année d'expérience correspond à une éolienne observée pendant une année. Ainsi, si on a observé une éolienne pendant 5 ans et une autre pendant 7 ans, on aura au total 12 années d'expérience.

8.2.2 Effondrement de l'éolienne – Variante Vestas

■ ZONE D'EFFET

Idem que pour la variante Nordex.

■ INTENSITE

Comme précédemment, 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.

- 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 ($R = 49m$ pour l'éolienne E5, $54m$ pour les autres) ;
- D est le diamètre du rotor ($D = 100m$ pour l'éolienne E5, $110 m$ pour les autres) ;
- H est la hauteur du mât ($H = 80m$) ;
- L est la largeur du mât à la base ($L = 3,65m$) ;
- LB est la largeur maximale de la pale ($LB = 3,9m$ pour l'éolienne E5, $3,6 m$ pour les autres).

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur de l'éolienne en bout de pale soit 135m pour V110 et 130m pour V100)				
Eolienne(s)	Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_i = H \times L + 3 \times R \times LB/2$	$Z_e = \pi \times (H + D/2)^2$	$d = Z_i/Z_e$	
Toutes sauf E5	537	57 256	0,9 %	Exposition modérée
E5	533	53 093	1 %	Exposition forte

Tableau 35 : Calcul de l'intensité du scénario d'effondrement – variante Vestas

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 :

Pour l'éolienne E5 :

- 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 »

Pour les cinq autres éoliennes :

- 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 d'effondrement et la gravité associée (le rayon de la zone d'effet est ici majoré par rapport à la valeur trouvée dans le tableau précédent) :

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale soit 135m pour toutes les éoliennes sauf E5 à 130m)							
Éolienne	Occupation du sol		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)			Gravité	
	Nature	Quantité	Catégorie	Hypothèse de comptage	Détail		Total
E1	Parcelles agricoles	5,38 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,0538 pers.	0,09 pers. exposées	Modéré
	Aire éolienne E1	0,21 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,021 pers.		
	Chemin rural	0,13 ha			0,013 pers.		
E2	Parcelles agricoles	5,34 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,053 pers.	0,09 pers. exposées	Modéré
	Aire éolienne E2	0,21 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,021 pers.		
	Chemins ruraux	0,17 ha			0,017 pers.		
E3	Parcelles agricoles	5,38 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,0538 pers.	0,09 pers. exposées	Modéré
	Aire éolienne E3	0,21 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,021 pers.		
	Chemin rural	0,13 ha			0,013 pers.		
E4	Parcelles agricoles	5,45 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,0545 pers.	0,08 pers. exposées	Modéré
	Aire éolienne E4	0,21 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,021 pers.		
	Chemin rural	0,058 ha			0,006 pers.		
E5	Parcelles agricoles	4,97 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,0497 pers.	0,08 pers. exposées	Sérieux
	Aire éolienne E5	0,21 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,021 pers.		
	Chemin rural	0,13 ha			0,013 pers.		
E6	Parcelles agricoles	5,45 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,0545 pers.	0,08 pers. exposées	Modéré
	Aire éolienne E6	0,21 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,021 pers.		
	Chemin rural	0,06 ha			0,006 pers.		

Tableau 36 : Gravité du scénario d'effondrement – variante Vestas

■ **PROBABILITE**

Idem que pour la variante Nordex.

■ **ACCEPTABILITE**

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du renouvellement du parc éolien du Cornouiller, 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 135 m ou 130m)			
Éolienne	Gravité	Niveau de risque	Acceptabilité
E1	Modéré	Risque très faible	Acceptable
E2	Modéré	Risque très faible	Acceptable
E3	Modéré	Risque très faible	Acceptable
E4	Modéré	Risque très faible	Acceptable
E5	Sérieux	Risque très faible	Acceptable
E6	Modéré	Risque très faible	Acceptable

Tableau 37 : Niveau de risque et acceptabilité du scénario effondrement d'une éolienne – variante Vestas

Ainsi, pour le renouvellement du parc éolien du Cornouiller, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

8.2.3 Chute de glace – Variante Nordex

■ **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 renouvellement du parc éolien du Cornouiller, la zone d'effet a donc un diamètre de 117,8 mètres et un rayon maximum de 58,9 mètres pour les éoliennes N117 et un diamètre

de 101,1 mètres et un rayon de 50,55 mètres pour la N100. 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**

Comme précédemment, 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 renouvellement du parc éolien du Cornouiller.

- 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 ($S = 101,1$ m pour l'éolienne E5 et $117,8$ m pour les autres),
- SG est la surface du morceau de glace majorant ($SG = 1$ m²).

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à $S/2$ = la zone de survol soit 50,55m pour E5 ou 58,9 m pour les autres éoliennes)				
Eoliennes	Zone d'impact en m ²	Zone d'effet ³ du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_I = SG$	$Z_E = \pi \times (S/2)^2$	$d = Z_I/Z_E$	
Toutes sauf E5	1	10 899	0,0092 % (< 1 %)	Exposition modérée
E5	1	8 028	0,0125% (<1%)	Exposition modérée

Tableau 38 : Calcul de l'intensité du scénario de chute de glace – variante Nordex

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 »

En faisant l'hypothèse majorante que la zone de survol ne balaie que du terrain aménagé mais peu fréquenté, avec une hypothèse de comptage de 1 personne par 10 hectares, le nombre de personne exposé par éolienne n'excède pas 1 (maximum de 0,11 personne). La gravité est donc « modérée » pour l'ensemble des éoliennes.

³ 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).

■ 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 dans le cas d'une gravité « Modérée » qui correspond pour cet événement à un nombre de personnes permanentes (ou équivalent) inférieur à 1.

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

Éolienne	Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à la zone de survol soit 58,9 m pour les N117 et 50,55 m pour la N100)		
	Gravité	Niveau de risque	Acceptabilité
E1	Modérée	Risque faible	Acceptable
E2	Modérée	Risque faible	Acceptable
E3	Modérée	Risque faible	Acceptable
E4	Modérée	Risque faible	Acceptable
E5	Modérée	Risque faible	Acceptable
E6	Modérée	Risque faible	Acceptable

Tableau 39 : Niveau de risque et acceptabilité du scénario chute de glace – variante Nordex

Ainsi, pour le renouvellement du parc éolien du Cornouiller, 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.

8.2.4 Chute de glace – variante Vestas

■ CONDITIONS GENERALES

Idem que pour variante Nordex.

■ 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 renouvellement du parc éolien du Cornouiller, la zone d'effet a donc un diamètre de 110 mètres et un rayon maximum de 55 mètres pour les éoliennes V110 et un diamètre de 100 mètres et un rayon de 50 mètres pour la V100. 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 renouvellement du parc éolien du Cornouiller.

- Z_i est la zone d'impact,
- Z_E est la zone d'effet,
- d est le degré d'exposition,
- R est la longueur de pale
- D le diamètre du rotor
- S est le diamètre de la zone de survol ($S=100m$ pour l'éolienne E5 et $110m$ pour les autres),
- SG est la surface du morceau de glace majorant ($SG=1 m^2$).

Éolienne	Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à $S/2$ = la zone de survol soit 50m pour E5 ou 55m pour les autres éoliennes)			
	Zone d'impact en m^2	Zone d'effet ⁴ du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_i = SG$	$Z_E = \pi \times (S/2)^2$	$d = Z_i/Z_E$	
Toutes sauf E5	1	9 503	0,0105 % (< 1 %)	Exposition modérée
E5	1	7 853	0,0127% (<1%)	Exposition modérée

Tableau 40 : Calcul de l'intensité du scénario de chute de glace – variante Vestas

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 »

En faisant ici aussi l'hypothèse majorante que la zone de survol ne balaie que du terrain aménagé mais peu fréquenté, avec une hypothèse de comptage de 1 personne par 10 hectares, le nombre de personne exposé par éolienne n'excède pas 1 (maximum de 0,10 personne). La gravité est donc « modérée » pour l'ensemble des éoliennes.

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).

■ **PROBABILITE**

Idem que pour variante Nordex.

■ **ACCEPTABILITE**

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

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du renouvellement du parc éolien du Cornouiller, 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 55 m pour les V110 et 50 pour la V100)			
Éolienne	Gravité	Niveau de risque	Acceptabilité
E1	Modérée	Risque faible	Acceptable
E2	Modérée	Risque faible	Acceptable
E3	Modérée	Risque faible	Acceptable
E4	Modérée	Risque faible	Acceptable
E5	Modérée	Risque faible	Acceptable
E6	Modérée	Risque faible	Acceptable

Tableau 41 : Niveau de risque et acceptabilité du scénario chute de glace – variante Vestas

Ainsi, pour le renouvellement du parc éolien du Cornouiller, 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.

8.2.5 Chute d'éléments de l'éolienne – variante Nordex

■ **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 58,9m pour toutes les éoliennes sauf la E5, et 50,55m pour la E5.

■ **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 renouvellement du parc éolien du Cornouiller.

- d est le degré d'exposition,
- Z_i la zone d'impact,
- Z_e la zone d'effet,
- R la longueur de pale (R= 48,7m pour E5 et 57,3 m pour les autres éoliennes),
- LB la largeur maximale de la pale (LB= 3,1 pour E5 et 3,5 m pour les autres éoliennes),
- S est le diamètre de la zone de survol (S= 101,1 m pour E5 et 117, 8 m pour les autres éoliennes).

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la zone de survol soit 58,9m pour N117 et 50,55 m pour N100)				
Eoliennes	Zone d'impact en m ²	Zone d'effet ⁵ du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_i = R \times LB/2$	$Z_e = \pi \times (S/2)^2$	$d = Z_i/Z_e$	
Toutes sauf E5	100	10 899	0,92 % (<1 %)	Exposition modérée
E5	75,5	8 028	0,94 % (<1%)	Exposition modérée

Tableau 42 : Calcul de l'intensité du scénario chute d'éléments de l'éolienne – variante Nordex

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

■ **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 :

- 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 »

On peut ici encore faire l'hypothèse majorante, comme précédemment, que la zone de survol ne balaie que du terrain aménagé mais peu fréquenté, avec une hypothèse de comptage de 1 personne par 10 hectares, le nombre de personne exposée par éolienne n'excède pas 1 (maximum de 0,11 personne). La gravité est donc « modérée » pour l'ensemble des éoliennes.

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

■ 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 France montre que ces événements ont une classe de probabilité « C » (2 chutes et 5 incendies pour 15 667 années d'expérience, soit $4,47 \times 10^{-4}$ événement par éolienne et par an).

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 Septembre 2005 d'une probabilité « C » : « 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 renouvellement du parc du Cornouiller la gravité associée et le niveau de risque :

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la zone de survol)			
Éolienne	Gravité	Niveau de risque	Acceptabilité
E1	Modérée	Risque très faible	Acceptable
E2	Modérée	Risque très faible	Acceptable
E3	Modérée	Risque très faible	Acceptable
E4	Modérée	Risque très faible	Acceptable
E5	Modérée	Risque très faible	Acceptable
E6	Modérée	Risque très faible	Acceptable

Tableau 43 : Niveau de risque et acceptabilité du scénario chute d'éléments de l'éolienne – variante Nordex

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

8.2.6 Chute d'éléments de l'éolienne – variante Vestas

■ 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 55m pour toutes les éoliennes sauf la E5, et 50m pour la E5.

■ 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 renouvellement du parc éolien du Cornouiller.

