

PARC EOLIEN DES RAINETTES

Département : HAUTE-MARNE (52)

Commune : CHANTRAINES

Dossier de demande d'Autorisation Environnementale

Pièce 4.B : Etude de dangers

Version consolidée - Décembre 2020

Maitre d'ouvrage
CHANTRAINES ENERGIE

Assistant maitre d'ouvrage
JP Energie Environnement

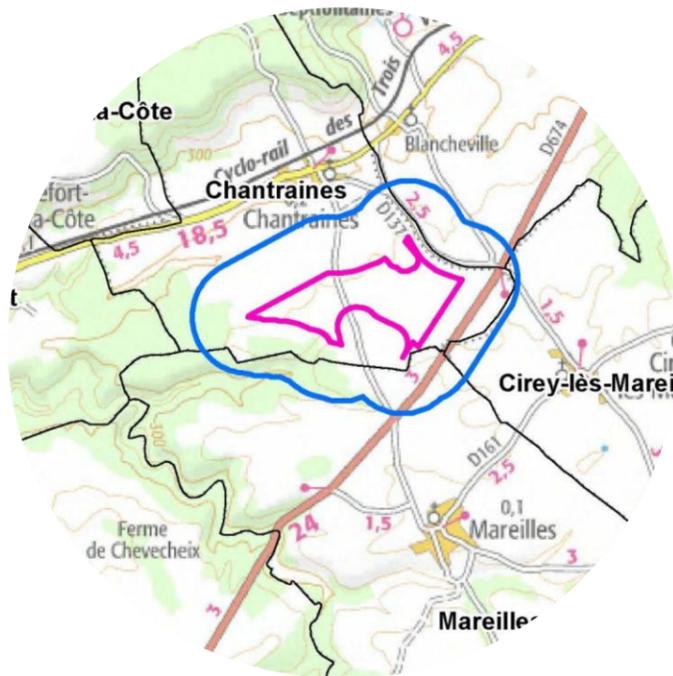
Réalisation et assemblage du dossier
AUDDICE Environnement



PROJET EOLIEN DES RAINETTES (52)

Dossier de demande d'autorisation environnementale

CAHIER 4B_Etude de dangers



Rapport final V2

Dossier 18070039
14/12/2020

réalisé par



Auddicé Environnement
Espace Sainte-Croix
6 place Sainte-Croix
51000 Châlons-en-
Champagne
03 26 64 05 01

PROJET EOLIEN DES RAINETTES (52)

Dossier de demande d'autorisation environnementale

CAHIER 4B_Etude de dangers



Rapport final V2

JPEE

Version	Date	Description
Rapport final V1	04/10/2019	Etude de dangers
Rapport final V2	14/12/2020	Etude de dangers, version consolidée décembre 2020 (références règlementaires)

	Nom - Fonction	Date	Signature
Rédaction	Aurélié COFFRAND – Ingénieur environnement	14/12/2020	

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE 1. PREAMBULE	5
1.1 Objectif de l'étude de dangers	6
1.2 Contexte législatif et réglementaire	6
1.3 Nomenclature des installations classées	7
1.4 Document de référence, guide technique INERIS/SER FEE	7
CHAPITRE 2. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION	9
2.1 Renseignements administratifs	10
2.2 Localisation du site	10
2.3 Définition de l'aire d'étude	11
CHAPITRE 3. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION	13
3.1 Environnement humain	14
3.1.1 Zones urbanisées ou urbanisables	14
3.1.2 Etablissements recevant du public (ERP)	14
3.1.3 Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et installations nucléaires de base	14
3.1.4 Autres activités	14
3.2 Environnement naturel	15
3.2.1 Contexte climatique	15
3.2.2 Risques naturels	15
3.3 Environnement matériel	16
3.3.1 Voies de communication	16
3.3.2 Réseaux publics et privés	16
3.4 Cartographie de synthèse	18
3.4.1 Méthodologie de comptage	18
3.4.2 Hypothèse de travail	18
CHAPITRE 4. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION	21
4.1 Caractéristiques de l'installation	22
4.1.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien	22
4.1.2 Activité de l'installation	23
4.1.3 Composition de l'installation	23
4.2 Fonctionnement de l'installation	25
4.2.1 Principe général du fonctionnement d'un aérogénérateur	25
4.2.2 Sécurité de l'installation (prescriptions relatives à l'arrêté du 26 août 2011)	28
4.2.3 Opérations de maintenance de l'installation	29
4.3 Fonctionnement des réseaux de l'installation	33
4.3.1 Réseau inter-éolien	33
4.3.2 Poste(s) de livraison	33
4.3.3 Raccordement électrique du parc éolien des Rainettes	34
4.3.4 Autres réseaux	34
CHAPITRE 5. IDENTIFICATION DES DANGERS POTENTIELS DE L'INSTALLATION	37
5.1 Potentiels de dangers liés aux produits	38
5.1.1 Dangers des produits	38
5.2 Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation	38

5.3 Réduction des potentiels de dangers à la source	39
5.3.1 Principales actions préventives	39
5.3.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles	39
CHAPITRE 6. ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE	41
6.1 Inventaire des accidents et incidents en France	42
6.2 Inventaire des accidents et incidents à l'international	42
6.3 Inventaire des accidents majeurs sur les sites de l'exploitant	44
6.4 Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience	44
6.4.1 Analyse de l'évolution des accidents en France	44
6.4.2 Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents	44
6.4.3 Limites d'utilisation de l'accidentologie	45
CHAPITRE 7. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES	47
7.1 Objectif de l'analyse préliminaire des risques	48
7.2 Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques	48
7.3 Recensement des agressions externes potentielles	48
7.3.1 Agressions externes liées aux activités humaines	48
7.3.2 Agressions externes liées aux phénomènes naturels	48
7.4 Scénarii étudiés dans l'Analyse Préliminaire des Risques (APR)	49
7.5 Effets dominos	51
7.6 Mise en place des mesures de sécurité	51
7.7 Conclusion de l'analyse préliminaire des risques	58
CHAPITRE 8. ETUDE DETAILLEE DES RISQUES	59
8.1 Rappel des définitions	60
8.1.1 Cinétique	60
8.1.2 Intensité	60
8.1.3 Gravité	61
8.1.4 Probabilité	61
8.1.5 Acceptabilité	62
8.2 Sélection de l'éolienne la plus impactante	63
8.2.1 Comparaison des zones d'effet	63
8.2.2 Comparaison du degré d'exposition et de l'intensité des phénomènes	63
8.2.3 Conclusion sur l'éolienne la plus impactante	63
8.3 Caractérisation des scénarii retenus	64
8.3.1 Effondrement de l'éolienne	64
8.3.2 Chute de glace	66
8.3.3 Chute d'éléments de l'éolienne	67
8.3.4 Projection de pales ou de fragments de pales	69
8.3.5 Projection de glace	71
8.4 Synthèse de l'étude détaillée des risques	73
8.4.1 Tableaux de synthèse des scénarii étudiés	73
8.4.2 Synthèse de l'acceptabilité des risques	73
8.4.3 Cartographie des risques	74
CHAPITRE 9. CONCLUSION	77
ANNEXES 79	
Annexe 1 – Bibliographie	80

Annexe 2 – Déclaration de conformité Vestas 110 – Nordex N117	81
Annexe 3 – Opérations de maintenance Nordex.....	83
Annexe 4 – Fonction de sécurité Nordex (N117).....	84
Annexe 5 – Annexes au guide technique INERIS et compléments à l'accidentologie.....	88

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Rubrique des installations classées au titre des ICPE	7
Tableau 2. Identité du demandeur.....	10
Tableau 3. Arrêtés de catastrophes naturelles « inondation et coulées de boue »	16
Tableau 4. Caractéristiques techniques des éoliennes	23
Tableau 5. Coordonnées géographiques des éoliennes et du poste de livraison	23
Tableau 6. Découpage fonctionnel de l'installation.....	27
Tableau 7. Entretien préventif du matériel : inspection après trois mois de fonctionnement	31
Tableau 8. Entretien préventif du matériel, biennuel ou annuel.....	32
Tableau 9. Dangers potentiels d'une éolienne.....	38
Tableau 10. Accidentologie du demandeur (JPEE).....	44
Tableau 11. Agressions externes liées aux activités humaines	48
Tableau 12. Analyse générique des risques	50
Tableau 13. Ensemble des tableaux des fonctions de sécurité fournis par VESTAS pour la V110.....	52
Tableau 14. Scénarii exclus de l'étude détaillée	58
Tableau 15. Grille de cotation en intensité issue du guide technique	60
Tableau 16. Grille de cotation en gravité de l'arrêté du 29 septembre 2005	61
Tableau 17. Grille de cotation en probabilité de l'arrêté du 29 septembre 2005	61
Tableau 18. Cotation des risques selon la matrice de criticité de la circulaire du 10 mai 2010	62
Tableau 19. Zone d'effet (rayon autour de l'éolienne) calculée par phénomène et par modèle d'éolienne.....	63
Tableau 20. Degré d'exposition (%) calculé par phénomène et par modèle d'éolienne	63
Tableau 21. Intensité des phénomènes selon le modèle d'éolienne.....	63
Tableau 22. Scénario d'effondrement – calcul de l'intensité.....	64
Tableau 23. Scénario d'effondrement – cotation de la gravité.....	64
Tableau 24. Probabilités d'effondrement et valeurs retenues	64
Tableau 25. Scénario d'effondrement – acceptabilité du risque	65
Tableau 26. Scénario chute de glace – calcul de l'intensité	66
Tableau 27. Scénario chute de glace – cotation de la gravité.....	66
Tableau 28. Scénario chute de glace – acceptabilité du risque	67
Tableau 29. Scénario chute d'éléments de l'éolienne – calcul de l'intensité	67
Tableau 30. Scénario chute d'éléments de l'éolienne – cotation de la gravité	68
Tableau 31. Scénario chute d'éléments de l'éolienne – acceptabilité du risque.....	68
Tableau 32. Scénario projection de pales ou de fragments de pales – calcul de l'intensité.....	69
Tableau 33. Scénario projection de pales ou de fragments de pales – cotation de la gravité.....	69
Tableau 34. Probabilité de rupture de tout ou partie de pale et valeurs retenues	70
Tableau 35. Scénario projection de pales ou de fragments de pales – acceptabilité du risque	70

Tableau 36. Scénario projection de glace – calcul de l'intensité	71
Tableau 37. Scénario projection de glace – cotation de la gravité	71
Tableau 38. Scénario projection de glace – acceptabilité du risque.....	72
Tableau 39. Synthèse de la cotation des risques – étude détaillée	73
Tableau 40. Cotation des risques selon la matrice de criticité de la circulaire du 10 mai 2010	73

LISTE DES CARTES

Carte 1. Carte de situation du projet	11
Carte 2. Extrait de la carte de localisation du projet	14
Carte 3. Distance des éoliennes aux habitations et aux zones habitables.....	14
Carte 4. Projet et inondation par remontées de nappes	15
Carte 5. Risques naturels (mouvements de terrain, argiles, cavités.....	15
Carte 6. Synthèse des contraintes autour du projet.....	17
Carte 7. Carte des enjeux de l'étude de danger.....	17
Carte 8. Enjeux pour l'éolienne RAI1	19
Carte 9. Enjeux pour l'éolienne RAI2	19
Carte 10. Enjeux pour l'éolienne RAI3	20
Carte 11. Enjeux pour l'éolienne RAI4	20
Carte 12. Plan masse du projet éolien des Rainettes	24
Carte 13. Carte des risques Eolienne RAI1 et RAI2	75
Carte 14. Carte des risques Eolienne RAI3 et RAI14	76

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Zonage sismique de la France.....	15
Figure 2. Densité de foudroiement par département.....	15
Figure 3. Schéma simplifié d'un aérogénérateur	22
Figure 4. Illustration des emprises au sol d'une éolienne	22
Figure 5. Composants de la nacelle de la Vestas V110	27
Figure 6. Calendrier des entretiens	32
Figure 7. Raccordement électrique des éoliennes en interne et vers le réseau public	33
Figure 8. Plan du poste de livraison.....	33
Figure 9. Schéma unifilaire général	35
Figure 10. Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et 2018.....	42
Figure 11. Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2018.....	43
Figure 12. Répartition des causes premières d'effondrement.....	43
Figure 13. Répartition des causes premières de ruptures de pales	43
Figure 14. Figure 10. Répartition des causes premières d'incendie.....	43
Figure 15. Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées*	44

CHAPITRE 1. PREAMBULE

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 pétitionnaire, pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du parc éolien des Rainettes, autant technologiquement réalisable qu'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 un parc éolien. Le choix de la méthode d'analyse utilisée et la justification des mesures de prévention, de protection et d'intervention sont adaptés à la nature et la complexité des installations et de leurs risques.

Elle précise l'ensemble des mesures de maîtrise des risques mises en œuvre sur le parc éolien des Rainettes, 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**, en satisfaisant les principaux objectifs suivants :

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

Le parc éolien des Rainettes est situé sur la commune de Chantraines.

1.2 Contexte législatif et réglementaire

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

L'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation fournit un cadre méthodologique pour les évaluations des scénarii 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 scénarii d'accidents majeurs susceptibles d'intervenir. Ces scénarii sont caractérisés en fonction de leur probabilité d'occurrence, de leur cinétique, de leur intensité et de la gravité des accidents potentiels. Elle justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.

Selon le principe de proportionnalité, le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte tenu de son environnement et de sa vulnérabilité. Ce contenu est conforme à la méthodologie habituelle :

- 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 scénarii en terme de gravité, de probabilité et de cinétique de développement en tenant compte de l'efficacité des mesures de prévention et de protection ;
- représentation cartographique ;
- résumé non technique de l'étude des dangers.

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

1.3 Nomenclature des installations classées

Un parc éolien est classé au titre de la loi relative aux installations classées pour la protection de l'environnement¹.

