



Dans son mémoire en réponse d'août 2021 à l'avis de la MRAE n°2020-4879 et suivant les recommandations des services instructeurs, la SAS Parc éolien de Linghem 2 a procédé au retrait de l'éolienne E3L et au déplacement de l'éolienne E1L afin de s'harmoniser au mieux à son environnement.

Les impacts liés à l'éolienne E3L sont donc à ignorer dans ce volet.

PARC EOLIEN DE LINGHEM 2

Linghem (62)



Demande d'Autorisation Environnementale dans le cadre du projet de parc éolien PARTIE III : ETUDE DE DANGERS

Rapport

Réf : CACINO142273 / RACINO03212-02

AVO /JPT

12/05/2020



 **GINGER**
BURGEAP



PARC EOLIEN DE LINGHEM 2

Linghem (62)

Demande d'Autorisation Environnementale dans le cadre du projet de parc éolien
 PARTIE III : ETUDE DE DANGERS

Objet de l'indice	Date	Indice	Rédaction		Vérification		Validation	
			Nom	Signature	Nom	Signature	Nom	Signature
Rapport	15/05/2018	01	A.VOGT		V.ALLPORT		V.ALLPORT	
Mise à jour suite remarques DREAL	12/05/2020	02	A.VOGT		J.LENGLET		J.LENGLET	

Numéro de contrat / de rapport :	Réf : CACINO142273 / RACINO03212-02
Numéro d'affaire :	A29742
Domaine technique :	IC01
Mots clé du thésaurus	ENERGIE EOLIENNE ENERGIE RENOUVELABLE DOSSIER D'AUTORISATION

SOMMAIRE

PIÈCE I : RESUME NON TECHNIQUE DE L'ETUDE DE DANGERS.....	9
1. Identification des enjeux	10
2. Potentiels de dangers de l'installation et agressions extérieures.....	11
2.1 Potentiels de dangers liés aux produits	11
2.2 Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation	12
2.3 Agressions externes potentielles	12
3. Evaluation des risques	12
3.1 Evaluation préliminaire des risques.....	13
3.1.1 Evènements exclus de l'analyse de risque	13
3.1.2 Identification des phénomènes redoutés.....	13
3.1.3 Principaux systèmes de sécurité des éoliennes récentes	13
3.2 Evaluation détaillée des risques.....	14
3.2.1 Portée des évènements	14
3.2.2 Intensité	14
3.2.3 Gravité	14
3.2.4 Probabilité	15
3.2.5 Caractérisation des accidents majeurs	15
3.3 Synthèse de l'acceptabilité des risques	16
PIÈCE II : ETUDE DE DANGERS.....	18
INTRODUCTION	19
1. Préambule	21
1.1 Objectif de l'étude de dangers	21
1.2 Contexte réglementaire et législatif	21
1.3 Documents de référence	22
1.4 Qu'est-ce qu'une éolienne ?	23
1.4.1 Principe d'une éolienne.....	23
1.4.2 Classification des éoliennes.....	23
2. Informations générales concernant l'installation	25
2.1 Renseignements administratifs	25
2.1.1 Identité du porteur du projet	25
2.1.2 Identité du rédacteur de la présente étude.....	25
2.2 Localisation du site.....	25
2.3 Description de l'aire d'étude	26
3. Description de l'environnement de l'installation	28
3.1 Environnement humain	28
3.1.1 Zones urbanisées.....	28
3.1.2 Etablissements recevant du public (ERP)	28
3.1.3 Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et installations nucléaires de base	29
3.1.4 Autres activités.....	29
3.2 Environnement naturel	29
3.2.1 Contexte climatique.....	29
3.2.2 Risques naturels	31
3.3 Environnement matériel	34
3.3.1 Voies de communication	34
3.3.2 Servitudes et contraintes techniques	35
3.4 Synthèse des enjeux	36

4.	Description de l'installation	38
4.1	Caractéristiques générales d'un parc éolien.....	38
4.2	Description d'une éolienne	38
4.2.1	Les fondations – emprises au sol.....	39
4.2.2	Le mât	40
4.2.3	Rotor	41
4.2.4	Nacelle	42
4.2.5	Générateur	43
4.2.6	Unité d'alimentation au réseau.....	44
4.2.7	Caractéristiques techniques des éoliennes	45
4.3	Certification des éoliennes.....	47
4.4	Fonctionnement de l'éolienne.....	47
4.4.1	Démarrage de l'éolienne	47
4.4.2	Fonctionnement normal	47
4.4.3	Fonctionnement en charge partielle	47
4.4.4	Fonctionnement de régulation.....	48
4.4.5	Mode de fonctionnement au ralenti	48
4.4.6	Arrêt de l'éolienne	48
4.4.7	Absence de vent	50
4.4.8	Tempête / Système « Storm Control »	50
4.4.9	Dévrillage des câbles	51
4.5	Opérations de maintenance de l'éolienne	52
4.5.1	Inspection visuelle	53
4.5.2	Graissage d'entretien	54
4.5.3	Maintenance électrique	54
4.5.4	Maintenance mécanique	54
4.5.5	Stockage et flux de produits dangereux	54
4.6	Principaux systèmes de sécurité de l'éolienne.....	54
4.6.1	Système de freinage	54
4.6.2	Système de détection de survitesse.....	55
4.6.3	Protection foudre.....	55
4.6.4	Protection incendie.....	55
4.6.5	Système de détection de givre / glace	56
4.6.6	Surveillance des principaux paramètres	57
5.	Identification des potentiels de dangers de l'installation	58
5.1	Potentiels de dangers liés aux produits	58
5.2	Potentiels de dangers liés aux procédés.....	58
5.2.1	Potentiels dangers liés aux déchets.....	58
5.2.2	Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation	59
5.3	Potentiels de dangers liés aux pertes d'utilités	60
5.4	Sources d'agressions liés aux événements externes aux procédés.....	61
5.4.1	Sources d'agressions liés aux activités humaines	61
5.4.2	Sources d'agressions liés aux phénomènes naturels	62
6.	Réduction des potentiels de dangers	66
6.1	Suppression des potentiels de dangers	66
6.2	Réduction des quantités de produits dangereux.....	66
6.3	Gestion des phases de travaux	67
6.3.1	Communication – sensibilisation du public.....	67
6.3.2	Gestion du chantier	67
7.	Analyse de l'accidentologie	68
7.1	Inventaire des accidents et incidents en France	68
7.2	Inventaire des accidents et incidents à l'international.....	69
7.3	Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience	72
7.3.1	Analyse de l'évolution des accidents en France.....	72
7.3.2	Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents.....	72
7.4	Limites d'utilisation de l'accidentologie	73

8.	Analyse préliminaire des risques	74
8.1	Objectif de l'analyse préliminaire des risques	74
8.2	Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques.....	74
8.3	Recensement des agressions externes potentielles.....	74
8.3.1	Agressions externes liées aux activités humaines	75
8.3.2	Agressions externes liées aux phénomènes naturels	75
8.4	Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques	76
8.4.1	Identification des scénarios	76
8.5	Description des mesures de maîtrise des risques (MMR)	80
8.6	Conclusion de l'analyse préliminaire des risques.....	92
9.	Etude détaillée des risques.....	93
9.1	Rappel des définitions	93
9.1.1	Cinétique.....	93
9.1.2	Intensité	94
9.1.3	Gravité	94
9.1.4	Probabilité	95
9.2	Effondrement de l'éolienne	96
9.2.1	Description de l'évènement redouté.....	96
9.2.2	Probabilité	97
9.2.3	Zone d'effet	97
9.2.4	Zone d'impact.....	98
9.2.5	Intensité	98
9.2.6	Gravité	98
9.2.7	Niveau de risque	99
9.3	Scénarios redoutés	100
9.3.1	Scénarios relatifs aux risques liés à la glace (G01 et G02).....	100
9.3.2	Scénarios relatifs aux risques d'incendie (I01 à I07).....	100
9.3.3	Scénarios relatifs aux risques de fuite de liquides (F01 à F02).....	101
9.3.4	Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments (C01 à C03).....	102
9.3.5	Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales (P01 à P06)	102
9.3.6	Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E01 à E10)	103
9.4	Chute de glace	103
9.4.1	Description de l'évènement redouté.....	103
9.4.2	Probabilité	103
9.4.3	Zone d'effet	104
9.4.4	Zone d'impact.....	104
9.4.5	Intensité	104
9.4.6	Gravité	104
9.4.7	Niveau de risque	105
9.5	Chute d'éléments de l'éolienne.....	106
9.5.1	Description de l'évènement redouté.....	106
9.5.2	Probabilité	106
9.5.3	Zone d'effet	106
9.5.4	Zone d'impact.....	106
9.5.5	Intensité	106
9.5.6	Gravité	107
9.5.7	Niveau de risque	108
9.6	Projection de fragments de pales.....	109
9.6.1	Description de l'évènement redouté.....	109
9.6.2	Probabilité	109
9.6.3	Zone d'effet.....	110
9.6.4	Zone d'impact.....	110
9.6.5	Intensité	110
9.6.6	Gravité	111
9.6.7	Niveau de risque	112
9.7	Projection de glace	112
9.7.1	Description de l'évènement redouté.....	112

9.7.2	Probabilité	112
9.7.3	Zone d'effet	113
9.7.4	Zone d'impact.....	113
9.7.5	Intensité	113
9.7.6	Gravité	114
9.7.7	Niveau de risque	114
9.8	Synthèse de l'étude détaillée des risques	115
9.8.1	Tableaux de synthèse des scénarios étudiés.....	115
9.8.2	Synthèse de l'acceptabilité des risques	116
9.8.3	Cartographie des risques	117
10.	Analyse des effets domino possibles	123
10.1	Objectif – notion d'effets domino	123
10.2	Analyse des effets domino internes.....	123
10.3	Analyse des effets domino externes.....	124
11.	Moyens de secours et d'intervention.....	125
11.1	Moyens internes	125
11.2	Traitement de l'alerte	125
12.	Conclusion	126

TABLEAUX

Tableau 1 : Portée des évènements.....	14
Tableau 2 : Probabilité des évènements	15
Tableau 3 : Synthèse des scénarios étudiés.....	15
Tableau 4 : Acceptabilité des risques.....	16
Tableau 5 : Indication Géographique Protégée.....	29
Tableau 6 : Températures au droit de la station de Lille-Lesquin	30
Tableau 7 : Configurations d'éoliennes ENERCON disponibles en France.....	45
Tableau 8 : Caractéristiques de l'éolienne choisie	46
Tableau 9 : Dangers liés au fonctionnement du parc éolien	60
Tableau 10 : Répercussions des défaillances	61
Tableau 11 : sources d'agressions liées aux activités humaines.....	61
Tableau 12 : Sources d'agressions liées aux phénomènes naturels	62
Tableau 13 : Agressions externes liées aux activités humaines	75
Tableau 14 : Agressions externes liées aux phénomènes naturels.....	76
Tableau 15 : Scénarios de l'analyse des risques préliminaire	77
Tableau 16 : Liste des fonctions de sécurité et des mesures de maîtrise des risques associées	81
Tableau 17 : Scénarios exclus de l'analyse des risques détaillés	92
Tableau 18 : Degré d'exposition.....	94
Tableau 19 : seuils de gravité.....	95
Tableau 20 : Probabilités	95
Tableau 21 : Probabilité du scénario d'effondrement d'éolienne	97
Tableau 22 : Intensité pour le phénomène d'effondrement de l'éolienne	98
Tableau 23 : Gravité pour le phénomène d'effondrement de l'éolienne	99
Tableau 24 : Niveau de risque.....	100
Tableau 25 : Intensité du phénomène de chute de glace	104
Tableau 26 : Gravité du phénomène de chute de glace	105
Tableau 27 : Acceptabilité du phénomène de chute de glace.....	105
Tableau 28 : Intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne	107
Tableau 29 : Gravité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne	108
Tableau 30 : Acceptabilité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne	108

Tableau 31 : Probabilité du phénomène de projection de pale	109
Tableau 32 : Intensité du phénomène de projection de pale	111
Tableau 33 : Gravité du phénomène de projection de pale	111
Tableau 34 : Acceptabilité du phénomène de projection de pale	112
Tableau 35 : Intensité du phénomène de projection de morceaux de glace.....	113
Tableau 36 : Gravité du phénomène de projection de morceaux de glace.....	114
Tableau 37 : Acceptabilité du phénomène de projection de morceaux de glace.....	115
Tableau 38 : Synthèse des scénarios étudiés.....	116
Tableau 39 : Acceptabilité des risques.....	117
Tableau 40 : Effets dominos internes	123
Tableau 41 : Effets dominos externes	124
Tableau 42 : Synthèse de l'acceptabilité des risques	126

FIGURES

Figure 1 : Synthèse des enjeux	11
Figure 2 : Photographie d'une éolienne.....	23
Figure 3 : Localisation générale du site d'étude.....	26
Figure 4 : Carte de situation de l'installation.....	27
Figure 5 : Localisation des habitations les plus proches	28
Figure 6 : Rose des vents moyenne (01/01/1978 au 31/12/2016 pour la station de Lille-Lesquin)	31
Figure 7 : Aléa retrait gonflement	32
Figure 8 : Foudroiement en France 2007-2016 (source : Météorage)	33
Figure 9 : Remontée de nappes	34
Figure 10 : Voies d'accès aux éoliennes	35
Figure 11: Localisation des servitudes d'utilité publique	36
Figure 12 : Synthèse des enjeux	37
Figure 13 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur (source : ENERCON)	39
Figure 14 : Aire de grutage type ENERCON (source : ENERCON)	40
Figure 15 : Assemblage et montage d'un rotor ENERCON	41
Figure 16 : Dessin schématique de la nacelle.....	42
Figure 17 : Orientation de l'éolienne (source : ENERCON)	43
Figure 18 : Unité d'alimentation au réseau (source : ENERCON)	44
Figure 19 : Arrêt de l'éolienne	49
Figure 20 : Modes de fonctionnement : courbes de puissance en fonction de la vitesse du vent.....	51
Figure 21 : Phases de maintenance ENERCON (source : ENERCON)	52
Figure 22 : Suivi de la nacelle de l'éolienne (source : ENERCON).....	52
Figure 23 : Suivi de la nacelle de l'éolienne dans le temps (source : ENERCON)	53
Figure 24 : Répartition des événements accidentels et leurs causes (en majuscule : événements les plus courants).....	69
Figure 25 : Répartition des événements accidentels dans le monde.....	70
Figure 26 : Répartition des causes premières d'effondrement.....	70
Figure 27 : Répartition des causes premières de rupture de pale	71
Figure 28 : Répartition des causes premières d'incendie	71
Figure 29 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées.....	72
Figure 30 : Synthèse des zones d'effets – éolienne E1	118
Figure 31 : Synthèse des zones d'effets – éolienne E2	119
Figure 32 : Synthèse des zones d'effets – éolienne E3	120
Figure 33 : Synthèse des zones d'effets – éolienne E4	121
Figure 34 : Synthèse des zones d'effets – éolienne E5	122
Figure 35 : Liste des messages d'état principal ENERCON	125

ANNEXES

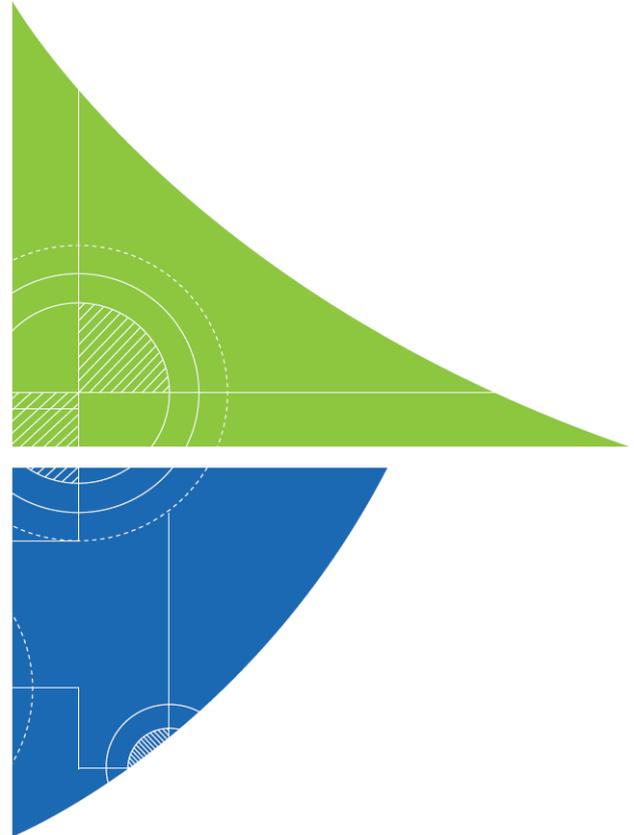
Annexe 1. Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne

Annexe 2. Certificat de conformité de l'éolienne à la norme EC61400-1

Annexe 3. Tableau de l'accidentologie française

Annexe 4. Glossaire

PIÈCE I : RESUME NON TECHNIQUE DE L'ETUDE DE DANGERS



Ce projet est porté par le parc éolien de Lingham 2, maître d'ouvrage du projet et futur exploitant du parc éolien. Le parc éolien de la chaussée Brunehaut, composé de 5 éoliennes ENERCON E101 – 3,05 MW, est localisé sur la commune de Lingham, dans le département du Pas-de-Calais (62), en région Haut de France.

Le décret 2011-984 du 23 août 2011 a modifié la nomenclature des installations classées en créant la rubrique 2980 « Installation terrestre de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs ».

Le projet du parc éolien de Lingham 2 comporte des éoliennes de plus de 50 m de mât et relève donc du régime d'autorisation unique ; une étude de dangers est donc nécessaire.

1. Identification des enjeux

Les habitations les plus proches de ce parc éolien se trouvent plus de 500 m des éoliennes sur la commune de Lingham.

Aucun établissement recevant du public n'est situé dans le périmètre d'étude.

Quatre installations classées pour la protection de l'environnement sont situées sur la commune de Lingham et à une distance de plus de 500 m de ce parc éolien. Il n'y a pas d'installation nucléaire de base à moins de 500 m.

Le périmètre de l'étude de dangers est traversé par des routes secondaires d'intérêt local dont le trafic est inférieur à 500 véhicules par jour, par quelques chemins d'exploitation agricole, un sentier de randonnées et l'autoroute A26.

Dans le périmètre de l'étude de dangers (soit dans le rayon des 500 mètres autour des éoliennes), aucun terrain aménagé potentiellement fréquenté, aucune voie ferrée, voie navigable et zone d'activité ne sont répertoriées.

Selon les critères de l'étude de dangers, les enjeux suivants ont été identifiés dans le périmètre de l'étude :

- Personnes non abritées (promeneurs, agriculteurs) présentes dans le périmètre d'étude ;
- Véhicules susceptibles d'emprunter les voies à faible circulation et enjeux d'exploitation du périmètre d'étude ;
- Personnes fréquentant le sentier de randonnée ;
- Véhicules empruntant l'autoroute A26.

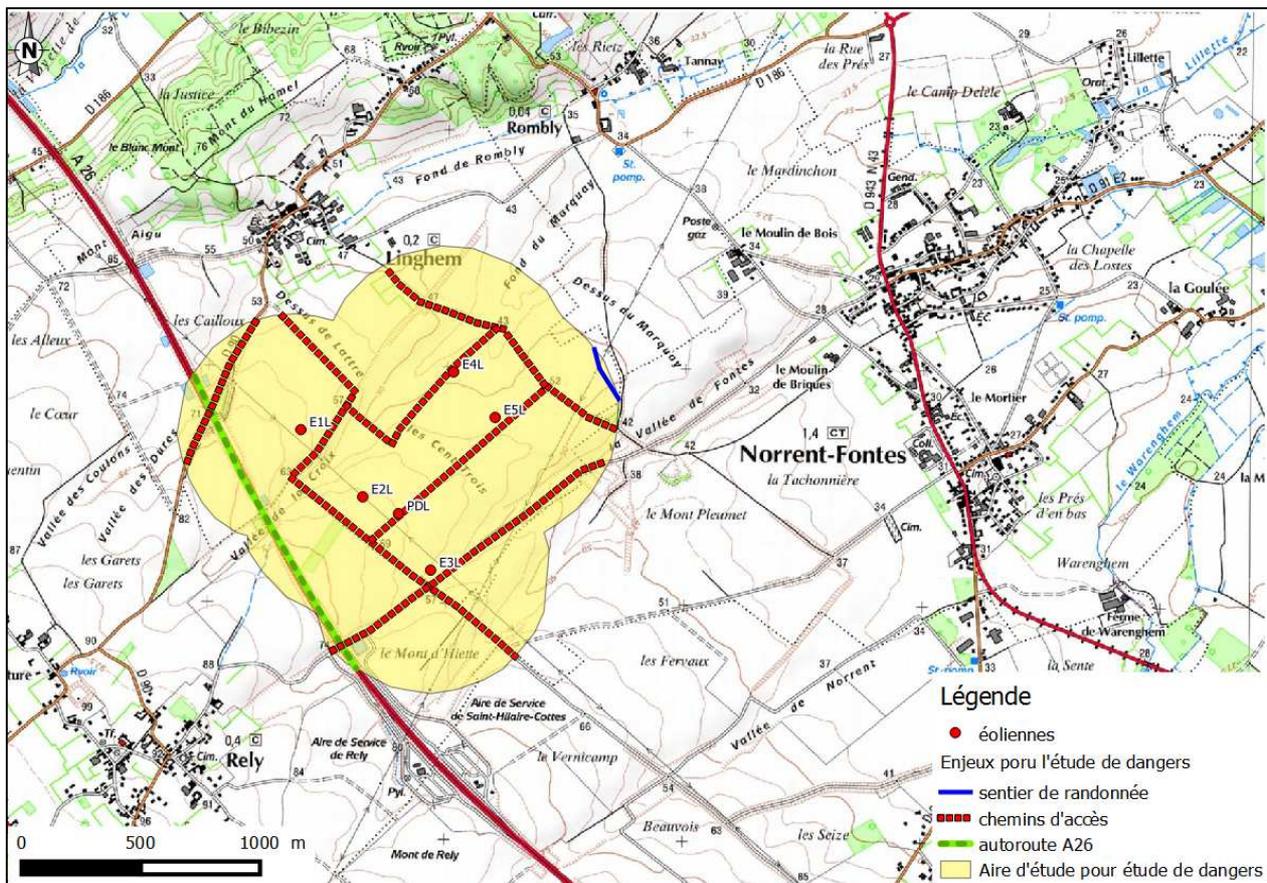


Figure 1 : Synthèse des enjeux

2. Potentiels de dangers de l'installation et agressions extérieures

2.1 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. La majorité des produits entrants sont des lubrifiants permettant le bon fonctionnement des machines. Ils ne sont pas classés comme des produits inflammables mais restent cependant combustibles. Les risques associés à ces différents produits 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.

2.2 Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien (hors causes externes) sont de cinq types :

- Chute d'éléments (boulons, morceaux d'équipements, morceaux de glace, etc.) ;
- Projection d'éléments (morceau de pale, morceaux de glace) ;
- Effondrement de tout ou partie de l'éolienne ;
- Echauffement de pièces mécaniques pouvant conduire à un départ de feu ;
- Courts-circuits électriques (à l'intérieur de l'éolienne ou du poste de livraison) pouvant conduire à un départ de feu.

2.3 Agressions externes potentielles

Aucun aéroport n'est présent dans un rayon de 2 km des éoliennes. Aucune installation classée pour l'environnement (autre que les autres éoliennes du parc) n'est présente dans un rayon de 200 m des éoliennes. Il n'existe aucune ligne à haute tension ou canalisation de transport de gaz, hydrocarbures ou produits chimiques dans le périmètre des 200 m.

En ce qui concerne les phénomènes naturels, les agressions externes potentielles à considérer sont principalement les tempêtes et la formation de glace :

- Les tempêtes : Les vents violents peuvent être la cause de détériorations de structures, de chute/pliage de mât, de survitesse des pales et de projection de pales. Les vents violents sont pris en compte dans le dimensionnement des éoliennes.

Du point de vue de la résistance aux vents extrêmes, l'éolienne retenue est de classe IEC III B. Pour les 3 critères de vitesse de vent de la norme IEC, le site présente des vitesses de vent inférieures aux maxima de la classe de l'éolienne retenue. Il s'agit de vitesses moyennes. Des vitesses de vent instantané supérieures peuvent être supportées par les éoliennes et des coefficients de sécurité sont appliqués lors de leur conception.

- La formation de glace : Il est possible que de la glace se forme sur les éoliennes en période hivernale, que ce soit sur les pales, le moyeu ou sur la nacelle. L'augmentation de température entraînant la fonte partielle ou la mise en rotation du rotor peuvent alors provoquer des chutes de glace ou des projections de morceaux de glace.

Le projet européen Wind Energy production in COld climates (WECO), piloté par l'institut météorologique de Finlande, a établi une carte européenne des zones les plus exposées au givre. Il apparaît que le secteur ne présente qu'un risque occasionnel (moins de 1 jour par an).

- En ce qui concerne le risque sismique : Le département du Pas-de-Calais figure intégralement en zone de sismicité 1 (risque « très faible »). Dans cette zone, aucune construction à risque normal n'est soumise à des règles de construction parasismique. A noter que la classe normative des sols sera déterminée après les sondages de reconnaissance qui seront exécutés dans le cadre des études d'avant-projet.

3. Evaluation des risques

L'analyse des risques effectuée ici se divise en deux parties : une analyse préliminaire puis une analyse détaillée des risques.

3.1 Evaluation préliminaire des risques

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

3.1.1 Evènements exclus de l'analyse de risque

Conformément à la circulaire du 10 mai 2010, les événements suivants sont exclus de l'analyse des risques : chute de météorite, séisme d'amplitude supérieure aux séismes maximums de référence, crues d'amplitude supérieure à la crue de référence, événements climatiques d'intensité supérieure aux événements historiquement connus ou prévisibles, chute d'avion hors des zones de proximité d'aéroport ou aérodrome, rupture de barrage, actes de malveillance. Du fait du choix du site d'implantation, certains risques ont été volontairement écartés de l'analyse des risques, il s'agit des avalanches, des inondations, des tsunamis et des accidents ferroviaires.

3.1.2 Identification des phénomènes redoutés

Les causes d'accident sont multiples, de la foudre à un défaut de maintenance, d'une erreur de conception à une tempête. Elles sont présentées en détail dans l'étude de dangers. Des mesures de réduction sont d'ores et déjà appliquées par les constructeurs d'éoliennes et les exploitants afin de réduire ces causes d'accident et leurs conséquences.

Ces causes conduisent cependant à un nombre limité d'évènements redoutés centraux qui peuvent conduire à un accident touchant des personnes. N'ont été retenus que les séquences accidentelles dont l'intensité est telle que l'accident peut avoir des effets significatifs sur la vie humaine. Les évènements redoutés centraux retenus sont les suivants :

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

3.1.3 Principaux systèmes de sécurité des éoliennes modernes

Les principaux systèmes de sécurité mis en place au droit des éoliennes modernes sont les suivantes :

- Système de freinage :
 - Freinage aérodynamique par orientation des 3 pales ;
 - Système autonome en cas de coupure réseau ;
- Protection foudre :
 - Equipement paratonnerre des pales et de l'éolienne (système conforme à la norme IEC 61400-24, relative à la protection contre la foudre des éoliennes) ;
 - Protection contre les surtensions des principaux composants et des éléments de sécurité ;
- Système de détection de givre / glace :
 - Détection des conditions météorologiques propices à la formation de givre ;
 - Détection des modifications du comportement aérodynamique du rotor ;
 - Capteurs de vibrations ;

- Arrêt de l'éolienne et redémarrage sous conditions.
- Surveillance des principaux paramètres :
 - Un système de surveillance complet garantit la sécurité de l'éolienne.
 - Toutes les fonctions pertinentes pour la sécurité (par exemple : vitesse du rotor, températures, charges, vibrations) sont surveillées. L'éolienne est immédiatement arrêtée si l'un des capteurs détecte une anomalie sérieuse.

3.2 Evaluation détaillée des risques

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

3.2.1 Portée des évènements

La première étape de l'étude de dangers a consisté à définir la portée maximale de chacun des évènements redoutés centraux. Les distances, basées sur les dimensions de l'éolienne, sont présentées dans le tableau ci-dessous.

En dehors de ces zones d'effet, l'exposition a été considérée comme nulle.

Tableau 1 : Portée des évènements

Evènement	Portée maximale
Effondrement de l'éolienne	147,6 m
Chute d'éléments de l'éolienne	48,6 m
Chute de glace	48,6 m
Projection de glace	297,3 m
Projection d'éléments de pale	500 m

3.2.2 Intensité

L'exposition est jugée forte pour les scénarios d'effondrement de l'éolienne et de chute d'éléments, c'est-à-dire que le rapport entre l'élément et la surface de la zone d'effet est compris entre 1 et 5 %. Pour les autres scénarios, l'exposition est considérée modérée (inférieure à 1%).

3.2.3 Gravité

La gravité correspond au nombre de personnes potentiellement impactées. Les seuils retenus pour l'étude sont liés au degré d'exposition.

Pour le projet étudié, au vu des enjeux identifiés dans la zone d'étude, les niveaux de gravité rencontrés sont modérés pour chaque éolienne et pour chaque évènement recensé.

3.2.4 Probabilité

La probabilité de réalisation d'un accident peut être caractérisée en 5 classes : la classe A correspond à une probabilité supérieure à 10^{-2} (plus d'une chance sur 100 que l'évènement se produise dans l'année), la classe E à une probabilité inférieure à 10^{-5} (moins d'une chance sur cent mille).

Conformément à l'arrêté du 29 septembre 2005, la probabilité prise en compte est celle de la survenue du phénomène dangereux (par exemple l'effondrement de l'éolienne) et non la probabilité d'atteinte d'une cible. Ces probabilités ont été calculées par l'INERIS sur la base des fréquences des accidents rencontrés en France et dans le monde. Les retours d'expérience sont en effet suffisamment précis pour permettre cette méthode. Dans certains cas, la mise en place de mesures de sécurité adaptées a été prise en compte. Les probabilités des évènements redoutés sont présentées ci-dessous.