- d est le degré d'exposition,
- Z_I la zone d'impact,
- Z_E la zone d'effet,
- R la longueur de pale (R= 48,7m pour E5 et 57,3 m pour les autres éoliennes),
- LB la largeur maximale de la pale (LB= 3,1 pour E5 et 3,5 m pour les autres éoliennes),
- S est le diamètre de la zone de survol (S= 100 m pour E5 et 110 m pour les autres éoliennes).

Eoliennes	Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la zone de survol soit 55m pour V110 et 50m pour V100)			
	Zone d'impact en m^2	Zone d'effet ⁶ du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_I = R \times LB/2$	$Z_E = \pi \times (S/2)^2$	$d = Z_I/Z_E$	
Toutes sauf E5	100	9503	0,95 % (<1 %)	Exposition modérée
E5	75,5	7 823	0,97 % (<1%)	Exposition modérée

Tableau 44 : Calcul de l'intensité du scénario chute d'éléments de l'éolienne – variante Vestas

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

■ 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 »

On peut ici encore faire l'hypothèse majorante, comme précédemment, que la zone de survol ne balaie que du terrain aménagé mais peu fréquenté, avec une hypothèse de comptage de 1 personne par 10 hectares, le nombre de personne exposée par éolienne n'excède pas 1 (maximum de 0,10 personne). La gravité est donc « modérée » pour l'ensemble des éoliennes.

⁶ Il est à noter que dans le guide technique la formule initiale est : $\pi \times R^2$, S/2 semble plus cohérent que R.

■ **PROBABILITE**

Idem que pour variante Nordex.

■ **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 renouvellement du parc du Cornouiller la gravité associée et le niveau de risque :

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la zone de survol)			
Éolienne	Gravité	Niveau de risque	Acceptabilité
E1	Modérée	Risque très faible	Acceptable
E2	Modérée	Risque très faible	Acceptable
E3	Modérée	Risque très faible	Acceptable
E4	Modérée	Risque très faible	Acceptable
E5	Modérée	Risque très faible	Acceptable
E6	Modérée	Risque très faible	Acceptable

Tableau 45 : Niveau de risque et acceptabilité du scénario chute d'éléments de l'éolienne – variante Vestas

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

8.2.7 Projection de pales ou de fragments de pales – variante Nordex

■ **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 renouvellement du parc éolien du Cornouiller.

- 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= 48,7m pour E5 et 57,3 m pour les autres éoliennes),
- LB est la largeur maximale de la pale (LB= 3,1 pour E5 et 3,5 m pour les autres éoliennes).

Il faut également noter que la projection peut concerner uniquement des fragments et non la pale entière.

Eoliennes	Projection de pale ou fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			Intensité
	Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	
	$Z_I = R \times LB/2$	$Z_E = \pi \times 500^2$	$d = Z_I/Z_E$	
Toutes les éoliennes sauf E5	100	785 398	0,0128 % (< 1 %)	Exposition modérée
E5	75,5	785 398	0,0096 % (<1%)	Exposition modérée

Tableau 46 : Calcul de l'intensité du scénario projection de pale ou fragment de pale

■ **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 page suivante 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	Occupation du sol		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)			Gravité	
	Nature	Quantité	Catégorie	Hypothèse de comptage	Détail		Total
E1	Parcelles agricoles	77,1 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,771 pers.	0,913 pers. exposées	Modéré
	Chemins et route	0,615 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,061 pers.		
	Aire éolienne(s)	0,812 ha			0,081 pers.		
E2	Parcelles agricoles	76,8 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,768 pers.	0,937 pers. exposées	Modéré
	Chemins et route	0,882 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,088 pers.		
	Aire éolienne(s)	0,812 ha			0,081 pers.		
E3	Parcelles agricoles	77,3 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,773 pers.	0,894 pers. exposées	Modéré
	Chemins et route	0,706 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,071 pers.		
	Aire éolienne(s)	0,500 ha			0,050 pers.		
E4	Parcelles agricoles	77,1 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,771 pers.	0,913 pers. exposées	Modéré
	Chemins et route	1,205 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,121 pers.		
	Aire éolienne(s)	0,212 ha			0,021 pers.		
E5	Parcelles agricoles	76,4 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,764 pers.	2,36 pers. exposées	Modéré
	Cimetière	0,217 ha	Terrains aménagés et fréquentés	10 pers. / 1 ha	2,17 pers.		
	Chemins et route	1,465 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,147 pers.		
	Aire éolienne(s)	0,425 ha			0,043 pers.		
	Poste de livraison	0,003 ha			0,001 pers.		
E6	Parcelles agricoles	76,9 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,769 pers.	0,931 pers. Exposées	Modéré
	Chemins et route	1,175 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,118 pers.		
	Aire éolienne(s)	0,425 ha			0,043 pers.		

	Poste de livraison	0,003 ha			0,001 pers.		
--	--------------------	----------	--	--	-------------	--	--

Tableau 47 : Gravité du scénario de projection de pale ou fragment de pale – variante Nordex

■ 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 assessment 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 48 : 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 » : « *Evénement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité* ». Une probabilité de classe « C » est donc retenue par défaut pour ce type d'événement.

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

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

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

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

■ **ACCEPTABILITE**

Avec une classe de probabilité de « D », le risque de projection de tout ou partie de pale pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un nombre équivalent de personnes permanentes inférieur à 1 000 dans la zone d'effet.

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du renouvellement du parc du Cornouiller, la gravité associée et le niveau de risque :

Projection de pale ou fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
Éolienne	Gravité	Niveau de risque	Acceptabilité
E1	Modérée	Risque très faible	Acceptable
E2	Modérée	Risque très faible	Acceptable
E3	Modérée	Risque très faible	Acceptable
E4	Modérée	Risque très faible	Acceptable
E5	Sérieuse	Risque très faible	Acceptable
E6	Modérée	Risque très faible	Acceptable

Tableau 49 : Niveau de risque et acceptabilité du scénario projection de pale ou fragment de pale – variante Nordex

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

8.2.8 Projection de pales ou de fragments de pales – variante Vestas

■ **ZONE D'EFFET**

Idem que la variante Nordex.

■ **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 renouvellement du parc éolien du Cornouiller.

- 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= 49m pour E5 et 54m pour les autres éoliennes),
- LB est la largeur maximale de la pale (LB= 3 ,65m).

Il faut également noter que la projection peut concerner uniquement des fragments et non la pale entière.

Projection de pale ou fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)				
Eoliennes	Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_i = R \times LB/2$	$Z_e = \pi \times 500^2$	$d = Z_i/Z_e$	
Toutes les éoliennes sauf E5	98,6	785 398	0,0125 % (< 1 %)	Exposition modérée
E5	89,4	785 398	0,0114 % (<1%)	Exposition modérée

Tableau 50 : Calcul de l'intensité du scénario projection de pale ou fragment de pale

■ **GRAVITE**

Idem que la variante Nordex.

■ **PROBABILITE**

Idem que la variante Nordex.

■ **ACCEPTABILITE**

Avec une classe de probabilité de « D », le risque de projection de tout ou partie de pale pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un nombre équivalent de personnes permanentes inférieur à 1 000 dans la zone d'effet.

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du renouvellement du parc du Cornouiller, la gravité associée et le niveau de risque :

Projection de pale ou fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
Éolienne	Gravité	Niveau de risque	Acceptabilité
E1	Modérée	Risque très faible	Acceptable
E2	Modérée	Risque très faible	Acceptable
E3	Modérée	Risque très faible	Acceptable
E4	Modérée	Risque très faible	Acceptable
E5	Sérieuse	Risque très faible	Acceptable
E6	Modérée	Risque très faible	Acceptable

Tableau 51 : Niveau de risque et acceptabilité du scénario projection de pale ou fragment de pale – variante Vestas

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

8.2.9 Projection de glace – variante Nordex

■ 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 :

Distance d'effet = 1,5 x (hauteur de moyeu + diamètre de rotor)

$$= 1,5 \times (76 + 116,8) = 289,2 \text{ mètres dans le cas du renouvellement du parc éolien du Cornouiller pour les N117}$$

$$= 1,5 \times (80 + 99,8) = 269,7 \text{ mètres dans le cas du renouvellement du parc éolien du Cornouiller pour la N100}$$

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 renouvellement du parc éolien du Cornouiller :

- 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= 99,8 pour la E5, 116,8 m pour les autres éoliennes),
- H est la hauteur au moyeu (H= 80m pour la E5, 76 m pour les autres éoliennes),
- SG est la surface majorante d'un morceau de glace (SG = 1 m²)

Projection de glace (dans un rayon de R _{PG} = 1,5 x (H+D) = 289,2 m autour des éoliennes N117 et 269,7m pour la N100)				
	Zone d'impact en m ²	Zone d'effet ⁷ du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	Z _i = SG	Z _e = π x (1,5 x (H + D)) ²	d = Z _i /Z _e	
Pour toutes les éoliennes sauf E5	1	262 752	0,00038 % (< 1 %)	Exposition modérée
E5	1	228 513	0,00044 % (< 1 %)	Exposition modérée

Tableau 52 : Calcul de l'intensité du scénario projection de glace – variante Nordex

■ GRAVITE

⁷ Dans le guide technique la formule initiale est : Z_E = π x 1,5 x (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

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

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

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

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

Projection de glace (dans un rayon de R _{PG} = 1,5 x (H+D) = 289,2 m autour des éoliennes N117, 269,7 m autour de la N100)							
Éolienne	Occupation du sol		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)			Gravité	
	Nature	Quantité	Catégorie	Hypothèse de comptage	Détail		Total
E1	Parcelles agricoles	25,73 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,257 pers.	0,311 pers. exposées	Modéré
	Chemin	0,33	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,033 pers.		
	Aire éolienne	0,21 ha			0,021 pers.		
E2	Parcelles agricoles	25,71 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,257 pers.	0,313 pers. exposées	Modéré
	Chemin	0,35 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,035 pers.		
	Aire éolienne	0,21 ha			0,021 pers.		
E3	Parcelles agricoles	25,85 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,259 pers.	0,301 pers. exposées	Modéré
	Chemin	0,21 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,021 pers.		
	Aire éolienne	0,21 ha			0,021 pers.		
E4	Parcelles agricoles	25,93 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,259 pers.	0,301 pers. exposées	Modéré
	Chemin	0,21 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,021 pers.		
	Aire éolienne	0,21 ha			0,021 pers.		
E5	Parcelles agricoles	22,36 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,224 pers.	0,273 pers. exposées	Modéré
	Chemin	0,275 ha	Terrains aménagés	1 pers. / 10 ha	0,028 pers.		

	Aire éolienne	0,21 ha	mais peu fréquentés		0,021 pers.		
E6	Parcelles agricoles	25,92 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,259 pers.	0,295 pers. exposées	Modéré
	Chemin	0,15 ha	Terrains aménagés	1 pers. / 10 ha	0,015 pers.		
	Aire éolienne	0,21 ha	mais peu fréquentés		0,021 pers.		