Le décret n° 2011-984 du 23 août 2011 modifiant la nomenclature des installations classées inscrit les éoliennes terrestres au régime des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) par la rubrique suivante :

Rubrique	Libellé de l'installation	Classement
2980	Installation terrestre de production à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs : 1. Comprenant au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m : autorisation 2. Comprenant uniquement des aérogénérateurs dont le mât a une hauteur inférieure à 50 m et au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur maximale supérieure ou égale à 12 m et pour une puissance totale installée : a) supérieure ou égale à 20 MW : Autorisation b) inférieure à 20 MW : Déclaration	A : Autorisation

Tableau 1. Rubrique des installations classées au titre des ICPE

Le parc éolien des Rainettes est soumis à autorisation (A) au titre des installations classées pour la protection de l'environnement (Cf. analyse effectuée dans le cahier n°2 Description de la Demande).

1.4 Document de référence, guide technique INERIS/SER FEE

Cette étude se base sur le guide technique « Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens » version de mai 2012, qui a été réalisé par un groupe de travail constitué de l'INERIS et de professionnels du syndicat des énergies renouvelables (SER FEE). Dans la suite de l'étude, ce guide sera appelé « guide technique ».

« Il s'agit d'un document de type nouveau dans son approche, qui a pour vocation d'accompagner les différents acteurs de l'éolien (porteurs de projets, exploitants, services de l'Etat, associations, etc.) dans la démarche d'évaluation des risques potentiels liés à un parc éolien. Compte tenu de la technologie mise en œuvre dans les parcs éoliens, il apparaissait possible et souhaitable de traiter cette analyse de manière générique, afin de pouvoir transcrire les résultats présentés dans ce guide à l'ensemble des parcs éoliens installés en France.

Ainsi, ce guide est le reflet de l'état de l'art en matière de maîtrise des risques technologiques pour les parcs éoliens, en l'état actuel des connaissances des experts ayant participé à son élaboration. Si d'autres techniques ou méthodes apparaissaient à l'avenir, elles seraient étudiées en détail et intégrées à l'analyse menée dans ce guide. »

Ainsi dans le cadre de cette étude, de nombreux paragraphes génériques ont été repris directement du guide.

¹ Loi N°76-663 du 19 juillet 1976 modifiée, Code de l'Environnement (Art. L511-1)

CHAPITRE 2. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

2.1 Renseignements administratifs

Informations administratives du demandeur :

Raison sociale	CHANTRAINES ENERGIE
Nom du parc éolien	Parc éolien des Rainettes
Forme juridique	Société par actions simplifiée à associé unique
Représenté par	Son Président, la société JP Energie Environnement Elle-même représentée par son Président, la SAS NASS EXPANSION Elle-même représentée par son Directeur Général Xavier NASS
N° SIRET	84836240600011
Code NAF	3511Z
Registre de commerce	Caen
Secteur d'activité Catégorie d'activité	Production d'électricité Energie renouvelable – Parc éolien
Siège social	12 Rue Martin Luther King 14280 SAINT CONTEST
Référent dossier	Benjamin DEHERRE Chef de projet – Société JPEE 01.44.50.15.44

Tableau 2. Identité du demandeur

Etude de danger réalisée par le bureau d'études Auddicé environnement :

- ✓ Ingénieur environnement : Aurélie COFFRAND
- ✓ Cartographe : Jean-Marie PLESSIS

2.2 Localisation du site

Le parc éolien des Rainettes sera composé de 4 aérogénérateurs et 1 poste de livraison, localisés sur la commune de Chantraines (52).

Cette commune est située au centre du département, à 15 km environ de la ville préfecture de Chaumont. La commune est localisée près de l'axe reliant Chaumont à Neufchâteau dans le département voisin des Vosges.

Carte 1 - Carte de situation du projet en page 11

2.3 Définition de l'aire d'étude

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

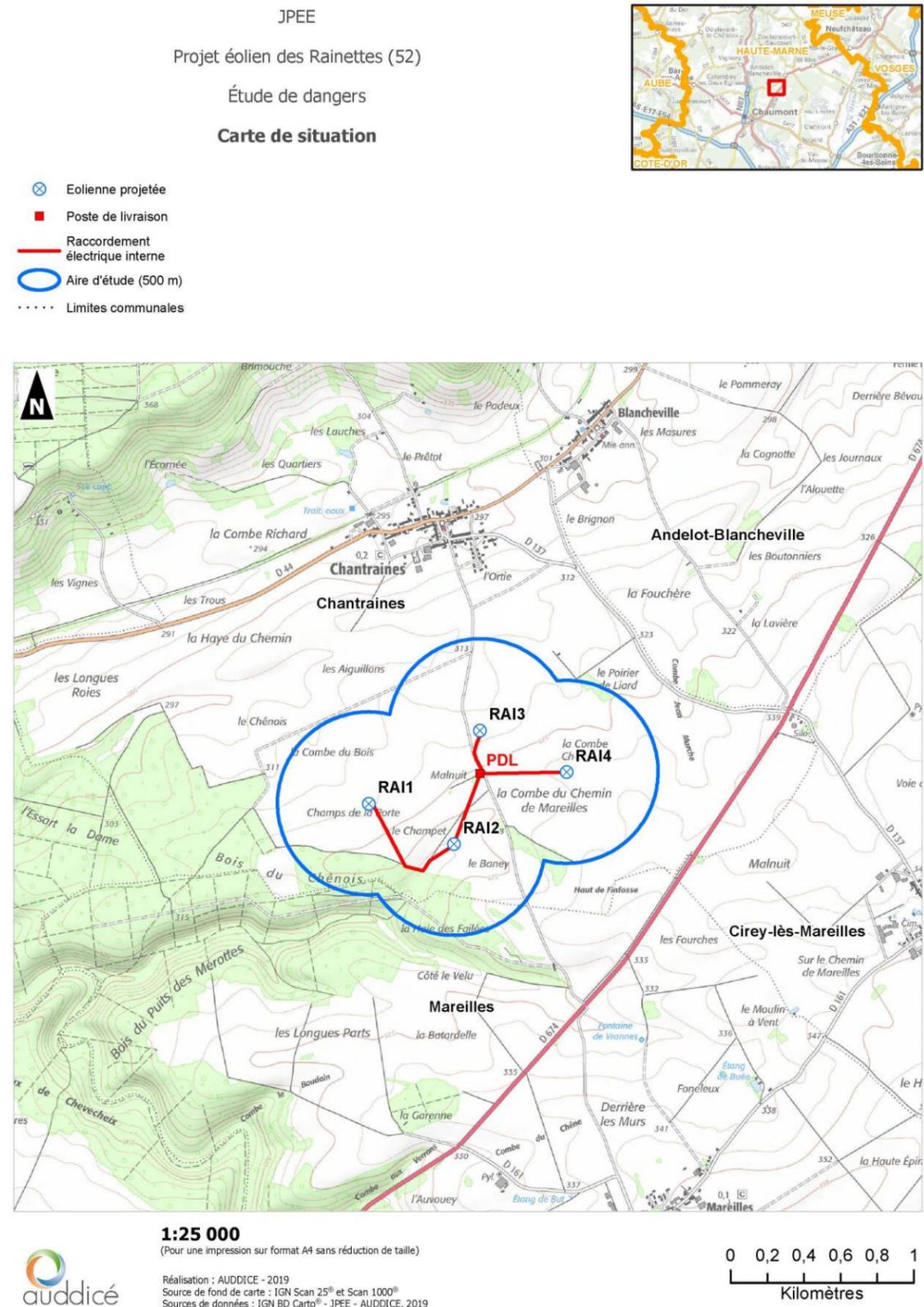
Chaque aire d'étude correspond à l'ensemble des points situés à une distance inférieure ou égale à 500 m à partir de l'emprise du mât de l'aérogénérateur. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection.

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 (Cf. § 7.7 Conclusion de l'analyse préliminaire des risques en page 58).

La zone d'étude (périmètre de 500 m autour des éoliennes) se situe sur les communes suivantes :

- Chantraines (en majorité) ;
- Mareilles.

Carte 1. Carte de situation du projet



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

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

3.1 Environnement humain

3.1.1 Zones urbanisées ou urbanisables

La description du milieu humain à proximité (communes, nombre d'habitants, etc.) est réalisée dans l'état initial de l'étude d'impact. De même, l'analyse de la conformité du projet avec les documents d'urbanisme a également été réalisée dans l'étude d'impact.

Cf. Cahier n°3B - Etude d'impact sur l'environnement – Demande d'Autorisation Environnementale

Les communes de Chantraines et Mareilles sont concernées par l'aire d'étude de 500 m autour des éoliennes (Carte 2).

Le projet est compatible avec les règles d'urbanisme des communes de Chantraines et Mareilles. La commune de Chantraines est couverte par une Carte Communale, qui ne présente aucune restriction au projet. La commune de Mareilles est soumise au Règlement National d'Urbanisme (RNU), qui autorise la construction de parcs éoliens en dehors des zones urbanisées.

Le parc éolien se situe sur des terres agricoles en zone rurale. Les villages situés à proximité du parc sont les suivants :

- Chantraines ;
- Puis le hameau de Blancheville (distant de plus de 1,5 km) ;
- Et Cirey-les-Mareilles (distant d'environ 2 km).

Conformément à l'article 3 de l'arrêté du 26 août 2011, l'installation est implantée de telle sorte que les aérogénérateurs soient situés à une distance minimale de 500 m de toute construction à usage d'habitation, de tout immeuble habité ou de toute destinée à l'habitation telle que définie dans les documents d'urbanisme opposables en vigueur (Carte 3).

3.1.2 Etablissements recevant du public (ERP)

Aucun ERP n'est situé dans l'aire d'étude.

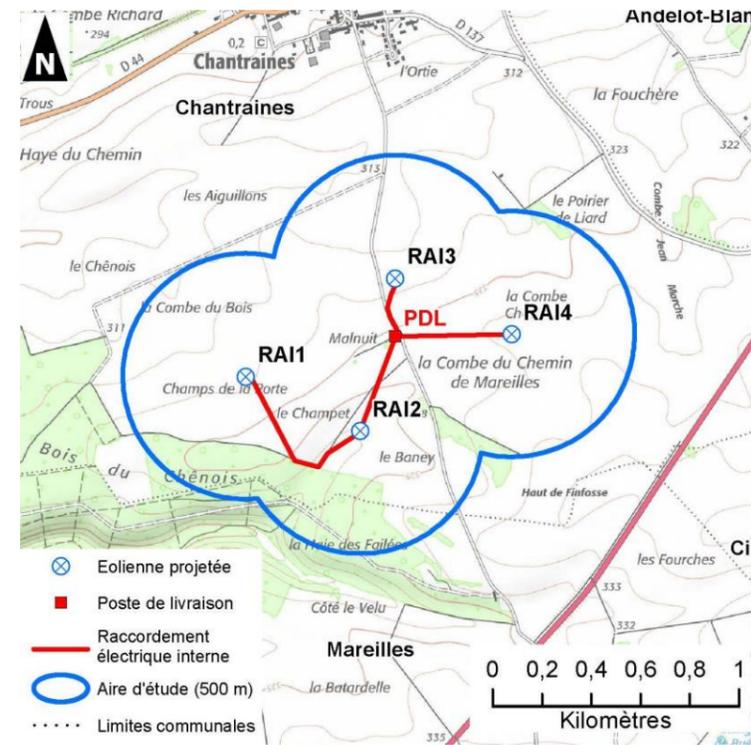
3.1.3 Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et installations nucléaires de base

Aucun établissement SEVESO ni aucun périmètre d'effet, ni aucune Installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) ne se situe dans l'aire d'étude de 500 m autour des éoliennes.

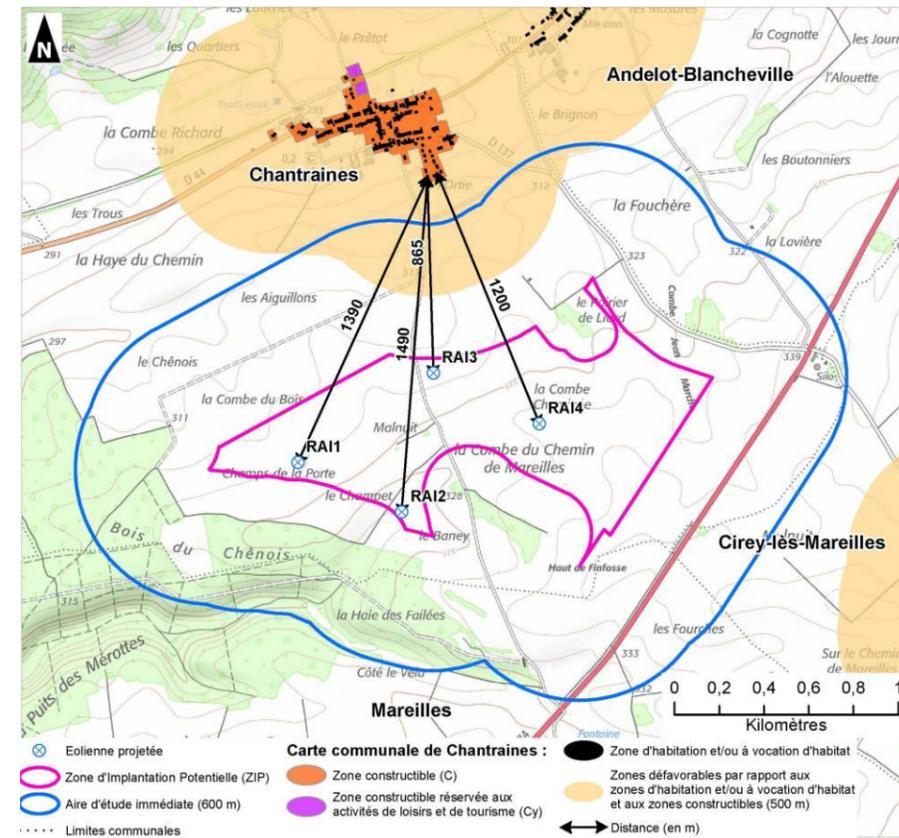
3.1.4 Autres activités

L'aire d'étude est occupée par des parcelles agricoles qui ne sont pas aménagées pour l'accueil du public. On retiendra toutefois l'hypothèse de quelques promeneurs occasionnels.