Tableau 2 : Probabilité des évènements

Scénario	Probabilité	Echelle qualitative
Effondrement de l'éolienne	D	Rare
Chute d'éléments de l'éolienne	C	Improbable
Chute de glace	A	Courant
Projection de glace	B	Probable
Projection d'éléments de pale	D	Rare

3.2.5 Caractérisation des accidents majeurs

La synthèse des scénarios étudiés est présentée dans le tableau suivant.

Tableau 3 : Synthèse des scénarios étudiés

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Chute d'éléments de l'éolienne	Zone de survol	Rapide	Exposition Forte	C	Sérieux pour toutes les éoliennes
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale	Rapide	Exposition forte	D	Sérieux pour toutes les éoliennes
Chute de glace (sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C)	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	A	Modéré pour toutes les éoliennes

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Projection de fragments de pales	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D	Important pour E1, E2 et E3 Sérieux pour E5 Modéré pour E4
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	Modéré pour toutes les éoliennes

3.3 Synthèse de l'acceptabilité des risques

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

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

Tableau 4 : Acceptabilité des risques

GRAVITÉ des Conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important		Projection de fragments de pales (E1, E2 et E3)			
Sérieux		Effondrement de l'éolienne Projection de fragments de pales (E5)	Chutes d'éléments de l'éolienne		
Modéré		Projection de fragments de pales (E4)		Projection de glace	Chute de glace

Légende de la matrice

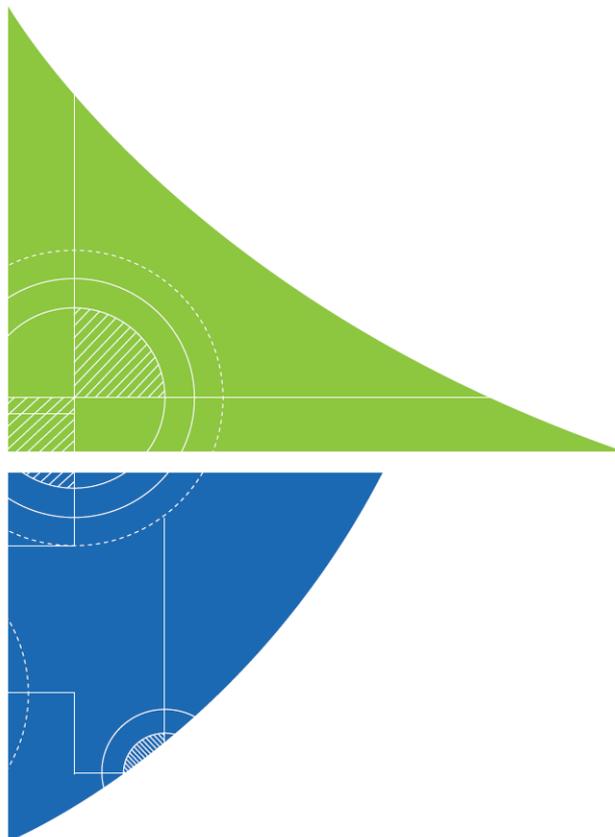
Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible		Acceptable
Risque faible		Acceptable sous réserve que toutes les mesures possibles du point de vue technico-économiques aient été prises
Risque important		Non acceptable

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice ;
- trois accidents figurent en case jaune (chute de glace, chute d'éléments de l'éolienne, projection de fragments de pales pour E1, E2 et E3). Pour ces accidents, il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans le présent document seront mises en place.

L'ensemble des accidents retenus présentent un risque acceptable, c'est-à-dire qu'ils ne nécessitent pas de mesures supplémentaires de réduction des risques autres que celles déjà prises.

PIÈCE II : ETUDE DE DANGERS



INTRODUCTION

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

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

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

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

- 10 500 MW terrestres et 1 000 MW en mer en 2012 (l'objectif n'a pas été atteint) ;
- 19 000 MW terrestres et 6 000 MW en mer en 2020.

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

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

Fin 2012, la puissance installée en France atteignait ainsi 7 449 MW, permettant la production de 14,9 TWh (contre 11,9 TWh en 2011 et 9,7 TWh en 2010). Le taux de couverture de la consommation électrique par la production éolienne a donc atteint 3,1 % sur l'année 2012.

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

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

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

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

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

Les éoliennes sont soumises à la législation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et les exploitants, lorsque l'installation est soumise à autorisation, sont notamment amenés à formaliser leur savoir-faire en matière de maîtrise des risques dans une étude de danger.

1. Préambule

1.1 Objectif de l'étude de dangers

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par le parc éolien de Linghem 2 pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du parc éolien de Linghem 2, autant que technologiquement réalisable et économiquement acceptable, que leurs causes soient intrinsèques aux substances ou matières utilisées, liées aux procédés mis en œuvre ou dues à la proximité d'autres risques d'origine interne ou externe à l'installation.

Cette étude est proportionnée aux risques présentés par les éoliennes du parc de Linghem 2. Le choix de la méthode d'analyse utilisée et la justification des mesures de prévention, de protection et d'intervention sont adaptés à la nature et la complexité des installations et de leurs risques.

Elle précise l'ensemble des mesures de maîtrise des risques mises en œuvre sur le parc éolien de Linghem 2, 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 :

- 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 réglementaire et législatif

Les objectifs de l'étude de dangers sont définis au III de l'article D.181-15-2 du Code de l'environnement.

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.

Le III de l'article D.181-15-2 du Code de l'environnement ne définit pas de façon précise le contenu d'une étude de dangers.

Il est habituellement retenu la structure suivante, inspirée notamment du plan proposé pour les études de dangers des établissements SEVESO seuil haut 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, et ce, à défaut de texte cadre pour les installations soumises à simple autorisation :

- 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.

1.3 Documents de référence

Les principaux documents de référence relatifs au site et aux installations sont les suivants :

- [1] Documents techniques ENERCON « Description technique E-92 » rev 001 16/01/2014 ;
- [2] Document technique système « Storm Control » D01911665-1_TD storm control_ger-eng, 09/04/2013 ;
- [3] Rapport de Validation technique de l'efficacité du système de chauffage des pales « Summary of a Technical Validation of ENERCON's Rotor Blade De-Icing System », réf. PP10035_V2_Summary_Valdation_Blade_Heating_System_Enercon, 22/09/2011 ;
- [4] « Technical description - Eoliennes ENERCON – Blade heating – Operation in a running wind energy converter réf. D0160949-3_eng_TD_Blade_heating_running_wec, 08/07/2014 ;
- [5] Fiches de données de sécurité :
 - ExxonMobil, « MOBILGEAR OGL 461 » (graisse lubrifiante) : réf. Sicherheitsdatenblatt Mobilgear OGL 461 - Stand Dez 2012_D0230247-1_eng, 20/12/2012 ;
 - ExxonMobil, « MOBILGEAR SHC 460 » : safety data sheet_ MOBIL SHC GREASE 460 WT-date Sep. 2012_D0230245-0_eng, 14/10/2012 ;
 - PRO KUHLSOLE, « GLYKOSOL N » (liquide de refroidissement) : Sicherheitsdatenblatt GLYKOSOL N_D0136178-1_eng, 01/04/2011 ;
 - FUCHS EUROPE, « RENOLIN PG 46 » (fluide hydraulique) : Sicherheitsdatenblatt RENOLIN PG 46 Stand 08.05.2013D0230208-1_eng, 08/05/2013 ;
 - FUCHS EUROPE, « RENOLIN UNISYN CLP 220 » (huile à engrenage) : Sicherheitsdatenblatt RENOLIN UNISYN CLP 220 Stand 14.12.2012_D0230202-1_eng, 14/12/2012 ;
 - KLÜBER LUBRICATION, « Klüberplex BEM 41-141 » (Graisse) : Sicherheitsdatenblatt Klüberplex AG 11-461 Stand April 2012_D0230209-0_eng, 02/04/2012 ;
 - NYNAS, « Nytro Taurus » (huile isolante) : Sicherheitsdatenblatt Nytro Taurus - Stand Dez 2012_D0231886-1_eng, 11/12/2012.

Les principaux ouvrages techniques (guides, normes...) qui ont été consultés pour l'élaboration de la présente étude de dangers sont listés ci-dessous :

- [6] *Handboek Risicozonering Windturbines*, ECN, 2005 ;
- [7] *Guidelines on the Environmental Risk of Wind turbines in the Netherlands* , 2004 ;
- [8] *Studie windturbines en veiligheid*, SGS ;
- [9] *Note technique accidentologie*, SER – FEE, Groupe de Travail Etudes de Dangers, Avril 2011 ;
- [10] *Guide FEE « Trame type – Réalisation de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens »*, version intermédiaire (Mai 2012)
- [11] *Wind energy production in cold climate (WECO)*, Finnish Meteorological Institute, JOR3-CT95-0014, Décembre 1998 ;
- [12] *Etude Veenker, Synthèse de l'expertise, Eoliennes à proximité d'objets protégés* (2004) ;
- [13] *Guide technique INERIS « Application de la classification des substances et préparations dangereuses à la nomenclature des installations classées »* (Octobre 2010).

1.4 Qu'est-ce qu'une éolienne ?

1.4.1 Principe d'une éolienne

L'éolienne est la version moderne des moulins à vent. Elle permet de récupérer l'énergie du vent pour produire de l'électricité. C'est ainsi que l'on parle souvent d'aérogénérateur.



Figure 2 : Photographie d'une éolienne

L'énergie éolienne est une énergie propre qui, lors de sa génération, ne produit aucun déchet, ni aucune émission de gaz dans l'atmosphère. Néanmoins, du fait de l'inconstance du vent, les éoliennes ne sont pas productrices d'énergie en permanence.

1.4.2 Classification des éoliennes

La production électrique d'une éolienne dépend de la vitesse vent. En effet, l'énergie éolienne augmente proportionnellement avec le cube de la vitesse. Les caractéristiques du vent (vitesse moyenne, turbulence, etc...) sont donc des critères importants lors du choix d'un site.

Deux paramètres permettent de classifier un site :

- La vitesse du vent (« Moyenne » et « Maximale sur 50 ans ») ;
- La turbulence du vent (turbulence pour une vitesse de vent de 15 m/s).

En France, la classification fait référence à la norme « IEC 61400-1 ». Cette classification est résumée ci-après :

		Vitesse de vent [m/s]			
		[10 : 8.5]] 8.5 : 7.5]	inférieur à 7.5	
Moyenne		[10 : 8.5]] 8.5 : 7.5]	inférieur à 7.5	
Maximum / 50 ans		[50 : 42.5]] 42.5 : 37.5]	inférieur à 37.5	
		I	II	III	
Turbulence [%]	[16% : 14%]	A	IEC IA	IEC IIA	IEC IIIA
	[14% : 12%]	B	IEC IB	IEC IIB	IEC IIIB
	Inférieur à 12%	C	IEC IC	IEC IIC	IEC IIIC
		Classe de vent de l'éolienne			

Les éoliennes industrielles sont dimensionnées pour chacune de ces classes. Il est donc important de faire correspondre la classe du site avec la classe de la turbine. Ainsi, les éoliennes de « classe IA » sont dimensionnées pour des sites avec beaucoup de vent et assez turbulent, alors qu'une éolienne « classe IIIC » sera dimensionnée pour des sites avec peu de vent et très peu de turbulence.

Les éoliennes ne pouvant être classifiées de manière simple dans l'une des classes précédentes sont classifiées comme classe « S » (Spécial), à définir selon le cas.

2. Informations générales concernant l'installation

2.1 Renseignements administratifs

2.1.1 Identité du porteur du projet

Le pétitionnaire est la société du parc éolien de Lingham 2.

Le parc éolien de Lingham 2 a pour objet de promouvoir, concevoir, développer, financer, construire et exploiter des installations de production d'énergies renouvelables dans le cadre du développement durable du secteur de la commune de Lingham dans le département du Pas-de-Calais (62).



La société du parc éolien de Lingham 2 est une filiale à 100 % de la société NOUVERGIES.

La société NOUVERGIES a été créée en 1999 et s'engage dans le développement et l'accompagnement de projets permettant de répondre aux enjeux actuels en matière de maîtrise de la consommation énergétique et d'utilisation de ressources, non émettrices de gaz à effet de serre.

Après l'acquisition d'un des premiers parcs éoliens bretons, Goulien en 1999 et Assigny (76) en 2006, Tréméheuc (35) en 2008, NOUVERGIES SA met son expertise au service du développement de nouveaux parcs éoliens sur l'ensemble du territoire national.

Ses projets ont une vocation régionale et ont pour objectif de contribuer à un développement local, répondant aux attentes environnementales, sociales et économiques des citoyens.

Le statut juridique de la société a évolué au cours des 18 dernières années pour lui permettre d'assumer pleinement ses missions :

- De développeur de projets solaires photovoltaïque et éolien sur l'ensemble du territoire national ;
- D'exploitants de parc éoliens dont les principales capacités installées depuis 12 ans se trouvent dans l'Ouest de la France : Bretagne et Normandie.

2.1.2 Identité du rédacteur de la présente étude

La présente étude de dangers a été réalisée par la société BURGEAP qui est en charge de la rédaction de l'ensemble du Dossier d'Autorisation Environnementale. La personne ayant rédigé ce document au sein de BURGEAP, est Mme Amandine VOGT, ingénieur de projets.

2.2 Localisation du site

Le parc éolien de Lingham 2, composé de 5 aérogénérateurs, est localisé sur la commune de Lingham, dans le département du Pas-de-Calais (62), en région Hauts de France.

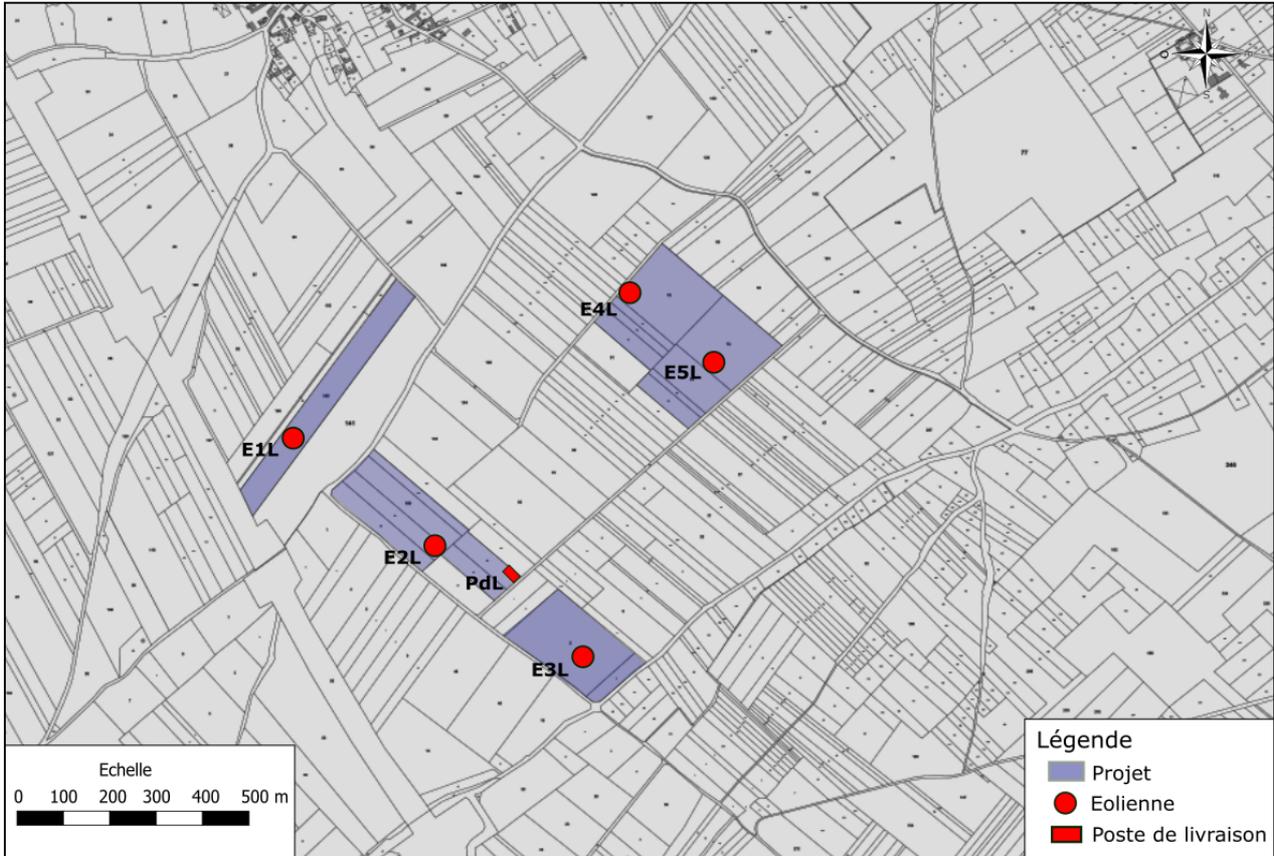


Figure 3 : Localisation générale du site d'étude

2.3 Description de l'aire d'étude

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

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

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

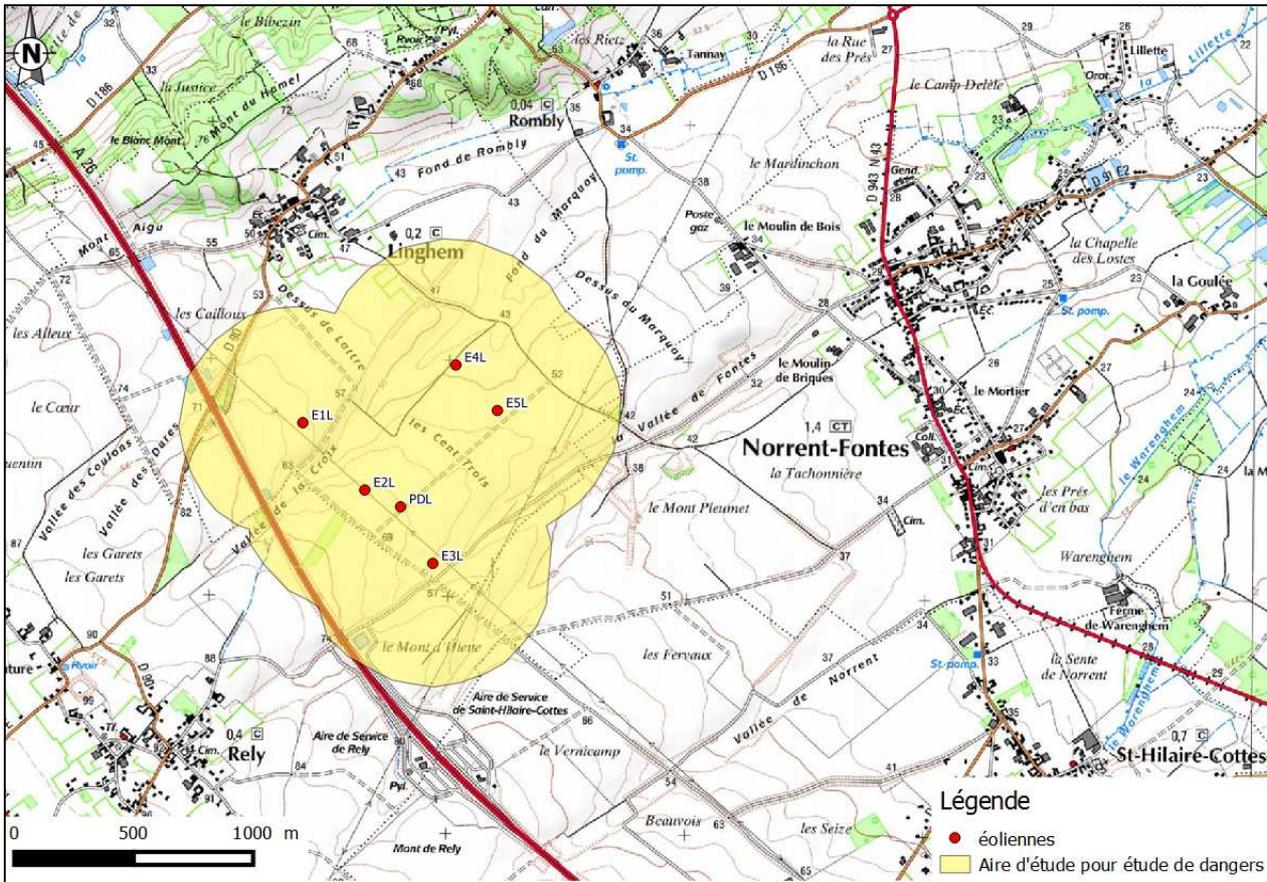


Figure 4 : Carte de situation de l'installation

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

Les habitations les plus proches sont toutes recensées à plus de 500 mètres du projet. Il s'agit :

- Des habitations/fermes de Linghem (01) ;
- Des habitations/fermes de Rombly (02) ;
- Des habitations/fermes de Norrent-Fontes (03) ;
- Des habitations/fermes de Rely (04).

Elles sont présentées en figure suivante.

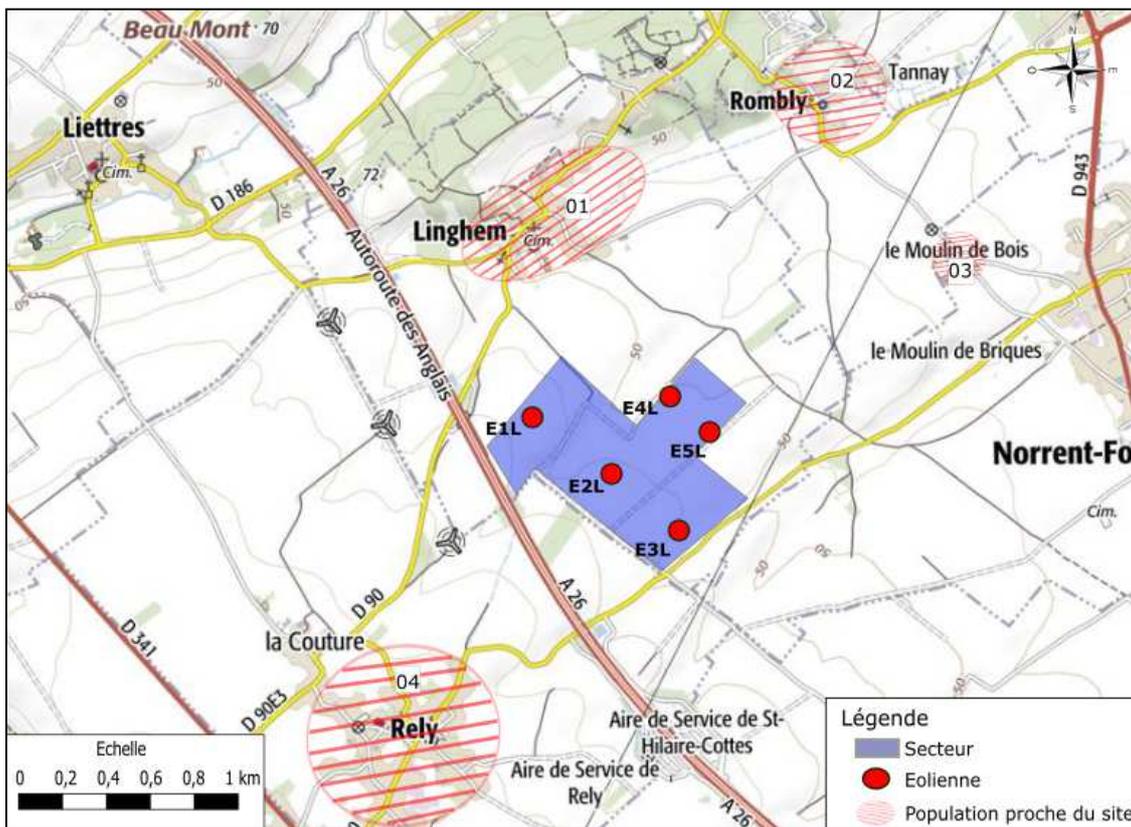


Figure 5 : Localisation des habitations les plus proches

3.1.2 Etablissements recevant du public (ERP)

Il n'y a aucun établissement recevant du public dans la zone d'étude.

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

D'après les données de la DREAL Hauts-de-France, 4 établissements soumis à déclaration et non SEVESO sont présents sur la commune de Linghem. Il s'agit des installations suivantes :

- Carrière DELARRE ;
- Carrière SMDA MARNIERE DE L'ARTOIS ;
- DELARRE BRUNO (VB) ;
- SARL DELARRE HENRI.

Il s'agit d'activités agricoles et d'exploitation de carrières.

3.1.4 Autres activités

L'occupation des sols est majoritairement constituée sur les différentes aires d'étude de terres agricoles. On peut également noter la présence de prairies, de zones urbanisées et de petites zones boisées.

L'INAO (Institut National des Appellations d'Origine) indique que certaines communes des zones d'étude appartiennent à une IGP (Indication Géographique Protégée).

Tableau 5 : Indication Géographique Protégée

Commune	IGP (2010)
Linghem	Volailles de Licques

L'environnement humain du site n'est pas considéré comme un enjeu à protéger. Aucun facteur de risque n'a été recensé.

3.2 Environnement naturel

3.2.1 Contexte climatique

Les données du contexte climatique sont issues de la station Météo France de la Lille Lesquin, situé à 64 km du site, entre 1971 et 2000.

3.2.1.1 Températures

Les basses températures, notamment les températures négatives sont le facteur nécessaire pour conduire au givrage des pales ou de l'éolienne. Les amas de glace peuvent ensuite se détacher et tomber au sol sous l'éolienne (machine à l'arrêt) ou être projetés dans un périmètre restreint.

De même, les chutes de neige peuvent être à l'origine d'une accumulation de neige sur les pales et de chutes de celle-ci au sol.

Les basses températures peuvent aussi affecter le fonctionnement de certains composants ou diminuer certaines performances (la viscosité des huiles augmente lorsque la température diminue).

Les éoliennes ENERCON E92 2,35 MW sont construites en standard pour fonctionner sous des températures ambiantes entre - 20 °C et 40°C.

Tableau 6 : Températures au droit de la station de Lille-Lesquin

Températures (°C)			
	Moyenne	Mini*	Maxi**
Janvier	3,4	-19,5	14,2
Février	3,8	-17,8	18,9
Mars	6,6	-8,8	22,7
Avril	8,9	-4,7	27,6
Mai	12,9	-2,3	31,7
Juin	15,5	0	34,8
Juillet	17,9	3,4	36,1
Août	18	3,9	36,6
Septembre	15	1,2	33,8
Octobre	11,1	-4,4	37,5
Novembre	6,6	-7,8	20,1
Décembre	4,4	-17,3	15,9
Nombre moyen de jours de gel par an (température inférieure à - 5°C)	9,1		
Nombre moyen de jours par an où la température dépasse 30°C	4,5		

* Température la plus basse recensée entre 1971 et 2000

** Température la plus haute recensée entre 1971 et 2000

3.2.1.2 Vent

Les vents forts peuvent conduire à des efforts significatifs sur l'éolienne. Celle-ci est néanmoins conçue pour répondre à une classe de vents adaptée au site d'implantation. Les vitesses de vent importantes (au-delà de 22m/s pour la V100-2,2 MW) conduisent à la mise en drapeau des pales.

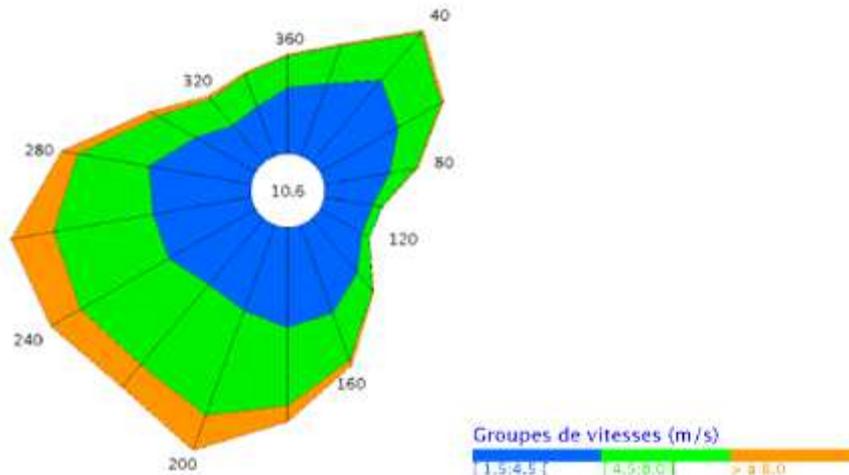


Figure 6 : Rose des vents moyenne (01/01/1978 au 31/12/2016 pour la station de Lille-Lesquin)

La vitesse moyenne du vent est de l'ordre de 4,4 m/s à 10 m d'altitude. Nous dénombrons seulement 3,2 jours en moyenne par an avec des rafales supérieures à 28 m/s (100 km/h), et 64,3 jours en moyenne par an avec des rafales supérieures à 16 m/s (58 km/h). La vitesse maximale a été enregistrée en 1990 avec 38 m/s (136.8 km/h). En ce qui concerne la direction des vents, le secteur Sud-Ouest (direction 200-240°) est le plus important, suivi par le secteur Nord-Est (direction 40°).

Le contexte climatique n'est pas retenu comme source potentielle de danger pour le parc éolien étudié.

3.2.2 Risques naturels

3.2.2.1 Sismicité

Un séisme est un phénomène vibratoire qui peut affecter la stabilité de l'éolienne. Les conséquences peuvent être un effondrement de l'éolienne. Néanmoins, l'examen des données d'accidentologie ne fait pas apparaître d'accident donc la cause serait un séisme.