Tableau 53 : Gravité du scénario de projection de glace – variante Nordex

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 renouvellement du parc éolien du Cornouiller, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Projection de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+D) = 289,2 \text{ m}$ autour de l'éolienne pour N117 et 269,7 m pour N100)				
Éolienne	Gravité	Niveau de risque	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou de déduction de glace et de procédure de redémarrage	Acceptabilité
E1	Modérée	Risque très faible	Oui	Acceptable
E2	Modérée	Risque très faible	Oui	Acceptable
E3	Modérée	Risque très faible	Oui	Acceptable
E4	Modérée	Risque très faible	Oui	Acceptable
E5	Modérée	Risque très faible	Oui	Acceptable
E6	Modérée	Risque très faible	Oui	Acceptable

Tableau 54 : Niveau de risque et acceptabilité du scénario projection de glace

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

8.2.10 Projection de glace – variante Vestas

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 :

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

$$= 1,5 \times (80+110) = 285 \text{ mètres dans le cas du renouvellement du parc éolien du Cornouiller pour les V110}$$

$$= 1,5 \times (80 + 100) = 270 \text{ mètres dans le cas du renouvellement du parc éolien du Cornouiller pour la V100}$$

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 m^2) 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 renouvellement du parc éolien du Cornouiller :

- 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 ($D= 100\text{ m}$ pour la E5, 110 m pour les autres éoliennes),
- H est la hauteur au moyeu ($H= 80\text{ m}$),
- SG est la surface majorante d'un morceau de glace ($SG = 1 \text{ m}^2$)

Projection de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+D) = 285 \text{ m}$ autour des éoliennes V110 et 270 m pour la V100)				
	Zone d'impact en m^2	Zone d'effet ⁸ du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_I = SG$	$Z_E = \pi \times (1,5 \times (H + D))^2$	$d = Z_I/Z_E$	
Pour toutes les éoliennes sauf E5	1	255 176	0,00039 % ($< 1 \%$)	Exposition modérée
E5	1	229 022	0,00044 % ($< 1 \%$)	Exposition modérée

Tableau 55 : Calcul de l'intensité du scénario projection de glace

*

⁸ 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

■ 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 de glace, dans la zone d'effet de ce phénomène :

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

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

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

Projection de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+D) = 285 \text{ m}$ autour des éoliennes V110, 270 m autour de la V100)							
Éolienne	Occupation du sol		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)			Gravité	
	Nature	Quantité	Catégorie	Hypothèse de comptage	Détail		Total
E1	Parcelles agricoles	24,98 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,250 pers.	0,304 pers. exposées	Modéré
	Chemin	0,33 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,033 pers.		
	Aire éolienne	0,21 ha			0,021 pers.		
E2	Parcelles agricoles	24,96 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,250 pers.	0,306 pers. exposées	Modéré
	Chemin	0,35 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,035 pers.		
	Aire éolienne	0,21 ha			0,021 pers.		
E3	Parcelles agricoles	25,11 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,251 pers.	0,292 pers. exposées	Modéré
	Chemin	0,20 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,020 pers.		
	Aire éolienne	0,21 ha			0,021 pers.		
E4	Parcelles agricoles	25,10 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,251 pers.	0,293 pers. exposées	Modéré
	Chemin	0,21 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,021 pers.		
	Aire éolienne	0,21 ha			0,021 pers.		
E5	Parcelles agricoles	22,41 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,224 pers.	0,273 pers. exposées	Modéré
	Chemin	0,275 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,028 pers.		
	Aire éolienne	0,21 ha			0,021 pers.		

E6	Parcelles agricoles	25,16 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers. / 100 ha	0,252 pers.	0,288 pers. exposées	Modéré
	Chemin	0,15 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers. / 10 ha	0,015 pers.		
	Aire éolienne	0,21 ha			0,021 pers.		

Tableau 56 : Gravité du scénario de projection de glace

■ 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 renouvellement du parc éolien du Cornouiller, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Projection de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+D) = 285 \text{ m}$ autour de l'éolienne pour V110 et 270 m pour V100)				
Éolienne	Gravité	Niveau de risque	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou de déduction de glace et de procédure de redémarrage	Acceptabilité
E1	Modérée	Risque très faible	Oui	Acceptable
E2	Modérée	Risque très faible	Oui	Acceptable
E3	Modérée	Risque très faible	Oui	Acceptable
E4	Modérée	Risque très faible	Oui	Acceptable
E5	Modérée	Risque très faible	Oui	Acceptable
E6	Modérée	Risque très faible	Oui	Acceptable

Tableau 57 : Niveau de risque et acceptabilité du scénario projection de glace

Ainsi, pour le renouvellement du parc éolien du Cornouiller, 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 scénarios étudiés

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

Variante NORDEX						
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)	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
S4	Projection de tout ou partie de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes)	Sérieuse pour E5 et Modérée pour les autres
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	Modérée Pour les éoliennes E1 à E6

Tableau 58 : Synthèse de la cotation des risques – étude détaillée – variante Nordex

Variante VESTAS						
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 pour E5, modérée pour les autres éoliennes	D (pour des éoliennes récentes)	Sérieuse Pour E5 et modérée pour les autres
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
S4	Projection de tout ou partie de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes)	Sérieuse pour E5 et Modérée pour les autres
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	Modérée Pour les éoliennes E1 à E6

Tableau 59 : Synthèse de la cotation des risques – étude détaillée – variante Vestas

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.

Variante Nordex					
Conséquence	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		Effondrement de l'éolienne Projection de tout ou partie de pale pour E5 seulement			
Modéré		Projection de tout ou partie de pale	Chute d'élément de l'éolienne	Projection de glace	Chute de glace

Tableau 60 : Cotation des risques selon la matrice de criticité de la circulaire du 10 mai 2010 – variante Nordex

Tableau 61 : Cotation des risques selon la matrice de criticité de la circulaire du 10 mai 2010- variante Vestas

Légende de la matrice

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

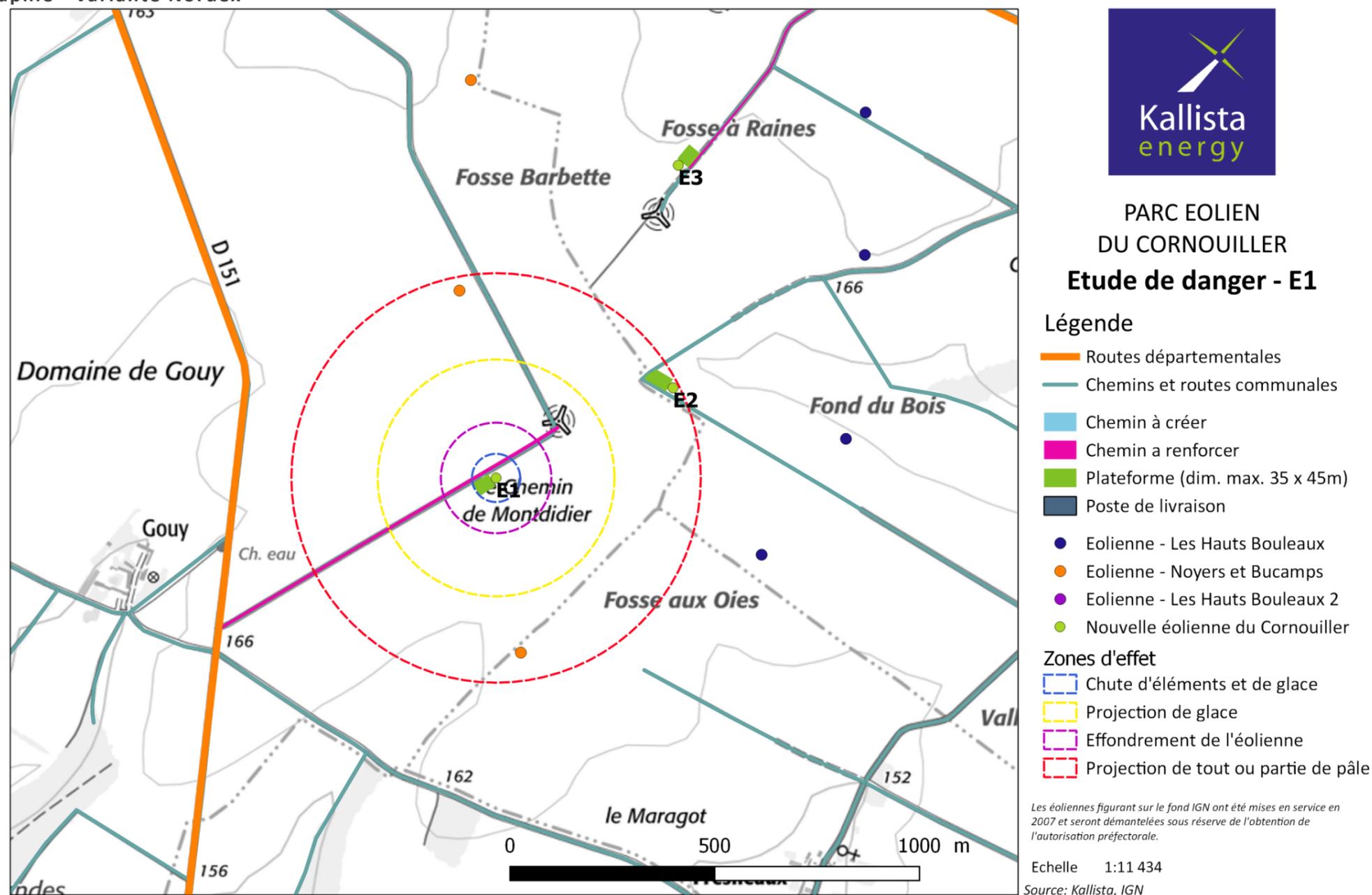
Il apparaît au regard de les matrices ainsi complétées que :

- > aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice, c'est-à-dire qu'aucun scénario abordait est « non acceptable »;
- > L'accident « Chute de glace » figure dans une case jaune. Pour cet accidents, il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 sont mises en place.
- > Les deux variantes présentent des acceptabilités de risques similaires

Variante Vestas					
Conséquence	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		Effondrement de l'éolienne et Projection de tout ou partie de pale pour E5 seulement			
Modéré		Effondrement de l'éolienne Projection de tout ou partie de pale	Chute d'élément de l'éolienne	Projection de glace	Chute de glace

8.3.3 Cartographie des risques

8.3.3.1 Cartographie - variante Nordex



<p>Chute d'élément : Rayon d'effet : 58,9m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Chute de glace : Rayon d'effet : 58,9m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : A Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Projection de glace : Rayon d'effet : 289,2m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : B Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Effondrement de l'éolienne : Rayon d'effet : 135m Cinétique : rapide Intensité : forte Nb de pers. exposées : <1 Gravité : sérieuse Probabilité : D Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Projection pôle : Rayon d'effet : 500m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>
---	--	--	--	--