On note la présence de boisements ou de bosquets dans l'aire d'étude de 500 m autour des éoliennes RAI1 et RAI2. Ces parcelles ne sont pas aménagées pour l'accueil du public. Comme pour les parcelles agricoles, on retiendra l'hypothèse de quelques promeneurs occasionnels.



Carte 2. Extrait de la carte de localisation du projet



Carte 3. Distance des éoliennes aux habitations et aux zones habitables

3.2 Environnement naturel

Les paragraphes ci-dessous sont étudiés dans l'état initial de l'étude d'impact. Nous en reprenons les principales conclusions.

Cf. Cahier3B - Etude d'impact sur l'environnement – Demande d'Autorisation Environnementale

3.2.1 Contexte climatique

La Haute-Marne est soumise à un climat océanique très altéré, avec des influences continentales sensibles, notamment en période hivernale. Ce climat se caractérise par des hivers longs et froids et des étés chauds et orageux.

Les données de la station de Langres se rapprochent des conditions sur site. La hauteur des précipitations est de 877 millimètres annuellement. Les phénomènes météorologiques pouvant augmenter les risques pour les personnes sont rapportés au nombre de jours moyens par an :

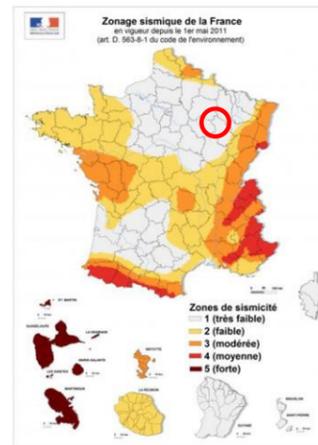
- 72.7 jours avec gelées,
- 23.3 jours d'orage,
- 33.4 jours de neige,
- 69.4 jours de vents forts (rafales > 16 m/s).

3.2.2 Risques naturels

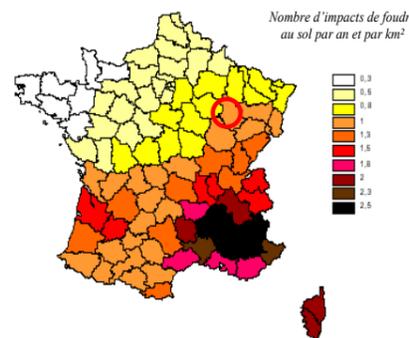
■ Risque sismique

Le zonage sismique de la France, basé sur un découpage communal, a été modifié par le décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010. Ces dispositions sont codifiées aux articles R.563-1 à D.568-8-1 du Code de l'environnement. Ainsi, la France est divisée en 5 zones de de sismicité : 1 (très faible), 2 (faible), 3 (modéré), 4 (moyenne) et 5 (forte). En vertu de l'article D.563-8-1 du code de l'environnement, les communes du projet éolien des Rainettes, est classée en zone de sismicité 1 – très faible : pas de prescription parasismique particulière.

Figure 1. Zonage sismique de la France



■ Risque foudre



La densité de foudroiement dans les communes du département de la Haute-Marne est de 1 coup/km²/an (moyenne nationale : 1,2). Bien que la densité de foudroiement soit inférieure à la moyenne, un parc éolien est particulièrement concerné par le risque du fait de la hauteur des aérogénérateurs. Les aérogénérateurs sont conçus actuellement de manière à supporter la foudre par un circuit de terre relié aux pales, à la nacelle et aux fondations.

Figure 2. Densité de foudroiement par département

■ Risque géotechnique

• Mouvements de terrain

Aucun risque de mouvement de terrain n'est détecté à l'échelle de l'aire d'étude rapprochée (6 km) par ce type d'aléa. Les enjeux sont qualifiés de très faibles à négligeables.

• Cavités

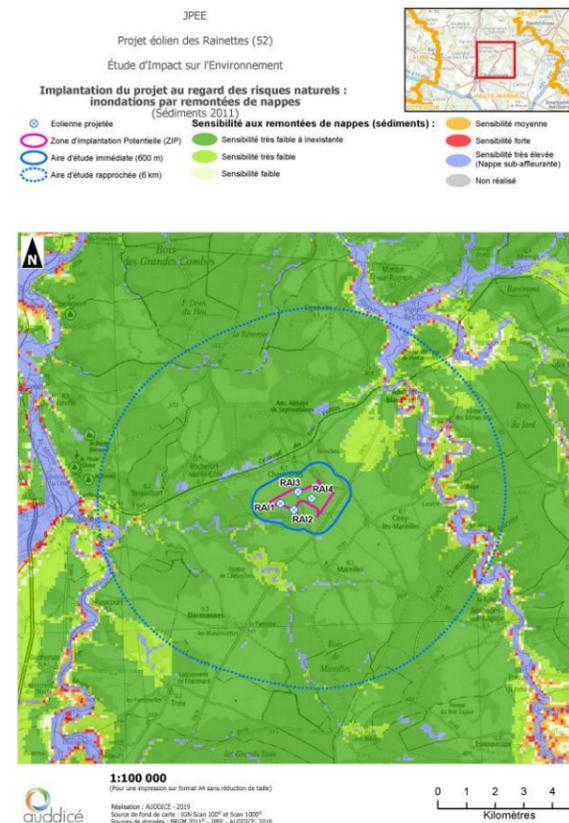
L'aire d'étude immédiate est impactée par ce type d'aléa mais pas le secteur d'étude. Les enjeux sont qualifiés de faibles.

• Aléa « Retrait et gonflement des argiles

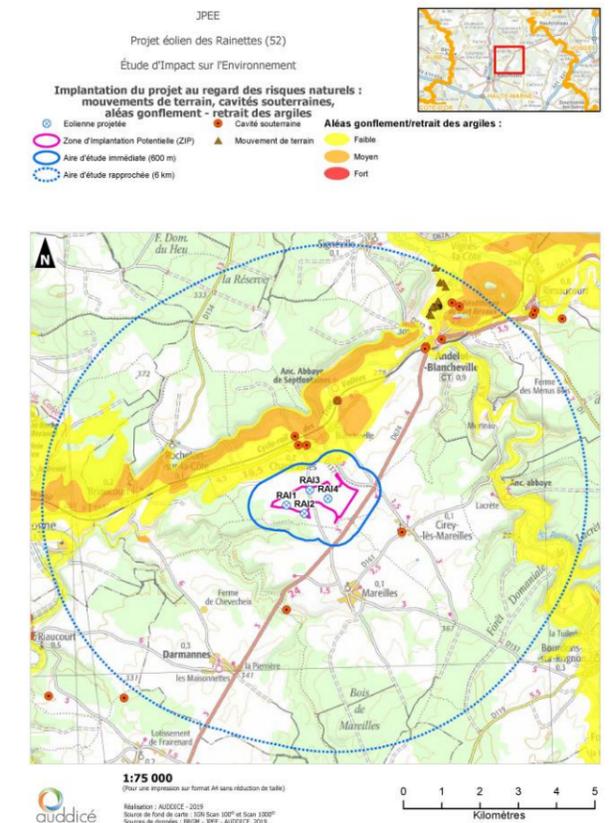
Les enjeux sont qualifiés de nuls sur la zone d'implantation potentielle.

■ Risque d'inondation

La zone d'implantation potentielle est située dans une zone de sensibilité très faible à inexistante au risque d'inondation par remontée de nappe.



Carte 4. Projet et inondation par remontées de nappes



Carte 5. Risques naturels (mouvements de terrain, argiles, cavités)

■ Risque tempête

Selon le site « www.georisques.gouv.fr », aucune commune de la zone d'implantation potentielle n'est recensée comme étant soumise au risque « Tempête ».

■ Risque feux de forêts

Selon le site « www.georisques.gouv.fr », aucune commune de la zone d'implantation potentielle n'est recensée comme étant soumise au risque « Incendie de forêt ».

■ Arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle

Dans la liste des arrêtés de reconnaissance de l'état de catastrophes naturelles ou technologiques pris en Haute-Marne, cinq évènements a été recensés, pour l'aléa « Inondations – coulées de boue ».

Communes (600m)	Type de catastrophe (année de l'évènement)	
	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	Inondations et coulées de boue
ANDELOT-BLANCHEVILLE	1999	Avril 1983, Mai 1983, Juillet 2001, Décembre 2001
CHANTRAINES	1999	/
CIREY-LES-MAREILLES	1999	/
MAREILLES	1999	/

Tableau 3. Arrêtés de catastrophes naturelles « inondation et coulées de boue »

3.3 Environnement matériel

3.3.1 Voies de communication

■ Transport routier

Le principal axe de communication existant dans l'aire d'étude de 500 m est la voie communale de liaison entre Chantraines et Mareilles. Le comptage transmis par le Conseil Départemental ne détermine pas le trafic sur cet axe, il est alors supposé à moins de 2 000 véhicules/jours. Ce n'est donc pas un axe structurant. Enfin, les autres voies qui empruntent l'aire d'étude sont des chemins ruraux et agricoles.

■ Transport ferroviaire

Aucune voie ferrée n'est recensée à proximité immédiate du projet.

■ Transport fluvial

Aucune voie navigable n'est recensée à proximité immédiate du projet.

■ Transport aérien

La DGAC a émis un avis favorable pour des éoliennes d'une hauteur de 150 m en bout de pale. L'Armée de l'Air donne un avis favorable pour l'une de ses contraintes et réserve son avis pour la seconde contrainte lors de l'instruction.

■ Randonnées pédestres

Aucun chemin de randonnée pédestre n'est répertorié dans les 500 m autour des éoliennes

3.3.2 Réseaux publics et privés

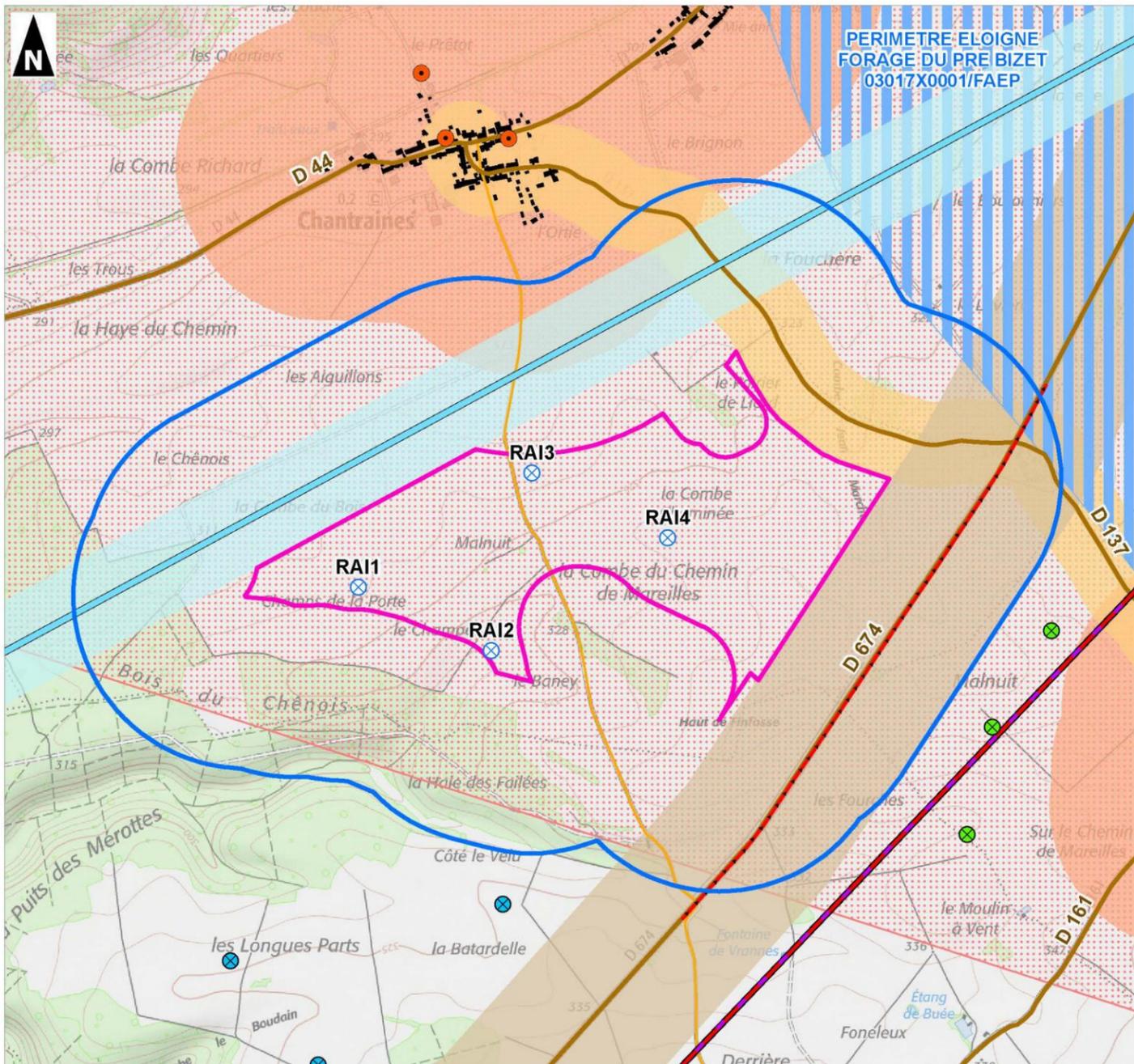
La ZIP est établie de façon à exclure les faisceaux électriques de télécommunication. Aucune canalisation de transport de matières dangereuses ni ligne à haute tension ne sont inventoriées dans la zone d'étude.

Dans le rayon d'étude de 500 m, les deux éoliennes RAI1 et RAI3 sont situées à proximité du faisceau hertzien géré par Bouygues Télécom.