D'après le décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français, et entré en vigueur le 1er mai 2011, **les zones d'étude se trouvent en aléa sismique faible (zone 2).**

L'activité sismique sur le site n'est pas considérée comme source potentielle de danger pour le parc éolien étudié.

3.2.2.2 Mouvements de terrain

D'après la cartographie de l'aléa retrait-gonflement des argiles dans le département, le site étudié est classé en aléa faible.

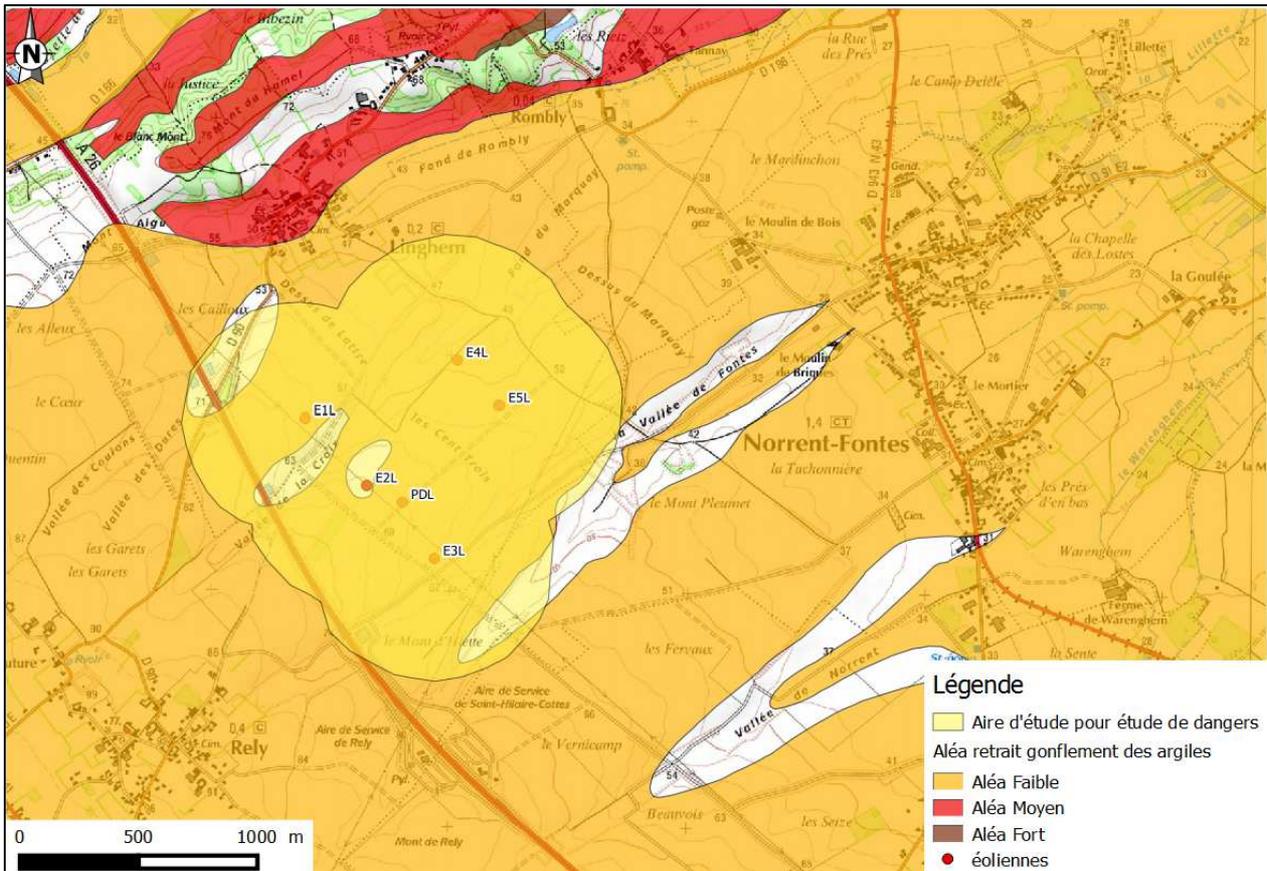


Figure 7 : Aléa retrait gonflement

Les mouvements de terrain sur le site ne sont pas considérés comme sources potentielles de danger pour le parc éolien étudié.

3.2.2.3 Foudre

La foudre est un phénomène très complexe à effets multiples. Ces effets sont les suivants :

- Effets thermiques liés à l'effet Joule dans les mauvais conducteurs (matières plastiques, béton) ;
- Montées en potentiel de prises de terre ;
- Effets d'induction ;
- Effets électrodynamiques.

Les éoliennes constituent des points hauts dans un paysage et sont donc des installations sujettes au foudroiement. Sur l'éolienne, l'impact de foudre peut avoir pour conséquences :

- Des phénomènes de bris de pales liés aux effets thermiques. L'extrémité de pale est l'endroit le plus exposé. Le morceau de pale endommagé peut rester accroché au reste de la pale et se décrocher ultérieurement sous l'effet de la vitesse de rotation ;
- Des phénomènes de surtension dans les circuits et composants électriques, conduisant à des courts-circuits et à un incendie ;
- Des phénomènes d'induction pouvant amener des effets similaires.

D'après la carte interactive du foudroiement issue du site Météorage, la commune de Linghem est située en intensité de foudroiement infime.

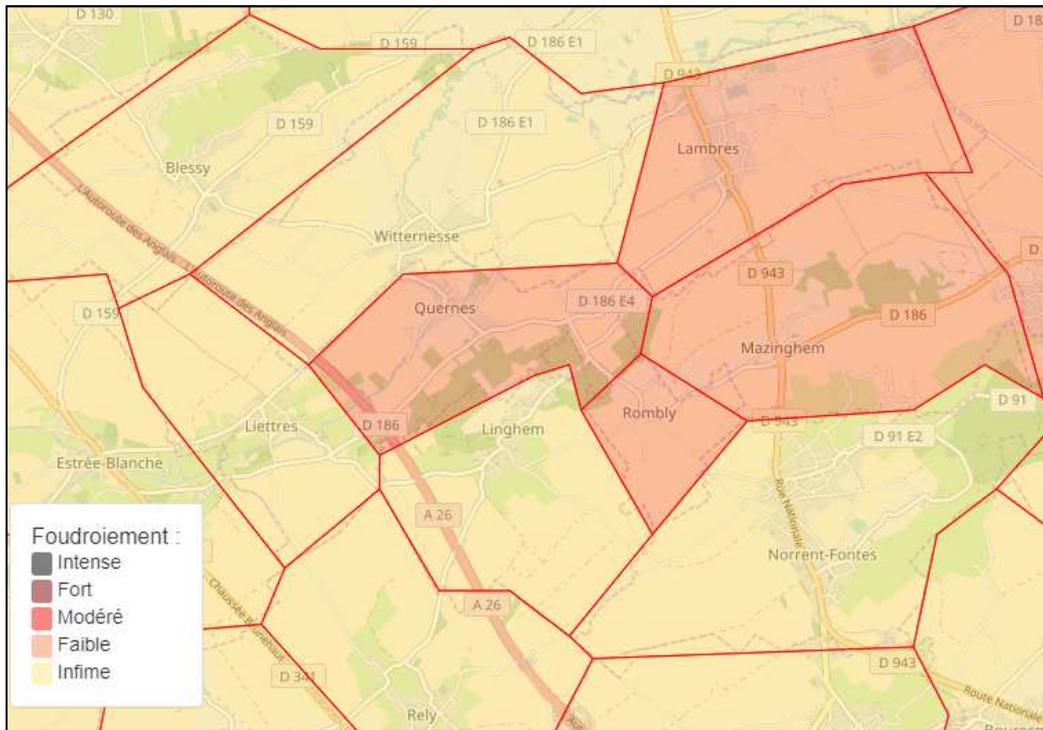


Figure 8 : Foudroiement en France 2007-2016 (source : Météorage)

Il est rappelé que les éoliennes du projet sont équipées d'un système de protection anti-foudre intégré conforme à la norme IEC 61400-24, relative à la protection contre la foudre des éoliennes.

La foudre n'est pas considérée comme source potentielle de danger pour le parc éolien étudié.

3.2.2.4 Tempêtes

D'après le site prim.net relatif à la prévention des risques majeurs, le risque de tempêtes n'est pas considéré sur la commune d'étude.

Les tempêtes ne sont pas considérées comme sources potentielles de danger pour le parc éolien étudié.

3.2.2.5 Incendies de forêts et de cultures

La présence proche de zones boisées peut être un facteur initiateur d'un incendie.

Cependant, le site d'étude se situe entièrement en zone de grande culture. Les cultures de céréales peuvent présenter un risque d'incendie lors de moissons, en fonction des conditions météo.

L'incendie des cultures sera considéré comme source potentielle de danger pour le parc éolien étudié.

3.2.2.6 Inondations

Aucun PPRi ne concerne les secteurs d'étude. En ce qui concerne les risques de remontée de nappe, les zones d'étude se situent en grande partie en zone de sensibilité très faible vis-à-vis des nappes des formations sédimentaires.

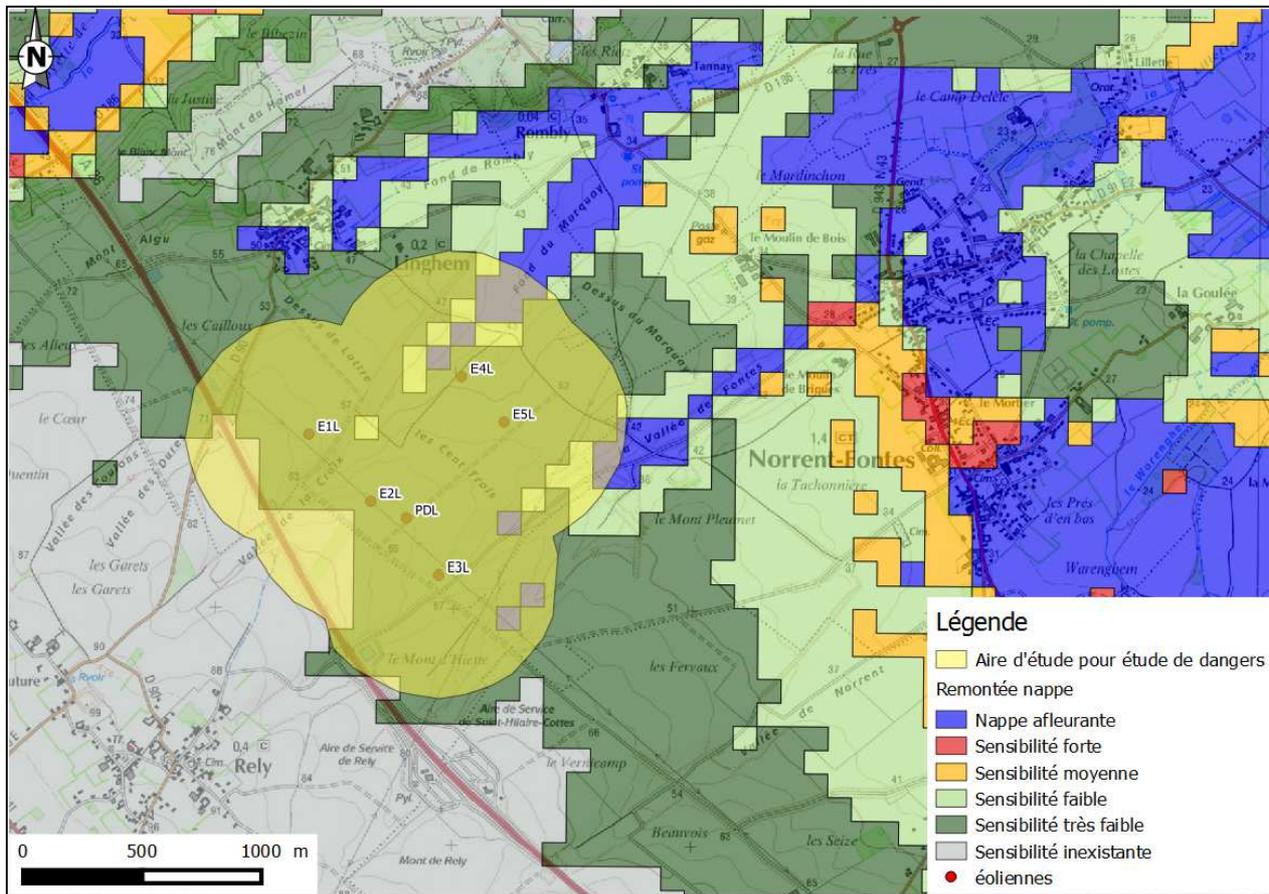


Figure 9 : Remontée de nappes

Les inondations ne sont pas considérées comme sources potentielles de danger pour le parc éolien étudié.

3.3 Environnement matériel

3.3.1 Voies de communication

L'accès aux éoliennes se fera :

- Pour l'éolienne E1, par le chemin rural de la couture à Aires ;
- Pour l'éolienne E2, par le chemin rural de Théroüanne ;
- Pour l'éolienne E3, par le chemin de Rely à Norrent Fontes ;
- Pour les éoliennes E4 et E5, par les chemins d'exploitations.

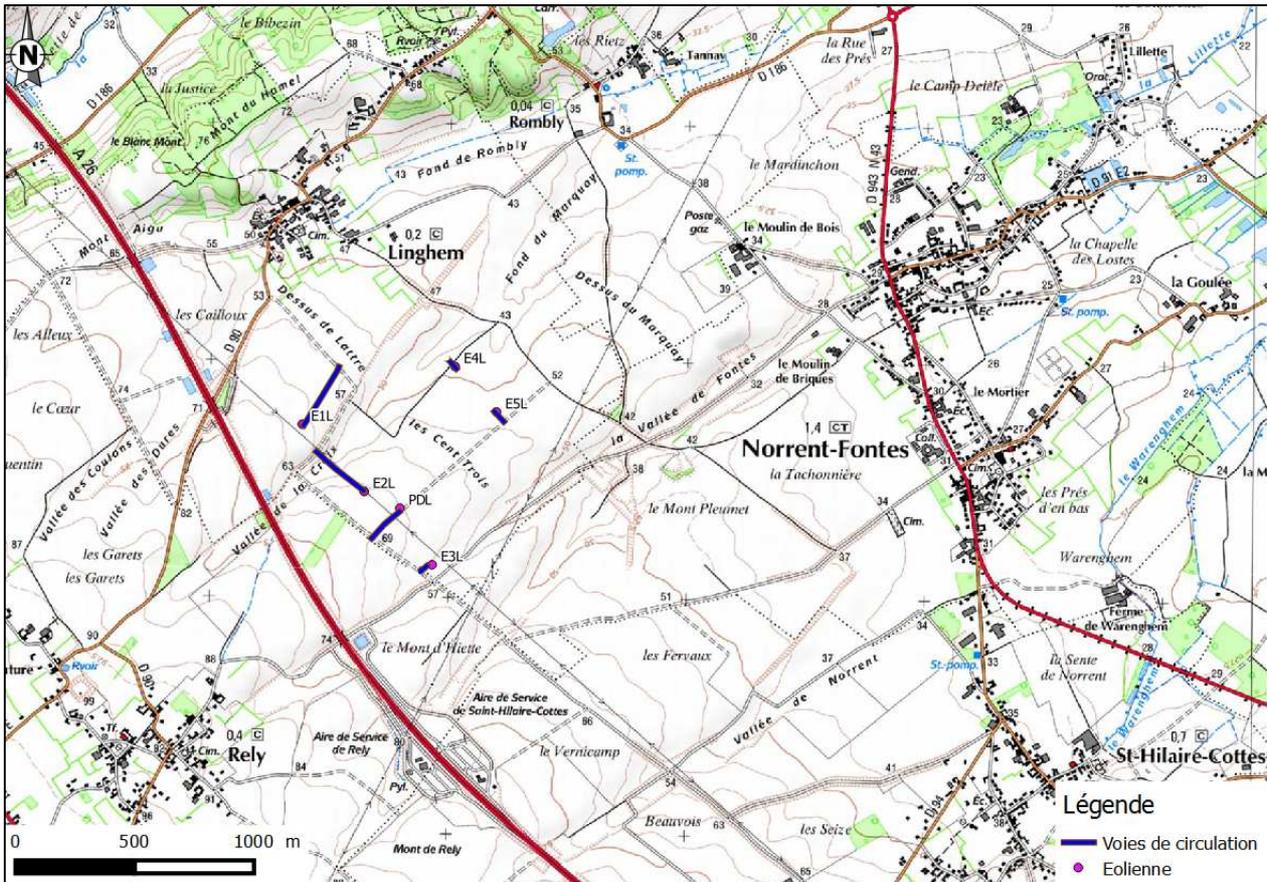


Figure 10 : Voies d'accès aux éoliennes

3.3.2 Servitudes et contraintes techniques

► Réseau électrique, hertzien et gaz

En termes de servitudes, aucun n'affecte le secteur d'étude.

Il est cependant à noter :

- La présence d'une ligne haute tension RTE au sein du périmètre immédiat (liaison aérienne 400 000 V Chevalet-Warande 1 et 2) ;
- La présence d'un réseau GRT GAZ dans le périmètre rapproché.

D'après les préconisations de la DREAL en matière d'implantation des éoliennes, les éoliennes du projet doivent être implantées à une distance de sécurité de ces installations :

- Ligne haute tension : distance de sécurité pour les lignes 400 kV = $1,4 \times (\text{hauteur du mat de l'éolienne} + \text{Diamètre des pales}/2) = 1,4 \times (99 + 101/2) = 209,3$ m. L'éolienne la plus proche est l'éolienne E3L localisée à 240 m de la ligne haute tension ;
- Réseau gaz : distance de sécurité = $4 \times \text{hauteur du mat de l'éolienne} + \text{Diamètre des pales}/2 = 4 \times (99 + 101/2) = 598$ m. L'éolienne la plus proche est l'éolienne E5L localisée à 620 m du réseau de gaz.

Les préconisations en matière d'implantation d'éolienne sont donc respectées.

► **Autres servitudes et contraintes**

Le projet est localisé à une distance supérieure à la distance minimale d'éloignement relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie éolienne. Aucune contrainte réglementaire au regard des radars météorologiques n'est présente dans l'aire d'étude.

Un sentier de randonnée est présent en limite d'aire d'étude pour l'étude de dangers.

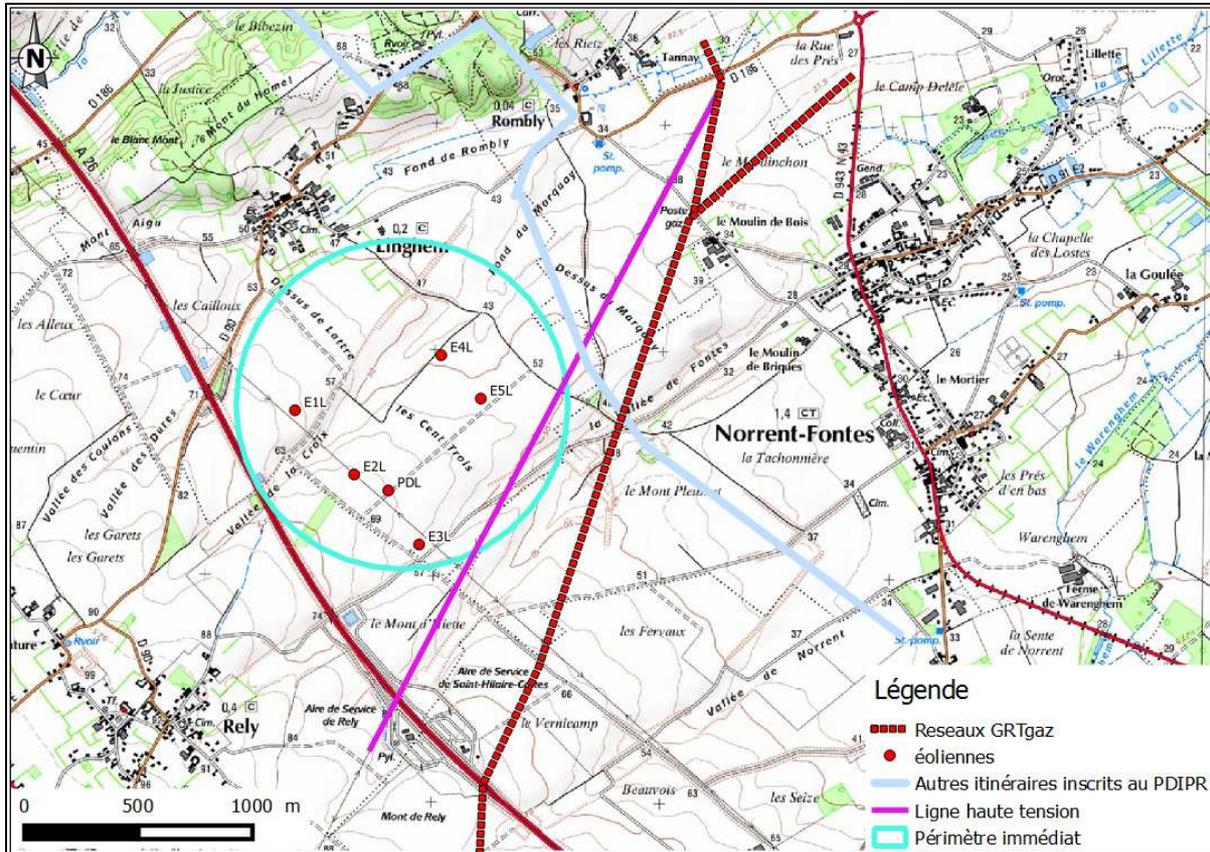


Figure 11: Localisation des servitudes d'utilité publique

3.4 Synthèse des enjeux

L'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et la prise en compte des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation d'exploiter impose une évaluation des accidents majeurs sur les personnes uniquement et non sur la totalité des enjeux identifiés à 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 s'intéressera en priorité aux dommages sur les personnes.

Ainsi, les enjeux suivants ont été identifiés dans le périmètre d'étude (500 m autour des éoliennes) :

- Personnes non abritées (promeneurs, agriculteurs) présentes dans le périmètre d'étude ;
- Véhicules susceptibles d'emprunter les voies à faible circulation et enjeux d'exploitation du périmètre d'étude ;
- Personnes fréquentant le sentier de randonnée ;
- Véhicules empruntant l'autoroute A26.

La synthèse des enjeux identifiés dans l'aire d'étude immédiate est présentée à la figure ci-dessous.

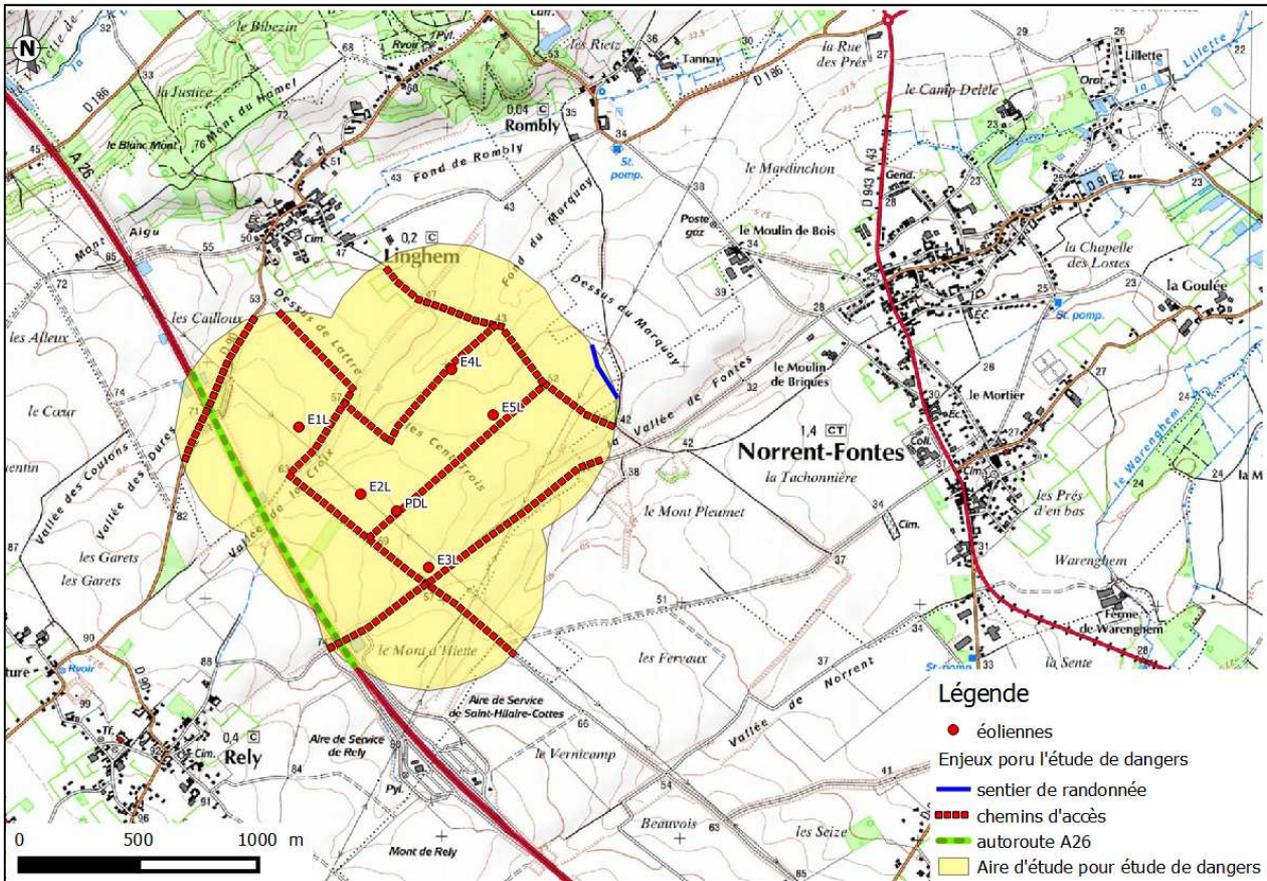


Figure 12 : Synthèse des enjeux

4. Description de l'installation

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

4.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien

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

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

4.2 Description d'une éolienne

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** est composé de trois pales construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu. Il se prolonge dans la nacelle pour constituer l'arbre lent ;
- **Le mât** est composé de plusieurs tronçons en acier ou de plusieurs anneaux de bétons surmontés d'un ou plusieurs tronçons en acier ;
- **La nacelle** abrite plusieurs éléments fonctionnels :
 - le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique ;
 - le multiplicateur ;
 - 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 (anémomètres) ;
 - le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique ;

- le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique.

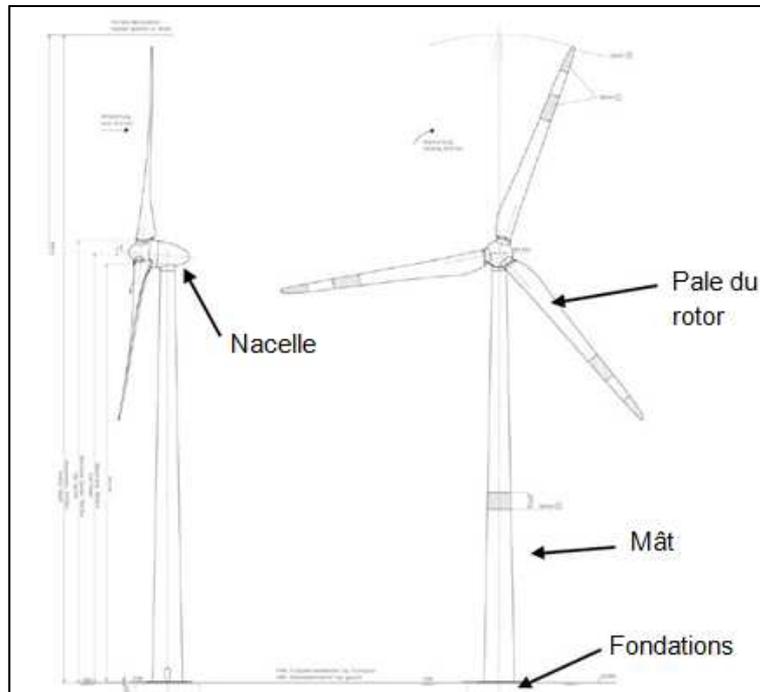


Figure 13 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur (source : ENERCON)

4.2.1 Les fondations – emprises au sol

ENERCON propose 3 types de fondation standard (deux superficielles et une profonde), choisis selon les caractéristiques du terrain. Il est également possible de modifier le sol. Cette opération est parfois nécessaire, lorsque les caractéristiques ne permettent pas de garantir une fondation stable pendant 20 ans. Pour cela plusieurs techniques sont fréquemment utilisées : la substitution par apport de matériaux, les colonnes ballastées, les inclusions rigides ou encore les colonnes à modules mixtes.

En résumé, plusieurs emprises au sol sont définies 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 en partie 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.