Figure 24: carte étude de danger E1 - variante Nordex



**PARC EOLIEN
DU CORNOUILLER
Etude de danger - E2**

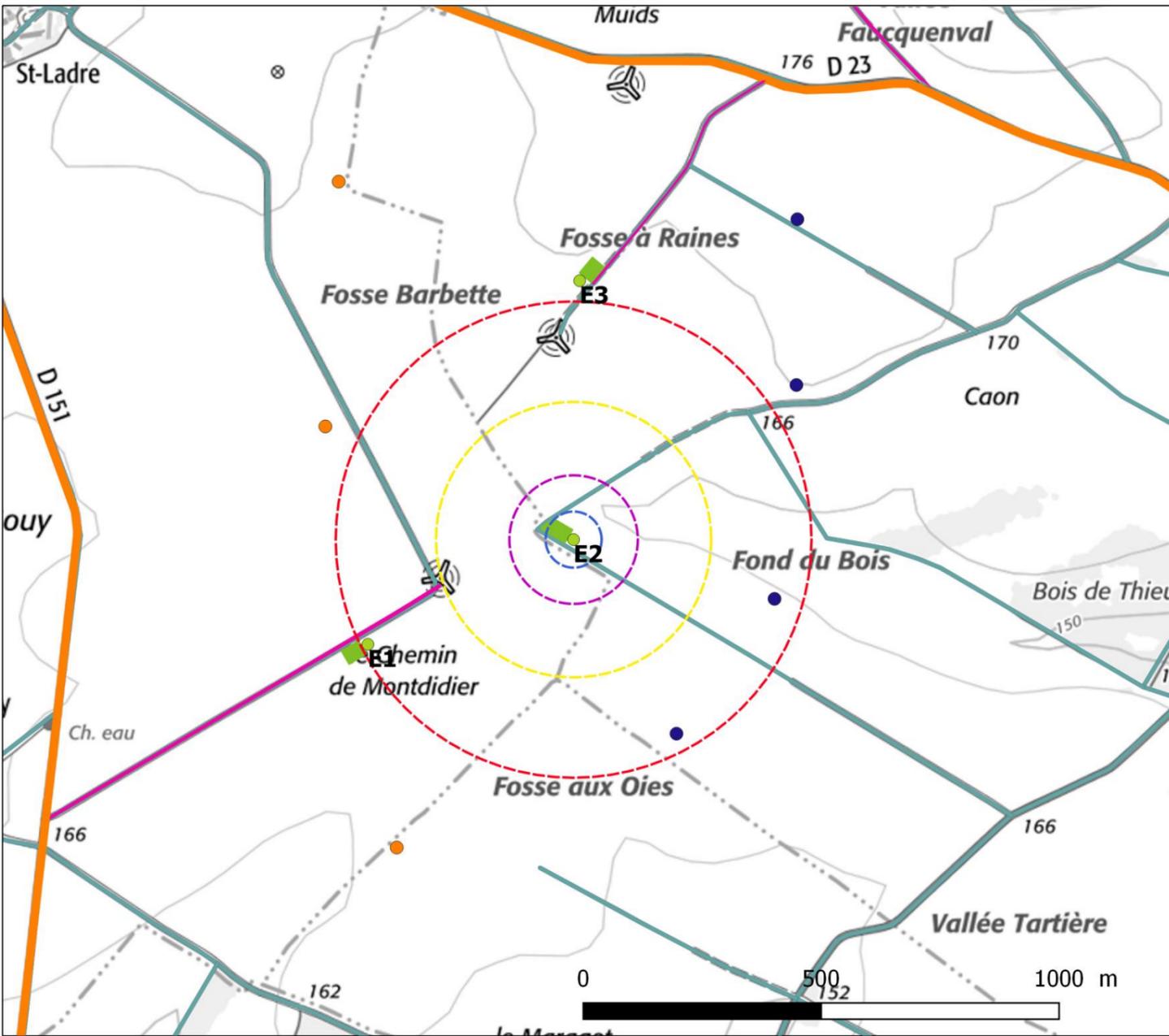
Légende

- Routes départementales
 - Chemins et routes communales
 - Chemin à créer
 - Chemin à renforcer
 - Plateforme (dim. max. 35 x 45m)
 - Poste de livraison
 - Eolienne - Les Hauts Bouleaux
 - Eolienne - Noyers et Bucamps
 - Eolienne - Les Hauts Bouleaux 2
 - Nouvelle éolienne du Cornouiller
- Zones d'effet**
- Chute d'éléments et de glace
 - Projection de glace
 - Effondrement de l'éolienne
 - Projection de tout ou partie de pôle

Les éoliennes figurant sur le fond IGN ont été mises en service en 2007 et seront démantelées sous réserve de l'obtention de l'autorisation préfectorale.

Echelle 1:11 434

Source: Kallista, IGN

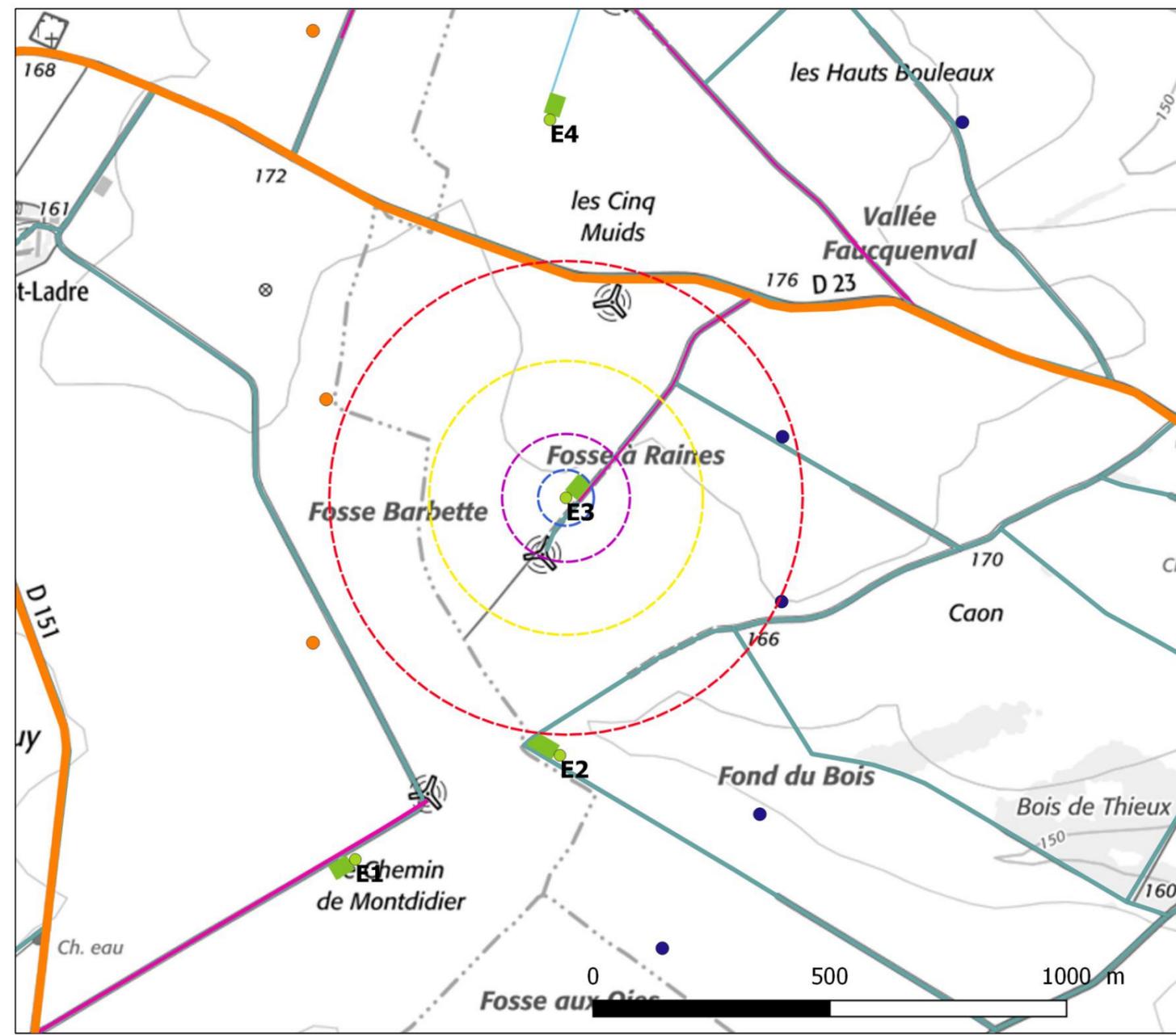


<p>Chute d'élément : Rayon d'effet : 58,9m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : C Niveau de risau : acceptable</p>	<p>Chute de glace : Rayon d'effet : 58,9m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : A Niveau de risau : acceptable</p>	<p>Projection de glace : Rayon d'effet : 289,2m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : B Niveau de risau : acceptable</p>	<p>Effondrement de l'éolienne : Rayon d'effet : 135m Cinétique : rapide Intensité : forte Nb de pers. exposées : <1 Gravité : sérieuse Probabilité : D Niveau de risau : acceptable</p>	<p>Projection pôle : Rayon d'effet : 500m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : C Niveau de risau : acceptable</p>
---	--	--	--	--

Figure 25: carte étude de danger E2 - variante Nordex



**PARC EOLIEN
DU CORNOUILLER
Etude de danger - E3**



Légende

- Routes départementales
 - Chemins et routes communales
 - Chemin à créer
 - Chemin à renforcer
 - Plateforme (dim. max. 35 x 45m)
 - Poste de livraison
 - Eolienne - Les Hauts Bouleaux
 - Eolienne - Noyers et Bucamps
 - Eolienne - Les Hauts Bouleaux 2
 - Nouvelle éolienne du Cornouiller
- Zones d'effet**
- Chute d'éléments et de glace
 - Projection de glace
 - Effondrement de l'éolienne
 - Projection de tout ou partie de pôle

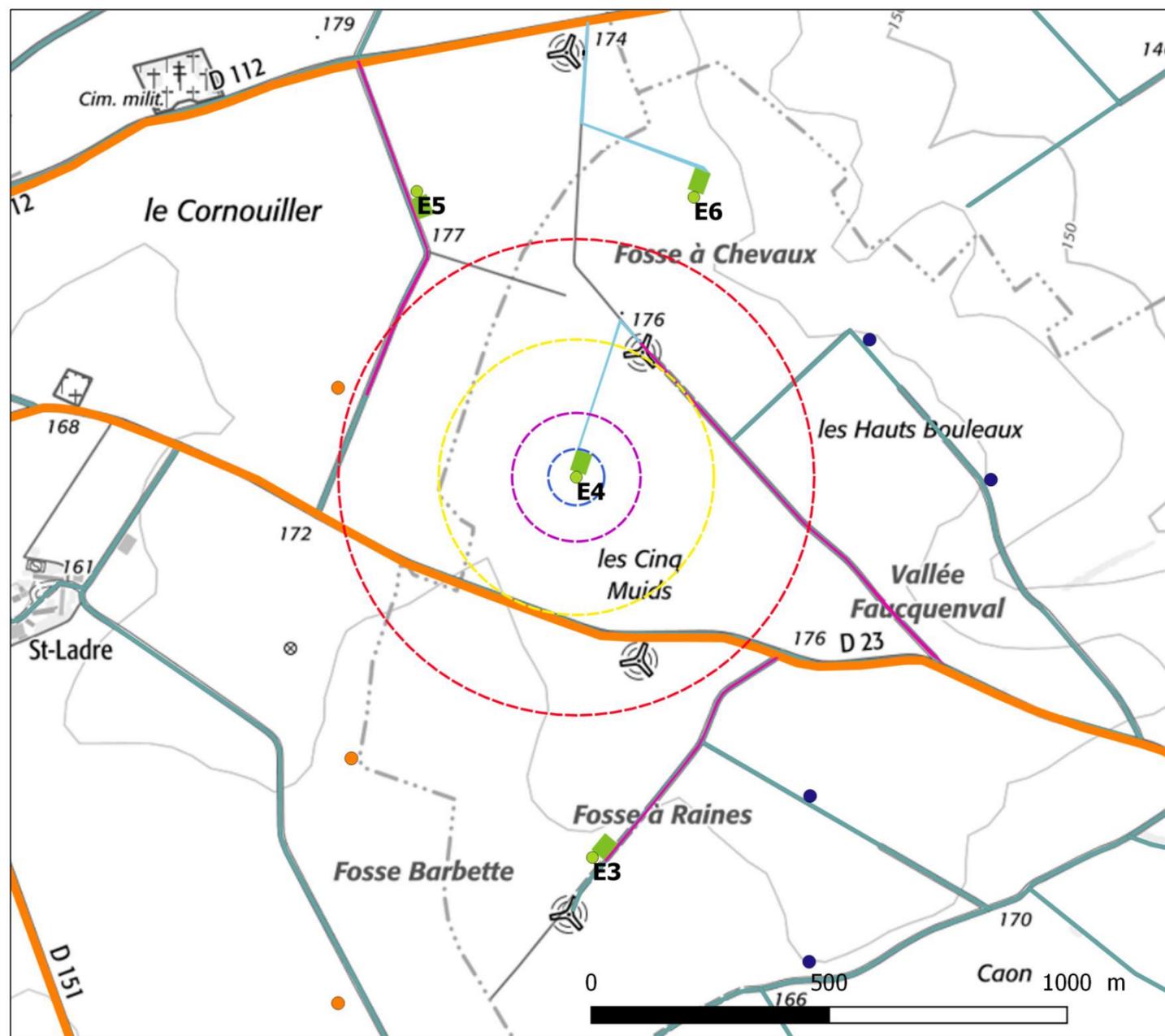
Les éoliennes figurant sur le fond IGN ont été mises en service en 2007 et seront démantelées sous réserve de l'obtention de l'autorisation préfectorale.