Cf. Carte 6 Synthèse des contraintes et Carte 7 Carte des enjeux en page suivante

Implantation du projet au regard de la synthèse des contraintes

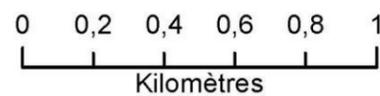
- ⊗ Eolienne projetée
- Zone d'implantation Potentielle (ZIP)
- Aire d'étude immédiate (600 m)
- ⋯ Limites communales
- Captage AEP :**
- ⊕ Périmètre de protection éloigné
- Réseau routier :**
- Route départementale
- Desserte locale
- Eloignement à la RD 674 (300 m)
- Eloignement à la RD 137 (150 m)
- Réseau de télécommunication :**
- Bouygues Telecom
- Free - SFR
- Eloignement au faisceau Bouygues Telecom (160 m)
- Défense Nationale :**
- Volume de sécurité radar AMSR/HMSR (Radar de Saint-Dizier)
- Réseau Très Basse Altitude
- Cavités :**
- Cavité souterraine
- Contexte éolien (au 25/04/2019) :**
- ⊗ Eolienne construite
- ⊗ Eolienne autorisée
- Réseau d'électricité :**
- Ligne HTA aérienne
- Zone d'habitation :**
- Zone d'habitation et/ou à vocation d'habitat
- Zones défavorables par rapport aux zones d'habitation et/ou à vocation d'habitat et aux zones constructibles (500 m)



1:20 000

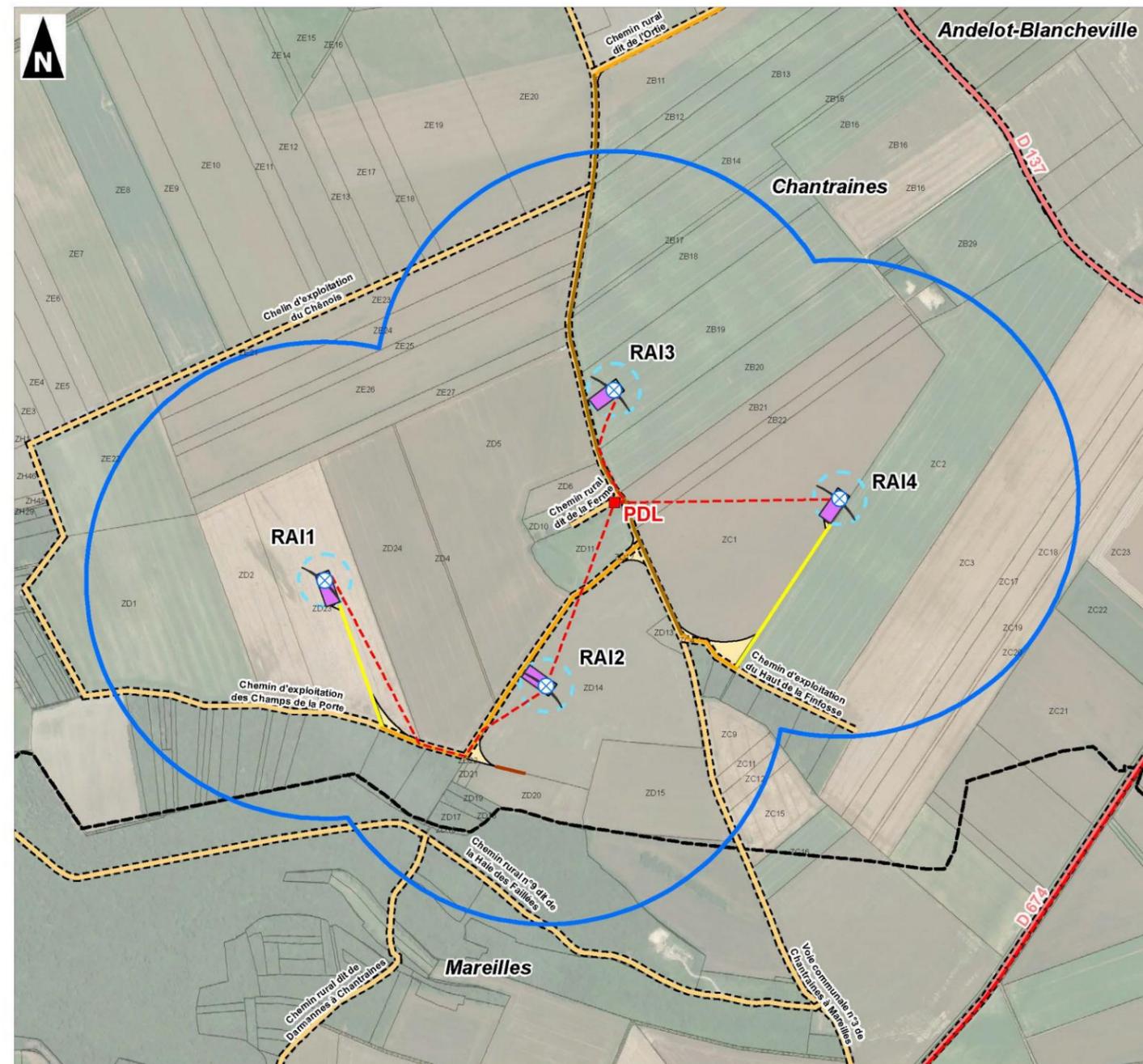
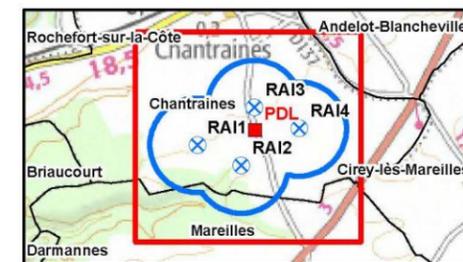
(Pour une impression sur format A4 sans réduction de taille)

Réalisation : AUDDICE - 2019
 Source de fond de carte : IGN Scan 25[®] et Scan 1000[®]
 Sources de données : IGN BD Carto[®] - OSM - ENEDIS - BRGM - ADES - ARS Grand Est - Cartoradio - ANFR - DREAL Grand Est - JPEE - AUDDICE, 2019 - SRE Champagne-Ardenne, 2012



Carte des enjeux

- ⊗ Eolienne projetée
- Poste de livraison
- Raccordement électrique interne
- Aire d'étude (500 m)
- Limites cadastrales
- Limites communales
- Pales
- Emprise
- Plateforme
- Pan coupé
- Surplomb
- Chemin provisoire
- Chemin à créer
- Chemin à renforcer
- Chemin en état à renforcer au cas par cas
- Enjeux :**
- Axes de circulation :**
- Route départementale
- Voie communale
- Chemin
- Réseau d'électricité :**
- Ligne HTA aérienne



1:12 000

(Pour une impression sur format A4 sans réduction de taille)

Réalisation : AUDDICE - 2019
 Source de fond de carte : IGN Scan 100[®] - RGE Cadastre - Bing Satellite[®]
 Sources de données : IGN BD Carto[®] - CADASTRE - ENEDIS - JPEE - AUDDICE, 2019



3.4 Cartographie de synthèse

3.4.1 Méthodologie de comptage

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 3 .A du guide. Cette méthode se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers. Cette fiche permet de compter aussi simplement que possible, selon des règles forfaitaires, le nombre de personnes exposées.

Ainsi, pour chaque phénomène dangereux identifié, nous comptabiliserons l'ensemble des personnes présentes dans la zone d'effet correspondante.

Dans chaque zone couverte par les effets d'un phénomène dangereux issu de l'analyse de risques, nous identifierons les ensembles homogènes (ERP, zones habitées, zones industrielles, commerces, voies de circulation, terrains non bâtis...) et nous en déterminerons la surface (pour les terrains non bâtis, les zones d'habitat) et/ou la longueur (pour les voies de circulation et chemins de randonnée).

3.4.2 Hypothèse de travail

Concernant les zones agricoles, elles sont constituées d'éléments disparates : champs, voies de circulation non structurantes (chemins d'exploitation, voies communales faiblement fréquentées)...

Selon la circulaire :

- Un champ est classé terrain non aménagé et très peu fréquenté. Compter 1 personne par tranche de 100 ha.
- Les voies de circulation non structurantes sont classées en terrains aménagés mais peu fréquentés. Compter 1 personne par tranche de 10 ha.

Pour simplifier l'analyse, nous ne différencierons pas les différents éléments et nous classerons donc les zones agricoles en terrains aménagés mais peu fréquentés (catégorie la plus majorante quant aux victimes potentielles), donc 1 personne par tranche de 10 ha.

- **Concernant le boisement, il n'a pas vocation de loisirs et n'est pas aménagé en tant que tel. Comme les zones agricoles, nous le classerons donc en terrain aménagé mais peu fréquenté.**
- **Pour les voies de communication, conformément au guide technique, elles n'ont à être prises en considération que si elles sont empruntées par un nombre significatif de personnes, les voies de circulation non structurantes (inférieures à 2 000 véhicules/jour) étant déjà comptées dans la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés.**

Toutes les hypothèses sont majorantes vis-à-vis du comptage du nombre de victimes potentielles.

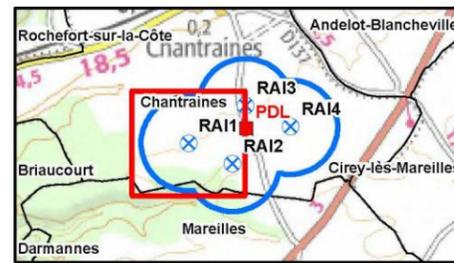
Les différents enjeux identifiés précédemment apparaissent sur les cartes des enjeux présentées ci-après. Le détail des calculs pour l'aire d'étude de 500 m figure quant à lui dans le Tableau 33, en page 69 .

Cf. Carte des enjeux page suivante

Carte des enjeux - Eolienne RAI1

-  Eolienne projetée
-  Poste de livraison
-  Raccordement électrique interne
-  Aire d'étude (500 m)
-  Limites cadastrales
-  Limites communales
-  Pales
-  Emprise
-  Plateforme
-  Pan coupé
-  Surplomb
-  Chemin provisoire
-  Chemin à créer
-  Chemin à renforcer
-  Chemin en état à renforcer au cas par cas

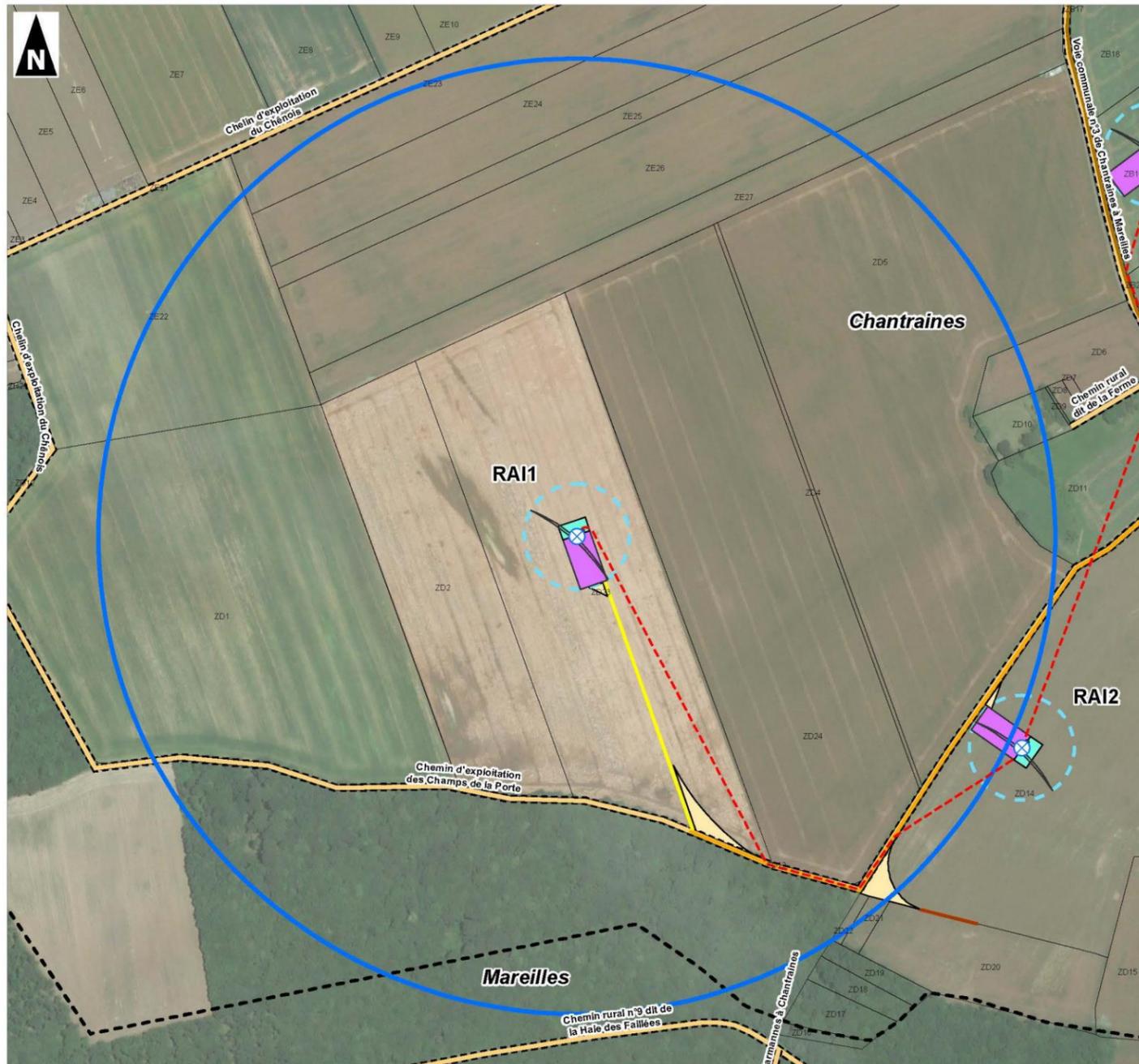
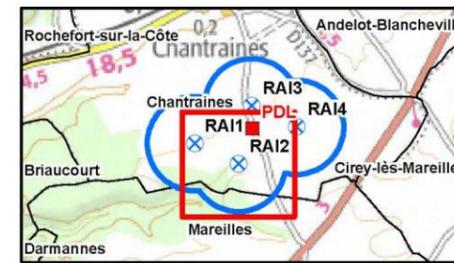
- Enjeux :**
- Axes de circulation :
-  Route départementale
 -  Voie communale
- Réseau d'électricité :
-  Ligne HTA aérienne