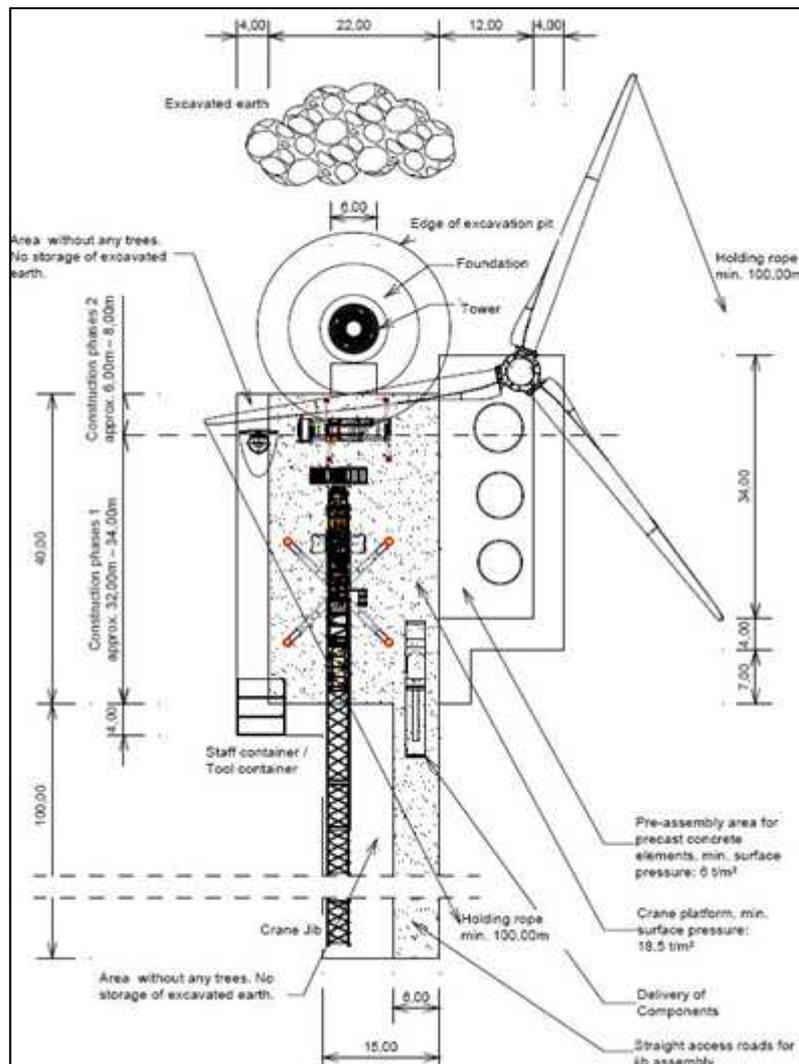


Figure 14 : Aire de grutage type ENERCON (source : ENERCON)

4.2.2 Le mât

ENERCON commercialise des mâts en acier jusqu'à une hauteur de moyeu de 85 m. A partir de cette hauteur les mâts sont composés de sections en béton et d'une ou de deux sections en acier (dépend de la hauteur). Les sections en béton préfabriqué ENERCON sont exécutées selon une méthode appelée « technique de l'acier de précontrainte » qui consiste à faire passer les câbles de précontrainte dans des gaines à l'intérieur même de la paroi en béton du mât. Ce faisant, les différentes sections du mât et la fondation sont réunies en une seule unité indissociable.

Les mâts en béton dits « nouvelle génération », dont les sections sont fabriquées dans l'usine ENERCON de Longueuil-Sainte-Marie, utilisent la même technique à ceci près que les câbles de précontraintes ne sont plus dans mais sur la paroi du mât et visibles depuis l'intérieur de celui-ci. Sur ces mâts, les sections en deux parties sont assemblées par boulonnage, ce qui facilite le démontage. La coplanarité et l'étanchéité ne sont plus assurées par des cales en acier et un joint de colle en résine, mais par un joint directement fabriqué en usine. Les photographies ci-dessous illustrent ces évolutions.

4.2.3 Rotor

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

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

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

L'inclinaison des pales du rotor en position dite de drapeau stoppe le rotor de manière aérodynamique, sans que l'arbre d'entraînement ne subisse les fortes contraintes occasionnées par l'action d'un frein mécanique.



Figure 15 : Assemblage et montage d'un rotor ENERCON

4.2.4 Nacelle



Figure 16 : Dessin schématique de la nacelle

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

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

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

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

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

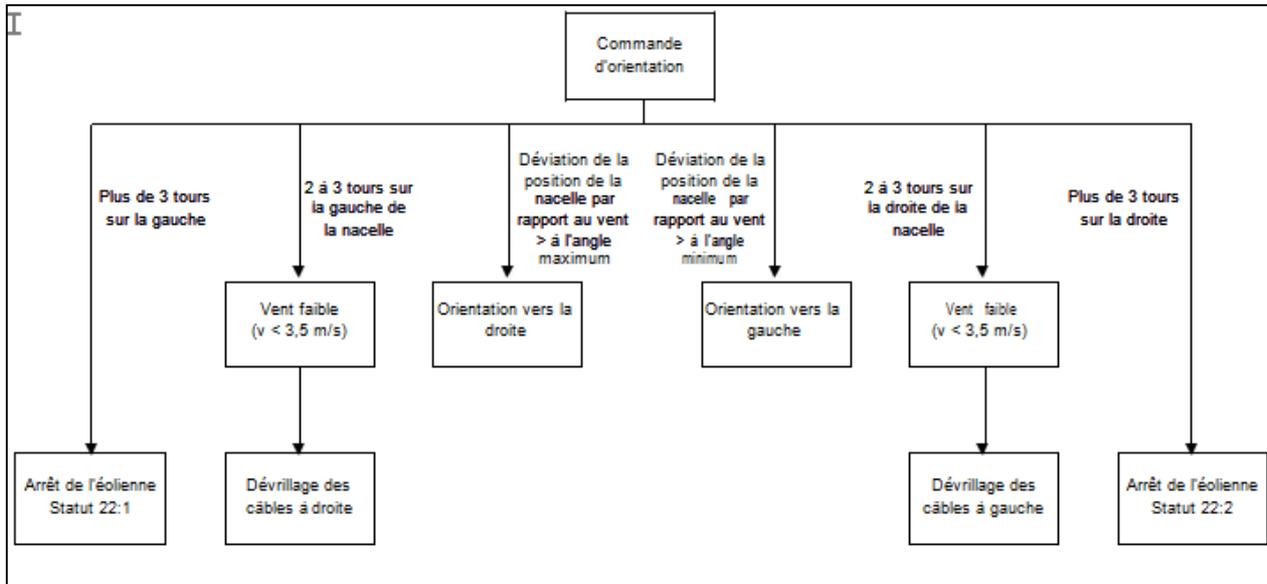


Figure 17 : Orientation de l'éolienne (source : ENERCON)

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

4.2.5 Générateur

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

- Une plateforme de travail et de montage ;
- Un générateur ;
- Un moyeu.

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

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

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

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

Ce concept de raccordement au réseau par le biais d'un transformateur permet d'exploiter le rotor de l'éolienne à une vitesse de rotation variable. Le rotor tourne lentement en présence de vents lents, et à grande vitesse si les vents sont forts.

4.2.6 Unité d'alimentation au réseau

Les éoliennes ENERCON disposent d'une technologie d'intégration intelligente au réseau. Elles répondent de manière exemplaire aux critères internationaux relatifs au raccordement en garantissant une injection fiable de la puissance produite.

Le générateur annulaire est connecté au système d'injection dans le réseau, qui se compose de redresseurs, d'une liaison en courant continu (DC link) et d'onduleurs. Pour garantir la compatibilité au réseau, la tension, l'intensité et la fréquence sont enregistrées en permanence au point de référence et transmises au système de contrôle de l'éolienne. Le point de référence se trouve côté BT en amont du transformateur de puissance.

La mission centrale du système d'intégration au réseau ENERCON est d'injecter la puissance produite conformément aux exigences posées. En présence de réseaux avec de fortes fluctuations de tension ou de fréquence, le système d'alimentation du réseau ENERCON assure un fonctionnement fiable et pérenne.

En fonction du type de réseau, le système peut être paramétré de manière flexible pour une fréquence nominale de 50 ou 60 Hz. Les plages de fréquence et de tension d'une éolienne ENERCON satisfont aux standards internationaux qui spécifient une large plage de fonctionnement en régime permanent.

Le système de commande intelligent du système d'onduleurs ENERCON permet aux éoliennes de contribuer au maintien et à l'amélioration de la stabilité du réseau et à satisfaire aux exigences particulières des règles internationales en la matière (notamment le mode de fonctionnement lors de conditions dégradées du réseau). Les éoliennes ENERCON peuvent par conséquent être intégrées dans des réseaux aux structures les plus variées.

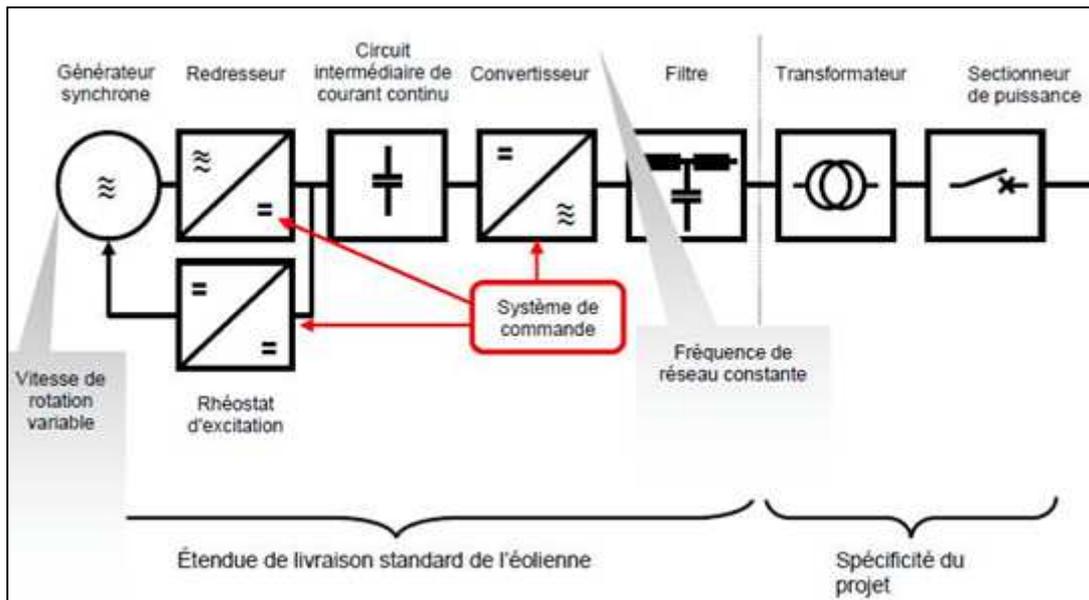


Figure 18 : Unité d'alimentation au réseau (source : ENERCON)

Cette connexion au réseau au travers de l'électronique de puissance permet d'injecter de façon optimale l'énergie produite sur le réseau. En effet, ce design permet de minimiser les interactions réciproques néfastes que peut avoir la production issue de la génératrice vers le réseau et celle du réseau vers la génératrice. D'un côté l'effet indésirable des rafales de vent sur le réseau est atténué par une injection contrôlée et propre (sans flickers ni harmoniques) de la puissance sur le réseau et des défauts ; de l'autre, les défauts ou court-circuit réseau ne créent que très peu de stress mécanique sur les parties tournantes de la machine.

L'énergie produite par les éoliennes est redirigée vers un poste de livraison qui est le nœud de raccordement de toutes les éoliennes avant que l'électricité ne soit injectée dans le réseau public. Le câblage des éoliennes jusqu'au poste de livraison correspond au réseau électrique interne. Il se fera en souterrain en longeant les chemins agricoles existants. Les tranchées nécessaires seront de 1 m de profondeur.

4.2.7 Caractéristiques techniques des éoliennes

Les différentes configurations d'éoliennes ENERCON disponibles en France sont les suivantes :

Tableau 7 : Configurations d'éoliennes ENERCON disponibles en France

Type	Puissance	Classe de vent	Mât	Hauteur de moyeu	Hauteur totale	Diamètre à la base du mât
E 44	900 kW	IA	acier	45,00 m	67,00 m	3,30 m
				55,00 m	77,00 m	3,30 m
E 48	800 kW	IIA	acier	50,00 m	74,00 m	3,50 m
				55,60 m	79,60 m	3,30 m
				60,00 m	86,45 m	3,30 m
				75,60 m	99,60 m	4,13 m
E 53	800 kW	S Vn 7,72 m/s Vot 9 m/s	acier	50,00 m	76,45 m	3,50 m
				60,00 m	86,45 m	3,30 m
				73,25 m	99,70 m	4,08 m
E 70 E4	2 300 kW	S Vn 3,9 m/s Vot 53,5 m/s	acier	57,00 m	92,50 m	4,10 m
				64,00 m	99,50 m	4,10 m
		IA/IIA	acier	74,50 m	110,00 m	4,60 m
				85,00 m	120,50 m	4,30 m
		S Vn 3,6 m/s Vot 45 m/s	béton	84,50 m	120,00 m	6,37 m
				98,20 m	133,70 m	7,50 m
113,50 m	149,00 m	9,33 m				
E 82 E2	2 000 kW ou 2 300 kW	IIA	acier	59,00 m*	100,00 m*	-
				69,00 m*	110,00 m*	-
				78,33 m	119,33 m	4,45 m
				84,58 m	125,58 m	4,90 m
			béton	84,00 m	125,00 m	6,06 m
				98,38 m	139,38 m	6,80 m
				108,38 m	149,38 m	7,71 m
				138,38 m	179,38 m	13,22 m
E-82 E3	3 000 kW	IIA	acier	59,00 m*	100,00 m*	-
				69,00 m*	110,00 m*	-
				78,33 m	119,33 m	4,45 m
				84,58 m	125,58 m	4,60 m
			béton	84,00 m	125,00 m	6,06 m
				98,38 m	139,38 m	6,80 m
				108,38 m	149,38 m	7,71 m
				138,38 m	179,38 m	13,22 m
E-82 E4	3 000 kW ou 2 350 kW	IA	acier	58,91 m	99,91 m	4,45 m
				68,91 m	109,91 m	4,45 m
			béton	78,33 m	119,33 m	4,60 m
				83,97 m	124,97 m	6,06 m
				78,33 m	124,33 m	4,45 m
				84,58 m	130,58 m	4,60 m
E-92	2 350 kW	IIA	acier	84,00 m	130,00 m	6,06 m
				98,38 m	144,38 m	6,80 m
			béton	103,90 m	149,90 m	7,71 m
				138,38 m	184,38 m	10,73 m
				99,00 m	149,50 m	6,80 m
				124,48 m	174,98 m	9,70 m
E-101	3 050 kW	IIA	béton	135,40 m	185,90 m	10,73 m
				149,00 m	199,50 m	13,21 m
				75,00 m*	125,00 m*	-
				99,00 m*	150,00 m*	-
E-101 E2	3 500 kW	IA	acier	92,00 m*	149,96 m*	6,80 m*
				122,00 m*	179,96 m*	-
E-115	3 000 kW	IIA	béton	135,40 m*	193,26 m*	14,50 m*
				149,00 m*	206,86 m*	13,22 m*
				122,00 m*	179,96 m*	-
				135,00 m	198,50 m	14,50 m*
E 126 EP4	4 200 kW	IIA	béton	144,00 m*	207,50 m*	-
E 126	7 580 kW	IA	béton	134,95 m	198,45 m	14,50 m

Les principales caractéristiques de l'éolienne choisie sont synthétisées dans le tableau suivant.

Tableau 8 : Caractéristiques de l'éolienne choisie

Eolienne ENERCON type E-101
<p>Caractéristiques générales</p> <p>Puissance nominale : 3050 kW Diamètre du rotor : 101 m Hauteur du moyeu : 99 m Concept de l'installation : Sans boîte de vitesse, régime variable, ajustage individuel des pales</p>
<p>Mât</p> <p>Fonction : Supporter la nacelle et le rotor</p>
<p>Nacelle</p> <p>Fonction : Supporter le rotor et abriter le générateur d'énergie ainsi que les équipements et dispositifs embarqués de l'éolienne</p>
<p>Rotor</p> <p>Fonction : Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice Type : rotor face au vent avec système actif de réglage des pales Sens de rotation : sens horaire Nombre de pales : 3 Surface balayée : 8 012 m³ Matériau des pales : fibre de verre (résine époxy), protection parafoudre intégrée Vitesse de rotation : Variable, 4 à 14,5 tours / minute</p>
<p>Transmission et génératrice</p> <p>Fonction : Convertir l'énergie mécanique du rotor en énergie électrique Moyeu : Fixe Palier principal : Roulement à deux rangées de rouleaux coniques + 1 roulement à rouleaux cylindriques Générateur : Générateur annulaire à entraînement direct</p>
<p>Alimentation</p> <p>Fonction : Alimenter les systèmes électriques de l'éolienne Réseau électrique Onduleur : 3 condensateurs de secours situés dans le rotor</p>
<p>Système de freinage</p> <p>Fonction : Freiner et arrêter l'éolienne Réglage des pales : 3 systèmes de réglage indépendants avec alimentation de secours Frein d'arrêt du rotor : Frein aérodynamique, frein mécanique d'urgence Blocage du rotor : Rotor libre à l'arrêt, frein mécanique pour les opérations de maintenance</p>
<p>Contrôle d'orientation</p> <p>Fonction : Orienter l'éolienne de manière optimale par rapport au vent Par mécanisme de réglage, atténuation en fonction des charges</p>
<p>Surveillance à distance</p> <p>Fonction : Communiquer en continu les données mesurées sur l'éolienne ENERCON SCADA</p>

4.3 Certification des éoliennes

Les éoliennes ENERCON sont conçues, fabriquées, installées et certifiées selon les exigences des normes IEC 61400-1 et IEC 61400-24, tel que requis par l'arrêté du 26 Août 2011.

4.4 Fonctionnement de l'éolienne

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

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

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

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

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

4.4.1 Démarrage de l'éolienne

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

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

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

4.4.2 Fonctionnement normal

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

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

4.4.3 Fonctionnement en charge partielle

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

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

4.4.4 Fonctionnement de régulation

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

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

L'éolienne s'arrête si la vitesse du vent atteint 25 m/s.

4.4.5 Mode de fonctionnement au ralenti

Si l'éolienne est arrêtée (par exemple en raison de l'absence de vent ou suite à un dérangement), les pales se mettent généralement dans une position de 60° par rapport à leur position opérationnelle. L'éolienne tourne alors à faible vitesse. Si la vitesse de ralenti est dépassée (environ 3 tr/mn), les pales de rotor s'inclinent pour se mettre en position drapeau. Ces conditions portent le nom de « fonctionnement au ralenti ». Le fonctionnement au ralenti réduit les charges et permet à l'éolienne de redémarrer dans de brefs délais. Un message d'état indique la raison pour laquelle l'éolienne a été arrêtée, passant donc en fonctionnement au ralenti.

4.4.6 Arrêt de l'éolienne

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

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

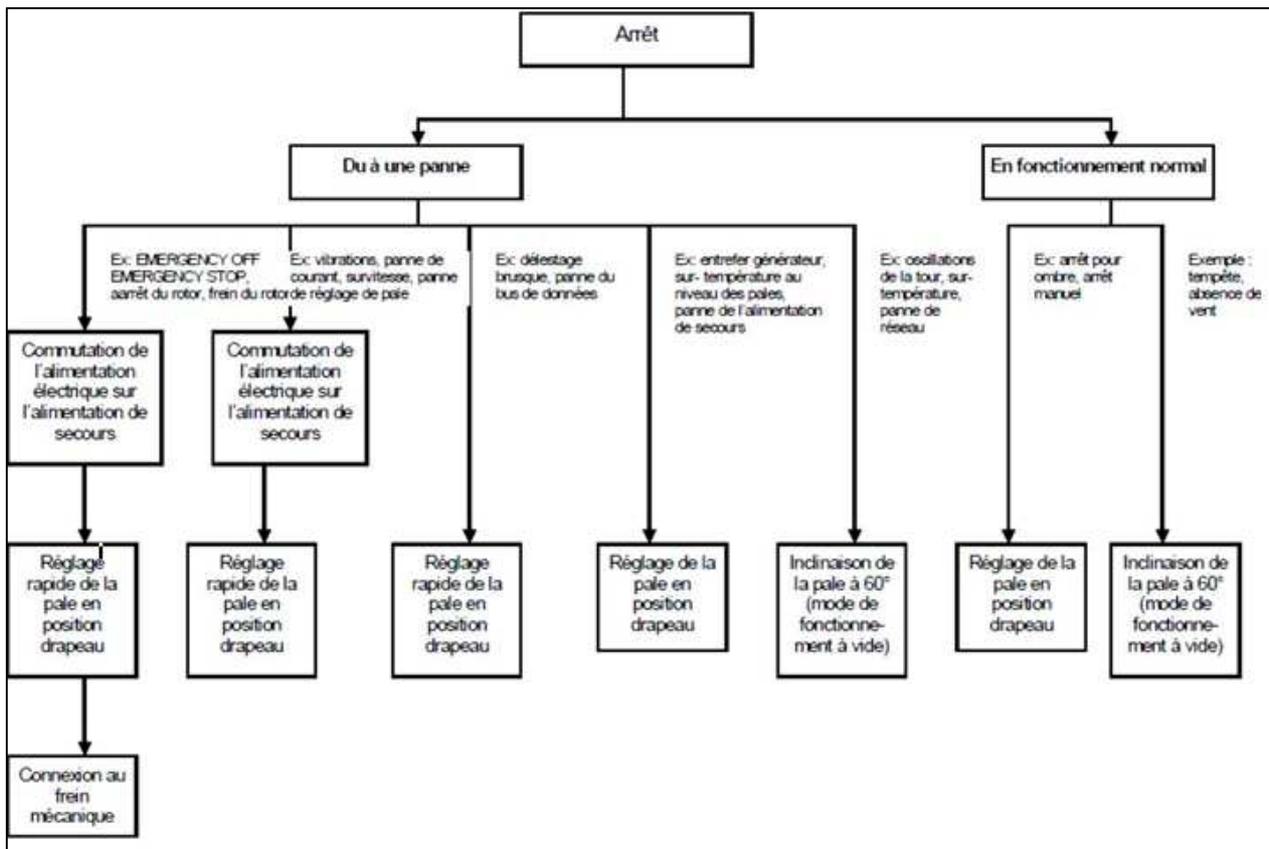


Figure 19 : Arrêt de l'éolienne

4.4.6.1 Arrêt automatique

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

L'éolienne s'arrête si la vitesse du vent est de 25 m/s avec une valeur moyenne de 3 minutes ou si elle est de 30 m/s avec une valeur moyenne de 30 m/s. Si nécessaire, ces limites peuvent être modifiées dans le système de contrôle de l'éolienne. Pour des raisons de protection de l'éolienne l'augmentation des vitesses de coupure est cependant limitée assez rigoureusement. L'éolienne redémarre dès que les conditions correspondantes aux 10 minutes (réglage standard) ne sont plus détectées. Si nécessaire on peut adapter cette période dans le système de contrôle de l'éolienne.

L'éolienne s'arrête également automatiquement en cas de défaillance, et lors de certains événements. Certaines défaillances entraînent une coupure rapide par les alimentations de secours des pales, d'autres pannes conduisent à un arrêt normal de l'éolienne.

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

Lorsqu'un capteur de sécurité signale un défaut ou qu'un interrupteur correspondant se déclenche, l'éolienne est immédiatement stoppée. Les armoires de commande des pales dissocient chaque moteur de réglage des pales. Ces armoires permettent également de commuter les contacteurs présents dans chaque boîtier du rotor via des armoires de condensateurs. Les pales se mettent alors en drapeau indépendamment les unes des autres.

Lors d'un freinage d'urgence du rotor, en cas d'incendie par exemple, un frein rotor électromécanique est utilisé en plus. Un arrêt du rotor depuis sa puissance nominale s'effectue en 10 à 15 secondes.

4.4.6.2 Arrêt manuel

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

4.4.6.3 Arrêt manuel d'urgence

Si nécessaire, l'éolienne peut être stoppée immédiatement, en appuyant sur le bouton d'arrêt d'urgence (armoire de commande). Ce bouton déclenche un freinage d'urgence sur le rotor, avec une inclinaison rapide par l'intermédiaire des unités de réglage des pales et de freinage d'urgence. Le frein d'arrêt mécanique est actionné simultanément. L'alimentation électrique de tous les composants reste assurée.

Une fois l'urgence passée, le bouton d'arrêt d'urgence doit être réarmé pour permettre le redémarrage l'éolienne.

Si l'interrupteur principal de l'armoire de commande est mis en position d'arrêt, tous les composants de l'éolienne, à l'exception de l'éclairage du mât et de l'armoire électrique, ainsi que les différents interrupteurs d'éclairage et les connecteurs mobiles, sont déconnectés. L'éolienne déclenche l'inclinaison rapide des pales par l'intermédiaire des dispositifs d'inclinaison d'urgence. Le frein d'arrêt mécanique n'est pas activé lorsque l'interrupteur principal est actionné.

4.4.7 Absence de vent

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

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

Depuis 2012, ENERCON utilise sur l'ensemble de sa gamme des anémomètres à ultrasons, supprimant ainsi les difficultés liées au gel de l'anémomètre.

4.4.8 Tempête / Système « Storm Control »

Les éoliennes ENERCON disposent d'un système de contrôle spécial leur permettant de fonctionner par temps de tempête. Ceci signifie que, par vents très forts, l'éolienne travaille en mode bridé, ce qui évite les arrêts qui conduiraient à des pertes de production considérables.

Lorsque le mode tempête est activé la vitesse nominale est réduite linéairement pendant une vitesse de vent définie pour chaque type d'éolienne. La limitation de la vitesse nominale a comme conséquence la réduction de la puissance à partir d'une autre vitesse de vent spécifique au type d'éolienne. L'éolienne est uniquement arrêtée à partir d'une vitesse de vent supérieure à 34 m/s (valeur moyenne sur 10 minutes). A titre de comparaison, lorsque le mode tempête est désactivé l'éolienne est arrêtée à une vitesse de vent de 25 m/s (valeur moyenne de 3 minutes).

À part une croissance du rendement, le mode tempête ENERCON a une influence positive sur la stabilité du réseau électrique vu que les éoliennes ENERCON réduisent graduellement la puissance injectée en évitant de la suspendre brusquement.

Lorsque le mode tempête est activé, il est possible de sélectionner les réglages nommée ci-dessus mais elle ne sera cependant pas analysée par le système de commande. Puis la vitesse est réduite linéairement depuis une vitesse de vent définie pour chaque type d'éolienne. Le temps de rapport de la vitesse du vent est de 12 secondes. Lors de rafales positives qui dépassent de plus de 3 m/s (moyenne par seconde) la valeur moyenne de 12 secondes, alors la valeur moyenne de 12 secondes est spontanément adaptée à la valeur moyenne par seconde.

La limitation de la vitesse a comme conséquence la réduction de la puissance à partir d'une vitesse de vent spécifique au type d'éolienne (V_4).

L'éolienne s'arrête à partir d'une vitesse de vent V_5 de 34 m/s (valeur moyenne sur 10 minutes).

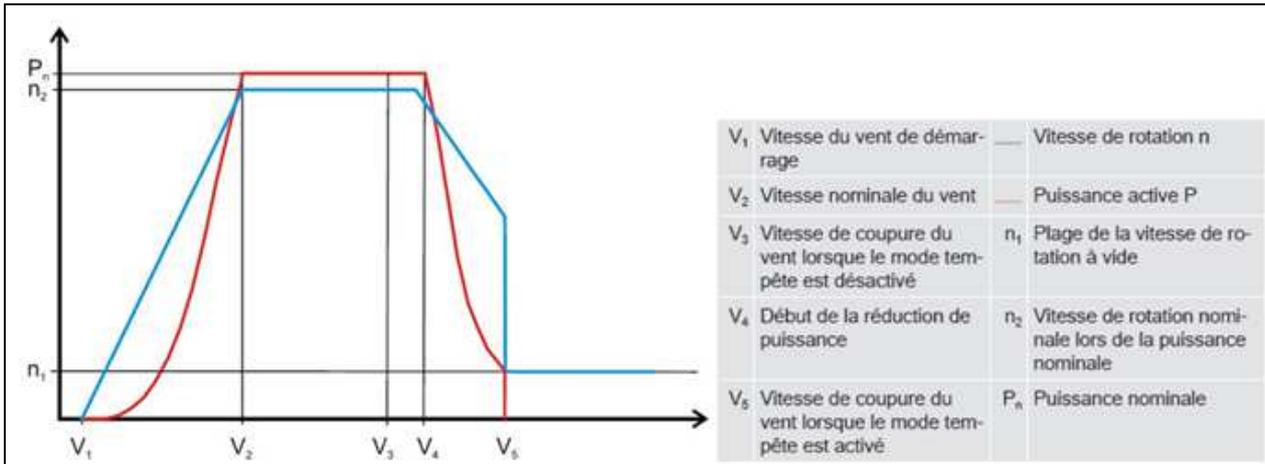


Figure 20 : Modes de fonctionnement : courbes de puissance en fonction de la vitesse du vent

4.4.9 Dévissage des câbles

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

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

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

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

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

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

4.5 Opérations de maintenance de l'éolienne

Maintenance et inspections périodiques sur les éoliennes :

- Inspection visuelle : Une fois par an ;
- Graissage d'entretien : Une fois par an ;
- Maintenance électrique : Une fois par an ;
- Maintenance mécanique : Une fois par an.

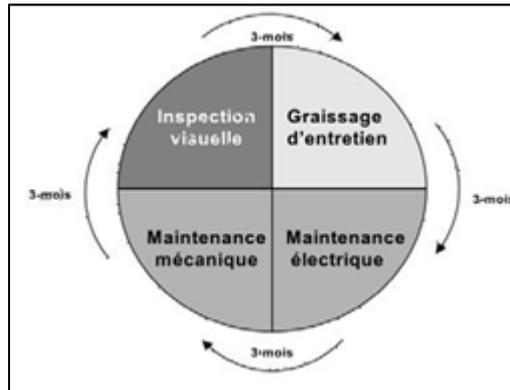


Figure 21 : Phases de maintenance ENERCON (source : ENERCON)

- **Tests de commissioning** : Les tests réalisés lors du commissioning prévoient notamment un essai de survitesse ainsi que des tests électriques.
- **Maintenance des 300 heures** : La première maintenance après la mise en service a lieu après 300 heures. Au cours de cette opération, l'intégralité des opérations de maintenance précédemment mentionnées est effectuée.

Chaque éolienne dispose d'un carnet de maintenance dans lequel sont consignées les différentes opérations réalisées. De plus, une inspection visuelle de l'état général de l'éolienne est effectuée lors de chaque opération de maintenance.

Ces opérations de maintenance garantissent le suivi et la durabilité des éoliennes dans le temps, comme le montrent les photos ci-dessous.