Echelle 1:11 434

Source: Kallista, IGN

<p>Chute d'élément : Rayon d'effet : 58,9m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Chute de glace : Rayon d'effet : 58,9m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : A Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Projection de glace : Rayon d'effet : 289,2m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : B Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Effondrement de l'éolienne : Rayon d'effet : 135m Cinétique : rapide Intensité : forte Nb de pers. exposées : <1 Gravité : sérieuse Probabilité : D Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Projection pôle : Rayon d'effet : 500m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>
---	--	--	--	--

Figure 26 : carte étude de danger E3 - variante Nordex



**PARC EOLIEN
DU CORNOUILLER
Etude de danger - E4**

Légende

- Routes départementales
 - Chemins et routes communales
 - Chemin à créer
 - Chemin à renforcer
 - Plateforme (dim. max. 35 x 45m)
 - Poste de livraison
 - Eolienne - Les Hauts Bouleaux
 - Eolienne - Noyers et Bucamps
 - Eolienne - Les Hauts Bouleaux 2
 - Nouvelle éolienne du Cornouiller
- Zones d'effet**
- Chute d'éléments et de glace
 - Projection de glace
 - Effondrement de l'éolienne
 - Projection de tout ou partie de pâle

Les éoliennes figurant sur le fond IGN ont été mises en service en 2007 et seront démantelées sous réserve de l'obtention de l'autorisation préfectorale.

Echelle 1:11 434

Source: Kallista, IGN

<p>Chute d'élément : Rayon d'effet : 58,9m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Chute de glace : Rayon d'effet : 58,9m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : A Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Projection de glace : Rayon d'effet : 289,2m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : B Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Effondrement de l'éolienne : Rayon d'effet : 135m Cinétique : rapide Intensité : forte Nb de pers. exposées : <1 Gravité : sérieuse Probabilité : D Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Projection pâle : Rayon d'effet : 500m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>
---	--	--	--	--

Figure 27 : carte étude de danger E4 - variante Nordex



**PARC EOLIEN
DU CORNOUILLER
Etude de danger - E5**

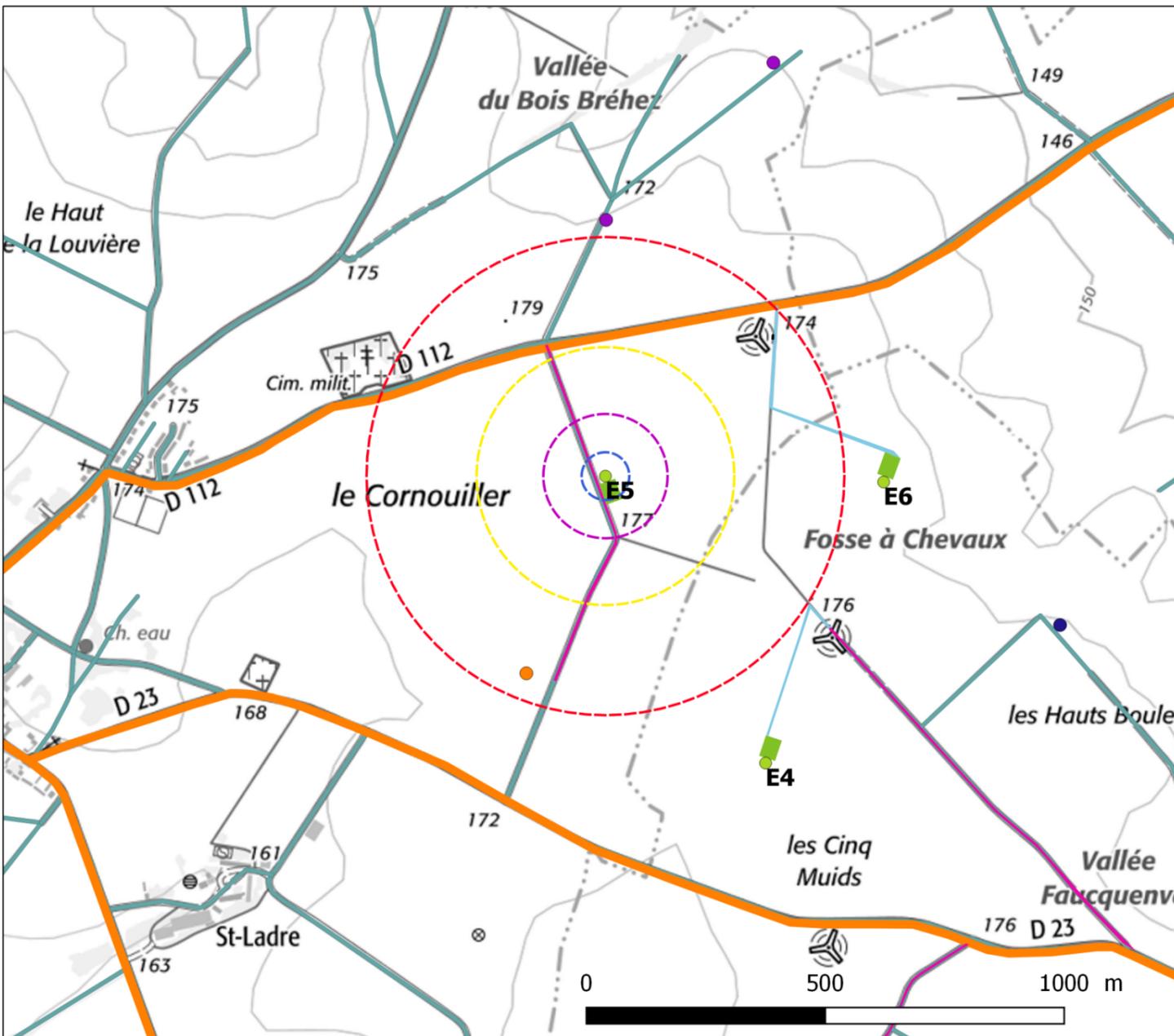
Légende

- Routes départementales
 - Chemins et routes communales
 - Chemin à créer
 - Chemin à renforcer
 - Plateforme (dim. max. 35 x 45m)
 - Poste de livraison
 - Eolienne - Les Hauts Bouleaux
 - Eolienne - Noyers et Bucamps
 - Eolienne - Les Hauts Bouleaux 2
 - Nouvelle éolienne du Cornouiller
- Zones d'effet**
- Chute d'éléments et de glace
 - Projection de glace
 - Effondrement de l'éolienne
 - Projection de tout ou partie de pôle

Les éoliennes figurant sur le fond IGN ont été mises en service en 2007 et seront démantelées sous réserve de l'obtention de l'autorisation préfectorale.

Echelle 1:11 434

Source: Kallista, IGN



<p>Chute d'élément : Rayon d'effet : 50,55m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Chute de glace : Rayon d'effet : 50,55m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. Exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : A Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Projection de glace : Rayon d'effet : 269,7m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : B Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Effondrement de l'éolienne : Rayon d'effet : 130m Cinétique : rapide Intensité : forte Nb de pers. exposées : <1 Gravité : sérieuse Probabilité : D Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Projection pôle : Rayon d'effet : 500m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <10 Gravité : sérieuse Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>
---	--	---	---	---

Figure 28 : carte étude de danger E5 - variante Nordex



**PARC EOLIEN
DU CORNOUILLER
Etude de danger - E6**

Légende

- Routes départementales
- Chemins et routes communales
- Chemin à créer
- Chemin à renforcer
- Plateforme (dim. max. 35 x 45m)
- Poste de livraison
- Eolienne - Les Hauts Bouleaux
- Eolienne - Noyers et Bucamps
- Eolienne - Les Hauts Bouleaux 2
- Nouvelle éolienne du Cornouiller

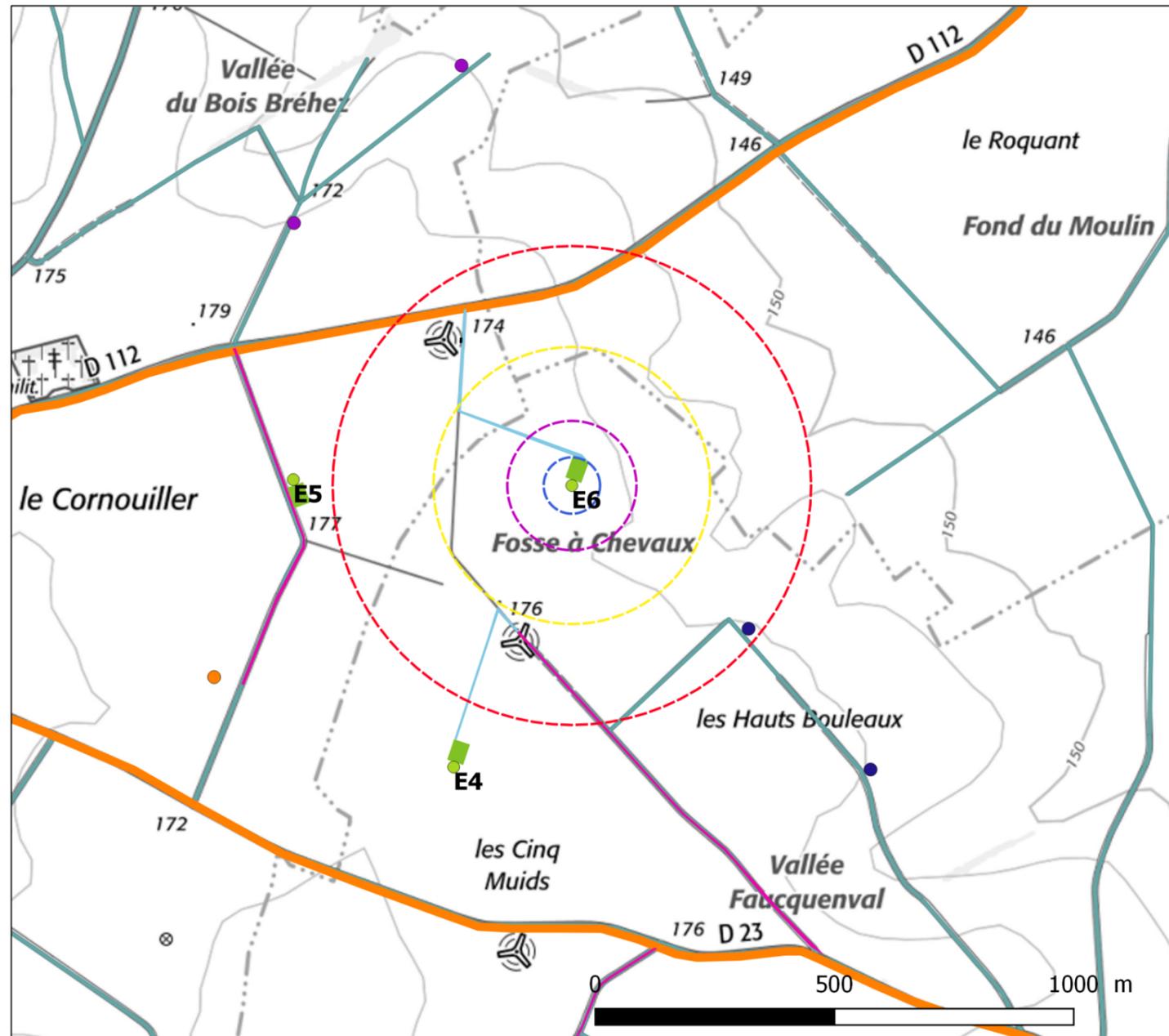
Zones d'effet

- Chute d'éléments et de glace
- Projection de glace
- Effondrement de l'éolienne
- Projection de tout ou partie de pôle

Les éoliennes figurant sur le fond IGN ont été mises en service en 2007 et seront démantelées sous réserve de l'obtention de l'autorisation préfectorale.