Carte des enjeux - Eolienne RAI2

-  Eolienne projetée
-  Poste de livraison
-  Raccordement électrique interne
-  Aire d'étude (500 m)
-  Limites cadastrales
-  Limites communales
-  Pales
-  Emprise
-  Plateforme
-  Pan coupé
-  Surplomb
-  Chemin provisoire
-  Chemin à créer
-  Chemin à renforcer
-  Chemin en état à renforcer au cas par cas

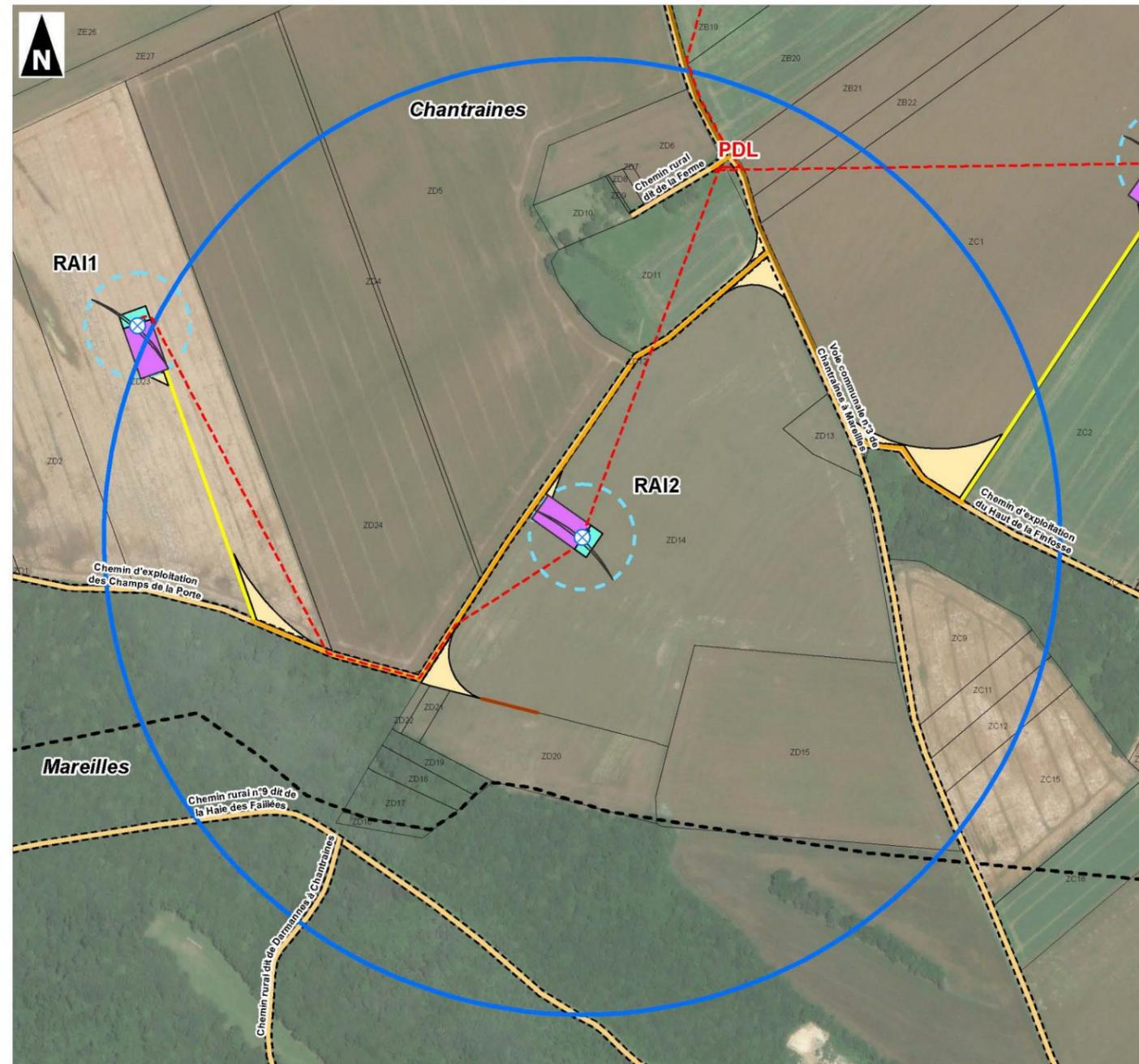
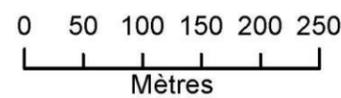
- Enjeux :**
- Axes de circulation :
-  Route départementale
 -  Voie communale
- Réseau d'électricité :
-  Ligne HTA aérienne



1:6 000

(Pour une impression sur format A4 sans réduction de taille)

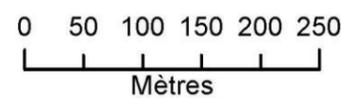
Réalisation : AUDDICE - 2019
 Source de fond de carte : IGN Scan 100[®] - RGE Cadastre - Bing Satellite[®]
 Sources de données : IGN BD Carto[®] - CADASTRE - ENEDIS - JPEE - AUDDICE, 2019



1:6 000

(Pour une impression sur format A4 sans réduction de taille)

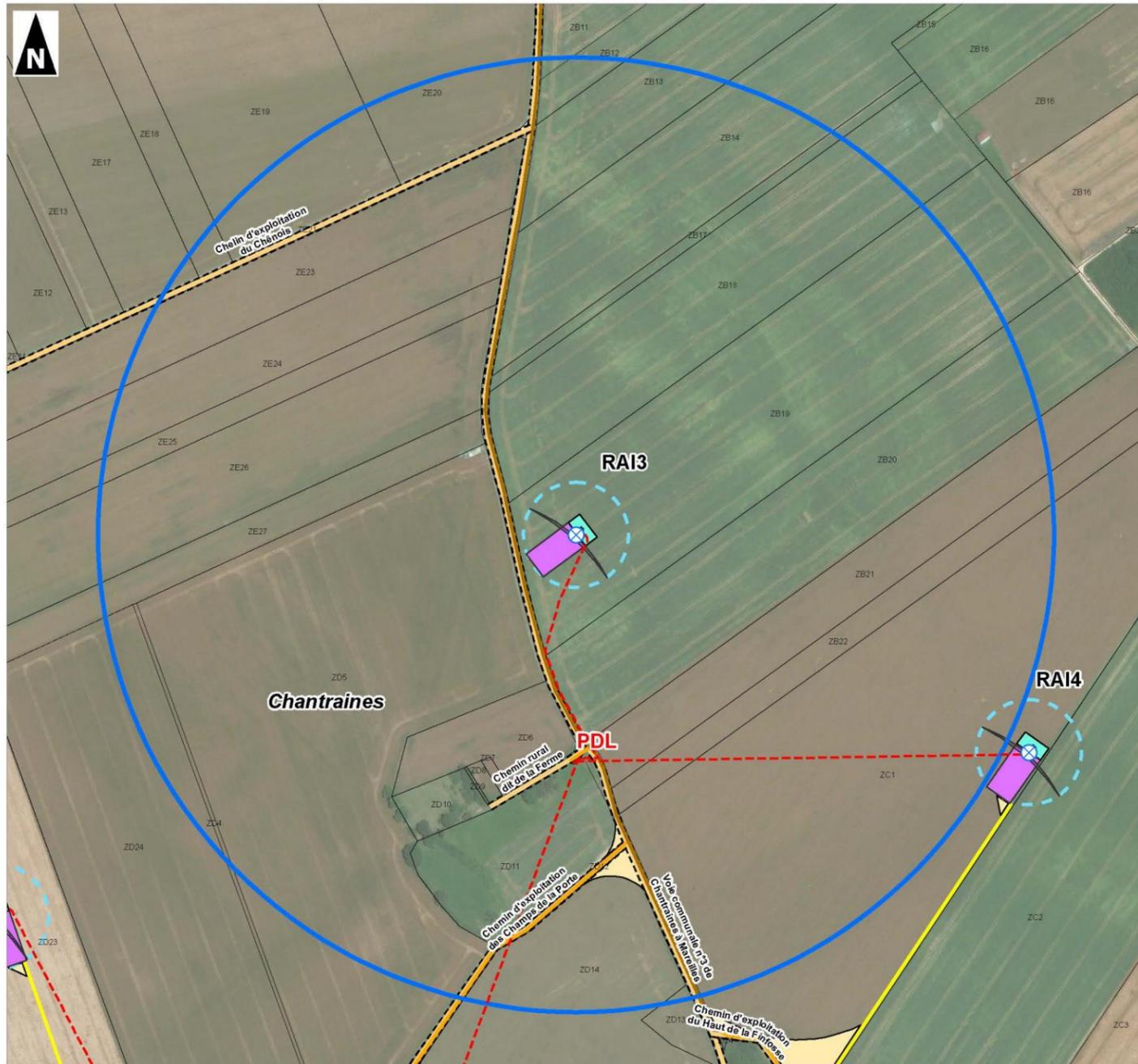
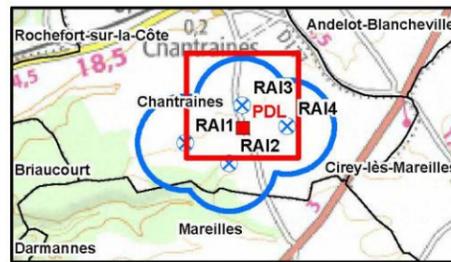
Réalisation : AUDDICE - 2019
 Source de fond de carte : IGN Scan 100[®] - RGE Cadastre - Bing Satellite[®]
 Sources de données : IGN BD Carto[®] - CADASTRE - ENEDIS - JPEE - AUDDICE, 2019



Carte des enjeux - Eolienne RAI3

- ⊗ Eolienne projetée
- Poste de livraison
- - - Raccordement électrique interne
- Aire d'étude (500 m)
- Limites cadastrales
- - - Limites communales
- Pales
- Emprise
- Plateforme
- Pan coupé
- Surplomb
- Chemin provisoire
- Chemin à créer
- Chemin à renforcer
- Chemin en état à renforcer au cas par cas

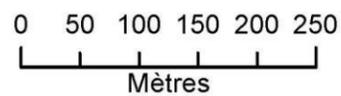
- Enjeux :**
- Axes de circulation :
- Route départementale
 - Voie communale
- Réseau d'électricité :
- Ligne HTA aérienne



1:6 000

(Pour une impression sur format A4 sans réduction de taille)

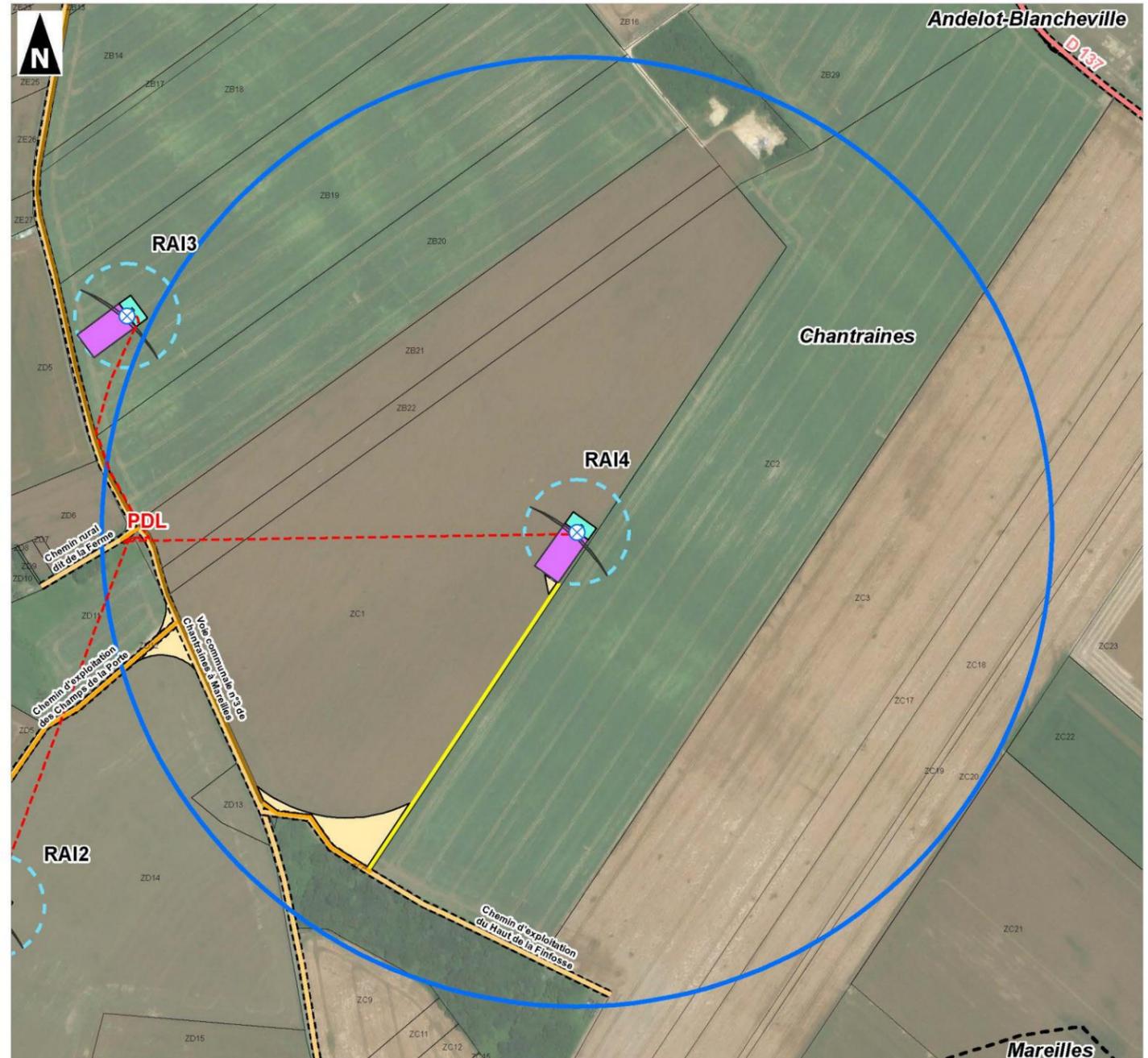
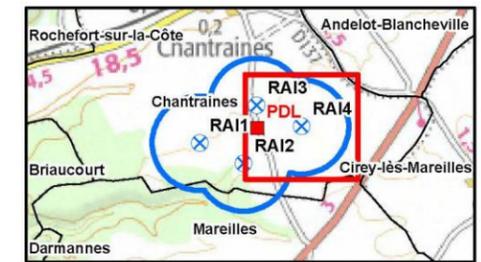
Réalisation : AUDDICE - 2019
Source de fond de carte : IGN Scan 100® - RGE Cadastre - Bing Satellite®
Sources de données : IGN BD Carto® - CADASTRE - ENEDIS - JPEE - AUDDICE, 2019