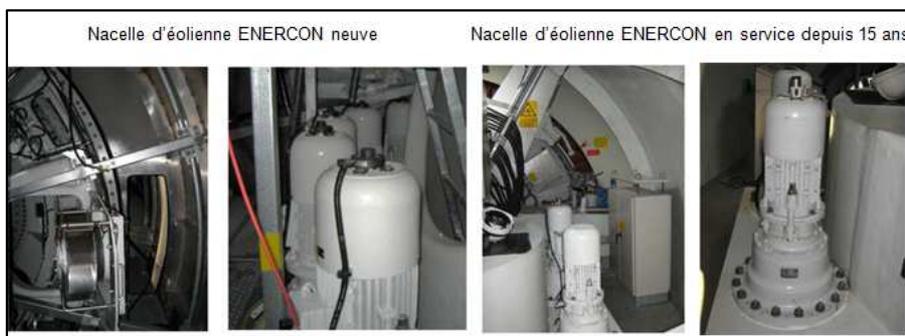


Figure 22 : Suivi de la nacelle de l'éolienne (source : ENERCON)

Les photographies suivantes illustrent différentes autres parties de ces mêmes nacelles, neuve et ayant 15 ans de service.



Figure 23 : Suivi de la nacelle de l'éolienne dans le temps (source : ENERCON)

4.5.1 Inspection visuelle

Lors des inspections visuelles, les points particuliers de vigilance sont axés sur les aspects suivants :

- Corrosion ;
- Dommages mécaniques (par ex. fissures, déformation, écaillage, câbles usés) ;
- Fuites (huile, eau) ;
- Unités incomplètes ;
- Encrassements / corps étrangers.

Ces opérations d'inspection sont faites au moins une fois par an.

4.5.2 Graissage d'entretien

Les opérations de graissage visent à s'assurer du bon état des pièces mobiles et d'assurer un appoint ou de vidanger les huiles et lubrifiants.

L'ensemble des points à vérifier est précisé dans le Plan de Maintenance relatif au graissage défini pour chaque modèle.

4.5.3 Maintenance électrique

Les opérations de maintenance électrique visent à s'assurer du bon fonctionnement de tous les équipements électriques actifs (transformateurs, éclairage, mises à jour logicielles, ...) et passifs (mises à la terre, ...).

L'ensemble des points à vérifier est précisé dans le Plan de Maintenance Electrique défini pour chaque modèle.

4.5.4 Maintenance mécanique

Lors des opérations de maintenance mécanique, les points particuliers de vigilance sont axés sur les aspects suivants :

- Panneaux d'avertissement ;
- Pied du mât / local des armoires électriques ;
- Fondations ;
- Mât : échelle de secours, ascenseurs de service, plateformes et accessoires, chemin et fixation de câbles, assemblages à vis ;
- Nacelle : treuil à chaîne, extincteurs et trousse de secours, système de ventilation, câbles, trappes, support principal, arbre de moyeu, transmissions d'orientation, contrôle d'orientation (« yaw »), couronne d'orientation, entrefer du générateur, groupe hydraulique, frein électromécanique, dispositif de blocage du rotor, assemblages à vis, ... ;
- Tête du rotor : rotor, câbles et lignes, générateur, moyeu du rotor et adaptateur de pale, engrenage de réglage des pales (« pitch »), système de graissage centralisé, vis des pales du rotor, pales de rotor, ... ;
- Système parafoudre ;
- Anémomètre.

Ces opérations d'inspections sont faites au moins une fois par an.

4.5.5 Stockage et flux de produits dangereux

Durant leur formation, les techniciens reçoivent la consigne de maintenir propres les aérogénérateurs et de ne pas y entreposer de matériaux, combustibles et inflammable ou non. Leur support de formation basique électrique/mécanique le stipule explicitement. Des rappels réguliers sont effectués lors des rappels de sécurité qu'ils suivent tous les 6 mois.

4.6 Principaux systèmes de sécurité de l'éolienne

4.6.1 Système de freinage

En fonctionnement, les éoliennes sont exclusivement freinées d'une façon aérodynamique par inclinaison des pales en position drapeau. Pour ceci, les trois entraînements de pales indépendants mettent les pales

en position de drapeau (c'est-à-dire « les décrochent du vent ») en l'espace de quelques secondes. La vitesse de l'éolienne diminue sans que l'arbre d'entraînement ne soit soumis à des forces additionnelles.

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

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

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

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

4.6.2 Système de détection de survitesse

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

La détection de survitesse est alors enclenchée et les pales reviennent en position drapeau (le système coupe l'alimentation électrique des pitch. Les condensateurs électriques du système de sécurité des pitchs se déchargent alors, activant la mise en drapeau des pales).

Les condensateurs sont contrôlés périodiquement et des tests de survitesse sont réalisés tous les ans.

Le redémarrage de l'éolienne suite à un arrêt par action du système de détection de survitesse nécessite un réenclenchement manuel dans la nacelle, après identification des causes.

Ce système intervient en plus des systèmes de sécurité prévenant un fonctionnement avec une défaillance sur la génératrice (plus de forces contre électromotrices) ainsi que du système « storm control ».

4.6.3 Protection foudre

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

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

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

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

4.6.4 Protection incendie

Tous les composants mécaniques et électriques de l'éolienne dans lesquels un incendie pourrait potentiellement se déclencher en raison d'une éventuelle surchauffe ou de court-circuit, sont continuellement surveillés par des capteurs lors du fonctionnement, et cela en premier lieu afin de s'assurer de leur bon fonctionnement. Si le système de commande détecte un état non autorisé, l'éolienne est stoppée ou continue de fonctionner mais avec une puissance réduite. Le choix des matériaux est également un aspect

clé de la protection incendie, par la conception en matériaux ignifuges, difficilement, ou non inflammables pour certains composants.

Les composants dédiés à la protection contre l'incendie dans l'éolienne sont les suivants :

Modèle	Détection	Extinction
E101	Système de capteurs de température des équipements	Un extincteur manuel CO ₂ dans la nacelle Un extincteur manuel CO ₂ au pied du mât

Par ailleurs, lors des interventions, les techniciens emmènent également un extincteur dans leur véhicule de service.

Lorsqu'un capteur de sécurité signale un défaut ou qu'un interrupteur correspondant se déclenche, l'éolienne est immédiatement stoppée.

Les détecteurs de fumée et/ou les capteurs de température émettent des signaux qui sont immédiatement transmis au Service ENERCON par le système de surveillance à distance SCADA qui alerte alors immédiatement l'exploitant, par un message SMS et/ou email, qui prévient alors les pompiers. Ces derniers décident sur place des actions à entreprendre. Le centre de service ENERCON est occupé 24h/24, 7j/7 et par conséquent joignable à tout moment.

4.6.5 Système de détection de givre / glace

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

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

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

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

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

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

En cas de détection d'écarts de comportement de la machine, un compteur est incrémenté pour chaque mesure hors tolérance, à raison de 1 mesure par minute. Lorsque 30 mesures sont en dehors des tolérances, la machine s'arrête automatiquement pour détection de glace et envoi une alerte via le SCADA.

Les paramètres analysés par le système de sécurité sont :

- La vitesse de vent pour une puissance donnée¹. La détection, l'alerte et l'arrêt se font dès la sortie de la machine de ces tolérances (comme expliqué ci-dessus) ;
- La puissance produite, lorsque la machine fonctionne à sa puissance nominale².

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

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

4.6.6 Surveillance des principaux paramètres

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

Les alertes relatives au fonctionnement de la machine sont remontées automatiquement par le système SCADA des éoliennes. Un SMS et un courrier électronique est envoyé au personnel du parc éolien de Lingham 2 et ENERCON en cas d'alerte, 7j/7 et 24h/24. De même, ENERCON est informé de toute alerte via les informations remontant par le système SCADA des éoliennes.

Le cas échéant, le personnel ENERCON habilité intervient alors sur site.

Les nombreux capteurs de température implantés dans les équipements de la nacelle permettent également la mise à l'arrêt de l'éolienne sur détection d'une température anormalement haute, ce qui permet la mise en sécurité (freinage aérodynamique de l'éolienne) de l'éolienne en cas d'échauffement matériel ou en cas de départ d'incendie (compte tenu de la répartition des équipements dans le volume de la nacelle, un éventuel départ d'incendie est susceptible d'être détecté en tout point).

Il suffit qu'une seule pale soit mise en drapeau pour freiner l'éolienne.

La réponse est efficace en quelques dizaines de secondes selon les conditions, ce qui est une réponse adaptée à la cinétique des phénomènes envisagés.

¹ Détection efficace pour la partie de courbe correspondant à la montée en puissance vers sa valeur nominale (détection d'écart standard : +/- 1,2m/s). Les paramètres de tolérances sont ajustables dans une plage de +/- 0,6m/s à +/- 3m/s.

²Une fois que la machine fonctionne à sa puissance nominale, la courbe de puissance présente un plateau sur une large plage de vitesse de vent, rendant inopérante la tolérance définie précédemment pour la détection de glace ou de givre. Ainsi, pour les vitesses de vent supérieures à 10,5m/s une tolérance sur la puissance produite permet donc de détecter les comportements déviant de la courbe de puissance normale (valeur de tolérance standard : 75% ; minimale : 100% ; maximale : 50%).

5. Identification des potentiels de dangers de l'installation

Les objectifs de l'identification des dangers ou potentiels de dangers sont :

- recenser et caractériser les dangers d'une installation ;
- localiser les éléments porteurs de dangers sur un schéma d'implantation de l'installation ;
- identifier les Evénements Redoutés potentiels (ER), étudiés lors de l'Evaluation Préliminaire des Risques (EPR).

5.1 Potentiels de dangers liés aux produits

Le tableau ci-après synthétise les dangers liés aux produits présents sur site. Ces dangers dépendent de 3 facteurs :

- la nature du produit lui-même et ses caractéristiques dangereuses, traduites par sa classification au sens du règlement CLP,
- la quantité de produit mise en œuvre³,
- les conditions de stockage ou de mise en œuvre.

Les substances mises en œuvre dans les équipements des éoliennes ont toutes un point éclair (PE) supérieur à 200°C :

- Graissage des roues dentées : MOBILGEAR OGL 461 ; PE > 204°C ;
- Graissage de la transmission d'orientation et du palier d'orientation : MOBILGEAR SHC 460 ; PE > 240°C ;
- Frein Hydraulique : RENOLIN PG 220 (lubrifiant), RENOLIN PG 46 ; PE > 240°C ;
- Huile d'engrenage / de transmissions / d'orientation / de l'arbre de renvoi : RENOLIN UNISYN CLP 220 ; PE > 260°C ;
- Graisse des roues dentées / du palier d'orientation / du palier à roulements : Klüberplex BEM 41-141 ; PE > 250°C.

La substance mise en œuvre dans le transformateur (Nytro Taurus, huile isolante) a un point éclair > 140°C.

L'ensemble de ces substances n'est pas classé comme dangereux au regard de la nomenclature ICPE.

5.2 Potentiels de dangers liés aux procédés

5.2.1 Potentiels dangers liés aux déchets

L'activité de production d'électricité par les éoliennes ne génère pas de déchets. La production de déchets est uniquement associée aux opérations de maintenance régulières des installations.

Seuls deux types de déchets seront produits pendant l'exploitation du parc éolien :

- Déchets non dangereux : ces déchets concernent les pièces usagées non souillées, cartons d'emballage (quantités < 1100 litres par an), etc. ;

³ Conformément à l'arrêté du 26 août 2011, aucun produit inflammable ou combustible n'est stocké dans els aérogénérateurs ou dans le poste de livraison.

- Déchets dangereux : ces déchets concernent les huiles usagées (transmission), graisses, bombes à graisse usagées vides, etc.

Pour chaque catégorie de déchet dangereux, les dangers potentiels (explosif, comburant, carburant, extrêmement inflammable...) sont mentionnés sur les fiches de données sécurité des produits dont ils sont issus.

Le retour d'expérience ENERCON montre par ailleurs que les quantités de déchets générés sont très faibles. En effet, pour un modèle de type E-126 (plus gros modèle), les déchets annuels sont de l'ordre des quantités suivantes⁴ :

- absorbants, matériaux filtrants (filtres à huile), chiffons d'essuyage et vêtements de protection contaminés par des substances dangereuses : 7 kg par an ;
- papiers et cartons : 2 kg par an ;
- emballages en mélange : 2 kg par an ;
- déchets résiduels : 6 kg par an.

5.2.2 Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

Les tableaux ci-après synthétisent les dangers liés au fonctionnement du parc éolien de Linghem 2, tant en conditions nominales que pendant les phases transitoires (mise en service, maintenance...).

Pour rappel, l'étude porte sur les installations durant leur phase d'exploitation (excluant les phases de construction, transport, maintenance lourde...).

⁴ D'après le document ENERCON « ESC_Waste_Amount_E-126_after_commissioning_2012-02-13_rev000_gereng.docx »

Tableau 9 : Dangers liés au fonctionnement du parc éolien

Equipement / installation	Phase opératoire	Principaux phénomènes dangereux associés
Mât : - Tour - Equipements électriques situés dans le mât	Eolienne en fonctionnement Eolienne en phase d'arrêt Eolienne à l'arrêt	Chute du mât Pliage du mât Incendie en pied de mât
Nacelle : - Présence d'huiles et graisses - Equipements électriques et mécaniques	Eolienne en fonctionnement Eolienne en phase d'arrêt Eolienne à l'arrêt	Chute de la nacelle Incendie de la nacelle
Pales / rotor	Eolienne à l'arrêt	Chue de pales / fragments de pale Chute de blocs de glace Incendie au niveau des pales
Pales / rotor	Eolienne en fonctionnement Eolienne en phase d'arrêt	Projection de pales / fragments de pale Projection de blocs de glace Incendie au niveau des pales / projection de débris enflammés
Fondations	Eolienne en fonctionnement Eolienne en phase d'arrêt Eolienne à l'arrêt	Chute du mât
Câbles enterrés	Eolienne en fonctionnement Eolienne en phase d'arrêt Eolienne à l'arrêt	Electrocution
Poste de livraison	Eolienne en fonctionnement Eolienne en phase d'arrêt Eolienne à l'arrêt	Incendie du poste

5.3 Potentiels de dangers liés aux pertes d'utilités

Les répercussions sur le site des défaillances sont examinées dans le tableau page suivante.

Les scénarios d'accidents associés aux pertes d'utilités sont ensuite décrits au niveau de l'Evaluation Préliminaire des Risques au chapitre 8.

Tableau 10 : Répercussions des défaillances

Utilité	Fonction	Type de défaillance	Evènement redouté
Electricité	Alimentation des équipements d'exploitation	Perte totale de l'alimentation électrique	Perte d'exploitation
	Alimentation des équipements de sécurité	Perte totale de l'alimentation électrique	Perte des fonctions de sécurité
Systèmes informatiques	/	Perte des systèmes informatiques	Non fonctionnement des équipements d'exploitation Dysfonctionnements latents d'équipements de sécurité
	/	Perte du système SCADA	Perte du transfert des informations et défauts

5.4 Sources d'agressions liés aux évènements externes aux procédés

5.4.1 Sources d'agressions liés aux activités humaines

Tableau 11 : sources d'agressions liées aux activités humaines

Sources d'agressions		Description des dangers
Dangers externes d'origine non naturelle	Activités industrielles voisines	Un accident sur les installations industrielles voisines (incendie, explosion, projection de « missiles ») pourrait être à l'origine de la déflagration des éoliennes : Des projections de « missiles » ou des surpressions peuvent impacter une éolienne et causer des dégradations majeures (chute de mât, rupture de pales ou fragments de pales). Des effets thermiques peuvent également endommager significativement les installations.
	Activités humaines	Parachute, parapente... Un choc sur les pales pourrait causer un endommagement de ces dernières.
	Réseau de canalisations de gaz / autres produits	Un accident sur les canalisations de transport de fluides inflammables peut conduire à des phénomènes dangereux de type explosion, incendie, (feu torche, feu de nappe). Par effet domino, les éoliennes peuvent être significativement endommagées.

Sources d'agressions		Description des dangers
Dangers externes d'origine non naturelle	Voies de communications	<p>Un accident routier / ferroviaire peut agresser les installations :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Impact / choc d'un véhicule sur le mât d'une éolienne ; • Accident sur des camions / wagons de matières dangereuses (incendie, explosion...) <p><u>Transport aérien</u> : les éoliennes sont implantées à une distance supérieure à 2 km des aéroports, le site n'est pas considéré comme se trouvant dans la zone de proximité d'un aéroport. Par conséquent, selon l'annexe IV de l'arrêté du 10 mai 2000 relatif à la prévention des accidents majeurs, l'évènement initiateur « chute d'aéronef » n'a pas à être pris en compte dans l'analyse des risques</p>
	Réseau électrique	Une perte de réseau électrique est étudiée au chapitre 8.
	Malveillance	<p>Les installations peuvent faire l'objet de tentatives éventuelles d'intrusions ou d'actes de malveillance (vols (cuivre, sabotage, etc...)) pouvant provoquer des incidents mineurs sur les installations (portes dégradées...) et des risques d'électrocution.</p> <p>Conformément à l'annexe IV de l'arrêté du 10 mai 2000 relatif à la prévention des accidents majeurs, les actes de malveillance ne seront pas considérés comme évènements initiateurs potentiels dans l'analyse des risques présentés au chapitre 8. Les risques d'intrusion seront cependant étudiés.</p>
Maintenance du parc éolien	Les activités de maintenance lourde peuvent être à l'origine de dommages sur les installations existantes en raison notamment de la présence de grues et de véhicules de maintenance. Ces activités sont considérées comme évènements initiateurs potentiels dans l'analyse des risques présentée au chapitre 8.	

5.4.2 Sources d'agressions liées aux phénomènes naturels

Tableau 12 : Sources d'agressions liées aux phénomènes naturels

Sources d'agressions		Description des dangers
Contraintes climatiques exceptionnelles	Température	<p>Les températures peuvent altérer, de façon temporaire ou définitive, le fonctionnement du matériel en modifiant les propriétés physiques ou les dimensions des matériaux qui le composent.</p> <p>L'environnement est généralement soumis à ces cycles de température. Ils accroissent souvent les effets de variations de température et peuvent conduire à une fatigue mécanique précoce. L'application rapide de contraintes, de chocs thermiques, risque de rendre cassants certains matériaux et de provoquer une rupture pour une contrainte de fatigue nettement inférieure à celle qui serait nécessaire dans les conditions stables.</p> <p>Les défauts de fonctionnement, le plus fréquemment, rencontrés sur les installations sont les dysfonctionnements de composants électroniques dus à des décompositions et des ruptures diélectriques, provoquées par de trop hautes températures.</p> <p>La combinaison de températures froides avec un taux d'humidité élevé peut conduire à la formation de glaces sur les pales des éoliennes. Dans ces conditions climatiques extrêmes, des gouttes d'eau surfondues heurtent les pales froides et gèlent. Des blocs de glace peuvent alors se former sur les pales de l'éolienne et être projetés sous l'effet du vent ou de la rotation des pales.</p> <p>En raison de la faible vitesse de rotation et de la grande section transversale du générateur, le niveau de température reste relativement bas en service et ne subit</p>

Sources d'agressions		Description des dangers
		que de faibles variations. De faibles fluctuations de température pendant le fonctionnement et des variations de charges relativement rares réduisent les tensions mécaniques et le vieillissement s'exerçant sur les matériaux.
	Pluie	<p>Les précipitations sont l'une des sources d'humidité qui constituent un facteur essentiel dans la plupart des types de corrosion. L'impact des gouttes de pluie risque d'engendrer une érosion de nombreux matériaux et de revêtements de protection.</p> <p>A l'extérieur, les pales du rotor sont protégées des intempéries par un revêtement de surface. Ce revêtement à base de polyuréthane est robuste et très résistant.</p> <p>De fortes précipitations peuvent conduire à une inondation ayant pour conséquence la dégradation des installations et une éventuelle chute du mât des éoliennes.</p>
	Neige et glace	<p>La neige est une précipitation de cristaux de glace. Son accumulation sur des surfaces horizontales occasionne des charges importantes. Les défauts les plus souvent rencontrés sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Rupture des structures, dues à une charge trop importante ; • Court-circuit par dépôts de neige ; • Perte de visibilité. <p>Par les surcharges qu'il apporte aux toitures, l'enneigement peut provoquer leur effondrement si elles ne sont pas suffisamment dimensionnées.</p> <p>En raison de la forme aérodynamique de la nacelle, le risque d'accumulation de neige est limité.</p> <p>Risque d'accumulation de neige sur les pales : ce cas de charge n'est pas dimensionné pour l'éolienne.</p>
	Vents violents	<p>Les vents violents peuvent être la cause de détériorations de structures, de chute/pliage de mât, de survitesse des pales et de projection de pales.</p> <p>Les vents violents sont pris en compte dans le dimensionnement des éoliennes. Les cas de charge sont décrits dans la norme IEC 61400.</p>
	Foudre	<p>La foudre est un phénomène électrique de très courte durée, véhiculant des courants de forte intensité, 20 kA en moyenne avec des maxima de l'ordre de 100 Hz, se propageant avec des fronts de montée extrêmement raides entre deux masses nuageuses ou entre une masse nuageuse et le sol.</p> <p>Les dangers liés à la foudre sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Les effets thermiques pouvant être à l'origine : <ul style="list-style-type: none"> • D'un incendie ou d'une explosion, soit au point d'impact, soit par l'énergie véhiculée par des courants de circulation conduits ou induits ; • De dommages aux structures et construction ; • Les perturbations électromagnétiques qui entraînent la formation de courants induits pouvant endommager les équipements électroniques, en particulier les équipements de contrôle commande et/ou de sécurité ; • Les effets électriques pouvant induire des différences de potentiel. <p>De par leur taille, les éoliennes sont particulièrement vulnérables au risque foudre. L'éolienne est équipée d'un système parafoudre fiable afin d'éviter que l'éolienne subisse de dégâts.</p> <p>Les éoliennes doivent également répondre aux exigences de d'arrêté du 15 janvier 2008 relatif à la protection contre la foudre de certaines installations classées :</p>

Sources d'agressions		Description des dangers
		<ul style="list-style-type: none"> Article 1, deuxième alinéa : « En outre, les dispositions du présent arrêté peuvent être rendues applicables par le préfet aux installations classées soumises à autorisation non visées par l'annexe du présent arrêté dès lors qu'une agression par la foudre sur certaines installations classées pourrait être à l'origine d'évènements susceptibles de porter atteinte, directement ou indirectement, aux intérêts visés à l'article L.511-1 du code de l'environnement » ; L'article 3 de cet arrêté précise que la définition des mesures de prévention et des dispositifs de protection doit être réalisée dans une étude technique distincte de l'analyse du risque foudre, qui définira également les modalités de leur vérification et de leur maintenance.
	Séisme	<p>Les séismes sont caractérisés par deux grandeurs : la magnitude et l'intensité :</p> <ul style="list-style-type: none"> La magnitude est une mesure logarithmique de la puissance du séisme (énergie dégagée sous forme d'ondes élastiques au sol). Cette notion a été définie par Richter en 1935. C'est une grandeur continue. L'énergie est multipliée par 30 quand la magnitude croît de 1. La magnitude seule ne permet pas de caractériser les dégâts causés à la surface du séisme. En effet, ceux-ci dépendent aussi de la nature et des mouvements du sol, du contenu fréquentiel et de la durée du phénomène ; L'intensité macrosismique permet de caractériser les effets destructeurs observés des séismes. C'est une quantité empirique, basée sur des observations. C'est la seule quantité qui puisse être utilisée pour décrire l'importance des séismes historiques qui ont eu lieu avant l'ère instrumentale, c'est-à-dire avant les premiers réseaux d'observation sismologique du début du siècle ; <p>La prévention du risque sismique est notamment régie par :</p> <ul style="list-style-type: none"> Le Code de l'Environnement, au travers des articles R563-1 à R563-8 relatifs à la prévention du risque sismique ; L'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal » ; Décret n°2010-1255 du 22/10/10 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français ; Décret n°2010-1254 du 22/10/10 relatif à la prévention du risque sismique ; Circulaire n°2000-77 du 31/10/10 relative au contrôle technique des constructions pour la prévention du risque sismique ; Arrêté du 10 mai 1993 fixant les règles parasismiques applicables aux installations soumises à la législation sur les installations classées ; Circulaire DPPR/SEI du 27 mai 1994 relative à l'arrêté du 10 mai 1993 fixant les règles parasismiques applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement. <p>Pour l'application des mesures de prévention du risque sismique aux bâtiments, équipements et installations de la classe dite « à risque normal », le territoire national est divisé en 5 zones de sismicité croissante :</p> <ul style="list-style-type: none"> Zone de sismicité 1 (très faible) ; Zone de sismicité 2 (faible) ; Zone de sismicité 3 (modérée) ; Zone de sismicité 4 (moyenne) ;

Sources d'agressions		Description des dangers
		<ul style="list-style-type: none"> • Zone de sismicité 5 (forte). <p>La présence d'une grande partie de la masse en haut de la tour rend les éoliennes particulièrement vulnérables aux séismes. Un séisme pourrait conduire à la chute du mât. Les éoliennes sont dimensionnées conformément à la réglementation française en vigueur.</p>
	Mouvement de terrain hors séisme	<p>Un mouvement de terrain pourrait être à l'origine d'une chute d'éolienne. Le risque de mouvement de terrain hors séisme doit faire l'objet d'une étude géotechnique. Son but est de garantir un bon dimensionnement des installations au vu de la géologique du site d'implantation, ceci afin d'écarter le risque de mouvement de terrain hors séisme.</p>
	Incendie de végétation	<p>Un incendie de la végétation présente dans le site et aux alentours serait susceptible de se propager aux installations.</p>

6. Réduction des potentiels de dangers

L'étude de la réduction des potentiels de dangers vise à analyser les possibilités de :

- suppression des procédés et des produits dangereux, c'est-à-dire des éléments porteurs de dangers,
- ou bien de remplacement de ceux-ci par des procédés et des produits présentant un danger moindre,
- ou encore de réduction des quantités de produits dangereux mises en œuvre sur le site.

6.1 Suppression des potentiels de dangers

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

6.2 Réduction des quantités de produits dangereux

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

- **Engrenage** : L'éolienne ne possède pas de système d'engrenage principal : le rotor est directement couplé à un générateur annulaire. La vitesse de rotation n'a pas besoin d'être échelonnée. Par conséquent, la quantité d'huile d'engrenage habituellement disponible sur les éoliennes classiques (> 200 litres) n'est pas nécessaire.
- **Transmissions d'orientation** : L'éolienne possède entre 4 et 12 transmissions d'orientation (pour contrôler l'orientation de la nacelle). Chacune de ces transmissions est remplie d'environ 7 litres d'huiles (soit moins de 100 litres au maximum). Les moteurs électriques reposent directement sur les transmissions. Les transmissions se trouvent dans le support principal qui peut recueillir toute la quantité d'huile, par ailleurs les réservoirs d'huile sont montés sous les entraînements d'orientation.
- **Système de réglage des pales** : 3 arbres de renvoi (pitch gear) permettent de régler les pales des éoliennes avec chacune un moteur pitch. Les arbres de renvoi (pitch gear) ne sont remplis que de quelques litres d'huile d'engrenage (environ 2 litres). La totalité de la nacelle et la tête de rotor est placée dans un carénage de sorte que des éventuelles pertes d'huile par défaut d'étanchéité soient recueillies celui-ci.
- **Graissage du palier à roulement** : Les profils de dents et le palier de l'éolienne sont lubrifiés à l'aide de 2,7 litres de graisses spéciales. L'excédent de graisse ou les fuites éventuelles sont contenus dans les équipements.
- **Alimentation en lubrifiant des paliers** : Les paliers à roulement et à pivotement de l'éolienne sont alimentés en permanence en graisse au moyen d'unités de graissage permanent. Il s'agit de cartouches fermées de 125 ml chacune. Leur contenu est remplacé au cours de la maintenance.
- **Huile du transformateur** : Le transformateur est situé selon la version au pied du mât ou dans un poste situé à l'extérieur du mât. Le puisard dans le sol en béton du poste est verrouillé et perméable à l'huile et peut recueillir l'ensemble de l'huile de transformation (environ 600 litres). Si le transformateur est installé dans le mât, une goulotte en acier assure la collecte de toute l'huile du transformateur. Les bacs de rétention d'huile dans les postes et les sous-sols de mâts sont étanches à l'huile.

6.3 Gestion des phases de travaux

6.3.1 Communication – sensibilisation du public

L'installation locale du bureau de chantier et des équipements annexes est organisée avant le début des travaux. L'adresse du bureau de chantier, ainsi que les noms des responsables et leurs numéros de téléphone sont communiqués aux représentants agricoles départementaux et aux maires des communes concernées.

6.3.2 Gestion du chantier

La pression d'appui des grues est répartie sur l'aire de grutage grâce à des plaques de répartition des charges. L'aire de grutage est donc dimensionnée de telle sorte que tous les travaux requis pour le montage de l'éolienne, mât inclus, puissent être exécutés de manière optimale et qu'elle supporte les pressions exercées.

Les voies d'accès et chemins sont balisés de façon visible et permanente jusqu'à la fin du chantier.

Un périmètre est également défini autour du chantier, accompagné d'un panneau avertissant des dangers liés au chantier et restreignant l'accès à la zone de travaux.

7. Analyse de l'accidentologie

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.

7.1 Inventaire des accidents et incidents en France

Un inventaire des incidents et accidents en France a été réalisé afin d'identifier les principaux phénomènes dangereux potentiels pouvant affecter le parc éolien de Linghem 2. Cet inventaire se base sur le retour d'expérience de la filière éolienne tel que présenté dans le guide technique de conduite de l'étude de dangers (mars 2012).