Echelle 1:11 434

Source: Kallista, IGN



<p>Chute d'élément : Rayon d'effet : 58,9m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Chute de glace : Rayon d'effet : 58,9m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : A Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Projection de glace : Rayon d'effet : 289,2m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : B Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Effondrement de l'éolienne : Rayon d'effet : 135m Cinétique : rapide Intensité : forte Nb de pers. exposées : <1 Gravité : sérieuse Probabilité : D Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Projection pôle : Rayon d'effet : 500m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>
---	--	--	--	--

Figure 29 : carte étude de danger E6 - variante Nordex

8.3.3.2 Cartographie - variante Vestas

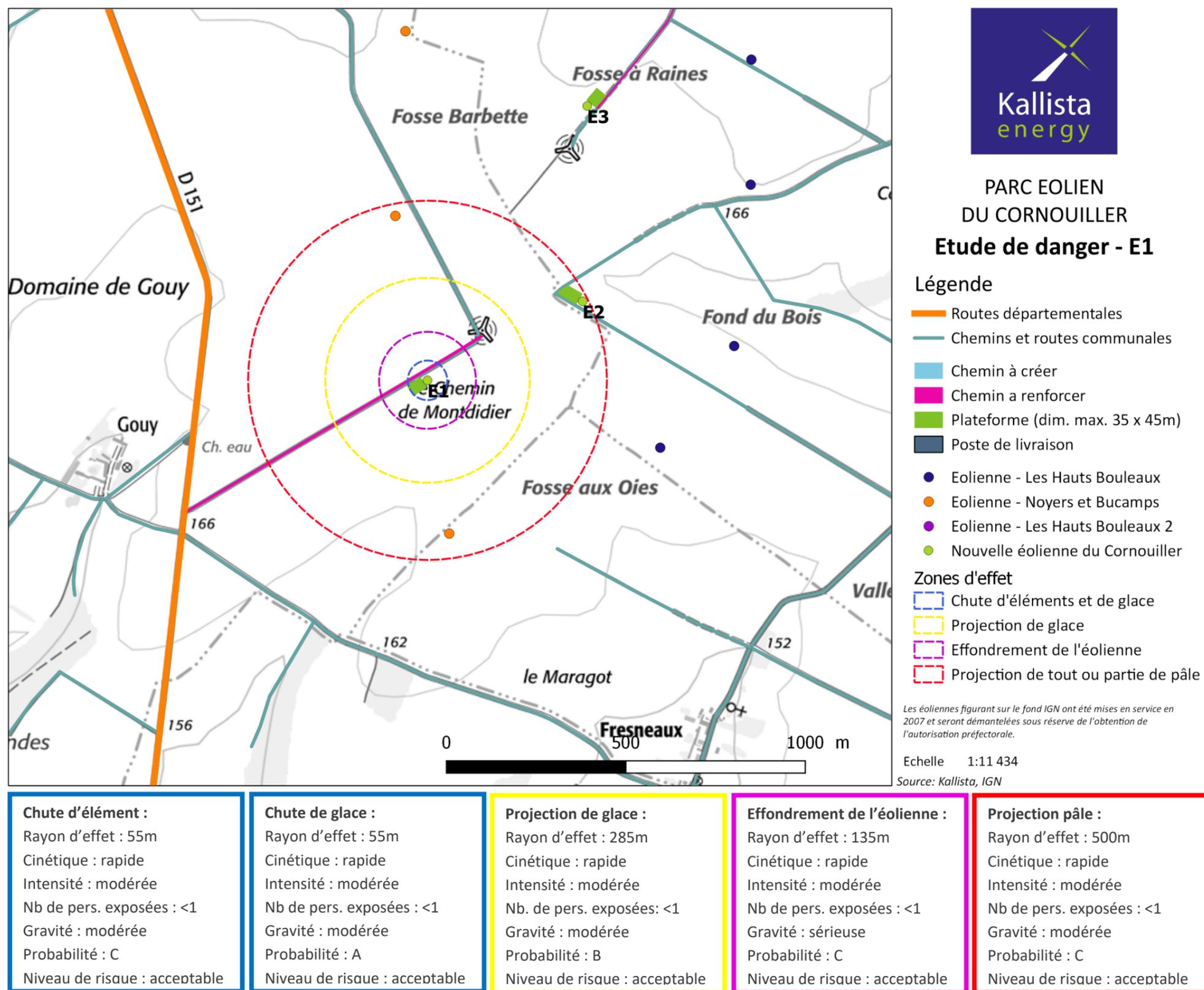


Figure 30 : carte étude de danger E1 - variante Vestas



**PARC EOLIEN
DU CORNOUILLER
Etude de danger - E2**

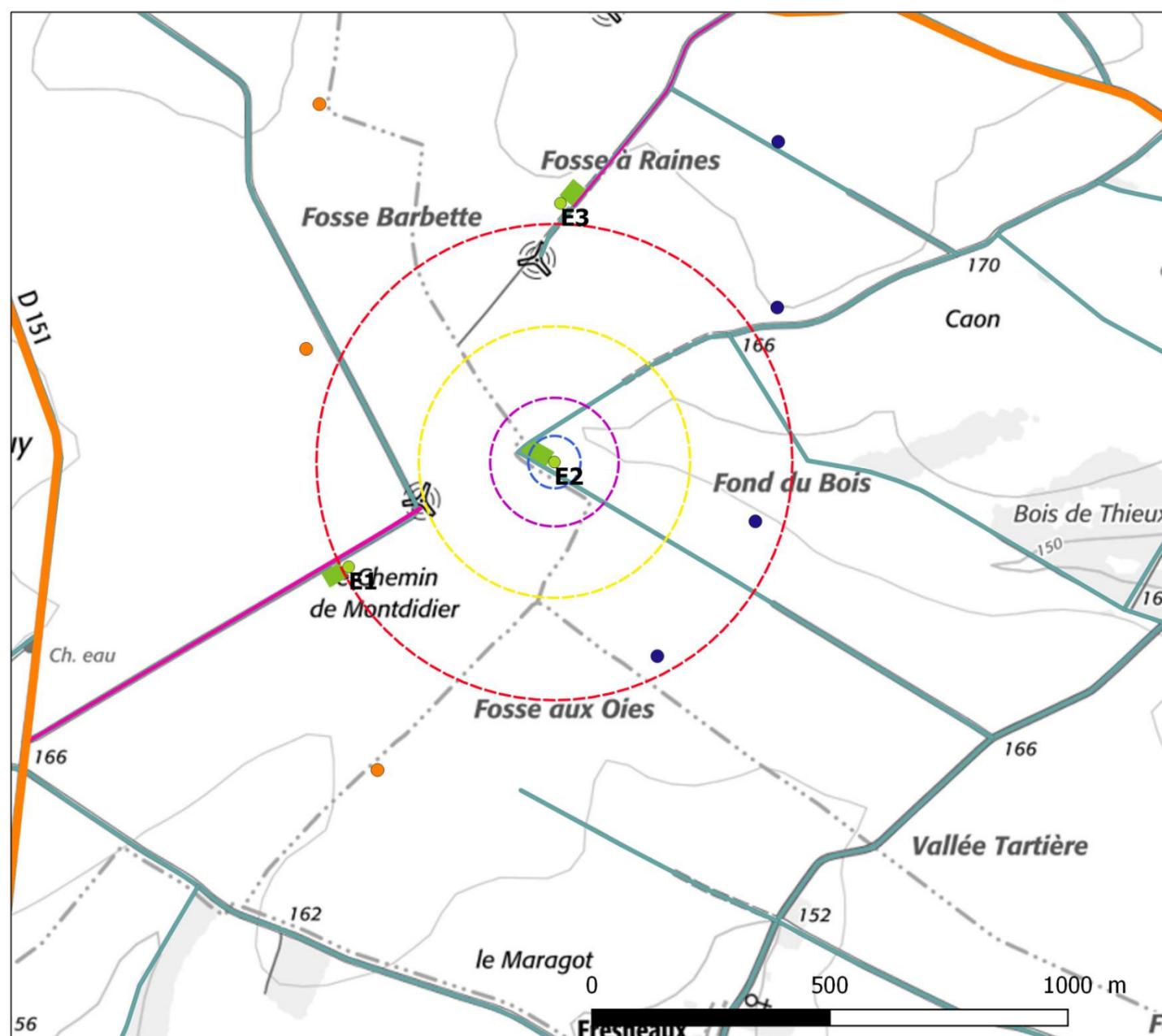
Légende

- Routes départementales
 - Chemins et routes communales
 - Chemin à créer
 - Chemin à renforcer
 - Plateforme (dim. max. 35 x 45m)
 - Poste de livraison
 - Eolienne - Les Hauts Bouleaux
 - Eolienne - Noyers et Bucamps
 - Eolienne - Les Hauts Bouleaux 2
 - Nouvelle éolienne du Cornouiller
- Zones d'effet**
- Chute d'éléments et de glace
 - Projection de glace
 - Effondrement de l'éolienne
 - Projection de tout ou partie de pâle

Les éoliennes figurant sur le fond IGN ont été mises en service en 2007 et seront démantelées sous réserve de l'obtention de l'autorisation préfectorale.