Carte des enjeux - Eolienne RAI4

- ⊗ Eolienne projetée
- Poste de livraison
- - - Raccordement électrique interne
- Aire d'étude (500 m)
- Limites cadastrales
- - - Limites communales
- Pales
- Emprise
- Plateforme
- Pan coupé
- Surplomb
- Chemin provisoire
- Chemin à créer
- Chemin à renforcer
- Chemin en état à renforcer au cas par cas

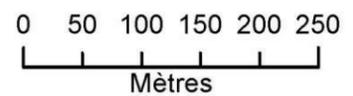
- Enjeux :**
- Axes de circulation :
- Route départementale
 - Voie communale
- Réseau d'électricité :
- Ligne HTA aérienne



1:6 000

(Pour une impression sur format A4 sans réduction de taille)

Réalisation : AUDDICE - 2019
Source de fond de carte : IGN Scan 100® - RGE Cadastre - Bing Satellite®
Sources de données : IGN BD Carto® - CADASTRE - ENEDIS - JPEE - AUDDICE, 2019



CHAPITRE 4. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

4.1 Caractéristiques de l'installation

4.1.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien

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

- Plusieurs **éoliennes** fixées sur une fondation adaptée, accompagnée d'une aire stabilisée appelée « plateforme » ou « aire de grutage » ;
- Un réseau de **câbles électriques enterrés** permettant d'évacuer l'électricité produite par chaque éolienne vers le ou les poste(s) de livraison électrique (appelé « réseau inter-éolien ») ;
- Un ou plusieurs **postes de livraison électriques**, par lesquels passe l'électricité produite par le parc avant d'être livrée sur le réseau public d'électricité ;
- Un ensemble de **chemins d'accès** aux éléments du parc ;
- Moyens de communication permettant le contrôle et la supervision à distance du parc éolien ;
- Eventuellement de moyens de mesures du vent.

■ Éléments constitutifs d'un aérogénérateur

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

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

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

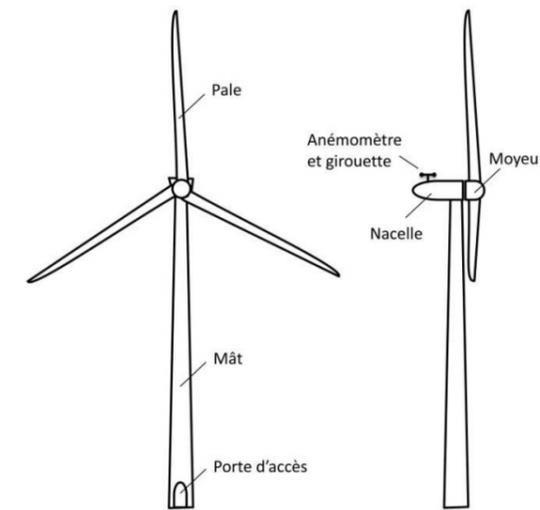


Figure 3. Schéma simplifié d'un aérogénérateur

■ Emprise au sol

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

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

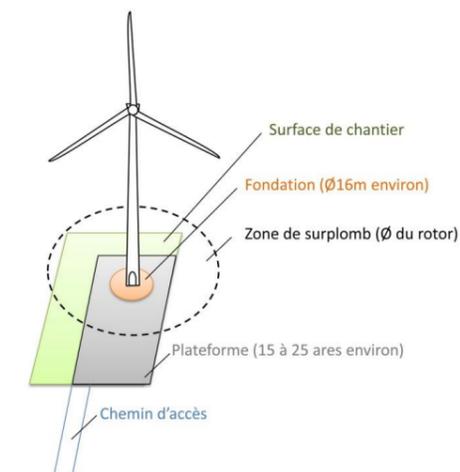


Figure 4. Illustration des emprises au sol d'une éolienne

■ Chemins d'accès

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

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

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

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

4.1.2 Activité de l'installation

L'activité principale du **parc éolien des Rainettes** est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent.

Conformément au § 1.3 Nomenclature des installations classées page 7, cette installation est soumise à la rubrique 2980 des Installations classées pour la protection de l'environnement.

4.1.3 Composition de l'installation

Dans le cadre de ce projet, trois modèles d'aérogénérateurs de même gabarit sont envisagés par le porteur du projet, celui-ci se laissant le choix définitif après délivrance des autorisations administratives nécessaires.

Les 3 modèles d'éoliennes (deux modèle de puissance différente chez Nordex et un modèle chez Vestas) ont une hauteur en bout de pale similaire de 150 m. Afin de se placer dans des conditions majorantes, les calculs présentés dans l'étude détaillée des risques (Cf. § 8.2 – Sélection de l'éolienne la plus impactante, page 63) seront effectués avec les dimensions de la VESTAS V110.

Le porteur du projet se laisse le choix d'un modèle de machine en respectant un gabarit maximum en bout de pale de 150 m de hauteur, parmi les modèles décrits ci-après.

Caractéristiques *	NORDEX N117 2,4 à 3 MW	VESTAS V110 2,2 MW
Hauteur totale	149,4	150
Hauteur de moyeu	91	95
Hauteur du mât au sens ICPE (mât + nacelle)	93	96
Diamètre du rotor	116,8	110
Longueur des pales	57,3	54
Largeur à la base du mât	4,3	3,65
Corde maximale pale	3,5	3,9

* La suite de l'étude est basée sur les caractéristiques de l'éolienne Vestas V110, les données d'entretien et de sécurité pour la Nordex N117 sont données en annexe de l'étude

Tableau 4. Caractéristiques techniques des éoliennes

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs et du poste de livraison, sur la commune de Chantraines :

	Coordonnées en Lambert 93		Coordonnées en WGS84		Altitude au sol En m NGF/sol	Altitude totale En m NGF	Parcelle
	X	Y	Lat.	Long.			
RAI1	866564,50	6791810,64	48°12'19.3018" N	5°14'32.5291" E	320	470	ZD 23
RAI2	867029,32	6791589,36	48°12'11.7086" N	5°14'54.7393" E	320	470	ZD 14
RAI3	867171,10	6792210,38	48°12'31.6861" N	5°15'2.4646" E	319	469	ZB 19
RAI4	867646,15	6791980,36	48°12'23.7989" N	5°15'25.1582" E	331	481	ZC 1
PDL	867171,79	6791974,09	48°12'24.0347" N	5°15'2.1715" E	326	328,6	ZD 11

Tableau 5. Coordonnées géographiques des éoliennes et du poste de livraison

Les différents aérogénérateurs, le poste de livraison, les plateformes, les chemins d'accès et les réseaux enterrés sont représentés sur les plans réglementaires

cf. Cahier 6 Plans réglementaires -Dossier de demande d'autorisation environnementale, et carte page suivante



Carte 12. Plan masse du projet éolien des Rainettes

4.2 Fonctionnement de l'installation

4.2.1 Principe général du fonctionnement d'un aérogénérateur

Les instruments de mesure de vent placés au-dessus de la nacelle conditionnent le fonctionnement de l'éolienne.

Grâce aux informations transmises par la girouette qui détermine la direction du vent, le rotor se positionnera pour être continuellement face au vent.

Les pales se mettent en mouvement lorsque l'anémomètre (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 2 m/s, et c'est seulement à partir de 3 m/s que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor et l'arbre dit « lent » transmettent alors l'énergie mécanique à basse vitesse (entre 5 et 14 tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit « rapide » tourne environ 100 -120 fois plus vite que l'arbre lent. La génératrice transforme l'énergie mécanique captée par les pales en énergie électrique.

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

L'électricité produite par la génératrice correspond à un courant alternatif de fréquence 50 Hz avec une tension de 400 à 690 V. La tension est ensuite élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur placé dans chaque éolienne pour être ensuite injectée dans le réseau électrique public.

Lorsque la mesure de vent, indiquée par l'anémomètre, atteint une vitesse de plus de 90 km/h (variable selon le type d'éolienne), l'éolienne cesse de fonctionner pour des raisons de sécurité. Deux systèmes de freinage permettront d'assurer la sécurité de l'éolienne :

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

Éléments de l'installation	Fonction	Caractéristiques
Fondation	Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol	<p>Le massif de fondation est composé de béton armé et conçu pour répondre aux prescriptions de l'Eurocode 2. Les fondations ont entre 2.5 et 3.5 mètres d'épaisseur pour un diamètre de l'ordre de 15 à 20 mètres. Ceci représente une masse de béton d'environ 1 000 tonnes. Un système constitué de tiges d'ancrage, dit « anchor cage » disposé au centre du massif de fondation, permet la fixation de la bride inférieure de la tour.</p> <p>Cette structure doit répondre aux calculs de dimensionnement des massifs qui prennent en compte les caractéristiques suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le type d'éolienne ; • La nature des sols ; • Les conditions météorologiques extrêmes ; • Les conditions de fatigue.
Tour / mât	Supporter la nacelle et le rotor	<p>La tour des éoliennes (également appelée mât) est constituée de plusieurs sections tubulaires en acier, de plusieurs dizaines de millimètres d'épaisseur et de forme tronconique, qui sont assemblées entre elles par brides. Fixée par une bride aux tiges d'ancrage disposées dans le massif de fondation, la tour est autoportante.</p> <p>La hauteur de la tour, ainsi que ses autres dimensions, sont en relation avec le diamètre du rotor, la classe des vents, la topologie du site et la puissance recherchée.</p> <p>La tour permet le cheminement des câbles électriques de puissance et de contrôle et abrite :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Une échelle d'accès à la nacelle ; - Un élévateur de personnes ; - Une armoire de contrôle et des armoires de batteries d'accumulateurs (en point bas) ; - Les cellules de protection électriques.

Eléments de l'installation	Fonction	Caractéristiques
Nacelle	<p>Supporter le rotor</p> <p>Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité</p>	<p>La nacelle se situe au sommet de la tour et abrite les composants mécaniques, hydrauliques, électriques et électroniques, nécessaires au fonctionnement de l'éolienne (voir figure ci-après).</p> <p>Elle est constituée d'une structure métallique habillée de panneaux en fibre de verre et est équipée de fenêtres de toit permettant d'accéder à l'extérieur.</p> <p>Le système de refroidissement Vestas CoolerTop™ assure le refroidissement des principaux éléments de l'éolienne et sert également de support pour les balisages lumineux et les capteurs de vent (voir la photo ci-après). Ces capteurs à ultrasons mesurent en permanence la vitesse et la direction du vent.</p> <p>Une sonde de température extérieure est placée sous la nacelle et reliée au contrôle commande.</p> <p>La nacelle n'est pas fixée de façon rigide à la tour. La partie intermédiaire entre la tour et la nacelle constitue le système d'orientation, appelé « yaw system », permettant à la nacelle de s'orienter face au vent, c'est-à-dire de positionner le rotor dans la direction du vent.</p> <p>Le système d'orientation est constitué de plusieurs dispositifs motoréducteurs solidaires de la nacelle. Ces dispositifs permettent la rotation de la nacelle et son maintien en position face au vent. La vitesse maximum d'orientation de la nacelle est de moins de 0,5 degrés par seconde soit environ une vingtaine de minutes pour faire un tour complet.</p> <p>Afin d'éviter une torsion excessive des câbles électriques reliant la génératrice au réseau public, il existe un dispositif de contrôle de rotation de la nacelle. Celle-ci peut faire 3 à 5 tours de part et d'autre d'une position moyenne. Au-delà, un dispositif automatique provoque l'arrêt de l'éolienne, le retour de la nacelle à sa position dite « zéro », puis la turbine redémarre.</p>

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

Éléments de l'installation	Fonction	Caractéristiques
Multiplicateur	Multiplier la vitesse de rotation issue de l'arbre lent	<p>Le multiplicateur permet de multiplier la vitesse de rotation d'un facteur de l'ordre de 100 à 130 selon les modèles, de telle sorte que la vitesse de sortie (« arbre rapide ») est d'environ 1 500 tours par minute. Le multiplicateur est constitué d'un étage de train épicycloïdal et de deux arbres parallèles à roues dentées à dentures hélicoïdales.</p> <p>Le dispositif de transmission entre l'arbre rapide et la génératrice (coupling) est un dispositif flexible, réalisé en matériau composite afin de compenser les éventuels défauts d'alignement mais surtout afin de constituer une zone de moindre résistance et de pouvoir rompre en cas de blocage d'un des deux équipements.</p> <p>Sur l'arbre rapide du multiplicateur est monté un disque de frein, à commande hydraulique, utilisé pour l'arrêt de la turbine en cas d'urgence.</p>
Générateur et transformateur	<p>Produire de l'énergie électrique à partir d'énergie mécanique</p> <p>Elever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau</p>	<p>Les éoliennes sont équipées d'un système générateur/transformateur fonctionnant à vitesse variable (et donc à puissance mécanique fluctuante).</p> <p>Le générateur, de type asynchrone, convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. Il s'agit d'un générateur triphasé, du type quadripolaire à rotor bobiné avec alimentation électrique du stator au démarrage. Il délivre deux niveaux de tension différents (690 V et 480 V en courant alternatif) qui sont dirigés vers le transformateur élévateur de tension.</p> <p>Le dispositif de contrôle « Vestas Converter System » (VCS) permet de réguler le fonctionnement du générateur.</p> <p>Le refroidissement du générateur est effectué par un système de circulation forcée d'air.</p> <p>En sortie de générateur, les deux niveaux de tension (480 V et 690 V) sont élevés par un transformateur sec. Le courant de sortie est régulé par des dispositifs électroniques de façon à pouvoir être compatible avec le réseau public. Le transformateur est localisé dans une pièce fermée à l'arrière de la nacelle.</p>