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

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

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

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

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

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et 2011. Cette synthèse exclut les accidents du travail (maintenance, chantier de construction, etc.) et les événements qui n'ont pas conduit à des effets sur les zones autour des aérogénérateurs. Dans ce graphique sont présentés :

- La répartition des événements effondrement, rupture de pale, chute de pale, chute d'éléments et incendie, par rapport à la totalité des accidents observés en France. Elles sont représentées par des histogrammes de couleur foncée ;

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

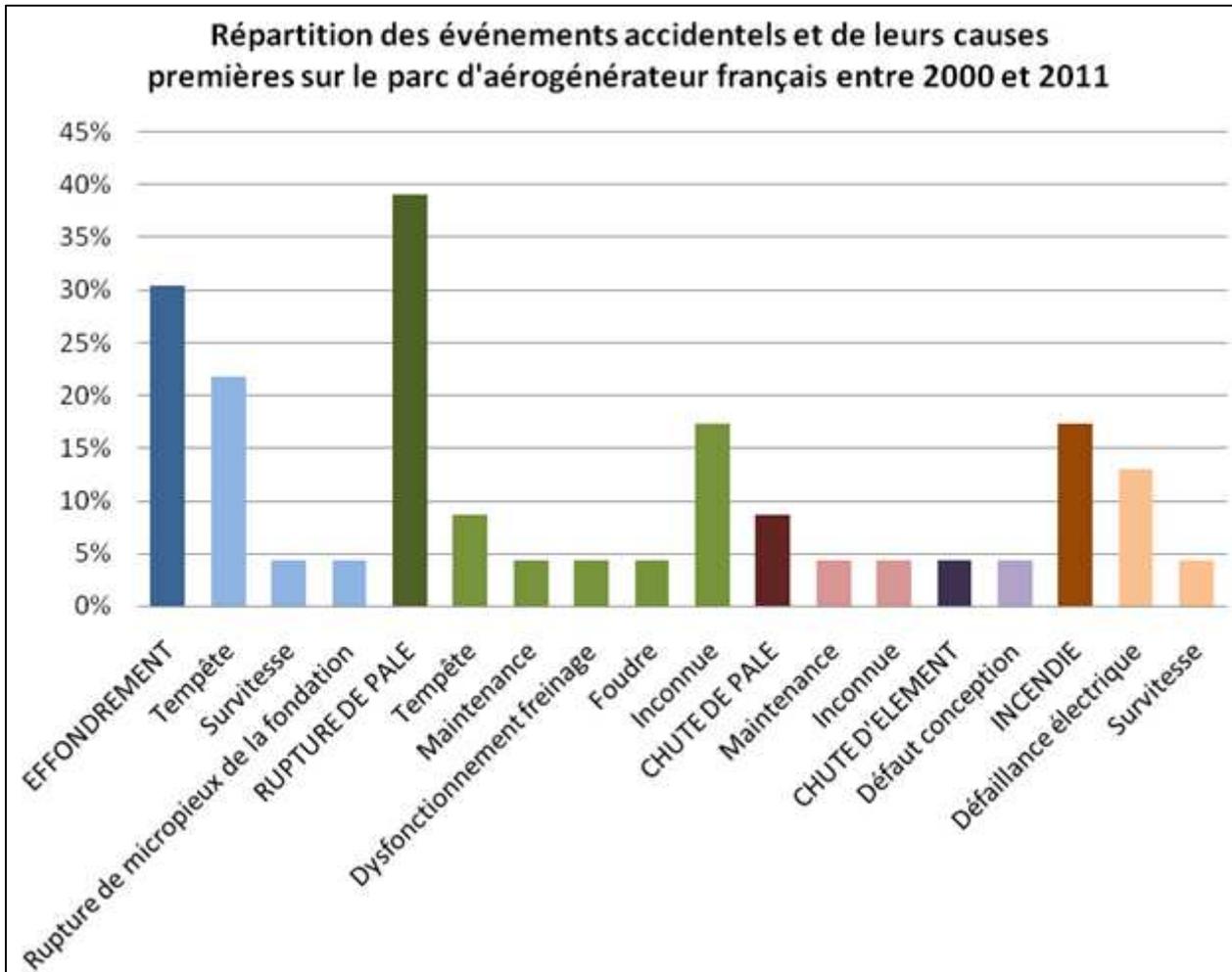


Figure 24 : Répartition des événements accidentels et leurs causes (en majuscule : événements les plus courants)

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

7.2 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 fin 2010.

La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur les 994 accidents décrits dans la base de données au moment de sa consultation par le groupe de travail précédemment mentionné, seuls 236 sont considérés comme des « accidents majeurs ». Les autres concernant plutôt des accidents du travail, des presque-accidents, des incidents, etc. et ne sont donc pas pris en compte dans l'analyse suivante.

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

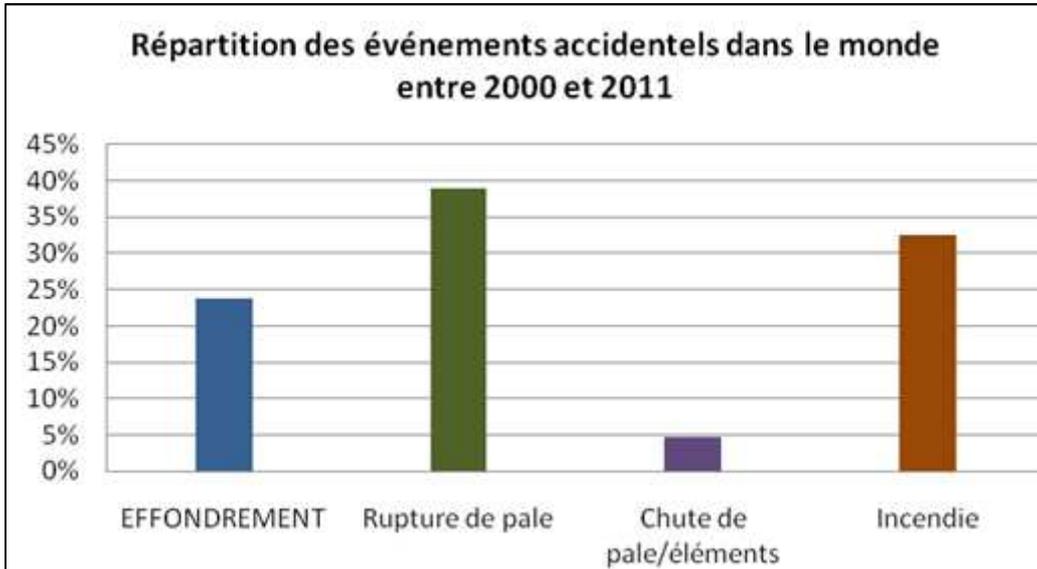


Figure 25 : Répartition des événements accidentels dans le monde

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

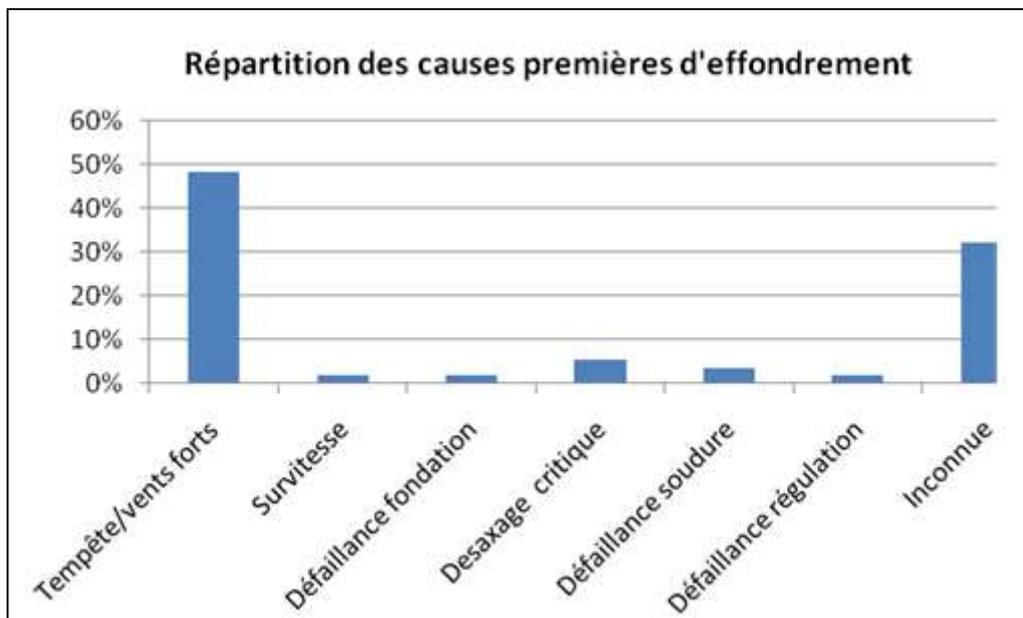


Figure 26 : Répartition des causes premières d'effondrement

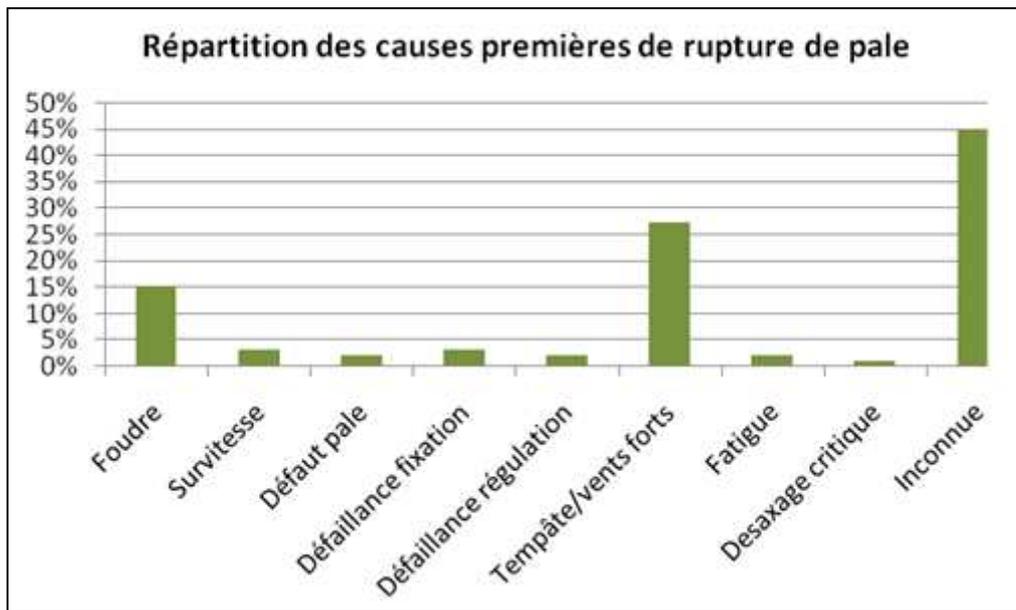


Figure 27 : Répartition des causes premières de rupture de pale

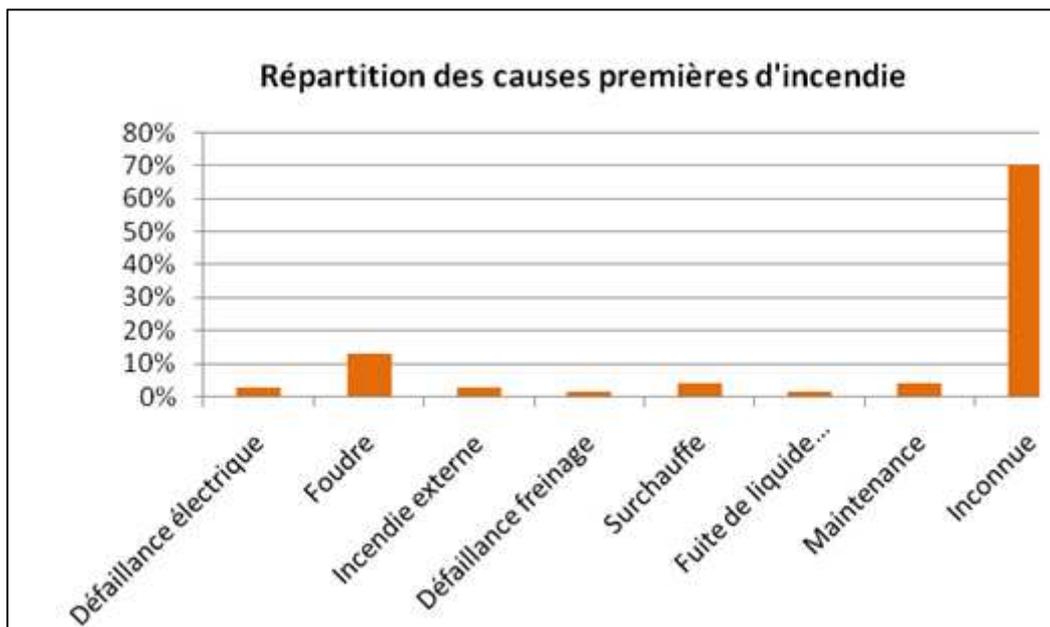


Figure 28 : Répartition des causes premières d'incendie

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

7.3 Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience

7.3.1 Analyse de l'évolution des accidents en France

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

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

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

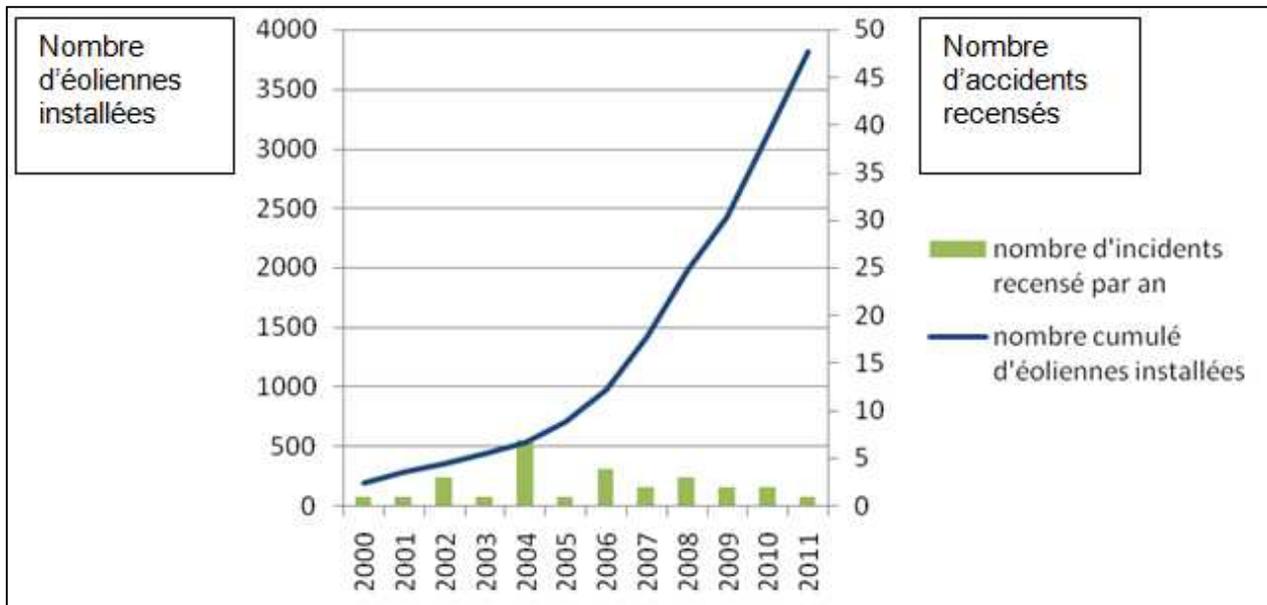


Figure 29 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées

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

7.3.2 Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

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

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

7.4 Limites d'utilisation de l'accidentologie

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

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

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

8. Analyse préliminaire des risques

8.1 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) basée sur un questionnement systématique des causes et conséquences possibles des événements accidentels, ainsi que sur le retour d'expérience disponible.

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

8.2 Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques

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

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

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

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

8.3 Recensement des agressions externes potentielles

La première étape de l'analyse des risques consiste à recenser les « agressions externes potentielles ». Ces agressions provenant d'une activité ou de l'environnement extérieur sont des événements susceptibles

d'endommager ou de détruire les aérogénérateurs de manière à initier un accident qui peut à son tour impacter des personnes. Par exemple, un séisme peut endommager les fondations d'une éolienne et conduire à son effondrement.

Traditionnellement, deux types d'agressions externes sont identifiés :

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

Les agressions externes potentielles définies pour le projet du parc éolien de Linghem 2 sont issues des éléments présentés au chapitre 3.

8.3.1 Agressions externes liées aux activités humaines

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

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

Tableau 13 : Agressions externes liées aux activités humaines

Infrastructure	Fonction	Evénement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Distance par rapport au mât des éoliennes				
					E1L	E2L	E3L	E4L	E5L
Voies de circulation *	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	100 m	130 m	50 m	20 m	50 m
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2 000 m	-	-	-	-	-
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	-	-	-	-	-
Autres aérogénérateurs	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	E2 : 390 m	E1 : 390 m E3 : 430 m	E2 : 430 m	E5 : 280 m	E4 : 280 m

* Hors chemins d'accès aux éoliennes

8.3.2 Agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

Tableau 14 : Agressions externes liées aux phénomènes naturels

Agression externe	Intensité
Vents et tempête	La vitesse maximale a été enregistrée sur la station de mesure de Lille-Lesquin en 1990 avec 38 m/s (136,8 km/h). Le site d'étude n'est pas localisé au sein d'une zone affectée par les cyclones.
Foudre	Les communes d'étude sont situées en intensité de foudroiement infime pour les communes de Blessy et d'Estrée-Blanche. Il est rappelé que les éoliennes du projet sont équipées d'un système de protection anti-foudre intégré conforme à la norme IEC 61400-24, relative à la protection contre la foudre des éoliennes.
Glissement de sols/ affaissement miniers	Le site d'étude est classé en aléa faible concernant les mouvements de terrain.

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.

8.4 Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques

8.4.1 Identification des scénarios

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, l'APR doit identifier l'ensemble des séquences accidentelles et phénomènes dangereux associés pouvant déclencher la libération du danger.

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

- une description des causes et de leur séquençage (*événements initiateurs* et *événements intermédiaires*) ;
- une description des *événements redoutés centraux* qui marquent la partie incontrôlée de la séquence d'accident ;
- une description des *fonctions de sécurité* permettant de prévenir l'événement redouté central ou de limiter les effets du phénomène dangereux ;

- une description des *phénomènes dangereux* dont les effets sur les personnes sont à l'origine d'un accident ;
- une évaluation préliminaire de la zone d'effets attendue de ces événements.

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

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

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

Tableau 15 : Scénarios de l'analyse des risques préliminaire

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
G01	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales, le mât et la nacelle	Chute de glace lorsque les éoliennes sont arrêtées	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace (N°2)	Impact de glace sur les enjeux	1
G02	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	Projection de glace lorsque les éoliennes sont en mouvement	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de la glace (N°1)	Impact de glace sur les enjeux	2
I01	Humidité / Gel	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I02	Dysfonctionnement électrique	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I03	Survitesse	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3) Prévenir la survitesse (N°4)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
I04	Désaxage de la génératrice / Pièce défectueuse / Défaut de lubrification	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I05	Conditions climatiques humides	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I06	Rongeur	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I07	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2
F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur Fuite transformateur	Ecoulement hors de la nacelle et le long du mât, puis sur le sol avec infiltration	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Ecoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
C01	Défaut de fixation	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	1
C02	Défaillance fixation anémomètre	Chute anémomètre	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
C03	Défaut fixation nacelle – pivot	Chute nacelle	Chute d'élément	Prévenir les défauts de stabilité	Impact sur cible	1

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
	central – mât		de l'éolienne	de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)		
P01	Survitesse	Contraintes trop importantes sur les pales	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Impact sur cible	2
P03	Serrage inapproprié Erreur maintenance – desserrage	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	2
E01	Effets dominos autres installations	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E02	Glissement de sol	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
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 fragments et chute mât	2
E04	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du plan de prévention (N°14)	Chute fragments et chute mât	2
E05	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts	Projection/chute fragments et chute mât	2

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
				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)		
E06	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute 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 fragments et chute mât	2

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

8.5 Description des mesures de maîtrise des risques (MMR)

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les MMR identifiées et mise en œuvre sur les éoliennes du parc éolien de Lingham 2. Dans le cadre de la présente étude de dangers, les MMR 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 MMR : 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 MMR 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.

- **MMR** : cette ligne permet d'identifier les mesures assurant la fonction concernée. Dans le cas de systèmes instrumentés de sécurité, tous les éléments de la chaîne de sécurité sont présentés (détection + traitement de l'information + action).
- **Description** : cette ligne permet de préciser la description de la MMR, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires.
- **Indépendance** : description de l'indépendance ou non des éléments permettant d'assurer la MMR.
- **Temps de réponse** (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la MMR.
- **Efficacité** (100% ou 0%) : l'efficacité mesure la capacité d'une MMR à remplir la fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation.
- **Test (fréquence)** : dans ce champ sont rappelés les tests/essais qui seront réalisés sur les MMR. 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 MMR dans le temps. Pour rappel, la réglementation demande qu'à minima : un contrôle tous les ans soit réalisé sur la performance des mesures de sécurité permettant de mettre à l'arrêt, à l'arrêt d'urgence et à l'arrêt à partir d'une situation de survitesse et sur tous les systèmes instrumentés de sécurité.

Tableau 16 : Liste des fonctions de sécurité et des mesures de maîtrise des risques associées

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
Mesures de sécurité	Système de déduction de la formation de glace.		
Description	Système de détection de la formation de givre permettant, en cas de détection de glace, une mise à l'arrêt rapide de l'aérogénérateur. Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle du site.		
Indépendance	Ces systèmes s'appuient sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. Ces données sont cependant analysées par l'automate de sécurité embarqué sur chaque éolienne, dont le rôle est dédié à la sécurité de l'installation.		
Temps de réponse	Mise à l'arrêt de la turbine < 1 min		
Efficacité	100 %		
Tests	Tests confiés par ENERCON à un bureau d'études indépendant		
Maintenance	Vérification du système (opérations de maintenance sur les systèmes de contrôle) au bout de 300 heures de fonctionnement puis maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité	2
Mesures de sécurité	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	N° de la fonction de sécurité	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.		

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
Maintenance	<p>Surveillance via la maintenance prédictive, avec détection de la déviation de température de chaque capteur (comparaison avec les données des autres éoliennes du parc).</p> <p>Remplacement de la sonde de température en cas de dysfonctionnement de l'équipement.</p> <p>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.</p>		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse du générateur		
Description	Système de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	<p>Temps de détection de l'ordre de la seconde</p> <p>Mise en pause de la turbine < 1 min</p> <p>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.</p>		
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	<p>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.</p> <p>Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.</p>		

Fonction de sécurité	Prévenir les courts-circuits	N° de la fonction de sécurité	5
Mesures de sécurité	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.		
Description	<p>Les organes et armoires électriques de l'éolienne sont équipés d'organes de coupures et de protection adéquats et correctement dimensionnés.</p> <p>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.</p> <p>Les systèmes électriques sont équipés de disjoncteurs à tous les niveaux.</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	De l'ordre de la seconde		
Efficacité	100 %		
Tests	NA		
Maintenance	<p>Des vérifications de tous les composants électriques ainsi que les mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrées dans la plupart des mesures de maintenance préventive mises en œuvre.</p> <p>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.</p>		

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur		
Description	<p>Système de protection contre la foudre conçu pour prévenir toute dégradation des pales de l'éolienne conformément à la norme internationale IEC 61400-24.</p> <p>Pour la protection parafoudre extérieure, la pointe de la pale est en aluminium moulé, le bord d'attaque et le bord de fuite de la pale du rotor sont équipés de profilés aluminium à la base de la pale. Un coup de foudre est absorbé en toute sécurité par ces profilés et le courant de foudre est dévié vers la terre entourant la base de l'éolienne.</p> <p>Pour la protection interne de la machine, les composants principaux tels l'armoire de contrôle et la génératrice sont protégés par des parasurtenseurs. Toutes les autres platines possédant leur propre alimentation sont équipées de filtres à hautes absorptions. Aussi, la partie télécom est protégée par des parasurtenseurs de ligne et une protection galvanique. Enfin, une liaison de communication télécom en fibre optique entre les machines permet une insensibilité à ces surtensions atmosphériques ou du réseau.</p> <p>De même, l'anémomètre est protégé et entouré d'un arceau.</p>		

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat, dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	NA		
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011.		

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	Capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne pouvant permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de la machine Système de détection incendie relié au système SCADA qui émet une alarme au centre de contrôle ENERCON et prévient le parc éolien de Lingham 2 par SMS. 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 ENERCON ainsi qu'à la société éolienne de Lingham 2 par SMS, qui se charge de contacter les services d'urgence compétents. 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	NA		
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	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	Quantité très faible d'huile mise en œuvre (pas de boîte de vitesses) Rétentions pouvant contenir 100% des fuites.		
Description	De nombreux détecteurs de niveau de lubrifiant permettant de détecter les éventuelles fuites et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. Les opérations de remplacement des bacs de graisse vides font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée et encadrée par les procédures de maintenance. La propreté des rétentions est vérifiée lors de chaque inspection de la nacelle.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Instantanée		
Efficacité	100%		
Tests	NA		
Maintenance	Inspection des niveaux d'huile et de l'état des rétentions plusieurs fois par an		

Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	N° de la fonction de sécurité	9
Mesures de sécurité	Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblage (ex : brides, joints, etc.) Procédures et contrôle qualité 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 moyeu, les fondations et la tour répondent aux standards IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400 -1 ; 12 ; 23. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100%		
Tests	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	N° de la fonction de sécurité	9
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 Yaw Gear (moteurs d'orientation de la nacelle), boulons de fixation de la nacelle...) sont vérifiés au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011.		

Fonction de sécurité	Prévenir les erreurs de maintenance	N° de la fonction de sécurité	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	Opérations de maintenance divisées en quatre types : <ul style="list-style-type: none"> • Inspection visuelle : Une fois par an • Graissage d'entretien : Une fois par an • Maintenance électrique : Une fois par an • Maintenance mécanique : Une fois par an Chaque opération de maintenance dispose de procédures spécifiques.		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pâles) par le système de conduite		
Description	Procédure « site vérification » : une étude de vent est menée sur un an afin de vérifier l'adéquation effective des machines. En cas de doute sur l'adéquation des aérogénérateurs, le site est modélisé et une étude de charge est effectuée.		

Fonction de sécurité	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	N° de la fonction de sécurité	11
	L'éolienne est mise à l'arrêt progressivement si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale pour laquelle elle a été conçue		
Indépendance	Procédure « site vérification » : une étude de vent est menée sur un an afin de vérifier l'adéquation effective des machines. En cas de doute sur l'adéquation des aérogénérateurs, le site est modélisé et une étude de charge est effectuée. L'éolienne est mise à l'arrêt progressivement si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale pour laquelle elle a été conçue.		
Temps de réponse	< 1 min		
Efficacité	100 %. NB : En fonction de l'intensité attendue des vents, d'autres dispositifs de diminution de la prise au vent de l'éolienne peuvent être envisagés. Si le site est trop turbulent ou les machines trop rapprochées entre elle il est possible de mettre en place des arrêts sectoriels pour limiter l'impact de la turbulence sur les machines.		
Tests	Procédure de « Site Vérification » (contrôle de l'adéquation par rapport à des mesures de fonctionnement)		
Maintenance	Les paramètres d'entrée en cas d'arrêt sectoriel sont régulièrement mis à jour et contrôlés lors des modifications d'hardware ou de software. Sinon aucune autre maintenance spécifique n'est identifiée notamment sur le « storm control » un module intrinsèque à la machine. Ce système est directement lié aux courbes opérationnelles des machines. En cas de défaut sur cette courbe la machine se met à l'arrêt.		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	12
Mesures de sécurité	Mise en sécurité (arrêt) de l'éolienne en cas de dysfonctionnement des systèmes.		
Description	Les courbes de puissance de l'éolienne sont analysées et évaluées par rapport à des valeurs de référence. En cas d'anomalie, l'éolienne est arrêtée. Les signaux des différents capteurs sont traités par microprocesseur au sein des armoires de commande situées dans la nacelle. Dès qu'une erreur est relevée sur le système de communication lié à ce microprocesseur, la machine s'arrête. La défaillance d'un élément de sécurité entraîne donc la mise à l'arrêt de l'éolienne (freinage aérodynamique de l'éolienne). Il suffit qu'une seule pale soit mise en drapeau pour freiner l'éolienne.		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	12
	Le système SCADA de l'éolienne envoie un message dès la détection de l'anomalie. De plus, les 3 systèmes de régulation des angles des pales sont indépendants.		
Indépendance	Ces systèmes s'appuient sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. Ces données sont cependant analysées par l'automate de sécurité embarqué sur chaque éolienne, dont le rôle est dédié à la sécurité de l'installation.		
Temps de réponse	Quelques secondes (< 2 min)		
Efficacité	100%		
Tests	NA		
Maintenance	Contrôle et entretien des équipements		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de cyclones dans les zones cycloniques	N° de la fonction de sécurité	13
Mesures de sécurité	Mise en place d'une procédure de sécurité / rédaction d'un plan de prévention / Plan particulier de sécurité et de protection de la santé (PPSPS) Mise en place d'une restriction d'accès au chantier		
Description	-		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	-		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	Détecter des vibrations anormales de l'éolienne et stopper l'éolienne	N° de la fonction de sécurité	14
Mesures de sécurité	Capteurs de vibrations entraînant un arrêt de l'éolienne		
Description	Le capteur de vibration, en cas de détection, entraîne une mise en position drapeau des pales, ce qui se traduit par un arrêt de la rotation du rotor de l'éolienne (freinage)		

Fonction de sécurité	Détecter des vibrations anormales de l'éolienne et stopper l'éolienne	N° de la fonction de sécurité	14
	aérodynamique de l'éolienne). Il suffit qu'une seule pale soit mise en drapeau pour freiner l'éolienne.		
Indépendance	Le capteur de vibration est un capteur dédié à la sécurité. Le signal du capteur est traité par l'automate de sécurité embarqué sur chaque éolienne, dont le rôle est dédié à la sécurité de l'installation. De plus, les 3 systèmes de régulation des angles des pales sont indépendants.		
Temps de réponse	Quelques secondes (< 2 min)		
Efficacité	100 %		
Tests	Vérification en marche de la détection de vibration (opération annuelle).		
Maintenance	NA		

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.