Echelle 1:11 434

Source: Kallista, IGN



<p>Chute d'élément : Rayon d'effet : 55m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Chute de glace : Rayon d'effet : 55m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : A Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Projection de glace : Rayon d'effet : 285m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb. de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : B Niveau de risaue : acceptable</p>	<p>Effondrement de l'éolienne : Rayon d'effet : 135m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : sérieuse Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Projection pâle : Rayon d'effet : 500m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>
---	--	---	--	--

Figure 31 : carte étude de danger E2 - variante Vestas



**PARC EOLIEN
DU CORNOUILLER
Etude de danger - E3**

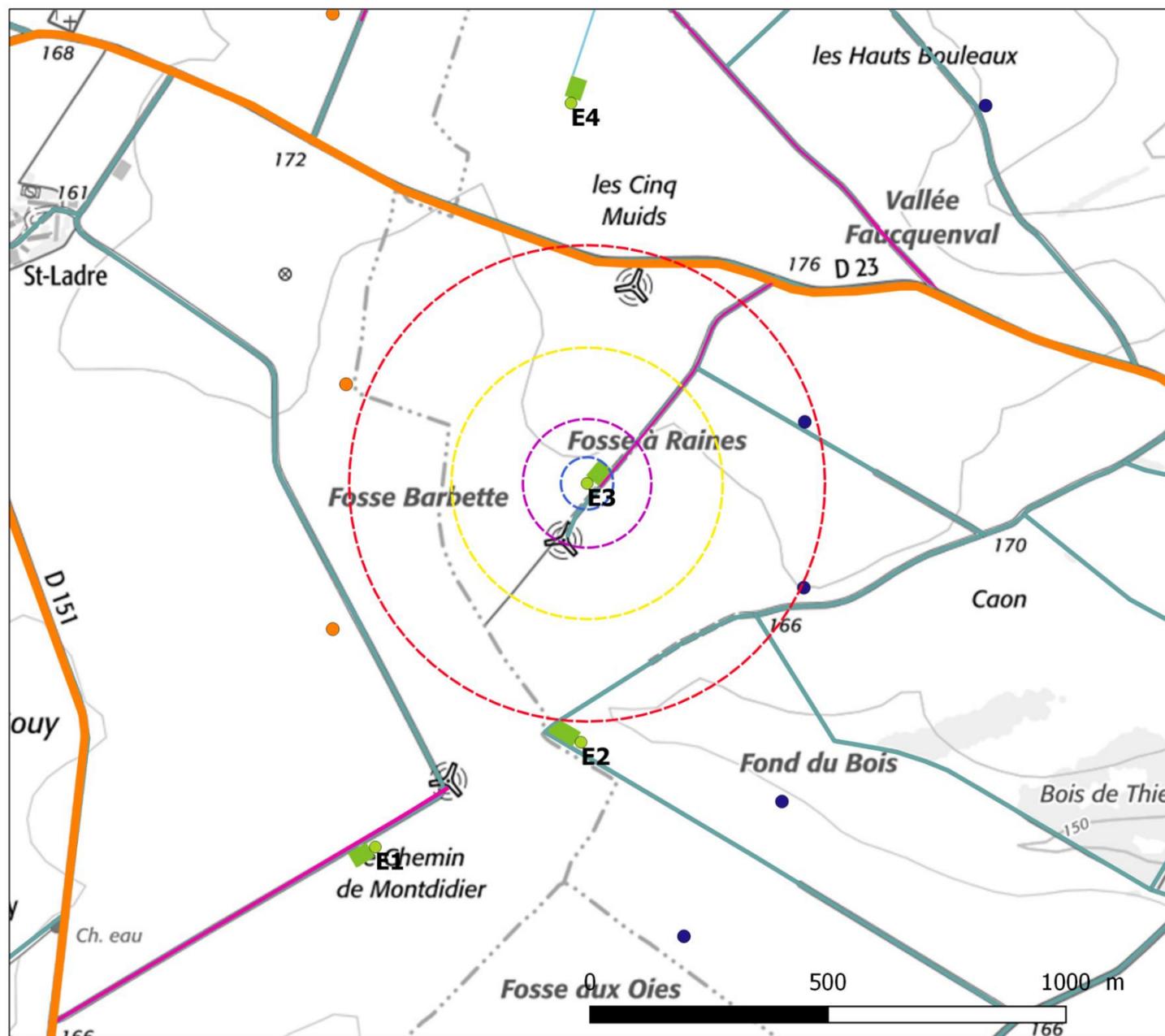
Légende

- Routes départementales
 - Chemins et routes communales
 - Chemin à créer
 - Chemin à renforcer
 - Plateforme (dim. max. 35 x 45m)
 - Poste de livraison
 - Eolienne - Les Hauts Bouleaux
 - Eolienne - Noyers et Bucamps
 - Eolienne - Les Hauts Bouleaux 2
 - Nouvelle éolienne du Cornouiller
- Zones d'effet**
- Chute d'éléments et de glace
 - Projection de glace
 - Effondrement de l'éolienne
 - Projection de tout ou partie de pôle

Les éoliennes figurant sur le fond IGN ont été mises en service en 2007 et seront démantelées sous réserve de l'obtention de l'autorisation préfectorale.

Echelle 1:11 434

Source: Kallista, IGN



<p>Chute d'élément : Rayon d'effet : 55m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Chute de glace : Rayon d'effet : 55m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. Exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : A Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Projection de glace : Rayon d'effet : 285m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : B Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Effondrement de l'éolienne : Rayon d'effet : 135m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : sérieuse Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Projection pôle : Rayon d'effet : 500m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>
---	--	--	--	--

Figure 32 : carte étude de danger E3 - variante Vestas



**PARC EOLIEN
DU CORNOUILLER
Etude de danger - E4**

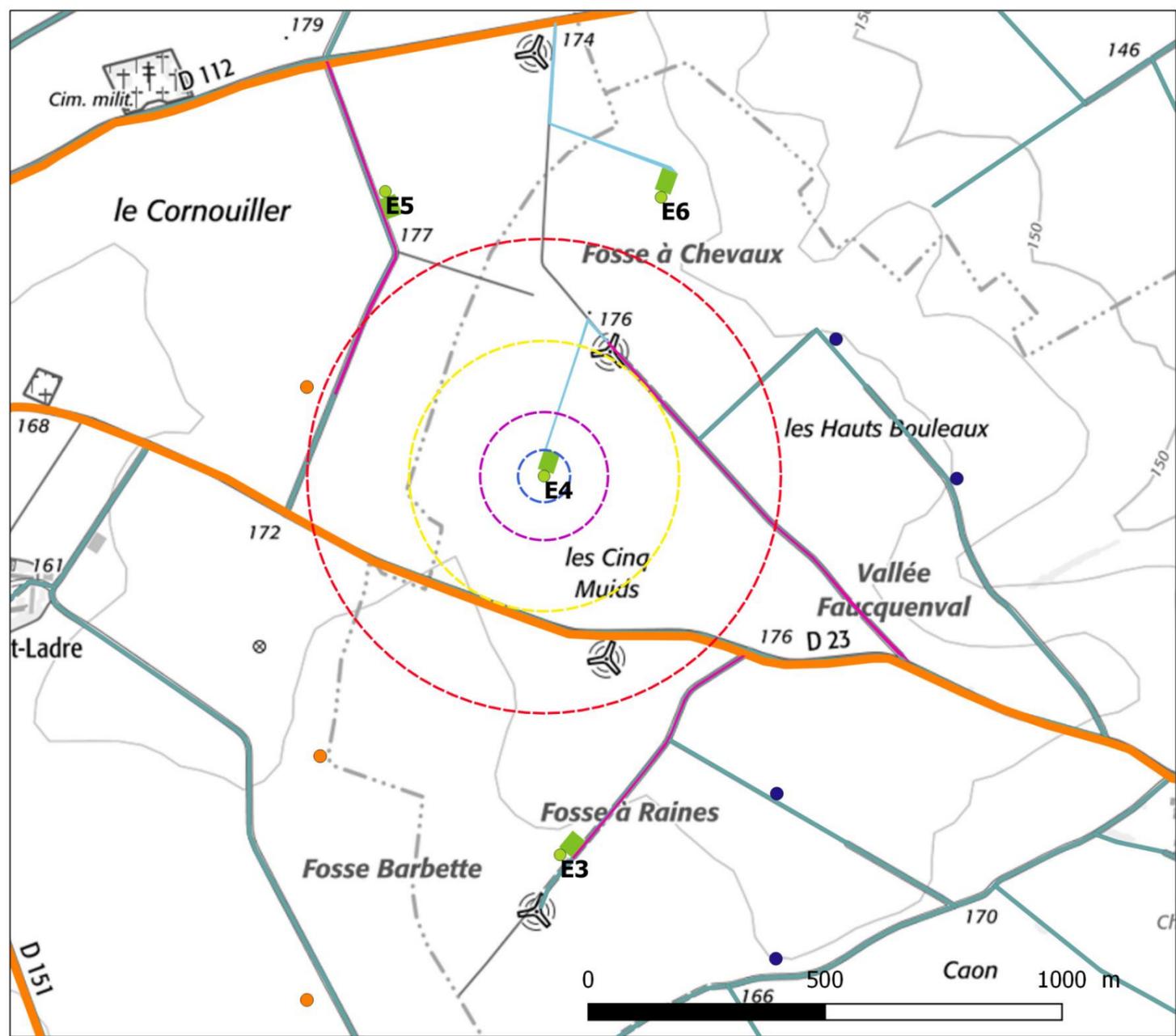
Légende

- Routes départementales
 - Chemins et routes communales
 - Chemin à créer
 - Chemin à renforcer
 - Plateforme (dim. max. 35 x 45m)
 - Poste de livraison
 - Eolienne - Les Hauts Bouleaux
 - Eolienne - Noyers et Bucamps
 - Eolienne - Les Hauts Bouleaux 2
 - Nouvelle éolienne du Cornouiller
- Zones d'effet**
- Chute d'éléments et de glace
 - Projection de glace
 - Effondrement de l'éolienne
 - Projection de tout ou partie de pâle

Les éoliennes figurant sur le fond IGN ont été mises en service en 2007 et seront démantelées sous réserve de l'obtention de l'autorisation préfectorale.