Éléments de l'installation	Fonction	Caractéristiques
Connexion au réseau électrique public	Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public	<p>Les éoliennes d'un même champ éolien sont ensuite raccordées au réseau électrique de distribution (ERDF ou régies) ou de transport (RTE) via un ou plusieurs postes de livraison. Ces postes font ainsi l'interface entre les installations et le réseau électrique.</p> <p>Chaque poste est équipé d'appareils de comptage d'énergie indiquant l'énergie soutirée au réseau mais également celle injectée. Il comporte aussi la protection générale dont le but est de protéger les éoliennes et le réseau inter-éolien en cas de défaut sur le réseau électrique amont.</p> <p>Les liaisons électriques entre éoliennes et poste(s) de livraison sont assurées par des câbles souterrains.</p>

Tableau 6. Découpage fonctionnel de l'installation

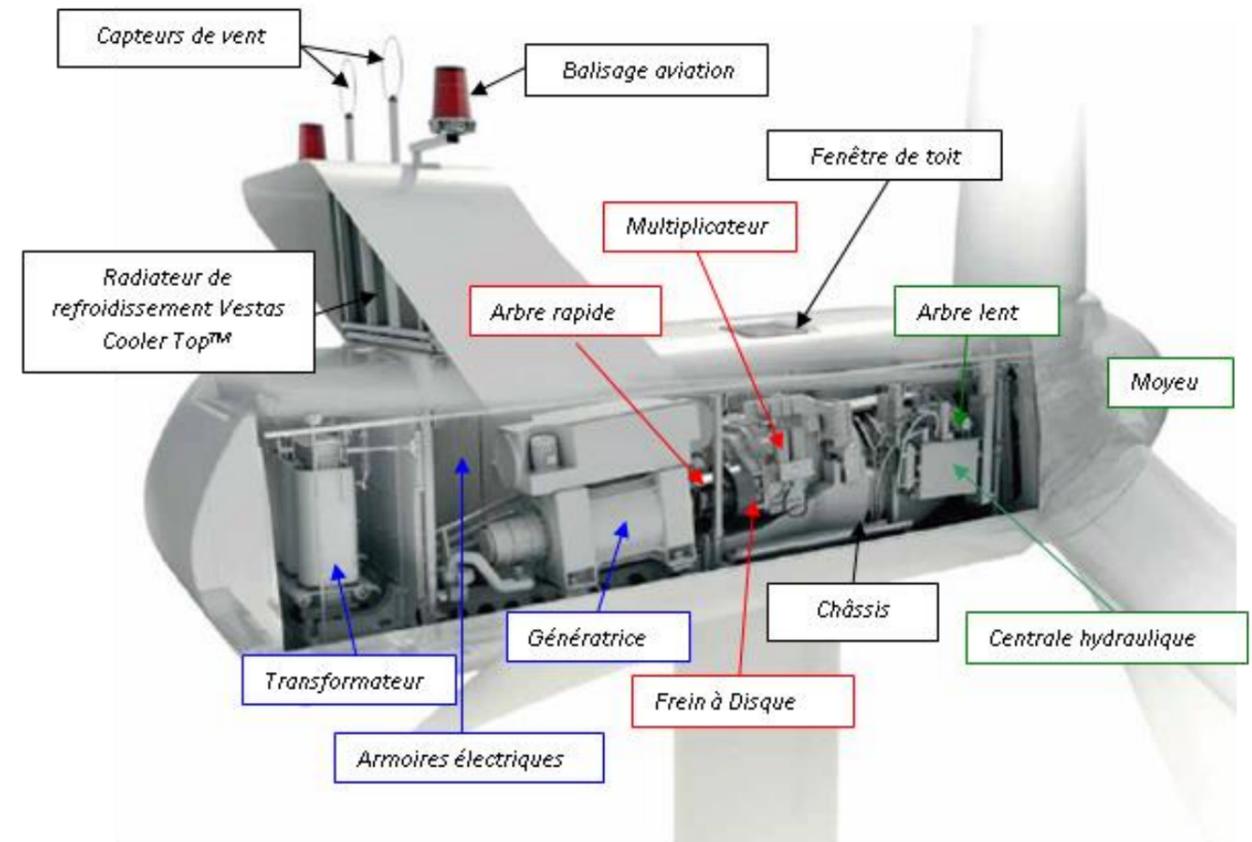


Figure 5. Composants de la nacelle de la Vestas V110

4.2.2 Sécurité de l'installation (prescriptions relatives à l'arrêté du 26 août 2011)

■ Dispositions constructives

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

Le maître d'Ouvrage s'engage à choisir un modèle d'aérogénérateur qui respectera les articles 8 à 11 de l'arrêté du 26 août 2011 :

- **L'aérogénérateur** sera conforme aux dispositions de la norme NF EN 61 400-1 dans sa version de juin 2006 ou CEI 61 400-1 dans sa version de 2005 ou toute norme équivalente en vigueur dans l'Union Européenne, à l'exception des dispositions contraires aux prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011. L'exploitant tiendra à disposition de l'inspection des installations classées les rapports des organismes compétents attestant de la conformité des aérogénérateurs à la norme précitée.
- En outre l'exploitant tiendra à disposition de l'inspection des installations classées les justificatifs démontrant que chaque aérogénérateur de **l'installation est conforme** aux dispositions de l'article R. 111-38 du code de la construction et de l'habitation.
- **L'installation sera mise à la terre.** Les aérogénérateurs respecteront les dispositions de la norme IEC 61 400-24 (version de juin 2010). L'exploitant tiendra à disposition de l'inspection des installations classées les rapports des organismes compétents attestant de la conformité des aérogénérateurs à la norme précitée.
- **Les installations électriques à l'intérieur de l'aérogénérateur** respecteront les dispositions de la directive du 17 mai 2006 susvisée qui leur sont applicables. Les installations électriques extérieures à l'aérogénérateur seront conformes aux normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NFC 13-100 (version de 2001) et NFC 13-200 (version de 2009).
- **Le balisage de l'installation** est défini par l'arrêté du 23 avril 2018 (publié au JORF le 4 mai 2018), abrogeant et remplaçant l'arrêté du 13 novembre 2009 et l'arrêté du 7 décembre 2010 et sera conforme aux dispositions prises en application des articles L. 6351-6 et L. 6352-1 du code des transports et des articles R. 243-1 et R. 244-1 du code de l'aviation civile.

■ Exploitation

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

- Les personnes étrangères à l'installation n'auront pas d'accès libre à l'intérieur des aérogénérateurs. Les accès à l'intérieur de chaque aérogénérateur, du poste de transformation, de raccordement ou de livraison seront maintenus fermés à clef afin d'empêcher les personnes non autorisées d'accéder aux équipements.

- Les prescriptions à observer par les tiers seront affichées soit en caractères lisibles, soit au moyen de pictogrammes sur un panneau sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, sur le poste de livraison et, le cas échéant, sur le poste de raccordement. Elles concernent notamment :
 - les consignes de sécurité à suivre en cas de situation anormale ;
 - l'interdiction de pénétrer dans l'aérogénérateur ;
 - la mise en garde face aux risques d'électrocution ;
 - la mise en garde face au risque de chute de glace.

■ Limitation des risques

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

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

Les consignes de sécurité indiqueront également les mesures à mettre en œuvre afin de maintenir les installations en sécurité dans les situations suivantes : survitesse, conditions de gel, orages, tremblements de terre, haubans rompus ou relâchés, défaillance des freins, balourd du rotor, fixations détendues, défauts de lubrification, tempêtes de sable, incendie ou inondation.

- Chaque aérogénérateur sera doté d'un système de détection qui permettra d'alerter, à tout moment, l'exploitant ou un opérateur qu'il aura désigné, en cas d'incendie ou d'entrée en survitesse de l'aérogénérateur.

L'exploitant ou un opérateur qu'il aura désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de quinze minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur.

L'exploitant dressera la liste de ces détecteurs avec leur fonctionnalité et déterminera les opérations d'entretien destinées à maintenir leur efficacité dans le temps.

- Chaque aérogénérateur sera doté de moyens de lutte contre l'incendie appropriés aux risques et conformes aux normes en vigueur, notamment :
 - d'un système d'alarme qui pourra être couplé avec le dispositif mentionné précédemment et qui informera l'exploitant à tout moment d'un fonctionnement anormal. Ce dernier sera en mesure de mettre en œuvre les procédures d'arrêt d'urgence mentionnées ci-dessus dans un délai de soixante minutes ;

- d'au moins deux extincteurs situés à l'intérieur de l'aérogénérateur, au sommet et au pied de celui-ci. Ils seront positionnés de façons bien visibles et facilement accessibles. Les agents d'extinction seront appropriés aux risques à combattre.
- Chaque aérogénérateur sera équipé d'un système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. En cas de formation importante de glace, l'aérogénérateur sera mis à l'arrêt dans un délai maximal de soixante minutes. L'exploitant définira une procédure de redémarrage de l'aérogénérateur en cas d'arrêt automatique lié à la présence de glace sur les pales.

Lorsqu'un référentiel technique permettant de déterminer l'importance de glace formée nécessitant l'arrêt de l'aérogénérateur sera reconnu par le ministre des installations classées, l'exploitant respectera les règles prévues par ce référentiel.

■ Organisation des secours

Moyens internes :

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

Moyens externes :

Le SDIS a formulé des préconisations sur le projet dans son courrier en date du 18 février 2019.

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

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

4.2.3 Opérations de maintenance de l'installation

4.2.3.1 Dispositions générales

L'installation respectera toutes les prescriptions imposées par la réglementation et en particulier par l'arrêté ministériel du 26 août 2011.

Cela concerne notamment :

■ Etat des accès des installations (article 13 de l'arrêté du 26 août 2011)

L'accès aux éoliennes ainsi qu'aux postes de livraison est verrouillé et contrôlé. Toute personne souhaitant accéder aux infrastructures doit respecter les procédures qui sont indiquées sur les panneaux d'affichage. Pour tout accès, il est nécessaire de contacter la hotline du service d'exploitation et d'indiquer les identités des intervenants et les raisons de la visite. La prise de connaissance par tout personnel du plan de prévention de l'installation est également contrôlée.

Le bon fonctionnement de ce système d'identification est contrôlé par le maintenancier lors des deux visites annuelles ainsi que par l'équipe d'exploitation lorsqu'elle se rend sur site.

■ Tests avant mise en service (article 15 de l'arrêté du 26 août 2011)

Avant la mise en service du parc éolien, des tests d'arrêt d'urgence et de survitesse sont effectués sur chaque éolienne. Ces tests sont répétés une fois par an pendant toute la durée d'exploitation du parc éolien.

L'ensemble de ces tests est intégré dans les protocoles de maintenance signés avec le constructeur des éoliennes.

Vérification des installations électriques et des mises à la terre (article 25 de l'arrêté du 26 août 2011)

L'ensemble des installations électriques fait l'objet d'un contrôle de vérification initiale avant mise en service par un organisme de contrôle. Les éoliennes et les postes de livraison sont équipés de l'ensemble des protections réglementaires permettant de garantir la sécurité électrique des installations. Les procédures d'inspection prévoient le contrôle de la fonctionnalité des organes de protection, des mises à la terre et des valeurs de prises de terre.

4.2.3.2 Conduite du système

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

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

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

Par contre, en cas d'arrêt lié à un déclenchement de capteur de sécurité (déclenchement VOG, déclenchement détecteur d'arc électrique, température haute, pression basse huile...), une intervention humaine sur l'éolienne est nécessaire pour examiner l'origine du défaut avant de pouvoir relancer un démarrage.

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

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

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

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

4.2.3.3 Formation des personnels

Les personnels intervenant sur les éoliennes, tant pour leur montage que pour leur maintenance, sont des personnels des entreprises constructeurs des éoliennes (personnel VESTAS si modèle V110), formés au poste de travail et informés des risques présentés par l'activité.

Toutes les interventions (pour montage, maintenance, contrôles) font l'objet de procédures qui définissent les tâches à réaliser, les équipements d'intervention à utiliser et les mesures à mettre en place pour limiter les risques d'accident. Des check-lists sont établies afin d'assurer la traçabilité des opérations effectuées.

Le centre de maintenance Vestas est composé de techniciens spécialisés, le centre le plus proche du parc éolien des Rainettes est situé sur la commune de Langres à environ 50 km.

4.2.3.4 Entretien du matériel

La liste des opérations à effectuer sur les diverses machines ainsi que leur périodicité est définie par des procédures. Les principaux contrôles effectués sont présentés ci-après.