8.6 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, quatre catégories de scénarios sont a priori exclues de l'étude détaillée, en raison de leur faible intensité :

Tableau 17 : Scénarios exclus de l'analyse des risques détaillés

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] et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200)</p>
Chute et projection de glace dans les cas particuliers où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C	<p>Lorsqu'un aérogénérateur est implanté sur un site où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C, il peut être considéré que le risque de chute ou de projection de glace est nul.</p> <p>Des éléments de preuves doivent être apportés pour identifier les implantations où de telles conditions climatiques sont applicables.</p>
Infiltration d'huile dans le sol	<p>En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs.</p> <p>Ce scénario peut ne pas être détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques sauf en cas d'implantation dans un périmètre de protection rapprochée d'une nappe phréatique.</p>

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

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

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

9. Etude détaillée des risques

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

Ce chapitre présente les principes de l'étude détaillée et la démarche générale à suivre pour des aérogénérateurs. Il s'agit d'une approche pas à pas qui permet successivement de rassembler les données nécessaires à l'étude détaillée des risques puis d'estimer les risques sur la base des éléments génériques fournis dans le présent guide.

9.1 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 toxiques, de surpression ou de rayonnement thermique.

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

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

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

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

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

9.1.1 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, 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.

9.1.2 Intensité

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

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

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

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

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

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

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

Tableau 18 : Degré d'exposition

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

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

9.1.3 Gravité

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

Tableau 19 : seuils de gravité

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

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. Cette méthode est dérivée de 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.

9.1.4 Probabilité

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

Tableau 20 : Probabilités

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

9.2 Effondrement de l'éolienne

9.2.1 Description de l'évènement redouté

L'évènement redouté est un effondrement de l'éolienne. Comme précédemment décrit, 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, ...

Les notations utilisées dans ce scénario sont les suivantes :

- R est la longueur de pale (R= 48,6 m) ;
- H la hauteur du mât (H= 99 m) ;
- L la largeur du mât (L= 6,8 m) ;
- LB est la largeur maximale d'une pale (largeur à la base) (LB= 5 m).

9.2.2 Probabilité

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

Tableau 21 : Probabilité du scénario d'effondrement d'éolienne

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

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

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C ». En effet, il a été recensé seulement 7 événements pour 15 667 années d'expérience⁵, 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 : « *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 » serait 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'assemblages ;
- système de détection des survitesses et un système redondant de freinage ;
- système de détection des vents forts et un système redondant de freinage et de mise en sécurité des installations – un système adapté est installé en cas de risque cyclonique.

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

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

Il est considéré que la classe de probabilité des scénarios liés à un effondrement d'éolienne est « de classe D », à savoir : « S'est produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité ».

9.2.3 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 (H+R), soit 147,6 m dans le cas des éoliennes du parc de Linghem 2.

⁵ 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 un total de 12 années d'expérience.

Cette méthodologie est issue de celles utilisées dans les études de la bibliographie de référence du guide de l'association FEE. 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.

$$\text{Zone d'effet : } ZE = \pi \times (H+R)^2 = 68\,442 \text{ m}^2$$

9.2.4 Zone d'impact

La zone d'impact de l'effondrement d'une éolienne correspond à la surface totale balayée par le rotor et la surface du mât non balayée par le rotor.

$$\text{Zone d'impact : } ZI = (H) \times L + 3 \times R \times LB/2 = 1\,037,7 \text{ m}^2$$

9.2.5 Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Linghem. R est la longueur de pale (R= 48,6 m), H la hauteur du mât (H= 99 m) et L la largeur du mât (L= 6,8 m).

Tableau 22 : Intensité pour le phénomène d'effondrement de l'éolienne

Effondrement de l'éolienne				
(Dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)				
	<i>Zone d'impact en m²</i> <i>H x L + 3*R*LB/2</i>	<i>Zone d'effet du phénomène étudié en m²</i> <i>π x (H+D/2)²</i>	<i>Degré d'exposition du phénomène étudié en %</i>	<i>Intensité</i>
E101 – 3,05 MW	1 037,7	68 442	1,5 %	Exposition forte

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

9.2.6 Gravité

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 d'effondrement, dans le rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne :

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

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

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

Tableau 23 : Gravité pour le phénomène d'effondrement de l'éolienne

Effondrement de l'éolienne (Dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)						
Eolienne	Nombre de personnes exposées (N)				Nombre total de personnes exposées	Niveau de gravité
	Terrains non aménagés et très peu fréquentés (1 personne/100 ha)		Terrains aménagés mais peu fréquentés : chemins agricoles et voies non structurantes (1 personne/10 ha)			
	m ²	N	m ²	N		
E1	67 442	0,067	1 000	0,01	0,077	Sérieux
E2	67 592	0,067	850	0,0085	0,075	Sérieux
E3	65 667	0,065	2 775	0,027	0,087	Sérieux
E4	66 942	0,066	1 500	0,015	0,081	Sérieux
E5	66 942	0,066	1 500	0,015	0,081	Sérieux

9.2.7 Niveau de risque

Pour conclure sur l'acceptabilité du risque d'effondrement d'une éolienne, les scénarios relatifs aux différentes éoliennes du parc sont placés dans la matrice de criticité ci-dessous.

Tableau 24 : Niveau de risque

Effondrement de l'éolienne (Dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)		
<i>Eolienne</i>	<i>Niveau de gravité</i>	<i>Niveau de risque</i>
E1	Sérieux	Acceptable
E2	Sérieux	Acceptable
E3	Sérieux	Acceptable
E4	Sérieux	Acceptable
E5	Sérieux	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien Linghem 2, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

9.3 Scénarios redoutés

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

9.3.1.1 Scénario G01

En cas de formation de glace, les systèmes intégrés de prévention 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 ou systèmes permettront de détecter ou de prévenir 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.

9.3.1.2 Scénario G02

La projection de glace depuis une éolienne en mouvement interviendra lors d'éventuels redémarrages 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.

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

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

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

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'emballage 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.

9.3.3 Scénarios relatifs aux risques de fuite de liquides (F01 à F02)

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

9.3.3.1 Scénario F01

En cas de rupture de flexible ou de perçage d'un contenant, il peut y avoir une fuite de lubrifiant 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 lors des opérations de maintenance ;
- Détection des fuites potentielles par les opérateurs lors des maintenances ;
- Procédure de gestion des situations d'urgence ;

Deux événements peuvent être aggravants :

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

9.3.3.2 Scénario F02

Lors d'une maintenance, les opérateurs peuvent accidentellement renverser 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

L'emballement de l'éolienne constitue un facteur aggravant en cas de projection de tout ou partie d'une pale.

9.3.5.1 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.

9.3.5.2 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

9.3.5.3 Scénario 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.

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

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

- Erreur de dimensionnement de la fondation : contrôle qualité, respect des spécifications techniques du constructeur de l'éolienne, étude de sol, contrôle technique de construction ;
- Non-respect des instructions de montage et/ou de maintenance : formation du personnel intervenant ;
- Causes externes dues à l'environnement : séisme, ...

9.4 Chute de glace

9.4.1 Description de l'évènement redouté

L'évènement redouté est une chute de glace des aérogénérateurs.

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 (réf. [15]), une grande partie du territoire français (hors zones de montagne) est concernée 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 une 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

Comme précédemment décrit, en cas de formation de glace, les systèmes intégrés de prévention 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 ou systèmes permettront de détecter ou de prévenir 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.

Les notations utilisées dans ce scénario sont les suivantes :

- R est la longueur de pale (R= 48,6 m) ;
- LB est la largeur maximale d'une pale (largeur à la base) (LB= 5 m).

9.4.2 Probabilité

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

*Une étude spécifique par rapport aux conditions du site d'implantation du projet pourra permettre de justifier une **probabilité de classe B** en cas de présence d'un système de chauffage des pales sur les aérogénérateurs.*

9.4.3 Zone d'effet

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne. Pour le parc éolien de Linghem 2, la zone d'effet à donc un rayon de 48,6 mètres. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

$$\text{Zone d'effet} : Z_E = \pi \times R^2 = 7\,420,3 \text{ m}^2$$

9.4.4 Zone d'impact

La zone d'impact considérée correspond à la surface d'un morceau de glace, prise selon une hypothèse conservatrice égale à 1m².

$$\text{Zone d'impact} : Z_I = 1 \text{ m}^2$$

9.4.5 Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace dans le cas du parc éolien de Linghem 2.

Tableau 25 : Intensité du phénomène de chute de glace

Chute de glace (Dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)				
	Zone d'impact en m ² $Z_I = SG$	Zone d'effet du phénomène étudié en m ² $Z_E = \pi \times r^2$	Degré d'exposition du phénomène étudié en % $d = Z_I / Z_E$	Intensité
E101 – 3,05 MW	1	7 420,3	0,01 %	Exposition modérée

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

9.4.6 Gravité

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

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

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

Tableau 26 : Gravité du phénomène de chute de glace

Chute de glace (Dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)						
Eolienne	Nombre de personnes exposées (N)				Nombre total de personnes exposées	Niveau de gravité
	Terrains non aménagés et très peu fréquentés (1 personne/100 ha) – Personnes non abritées		Terrains aménagés mais peu fréquentés : chemins agricoles et voies non structurantes (1 personne/10 ha)			
	m ²	N	m ²	N		
E1	7 420,3	0,07	0	0	0,07	Modéré
E2	7 420,3	0,07	0	0	0,07	Modéré
E3	7 420,3	0,07	0	0	0,07	Modéré
E4	6 870,3	0,068	550	0,055	0,123	Modéré
E5	7 120,3	0,07	300	0,03	0,1	Modéré

9.4.7 Niveau de risque

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien de Linghem 2, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable).

Tableau 27 : Acceptabilité du phénomène de chute de glace

Chute de glace (Dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	Niveau de gravité	Niveau de risque
E1	Modéré	Acceptable
E2	Modéré	Acceptable
E3	Modéré	Acceptable
E4	Modéré	Acceptable
E5	Modéré	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien de Linghem 2, 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.

9.5 Chute d'éléments de l'éolienne

9.5.1 Description de l'évènement redouté

L'évènement redouté est une chute d'un élément d'assemblage des aérogénérateurs. Comme précédemment décrit, ces événements sont déclenchés 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.

Les notations utilisées dans ce scénario sont les suivantes :

- R est la longueur de pale (R= 48,6 m) ;
- LB est la largeur maximale d'une pale (largeur à la base) (LB = 5 m).

9.5.2 Probabilité

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

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

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

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

9.5.3 Zone d'effet

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

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

$$\text{Zone d'effet : } Z_E = \pi \times R^2 = 7\,420,3 \text{ m}^2$$

9.5.4 Zone d'impact

La zone d'impact considérée correspond à la surface d'un élément (cas majorant d'une pale entière).

$$\text{Zone d'impact : } Z_I = R \times LB / 2 = 121,5 \text{ m}^2$$

9.5.5 Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Linghem 2.

Remarque : Les calculs sont effectués en considérant que la pale est triangulaire avec une base de largeur LB, qui correspond à la largeur maximale de la pale. La zone d'impact et donc le degré d'exposition calculés sont donc supérieurs à la réalité.

Tableau 28 : Intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne

Chute d'éléments de l'éolienne (Dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)				
	Zone d'impact en m^2 $Z_I = R * LB / 2$	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2 $Z_E = \pi * D^2 / 4$	Degré d'exposition du phénomène étudié en % $d = Z_I / Z_E$	Intensité
E101 – 3,05 MW	121,5	7 420,3	1,63 %	Exposition forte

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

9.5.6 Gravité

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

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

Tableau 29 : Gravité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne

Chute d'éléments de l'éolienne (Dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)						
Eolienne	Nombre de personnes exposées (N)				Nombre total de personnes exposées	Niveau de gravité
	Terrains non aménagés et très peu fréquentés (1 personne/100 ha) – Personnes non abritées		Terrains aménagés mais peu fréquentés : chemins agricoles et voies non structurantes (1 personne/10 ha)			
	m ²	N	m ²	N		
E1	7 420,3	0,07	0	0	0,07	Sérieux
E2	7 420,3	0,07	0	0	0,07	Sérieux
E3	7 420,3	0,07	0	0	0,07	Sérieux
E4	6 870,3	0,068	550	0,055	0,123	Sérieux
E5	7 120,3	0,07	300	0,03	0,1	Sérieux

9.5.7 Niveau de risque

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc de Linghem 2, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Tableau 30 : Acceptabilité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Sérieux	Acceptable
E2	Sérieux	Acceptable
E3	Sérieux	Acceptable
E4	Sérieux	Acceptable
E5	Sérieux	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien de Linghem 2, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

9.6 Projection de fragments de pales

9.6.1 Description de l'évènement redouté

L'évènement redouté est une projection de pale ou de fragments de pale.

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.

Les notations utilisées dans ce scénario sont les suivantes :

- R est la longueur de pale (R= 48,6 m) ;
- H la hauteur du mât (H= 101 m) ;
- LB est la largeur maximale d'une pale (largeur à la base) (LB= 5 m).

9.6.2 Probabilité

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

Tableau 31 : Probabilité du phénomène de projection de pale

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

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

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

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

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

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* ».

9.6.3 Zone d'effet

Dans l'accidentologie française, la distance maximale relevée et vérifiée par le groupe de travail de l'association FEE 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.

Pour autant, des études de risques déjà réalisées dans le monde ont utilisé une distance de 500 mètres.

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.

$$\text{Zone d'effet : } ZE = \pi \times 500^2 = 785\,400 \text{ m}^2$$

9.6.4 Zone d'impact

La zone d'impact considérée correspond la surface d'un élément (cas majorant d'une pale entière).

$$\text{Zone d'impact : } ZI = R \cdot LB/2 = 121,5 \text{ m}^2$$

9.6.5 Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Lingham 2.

Remarque : Ce cas est majorant, la projection peut concerner uniquement des fragments et non la pale entière.

Tableau 32 : Intensité du phénomène de projection de pale

Projection de pale ou de fragment de pale (Zone de r=500 m autour de chaque éolienne)				
	Zone d'impact en m ² $Z_I=R*LB/2$	Zone d'effet du phénomène étudié en m ² $Z_E=\pi \times r^2$	Degré d'exposition du phénomène étudié en % $d=Z_I/Z_E$	Intensité
E10 – 30,5 MW	121,5	785 400	0,015 %	Exposition modérée

9.6.6 Gravité

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

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

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

Tableau 33 : Gravité du phénomène de projection de pale

Projection de pale ou de fragment de pale (Zone de 500 m autour de chaque éolienne)										
Eolienne	Nombre de personnes exposées (N)									Niveau de gravité
	Terrains non aménagés et très peu fréquentés (1 personne/100 ha)		Terrains aménagés mais peu fréquentés : chemins agricoles et voies non structurantes (1 personne/10 ha)		Sentiers de randonnées (2 personnes / km)		Autoroute (0,4 personne / km) Fréquentation : 25 700 voitures / j		Nombre total de personnes exposées	
	m ²	N	m ²	N	km	N	km	N		
E1	733 365	0,73	12 035	0,12	0	0	0,8	82,24	83,09	Important
E2	739 275	0,73	12 125	0,12	0	0	0,68	69,9	70,75	Important
E3	755 700	0,75	12 700	0,12	0	0	0,34	34,9	35,77	Important

E4	770 525	0,77	14 875	0,14	0	0	0	0	0,91	Modéré
E5	769 515	0,77	15 605	0,15	0,28	0,56	0	0	1,61	Sérieux

9.6.7 Niveau de risque

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc de Linghem 2, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Tableau 34 : Acceptabilité du phénomène de projection de pale

Projection de pale ou de fragment de pale (Zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
<i>Eolienne</i>	<i>Niveau de gravité</i>	<i>Niveau de risque</i>
E1	Important	Acceptable
E2	Important	Acceptable
E3	Important	Acceptable
E4	Modéré	Acceptable
E5	Sérieux	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien de Linghem 2, le phénomène de projection de tout ou partie de pale des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

9.7 Projection de glace

9.7.1 Description de l'évènement redouté

L'évènement redouté est une projection d'un fragment ou bloc glace depuis un aérogénérateur.

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.

Les notations utilisées dans ce scénario sont les suivantes :

- R est la longueur de pale ($R = 48,6$ m) ;
- H la hauteur du mât ($H = 101$ m) ;
- LB est la largeur maximale d'une pale (largeur à la base) ($LB = 5$ m).

9.7.2 Probabilité

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

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

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

9.7.3 Zone d'effet

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

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

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

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

$$\text{Zone d'effet} : Z_E = \pi \times R_{PG}^2 = \pi \times (1,5 \times (H + 2 \times R))^2 = 272\ 101 \text{ m}^2$$

Cette distance de projection est jugée conservatrice dans les études ayant servi de base de travail pour le guide de l'association FEE. 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.

9.7.4 Zone d'impact

La zone d'impact considérée correspond la surface d'un morceau de glace, prise selon une hypothèse conservatrice égale à 1m².

$$\text{Zone d'impact} : Z_I = 1 \text{ m}^2$$

9.7.5 Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du parc éolien de Linghem 2.

Tableau 35 : Intensité du phénomène de projection de morceaux de glace

Projection de morceaux de glace (Dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+D)$ autour de l'éolienne)				
	Zone d'effet du phénomène étudié en m ² $Z_E = \pi \times R_{PG}^2$	Zone d'impact en m ² $Z_I = SG$	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
E92 – 2,35 MW	272 101	1	0,00037 %	Exposition modérée

9.7.6 Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions, 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 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 :

Tableau 36 : Gravité du phénomène de projection de morceaux de glace

Projection de morceaux de glace (Dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H + 2R)$ autour de l'éolienne)			
Eolienne	Nombre de personnes exposées (N)		Niveau de gravité
	Terrains non aménagés et très peu fréquentés (1 personne/100 ha) – Personnes non abritées		
	m ²	N	
E1	272 101	0,27	Modéré
E2	272 101	0,27	Modéré
E3	272 101	0,27	Modéré
E4	272 101	0,27	Modéré
E5	272 101	0,27	Modéré

Remarque : Les voies à faible circulation ne sont pas considérées ici. En effet, il a été observé dans la littérature disponible 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 véhicule est donc négligeable et ces personnes ne sont pas conséquent pas comptabilisées.

9.7.7 Niveau de risque

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien de Linghem 2, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Tableau 37 : Acceptabilité du phénomène de projection de morceaux de glace

Projection de morceaux de glace (Dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)		
<i>Eolienne</i>	<i>Niveau de gravité</i>	<i>Niveau de risque</i>
E1	Modéré	Acceptable
E2	Modéré	Acceptable
E3	Modéré	Acceptable
E4	Modéré	Acceptable
E5	Modéré	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien de Linghem 2, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes.

9.8 Synthèse de l'étude détaillée des risques

9.8.1 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.

Tableau 38 : Synthèse des scénarios étudiés

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Chute d'éléments de l'éolienne	Zone de survol	Rapide	Exposition Forte	C	Sérieux pour toutes les éoliennes
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale	Rapide	Exposition Forte	D	Sérieux pour toutes les éoliennes
Chute de glace (sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C)	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	A	Modéré pour toutes les éoliennes
Projection de fragments de pales	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D	Important pour E1, E2 et E3 Sérieux pour E5 Modéré pour E4
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	Modéré pour toutes les éoliennes

9.8.2 Synthèse de l'acceptabilité des risques

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

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

Tableau 39 : Acceptabilité des risques

GRAVITÉ des Conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important		Projection de fragments de pales (E1, E2 et E3)			
Sérieux		Effondrement de l'éolienne Projection de fragments de pales (E5)	Chute d'éléments de l'éolienne		
Modéré		Projection de fragments de pales (E4)		Projection de glace	Chute de glace

Légende de la matrice

Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible		Acceptable
Risque faible		Acceptable sous réserve que toutes les mesures possibles du point de vue technico-économiques aient été prises
Risque important		Non acceptable

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice ;
- trois accidents figurent en case jaune (chute de glace, chute d'éléments de l'éolienne, projection de fragments de pales pour E1, E2 et E3). Pour ces accidents, il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans le présent document seront mises en place.

L'ensemble des accidents retenus présentent un risque acceptable, c'est-à-dire qu'ils ne nécessitent pas de mesures supplémentaires de réduction des risques autres que celles déjà prises.

9.8.3 Cartographie des risques

Les cartes de synthèse des risques disponibles en pages suivantes font apparaître pour chaque éolienne :

- Les enjeux étudiés dans l'étude détaillée des risques ;
- Les zones d'effets de chacun des risques identifiés.