Echelle 1:11 434

Source: Kallista, IGN

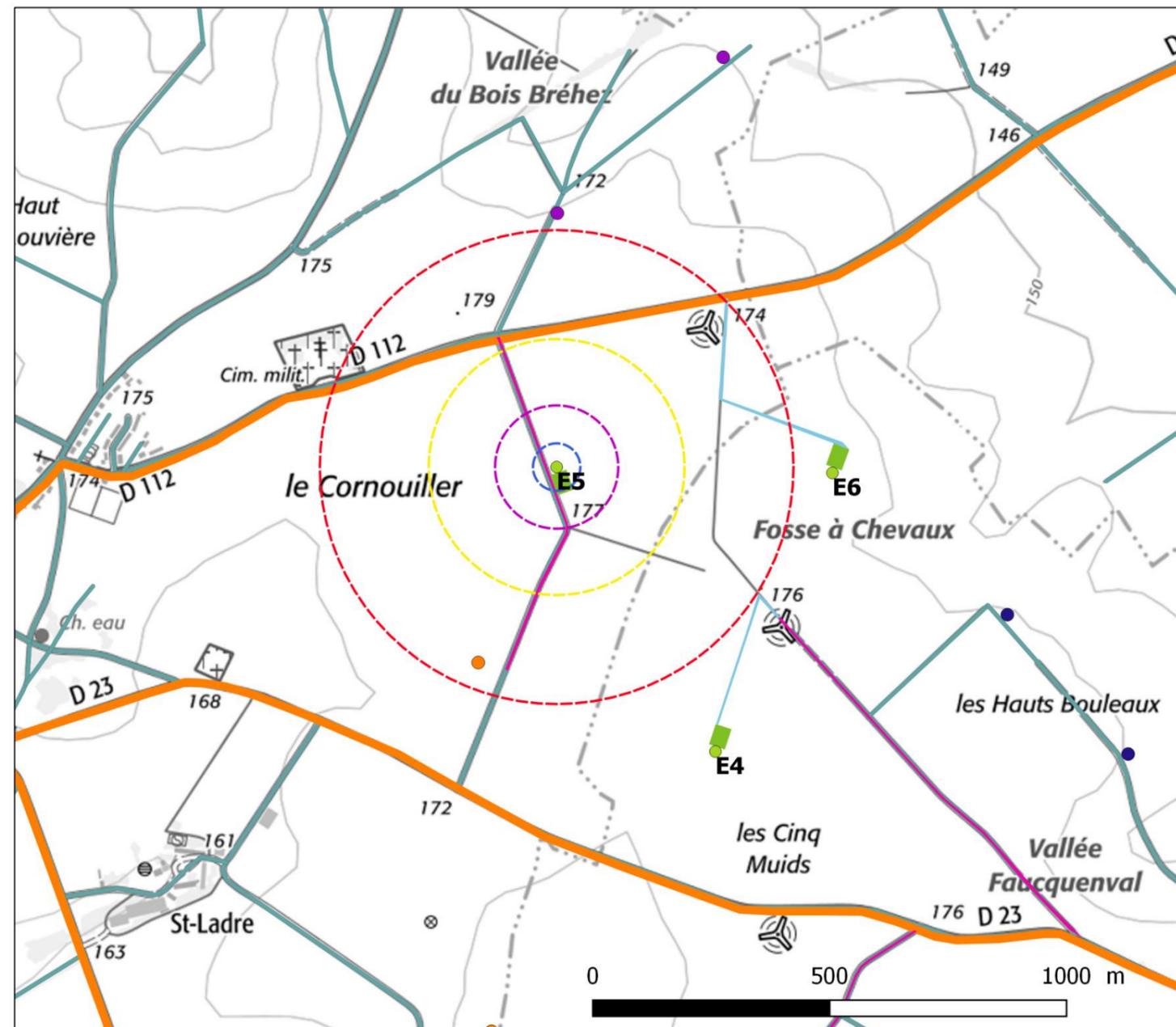


<p>Chute d'élément : Rayon d'effet : 55m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Chute de glace : Rayon d'effet : 55m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : A Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Projection de glace : Rayon d'effet : 285m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : B Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Effondrement de l'éolienne : Rayon d'effet : 135m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : sérieuse Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Projection pâle : Rayon d'effet : 500m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>
--	---	---	---	---

Figure 33 : carte étude de danger E4 - variante Vestas



**PARC EOLIEN
DU CORNOUILLER
Etude de danger - E5**



Légende

- Routes départementales
- Chemins et routes communales
- Chemin à créer
- Chemin à renforcer
- Plateforme (dim. max. 35 x 45m)
- Poste de livraison
- Eolienne - Les Hauts Bouleaux
- Eolienne - Noyers et Bucamps
- Eolienne - Les Hauts Bouleaux 2
- Nouvelle éolienne du Cornouiller

Zones d'effet

- Chute d'éléments et de glace
- Projection de glace
- Effondrement de l'éolienne
- Projection de tout ou partie de pôle

Les éoliennes figurant sur le fond IGN ont été mises en service en 2007 et seront démantelées sous réserve de l'obtention de l'autorisation préfectorale.

Echelle 1:11 434

Source: Kallista, IGN

<p>Chute d'élément : Rayon d'effet : 50m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Chute de glace : Rayon d'effet : 50m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : A Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Projection de glace : Rayon d'effet : 270m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : B Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Effondrement de l'éolienne : Rayon d'effet : 130m Cinétique : rapide Intensité : forte Nb de pers. exposées : <1 Gravité : sérieuse Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Projection pôle : Rayon d'effet : 500m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : sérieuse Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>
--	---	---	---	--

Figure 34 : carte étude de danger E5 - variante Vestas



**PARC EOLIEN
DU CORNOUILLER
Etude de danger - E6**

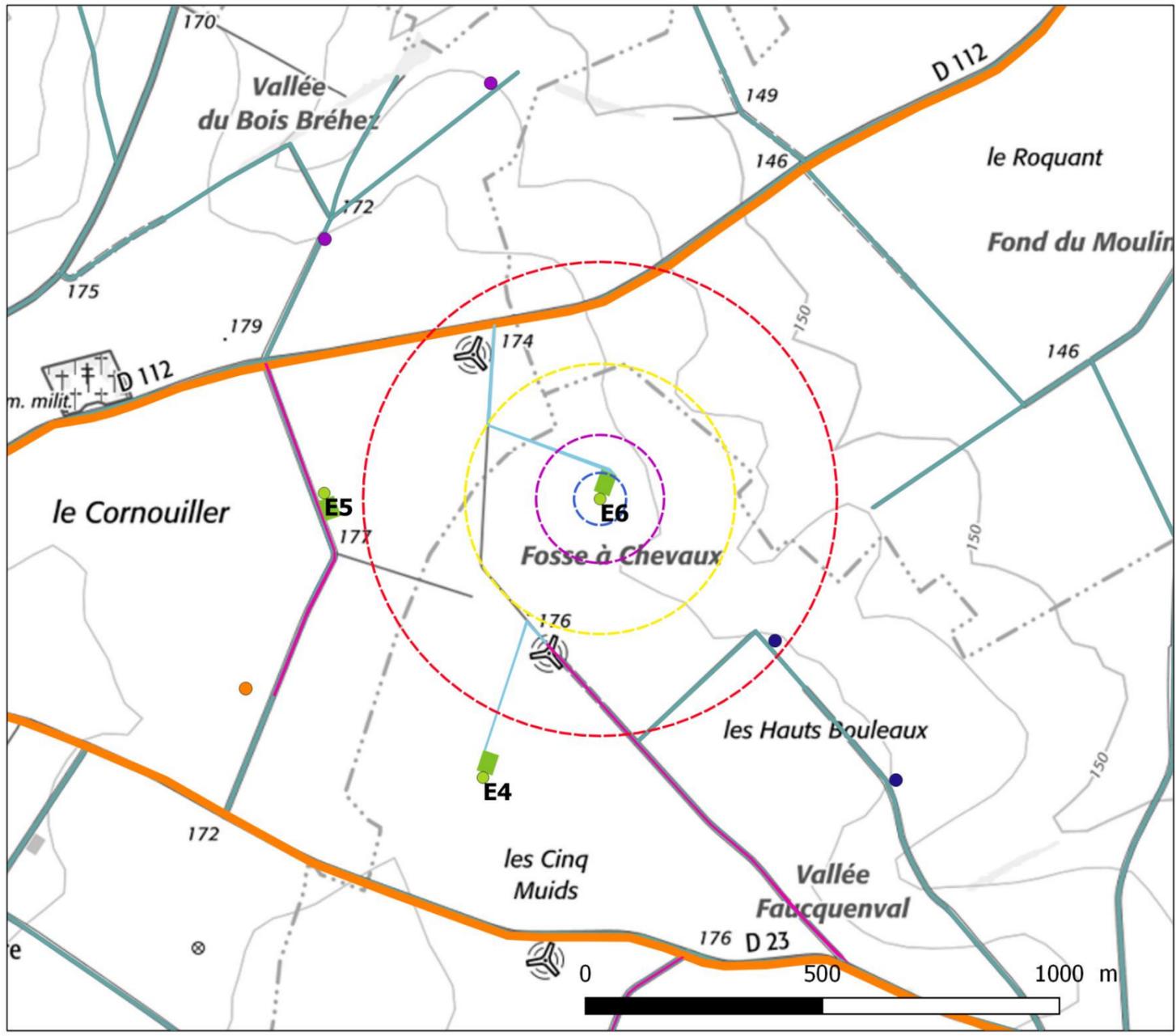
Légende

- Routes départementales
 - Chemins et routes communales
 - Chemin à créer
 - Chemin à renforcer
 - Plateforme (dim. max. 35 x 45m)
 - Poste de livraison
 - Eolienne - Les Hauts Bouleaux
 - Eolienne - Noyers et Bucamps
 - Eolienne - Les Hauts Bouleaux 2
 - Nouvelle éolienne du Cornouiller
- Zones d'effet**
- Chute d'éléments et de glace
 - Projection de glace
 - Effondrement de l'éolienne
 - Projection de tout ou partie de pôle

Les éoliennes figurant sur le fond IGN ont été mises en service en 2007 et seront démantelées sous réserve de l'obtention de l'autorisation préfectorale.

Echelle 1:11 434

Source: Kallista, IGN



<p>Chute d'élément : Rayon d'effet : 55m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Chute de glace : Rayon d'effet : 55m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : A Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Projection de glace : Rayon d'effet : 285m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Projection de glace : Rayon d'effet : 285m Cinétique : rapide</p>	<p>Effondrement de l'éolienne : Rayon d'effet : 135m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : sérieuse Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>	<p>Projection pôle : Rayon d'effet : 500m Cinétique : rapide Intensité : modérée Nb de pers. exposées : <1 Gravité : modérée Probabilité : C Niveau de risque : acceptable</p>
--	---	--	---	---

Figure 35 : carte étude de danger E6 - variante Vestas

9 CONCLUSION

Après description de l'installation et de son environnement, il ressort que les potentiels de dangers du parc éolien du Cornouiller 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 scénarios d'accidents potentiels.

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

Cinq scénarios 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 scénarios 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 scénarios, 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 scénarios étudiés présentent un risque acceptable pour les personnes pour l'ensemble des éoliennes du parc éolien du Cornouiller.

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 du Cornouiller 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 ANNEXES

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.

Trafic (en véhicules/jour)	Linéaire de route compris dans la zone d'effet (en m)									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
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 : DE L'ACCIDENTOLOGIE FRANÇAISE.

Le tableau ci-dessous a été établi par le groupe de travail constitué pour la réalisation du présent guide. Il recense l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne entre 2000 et fin 2011. L'analyse de ces données est présentée dans la partie VI de 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 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)	Incident identique à celui s'étant produit 15 jours auparavant
Rupture de pale	2004	Escalles-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 retirofit 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 Beechcraftch (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	Touffiers	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 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.

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

Scénarios P03

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

■ 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 : GLOSSAIRE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Attention aux confusions possibles :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Enfin, quelques sigles utiles employés dans le présent guide sont listés et explicités ci-dessous :

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement
SER : Syndicat des Energies Renouvelables
FEE : France Energie Eolienne (branche éolienne du SER)
INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques
EDD : Etude de dangers
APR : Analyse Préliminaire des Risques
ERP : Etablissement Recevant du Public

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 Gütisch : monitoring of a wind turbine under icing conditions- R. Cattin et al.
- [15] Wind energy production in cold climate (WECO), Final report - Bengt Tammelin et al. – Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 2000
- [16] Rapport sur la sécurité des installations éoliennes, Conseil Général des Mines - Guillet R., Leteurtois J.-P. - juillet 2004
- [17] Risk analysis of ice throw from wind turbines, Seifert H., Westerhellweg A., Kröning J. - DEWI, avril 2003
- [18] Wind energy in the BSR: impacts and causes of icing on wind turbines, Narvik University College, novembre 2005
- [19] Georisques.gouv, *Cavités souterraines* [consulté le 2 avril 2019]. Disponible sur : <http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/cavites-souterraines/carte#/com/60634>
- [20] Data.gouv, *Arrêtés de catastrophe naturelle en France métropolitaine* [consulté le 1er avril 2019]. Disponible sur : <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/arretes-de-catastrophe-naturelle-en-france-metropolitaine-2/#>