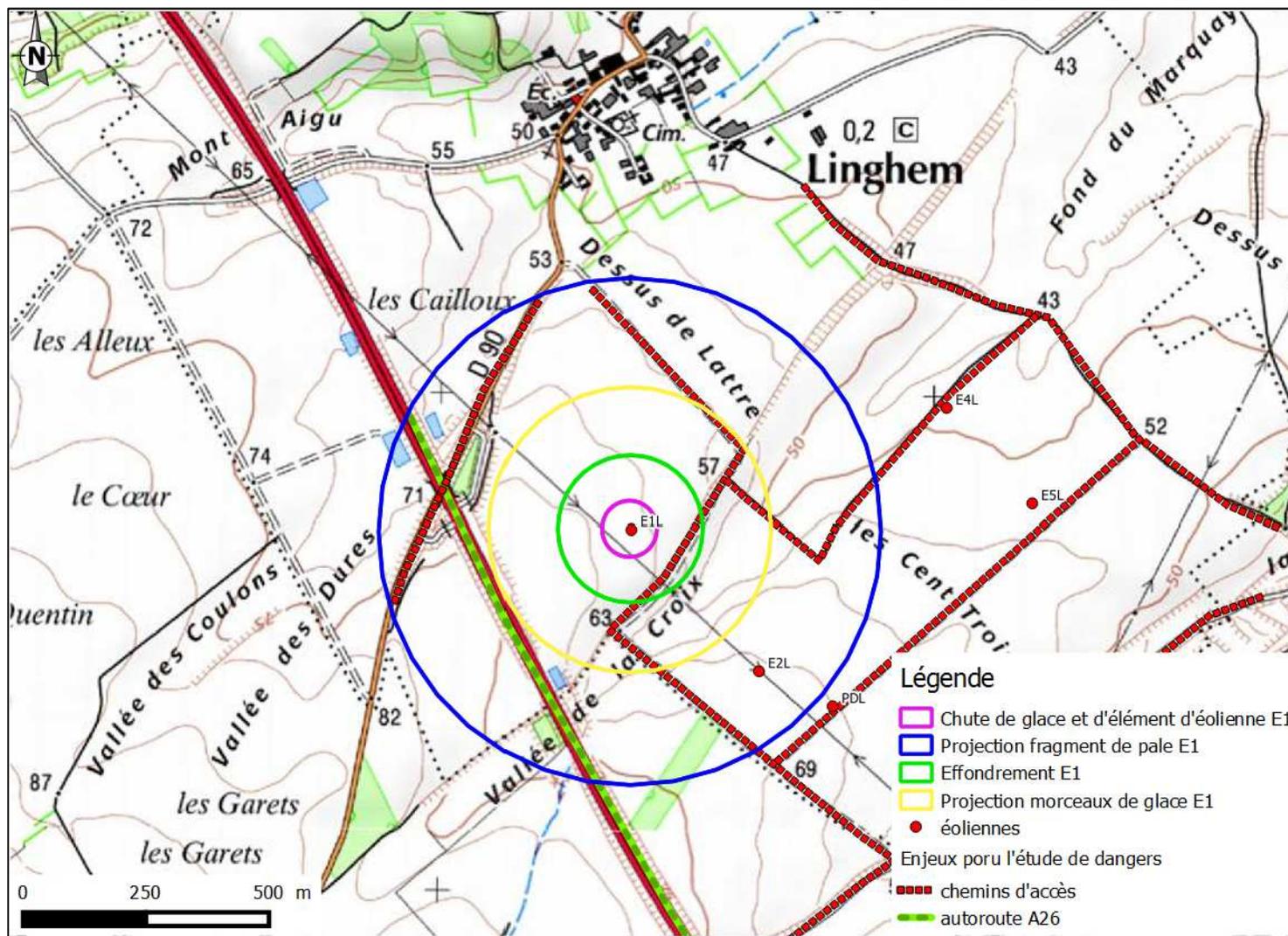


Figure 30 : Synthèse des zones d'effets – éolienne E1

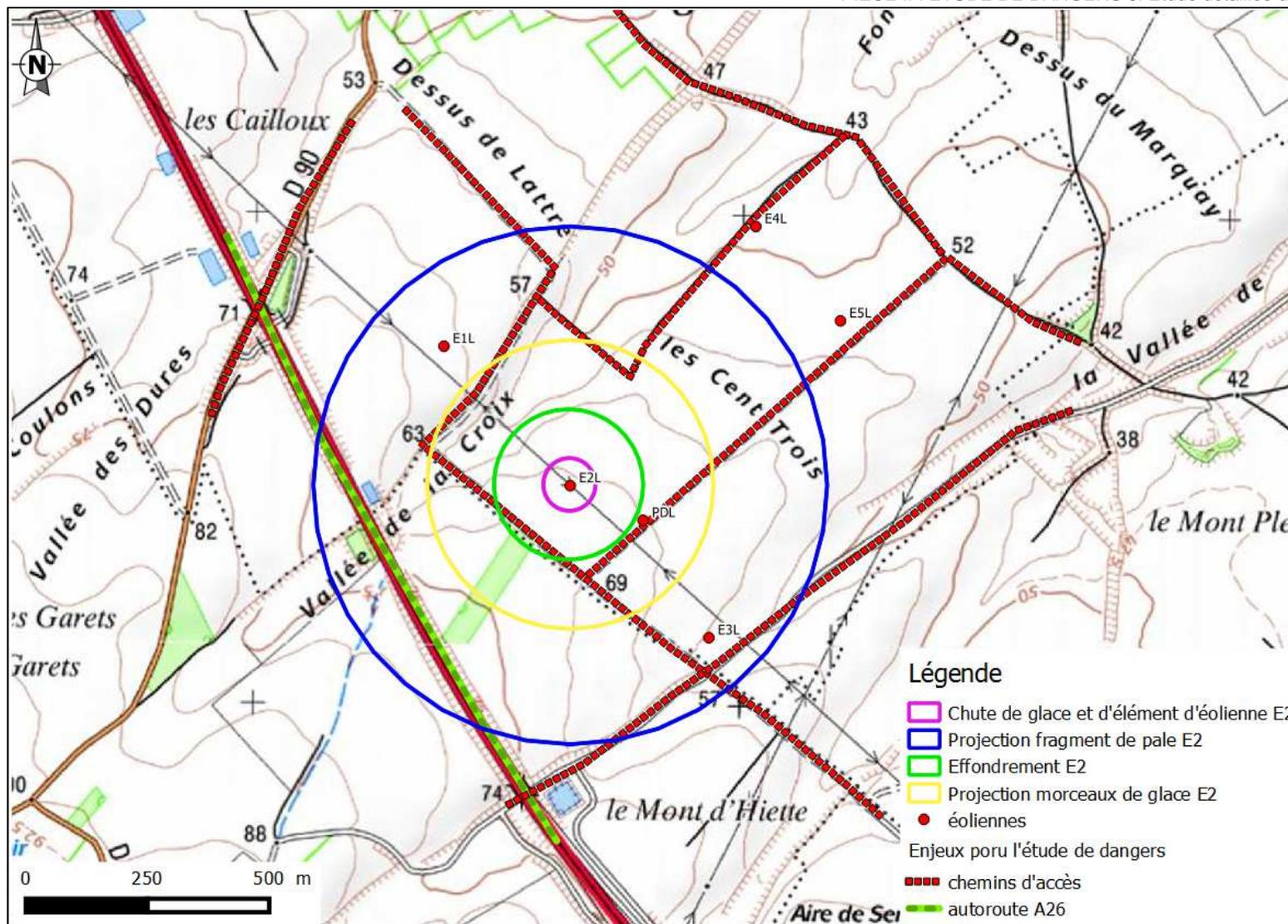


Figure 31 : Synthèse des zones d'effets – éolienne E2

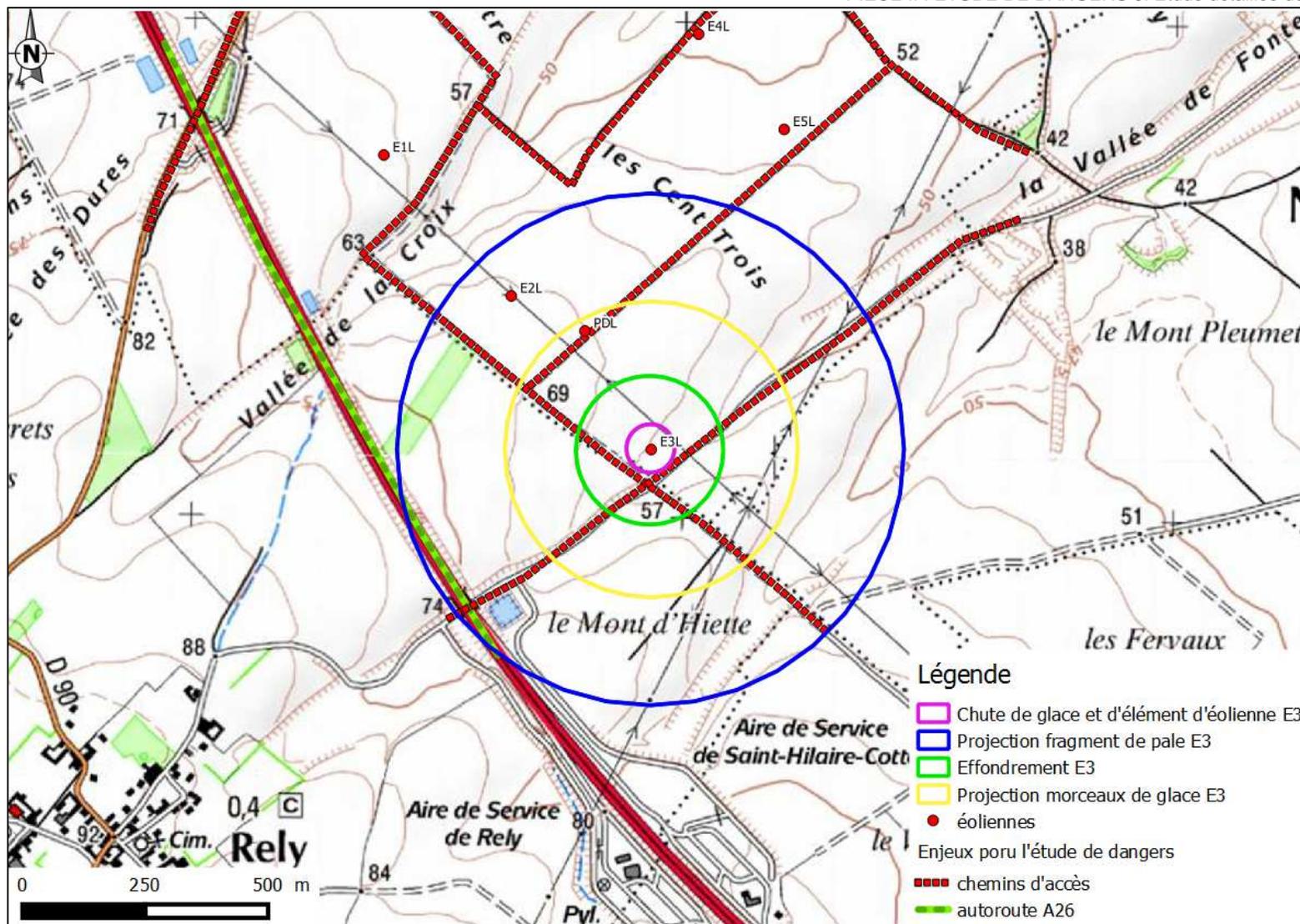


Figure 32 : Synthèse des zones d'effets – éolienne E3

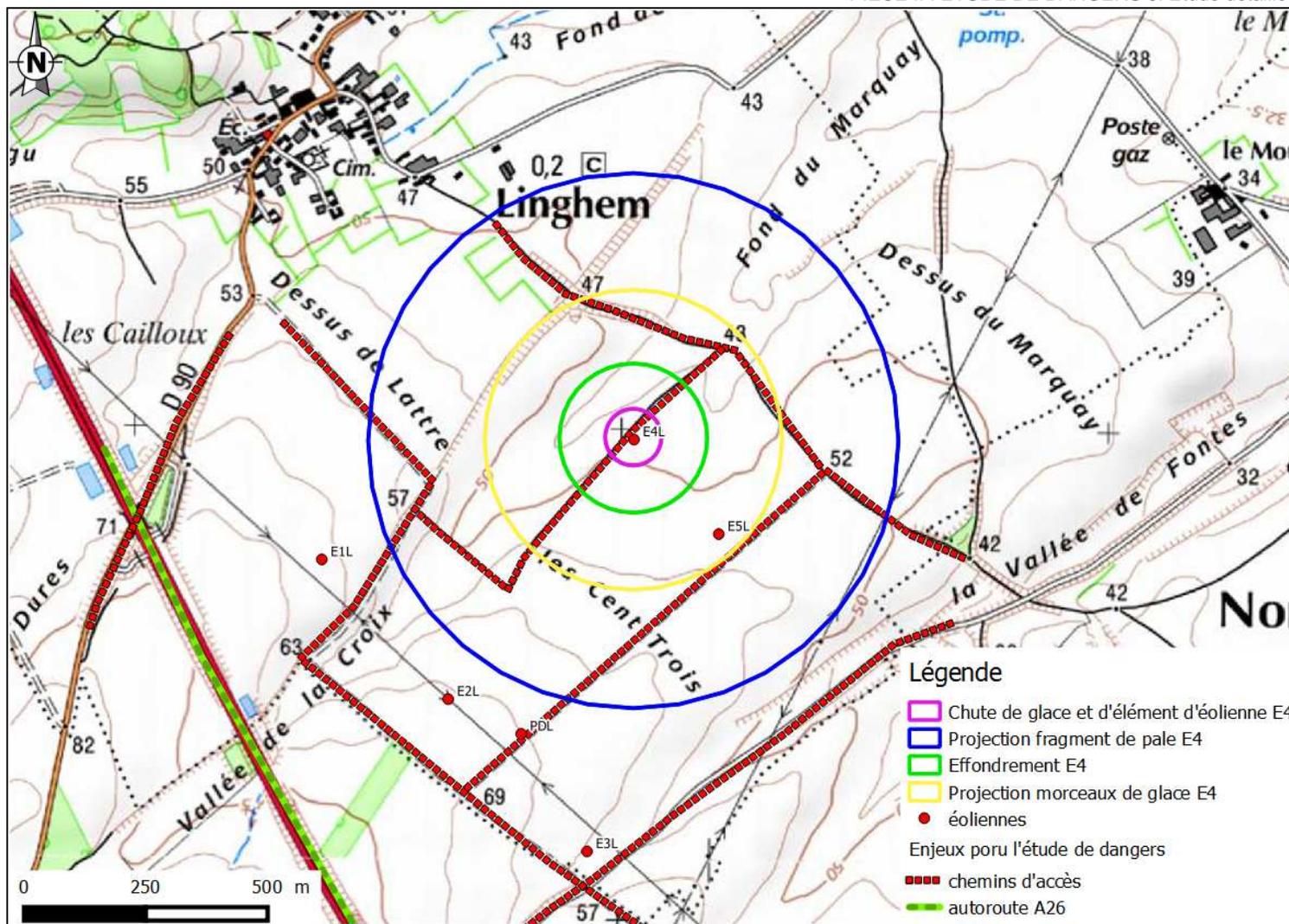


Figure 33 : Synthèse des zones d'effets – éolienne E4

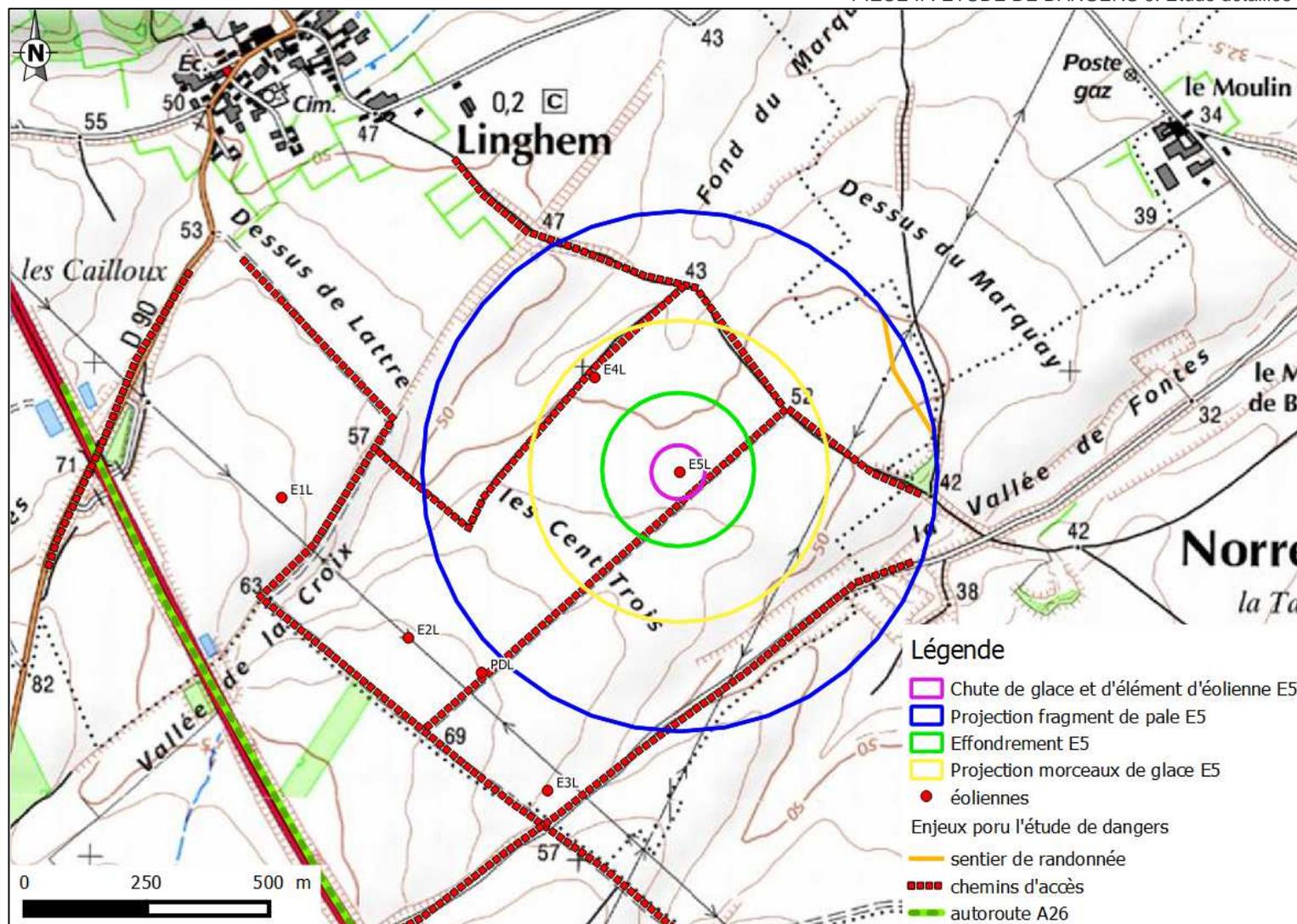


Figure 34 : Synthèse des zones d'effets – éolienne E5

10. Analyse des effets domino possibles

10.1 Objectif – notion d'effets domino

On entend par effets domino la possibilité pour un phénomène dangereux donné de générer, par effet de proximité, d'autres phénomènes dangereux à l'intérieur de l'installation étudiée ou bien sur les établissements voisins, conduisant à une aggravation des effets du premier phénomène (cf. glossaire technique des risques technologiques de la circulaire du 10 mai 2010).

L'objectif de ce chapitre est donc d'étudier les effets domino internes et externes spécifiques au champ d'éolienne étudié.

La méthodologie d'étude consiste à :

- reporter, pour chaque phénomène dangereux modélisé, les distances correspondant aux seuils des effets domino retenus ou la distance maximale de projection,
- faire l'inventaire des systèmes inscrits dans les rayons des effets domino possibles,
- évaluer les nouveaux phénomènes dangereux induits (possibilité de « sur-accidents »).

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 §10.2.

De même, une éolienne peut potentiellement agresser les installations industrielles voisines ou les canalisations de transport de fluides dangereux situées à proximité. Les conséquences d'une telle agression (chute de mât, projection de pale ou de fragments de pale) devront être étudiées dans l'étude de dangers de l'installation voisine ou l'étude de sécurité de la canalisation.

10.2 Analyse des effets domino internes

Tableau 40 : Effets dominos internes

Effets dominos internes			
Phénomène dangereux	Cible impactée	Effet sur la cible infecté	Phénomène dangereux engendré
Projection d'une pale de l'éolienne A	Eolienne B du champ	Dégradation d'une pale de l'éolienne B	Projection d'une pale de l'éolienne B Projection d'un fragment de pale de l'éolienne B
Projection d'un fragment de pale de l'éolienne A	Eolienne B du champ	Dégradation d'une pale de l'éolienne B	Projection d'un fragment de pale de l'éolienne B
Projection de débris enflammés	Poste de livraison		Incendie du poste de livraison

Les conséquences issues des d'effets domino des scénarios de projection de pale d'une éolienne sur une autre sont de gravité et de probabilité similaires aux scénarios initiaux. Il n'y a donc pas lieu de développer plus précisément ces aspects.

De même, le scénario de projection d'un fragment enflammé sur le poste de livraison est quant à lui moins probable que la projection d'un fragment sur une autre éolienne étant donné le nombre et la dimension de ce(s) poste(s). La gravité de l'incendie de ce poste étant par ailleurs moins importante que celle de l'éolienne, nous ne retiendrons pas non plus le développement de cet effet domino.

10.3 Analyse des effets domino externes

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

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

Tableau 41 : Effets dominos externes

Effets dominos externes			
Phénomène dangereux	Cible impactée	Effet sur la cible infecté	Phénomène dangereux engendré
Effets de suppression (200 mbar) depuis une installation industrielle ou une canalisation voisine	Eoliennes du champ	Arrachement d'une ou plusieurs pales, de fragment de pale, pliage de pale ou pliage du mât	Projection d'une pale d'éolienne Projection d'un fragment de pale d'éolienne Chute du mât d'une éolienne
	Poste de livraison	Endommagement sérieux du poste de livraison	Incendie du poste de livraison Fuite d'huile et pollution du sol
Effets thermiques (8 kW/m ²) depuis une installation industrielle ou canalisation voisine	Eoliennes du champ	Dégradation, pliage des pales d'éolienne	Projection d'un fragment de pale d'éolienne
	Nacelle	Départ d'incendie dans la nacelle	Incendie dans la nacelle
	Poste de livraison	Départ d'incendie dans le poste de livraison	Incendie du poste de livraison

Compte tenu de l'absence d'autres installations éoliennes dans un rayon de 500 m autour des éoliennes étudiées dans la présente étude de dangers, il n'y a pas de risque d'effets dominos liés à d'autres éoliennes.

Aucune habitation n'est présente à moins de 500 m autour des éoliennes, il n'y a donc pas de risques vis-à-vis de ces tiers.

11. Moyens de secours et d'intervention

11.1 Moyens internes

Des panneaux de signalisation rappelant les consignes de sécurité ainsi que les coordonnées des secours sont placés sur les voies d'accès au site ainsi qu'à l'entrée des différents équipements (mats des éoliennes et poste de livraison).

Un kit de premiers secours est disposé dans chacune des nacelles, ainsi qu'un extincteur. Un extincteur est également placé en pied de mât de chaque éolienne ainsi qu'au poste de livraison.

Le personnel est formé à l'utilisation des extincteurs.

11.2 Traitement de l'alerte

Les paramètres sont retransmis au centre de surveillance ENERCON en continu via le système SCADA en place sur le parc (cf. description du système SCADA en ANNEXE 1).

Les données d'exploitation et les messages d'état (anomalies, alertes...) sont par ailleurs conservés en copie sur le système implanté, sur le parc sur une période de 20 ans. Les systèmes embarqués des éoliennes peuvent quant à eux conserver les 10 derniers messages d'état horodatés.

0	Turbine in operation	61	Mains breakdown	302	Data bus error blade
1	Turbine stopped	62	Feeding fault	303	Data bus error blade control (CAN3)
2	Lack of wind	64	Overcurrent inverter	304	Data bus error (Timeout)
3	Storm	65	Overcurrent inverter	305	No data from I/O-Board control cabinet
4	Shadow shutdown	66	Fault rectifier	306	No data from
5	Blade defroster	67	Overtemperature	307	Timeout angle encoder
7	Unauthorized access	69	Acoustic sensor	310	Unknown node-ID
8	Maintenance	70	Generator overtemperature	315	Invalid Index
9	Generator heating	72	Air gap monitoring	318	Error CAN1-Interrupt
10	EMERGENCY STOP actuated	73	Torque monitoring	319	Error CAN2-Interrupt
11	Rotor brake activated manual	76	Bearing temperature	320	Malfunction IIC-bus
12	Rotor lock	80	Excitation error	402	Error +12V processor
14	Formation of ice	90	Protective circuit breaker tripped	403	Error -12V processor
15	Turbine moist	91	Semiconductor fuse blown	404	Error +15V processor
16	Overspeed switch test	95	Error temperature measurement	405	Error -15V processor
17	Test safety system	96	Error temperature measurement inverter	411	Error +4V ref. processor
20	Wind measurement fault	112	Smoke detector	412	Error +5V ref. processor
21	Cable twisted	122	Fault transformer	413	Error -5V ref. processor
22	Yaw control fault	150	Initialize EEPROMII	414	Error +10V ref. processor
25	Faulty yaw inverter	152	Program incompatibleII	415	Error -10V ref. processor
29	Anemometer interface	153	No turbine ID	421	Error +5V sensoric
30	Vibration sensor	155	Wrong bootblock address	422	Error +12V sensoric
31	Tower oscillation	158	Serial number	423	Error -12V sensoric
40	Rotor overspeed	202	Inverter bus error	424	Error +15V sensoric
41	Rotor overspeed switch	204	Inverter bus error all inverters	425	Error -15V sensoric
42	Pitch control error	206	No data from power control	426	Error +20V sensoric
43	Main security circuit fault	207	Fault inverter control	427	Error -20V sensoric
44	Fault emergency stop capacitor	220	Processor reset	428	Error +12V relay
45	Capacitor charging error	221	Watchdog reset	429	Error supply hardware
46	Fault capacitor test	222	Turbine reset	432	Error +5V sensoric
47	Fault security system	223	Software Update	433	Error -5V sensoric
48	Speed sensor error	228	Time out warn message	434	Error +10V sensoric
49	Fault blade load control	229	Too many warnings	435	Error -10V sensoric
55	Blade heating faulty	240	Remote control PC	438	Error supply IGBT-driver
60	Mains failure	300	Turbine control bus error (Bus-Off)	441	Error pos. supply current measure

Figure 35 : Liste des messages d'état principal ENERCON

1ple, le

Une alerte est envoyée en moins d'une minute au centre de contrôle, qui est à même de contacter les services compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'installation.

12. Conclusion

La présente étude de dangers du projet éolien de Lingham 2 sur la commune de Lingham, réalisée dans le cadre réglementaire des installations classées pour la protection de l'environnement et selon la méthodologie décrite par le « Guide technique de l'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens », a retenu les 5 événements suivants susceptibles de générer un risque pour les enjeux humains présents dans le périmètre de l'étude :

- Effondrement de l'éolienne (rayon de zone d'effets de 147,6 m, rare) ;
- Chute d'éléments de l'éolienne (rayon de zone d'effets de 48,6 m, improbable) ;
- Chute de glace (rayon de zone d'effets de 48,6 m, courant) ;
- Projection de glace (rayon de zone d'effets de 297,3 m, probable) ;
- Projection d'éléments de pale (rayon de zone d'effets de 500 m, rare).

Les enjeux humains considérés sont ceux liés à la fréquentation des différents périmètres concernés : terrains non aménagés et voies à faible circulation.

Compte tenu de la probabilité des événements retenus et des enjeux humains répertoriés, les risques ont pu être classés de très faible à faible pour toutes les éoliennes. L'ensemble des risques étudiés se situe dans la zone d'acceptabilité de la grille de criticité applicable, c'est-à-dire qu'ils ne nécessitent pas de mesures supplémentaires de réduction des risques autres que celles déjà prises.

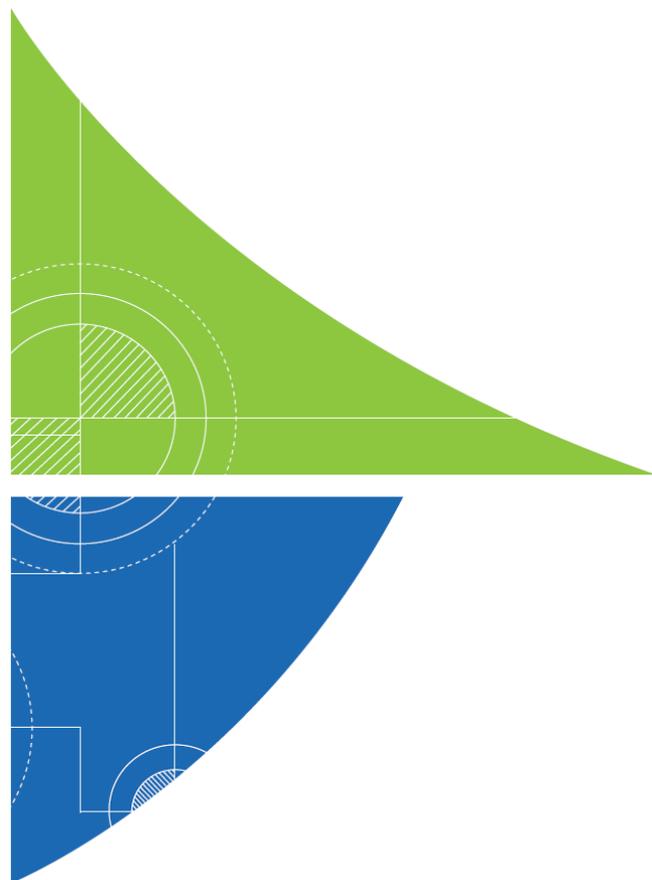
Le tableau suivant détaille pour chaque scénario, l'acceptabilité des risques ainsi que les mesures prises afin de réduire les risques.

Tableau 42 : Synthèse de l'acceptabilité des risques

Scénario	Probabilité	Gravité	Mesures de maîtrise des risques	Acceptabilité
Chute d'élément de l'éolienne	C	Sérieux pour toutes les éoliennes	Contrôles réguliers des assemblages de structure Procédures et contrôle qualité Procédure maintenance Prévention des courts-circuits et incendies	Acceptable
Effondrement de l'éolienne	D	Sérieux pour toutes les éoliennes	Contrôles réguliers des fondations et des assemblages de structure Procédure maintenance Actions de prévention dans le cadre du plan de prévention Prévention de la dégradation de l'état des équipements	Acceptable
Chute de glace	A sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Modéré pour toutes les éoliennes	Signalisation en pied de machine Eloignement des zones habitées et fréquentées	Acceptable

Scénario	Probabilité	Gravité	Mesures de maîtrise des risques	Acceptabilité
Projection de pales	D	Modéré pour E4 Sérieux pour E5 Important pour E1, E2 et E3	Détection de vent fort et freinage aérodynamique Détection de survitesse du générateur Classe d'éolienne adaptée Contrôles réguliers des assemblages des assemblages de structure Procédures et contrôle qualité	Acceptable
Projection de glace	B sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Modéré pour toutes les éoliennes	Système de déduction de glace	Acceptable

ANNEXES



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

Cette annexe contient 2 pages.

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

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

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

► Terrains non bâtis

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

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

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

► Voies de circulation

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

► Voies de circulation automobiles

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

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

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

► Voies ferroviaires

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

► Voies navigables

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

► Chemins et voies piétonnes

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

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

► Logements

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

► Etablissements recevant du public (ERP)

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

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

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

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

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

► Zones d'activité

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

Annexe 2. Certificat de conformité de l'éolienne à la norme EC61400-1

Cette annexe contient 1 page.

WindGuard Certification GmbH
Akkreditiert nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005
Accredited according to DIN EN ISO/IEC 17025:2005
Oldenburger Straße 65, 26316 Varel, Germany

Extract from the test report:
Power Quality
Auszug aus dem Prüfbericht: Netzverträglichkeit

„Bestimmung der elektrischen Eigenschaften des Enercon E-101“
„Determination of the electrical properties of the Enercon E-101“
„IEC 61400-21 Edition/ version 2.0 2008-08“

Dieser Auszug aus dem Prüfbericht fasst die Ergebnisse des Prüfberichtes Nr. MG16040.05.01 zusammen.
This extract from the test report summarizes the results of the test report no. MG16040.05.01.
Gemessen durch / *measured by*: Robert Riedel,
Bearbeiter / *Editor*: Robert Riedel, Dirk Jessen



Extract No. **MG16040.06.01**
Auszug Nr.:



Varel, 10.10.2016



Oldenburger Straße 65 • 26316 Varel
Tel. +49 (0)4451 - 9515 - 213
Fax +49 (0)4451-9515-218
Email: info@windguard-certification.de

(Signatures)
R. Riedel **M. Sc. J. Diaz**
Bearbeiter I/ *Editor* Bearbeiter II/ *Editor*

Die WindGuard Certification GmbH ist ein von der Deutschen Akkreditierungsstelle (DAKKS) nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 akkreditiertes Prüflaboratorium in dem Bereich Elektrotechnik

- Erzeugungseinheiten (EZE)
- Erzeugungsanlagen (EZA)
- Verteilnetze der Nieder- und Mittelspannung.

Die WindGuard Certification GmbH ist von der FGW e.V. berechtigt worden, das FGW-Konformitätssiegel für die Vermessung der elektrischen Eigenschaften nach Technischer Richtlinie, Teil 3 zu führen.

Der Bearbeiter ist entsprechend der hausinternen Verfahren geschult und zugelassen.

The Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH attests that the testing laboratory WindGuard Certification GmbH is competent under the terms of DIN EN ISO/IEC 17025:2005 to carry out tests in the following fields.

Electrical Engineering

- power generating units (PGU)
- power generating plants (PGP)
- distribution grids at low- and medium-voltage.

WindGuard Certification GmbH has been authorized by the FGW e.V. to lead the FGW-conformity seal for the measurement of electrical properties according to Technical Guideline, part 3.

The Editor is trained and certified according to the internal audit procedures.

Dieser Auszug aus dem Prüfbericht zeigt die Messergebnisse einer Windenergieanlage des oben genannten Typs an dem für die Untersuchung genutzten Standort. Die Messung wurde unter den elektrischen Bedingungen und Zuständen durchgeführt, die währenddessen im Netz vorherrschten (z. B. Netzimpedanz, Netzvorbelastung mit Oberschwingungen).

This extract from the test report shows the measurement results for a wind turbine of the above specified type at the site that was used for the test. The measurement has been performed under the specific electrical conditions which were present in the grid during the measurement (e.g. network impedance, preexisting harmonic distortion content).

Dieser Auszug aus dem Prüfbericht enthält 6 Seiten und gilt nur in Verbindung mit der Herstellerbescheinigung. Der Vordruck ist urheberrechtlich geschützt. Nachdruck und Vervielfältigung nur mit Zustimmung der Herausgeber.

This extract from the test report comprises 6 pages total and is only valid in conjunction with the manufacture certification. Copyright is by the publisher. No part of this form may be reproduced in any form or by any means without permission of the publisher.



Annexe 3. Tableau de l'accidentologie française

Cette annexe contient 4 pages.

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	-
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)	-
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)	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	22/06/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50 m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	-
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5m à 50m, mat intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	Incident identique à celui s'étant produit 15 jours auparavant
Rupture de pale	2004	Escales-Conilhac	Aude	0,75	2003	Non	Bris de trois pales		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale + incendie	22/12/2004	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne (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	-
Incendie	18/11/2006	Roquetaillade	Aude	0,66	2001	Oui	Acte de malveillance: explosion de bonbonne de gaz au pied de 2 éoliennes. L'une d'entre elles a mis le feu en pieds de mat qui s'est propagé jusqu'à la nacelle.	Malveillance / incendie criminel	Communiqués de presse exploitant Articles de presse (La Dépêche, Midi Libre)	-
Effondrement	03/12/2006	Bondues	Nord	0,08	1993	Non	Sectionnement du mât puis effondrement d'une éolienne dans une zone industrielle	Tempête (vents mesurés à 137Kmh)	Article de presse (La Voix du Nord)	-
Rupture de pale	31/12/2006	Ally	Haute-Loire	1,5	2005	Oui	Chute de pale lors d'un chantier de maintenance visant à remplacer les rotors	Accident faisant suite à une opération de maintenance	Site Vent de Colère	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident pendant la phase chantier)
Rupture de pale	03/2007	Clitourps	Manche	0,66	2005	Oui	Rupture d'un morceau de pale de 4 m et éjection à environ 80 m de distance dans un champ	Cause pas éclaircie	Site FED Interne exploitant	-
Chute d'élément	11/10/2007	Plouvien	Finistère	1,3	2007	Non	Chute d'un élément de la nacelle (trappe de visite de 50 cm de diamètre)	Défaut au niveau des charnières de la trappe de visite. Correctif appliqué et retrofit des boulons de charnières effectué sur toutes les machines en exploitation.	Article de presse (Le Télégramme)	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Emballlement	03/2008	Dinéault	Finistère	0,3	2002	Non	Emballlement de l'éolienne mais pas de bris de pale	Tempête + système de freinage hors service (boulon manquant)	Base de données ARIA	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (événement unique et sans répercussion potentielle sur les personnes)
Collision avion	04/2008	Plouguin	Finistère	2	2004	Non	Léger choc entre l'aile d'un bimoteur Beechcraftch (liaison 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)	-
Maintenance	26/01/2009	Clastres	Aisne	2,75	2004	Oui	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance	Accident électrique (explosion d'un convertisseur)	Base de données ARIA	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Rupture de pale	08/06/2009	Bollène	Vaucluse	2,3	2009	Oui	Bout de pale d'une éolienne ouvert	Coup de foudre sur la pale	Interne exploitant	Non utilisable dans les chutes ou les projections (la pale est restée accrochée)
Incendie	21/10/2009	Froidfond - Espinassière	Vendée	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit dans transformateur sec embarqué en nacelle ?	Article de presse (Ouest-France) Communiqué de presse exploitant Site FED	-
Incendie	30/10/2009	Freysenet	Ardèche	2	2005	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit faisant suite à une opération de maintenance (problème sur une armoire électrique)	Base de données ARIA Site FED Article de presse (Le Dauphiné)	-
Maintenance	20/04/2010	Toufflers	Nord	0,15	1993	Non	Décès d'un technicien au cours d'une opération de maintenance	Crise cardiaque	Article de presse (La Voix du Nord 20/04/2010)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)

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

Cette annexe contient 3 pages.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Attention aux confusions possibles :

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