	Composants	Opérations
Inspection après 3 mois de fonctionnement	Etat général	Vérification de la propreté de l'intérieur de l'éolienne Vérification qu'aucun matériau combustible ou inflammable n'est entreposé dans l'éolienne
	Moyeu	Inspection visuelle du moyeu Vérification des boulons entre le moyeu et les supports de pale* Vérification des boulons maintenant la coque du moyeu
	Pales	Vérification des roulements et du jeu Inspection visuelle des pales, de l'extérieur et de l'intérieur Vérification des boulons de chaque pale* Vérification des bandes paratonnerres
	Système de transfert de courant foudre Moyeu / nacelle	Vérification des boulons et de l'absence d'impacts de foudre.
	Arbre principal	Vérification des boulons fixant l'arbre principal et le moyeu* Inspection visuelle des joints d'étanchéité Vérification des dommages au niveau des boulons de blocage du rotor
	Système d'orientation de	Vérification des boulons fixant le haut du palier d'orientation et la tour*

la nacelle (Yaw system)	Vérification du système de lubrification
Tour	Vérification de l'état du béton à l'intérieur et à l'extérieur de la tour Vérification des boulons entre la partie fondation et la tour, entre les sections de la tour et sur l'échelle* Vérification des brides et des cordons de soudure Vérification des plateformes Vérification du câble principal
Bras de couple	Vérification boulons
Système d'inclinaison des pales (Vestas Pitch System)	Vérification des boulons du cylindre principal et du bras de manivelle Vérification des boulons de l'arbre terminal et des roulements
Multiplicateur	Vérification du niveau d'huile Vérification du niveau sonore lors du fonctionnement du multiplicateur Vérification des joints, de l'absence de fuite, etc...
Générateur	Vérification des câbles électriques dans le générateur Vérification des boulons
Système de refroidissement par eau	Vérification du fonctionnement des pompes à eau Vérifications des tubes et des tuyaux
Vestas Cooler Top™	Vérification boulons Inspection visuelle de la surface Vérification des ailettes et nettoyage si nécessaire Vérification du niveau de liquide de refroidissement
Système hydraulique	Vérification d'absence de fuites dans la nacelle, l'arbre principal et le moyeu
Onduleur	vérification du fonctionnement de l'onduleur.
Nacelle	Vérification boulons Vérification d'absence de fissures autour des raccords Vérification des points d'ancrage et des fissures autour de ceux-ci
Extérieur	Vérification de la protection de surface

	Nettoyage des têtes de boulons et d'écrous, des raccords, etc.
Transformateur	Inspection du transformateur
Sécurité générale	Inspection des câbles électriques
	Vérification du système antichute
	Test du système de freinage
	Test du capteur de vibrations
	Test des boutons d'arrêt d'urgence**

Tableau 7. Entretien préventif du matériel : inspection après trois mois de fonctionnement

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

Ces opérations de maintenance courante seront répétées lors de l'inspection après la première année de fonctionnement, puis régulièrement selon le calendrier de maintenance.

Les opérations de maintenance supplémentaires sont présentées ci-après.

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

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

	Vérification des équipements de sécurité		
	Vérification de la date d'inspection des extincteurs	X	X
	Inspection du système de freinage		X
			X

Tableau 8. Entretien préventif du matériel, biannuel ou annuel

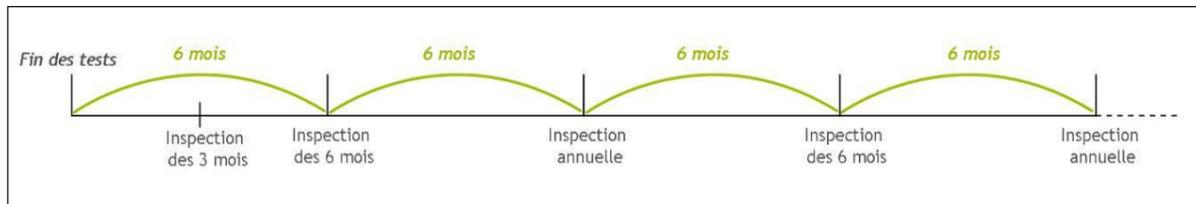


Figure 6. Calendrier des entretiens

4.2.3.5 Contrôles réglementaires périodiques

Les contrôles réglementaires concernent les installations électriques, les équipements et accessoires de levage ou les équipements sous pression (accumulateurs hydropneumatiques). Ils sont réalisés par des organismes agréés.

Le matériel incendie est contrôlé périodiquement par le fabricant du matériel ou un organisme extérieur.

4.2.3.6 Maintenance curative

Il s'agit des opérations de maintenance réalisées suite à des défaillances de matériels ou d'équipements (ex : remplacement d'un capteur défaillant, ajout de liquide de refroidissement faisant suite à une fuite...). Ces opérations sont faites à la demande, dès détection du dysfonctionnement, de façon à rendre l'équipement à nouveau opérationnel.

4.2.3.7 Prise en compte du retour d'expérience

Dans l'organisation Vestas, chaque incident ou défaillance est remonté systématiquement via un rapport détaillé dans une base de données générale. Toutes ces informations sont utilisées dans le cadre d'un processus d'amélioration continue.

Ainsi, les principaux axes d'amélioration ont porté sur :

- La mise en sécurité de la machine lors de vents violents ;
- Une meilleure gestion du risque d'incendie de la nacelle ;
- L'amélioration des dispositifs de protection contre les effets de la foudre ;
- La recherche de solutions pour limiter les effets de la formation de glace ou d'accumulation de neige ;
- L'étude de solutions visant à limiter les contraintes sur les équipements, qui peuvent accélérer l'usure et le vieillissement de ces équipements.

4.2.3.8 Stockage et flux de produits dangereux

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

4.3 Fonctionnement des réseaux de l'installation

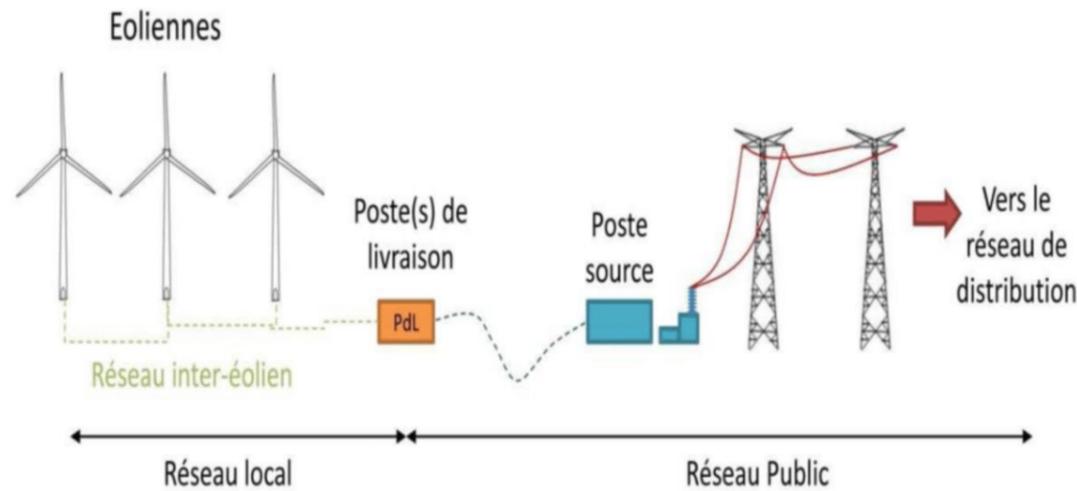


Figure 7. Raccordement électrique des éoliennes en interne et vers le réseau public

4.3.1 Réseau inter-éolien

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur, intégré dans le mât de chaque éolienne, au point de raccordement avec le réseau public. Ce réseau comporte également une liaison de télécommunication qui relie chaque éolienne au terminal de télésurveillance. Ces câbles constituent le réseau interne de la centrale éolienne, ils sont tous enfouis à une profondeur minimale de 80 cm en accotement de voies et à 120 cm minimum en plein champ.

Pour le projet **des Rainettes** l'itinéraire du raccordement interne du parc est indiqué sur les plans réglementaires. À noter que sa présence au sein des parcelles cultivées ne présente pas de contrainte particulière compte tenu de sa profondeur. Les installations électriques extérieures aux éoliennes respecteront les normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NFC 13-100 (version de 2001) et NFC 13-200 (version de 2009).

La mise à la terre s'effectue par un câble de cuivre parcourant la totalité du tracé assurant ainsi une prise de terre faible (inférieure à 2 Ohms) sécurisant les biens et les personnes en cas de défaut.

L'interconnexion entre les différents aérogénérateurs est assurée par des cellules électriques possédant des têtes de câbles isolées.

Le raccordement interne au parc éolien est décrit dans le schéma unifilaire général (Figure 9 en page 35).

Les 4 aérogénérateurs et le poste de livraison, les réseaux électriques enterrés sont représentés sur les plans d'ensemble du dossier de demande d'autorisation environnementale.

Le raccordement des éoliennes entre elles et le poste de livraison seront réalisés en souterrain.

Cf. Cahier n°6 Plans réglementaires – Demande d'Autorisation Environnementale.

4.3.2 Poste(s) de livraison

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

La localisation exacte de l'emplacement du ou des poste(s) de livraison est fonction de la proximité du réseau inter-éolien et de la localisation du poste source vers lequel l'électricité est ensuite acheminée.

Le poste de livraison prévu pour le parc éolien **des Rainettes** mesure 10,5 mètres sur 2,5 mètres et abrite les cellules de protection, de départ et d'arrivée destinées à l'injection de l'énergie produite vers le réseau public de distribution ainsi que, si nécessaire un filtre, 175 Hz destiné à atténuer la perturbation du parc éolien sur les signaux tarifaires du gestionnaire du réseau public de distribution.

La structure du poste de livraison est illustrée dans la figure ci-dessous (Figure 8).

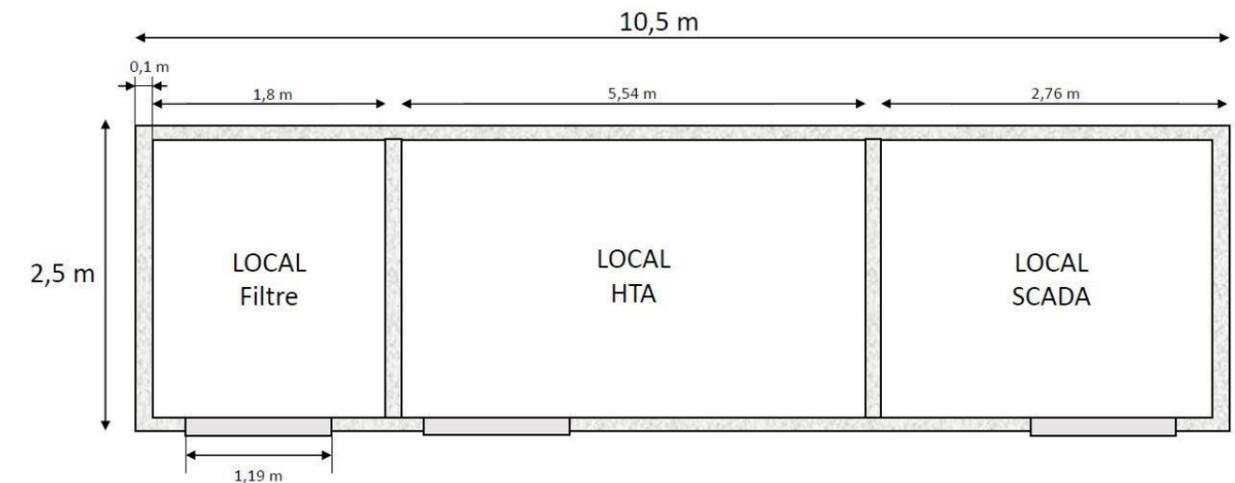


Figure 8. Plan du poste de livraison

4.3.2.1 Respect des normes techniques

Conformément au décret n°2017-81 du 26 janvier 2017 l'exploitant s'engage à respecter la conformité des liaisons électriques intérieures avec la réglementation technique en vigueur.

Les postes de livraison respecteront les normes suivantes : NFC 13-100, NFC 13-200 et NFC 15-100.

Les câbles respecteront la norme NFC 33 226 HTA (POPY).

4.3.2.2 Qualification du personnel

Le décret n°88-1056 du 14 novembre 1988 (consolidé au 22 juin 2001) pris pour l'exécution des dispositions du livre II du code du travail (titre III : Hygiène, sécurité et conditions du travail) en ce qui concerne la protection des travailleurs dans les établissements qui mettent en œuvre des courants électriques, indique dans la section VI les règles de protection des travailleurs dans les établissements mettant en œuvre des courants électriques.

Le personnel sera qualifié pour l'intervention sur les équipements électriques.

Le personnel en charge de l'installation des équipements sera conforme à la norme NFC 18-510 pour les installations basse tension et haute tension. Des formations concernent également le personnel qui travaille sur des opérations d'ordre non-électriques, dans le voisinage et la zone des installations électriques.

Au moment du chantier, un plan de prévention sera mis en place pour identifier par thèmes les risques liés au chantier et mettre en place des actions pour les éviter.

4.3.2.3 Synthèse des engagements

Dans tous les cas, le pétitionnaire s'engage à :

- Appliquer les prescriptions de l'arrêté technique du 17 mai 2011 (AT2001) fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions ;
- Diligenter un contrôle technique des travaux en application de l'article R.323-40 du code de l'énergie et de l'arrêté du 25 février 2019 relatif aux modalités du contrôle de conformité, par le biais :
 - D'un organisme diagnostiqueur ;
 - D'une structure interne indépendante de la maîtrise d'ouvrage et de l'exploitation ;
 - D'un gestionnaire de réseau public et d'électricité ;
- Se faire connaître auprès de l'INERIS qui gère le guichet unique en application des dispositions des articles L.554-1 à L.554-4 et suivants du code de l'environnement qui sont relatives à la sécurité des réseaux souterrains, aériens, subaquatiques de transport ou de distribution en lien avec l'AT2001.

4.3.3 Raccordement électrique du parc éolien des Rainettes

4.3.3.1 Raccordement externe au réseau HTA

La jonction au réseau extérieur sera réalisée en souterrain, depuis le poste de livraison vers le poste source qui sera défini par Enedis.

Le raccordement d'un parc éolien résulte d'un accord entre le producteur et le gestionnaire du réseau sous l'égide de la Commission de Régulation de l'Electricité (CRE). Les lignes électriques à créer pour raccorder les éoliennes au réseau public de distribution ou de transport sont à la charge de l'opérateur ainsi que le renforcement des lignes électriques existantes. Les travaux seront réalisés par le gestionnaire du réseau qui en assurera la maîtrise d'ouvrage.

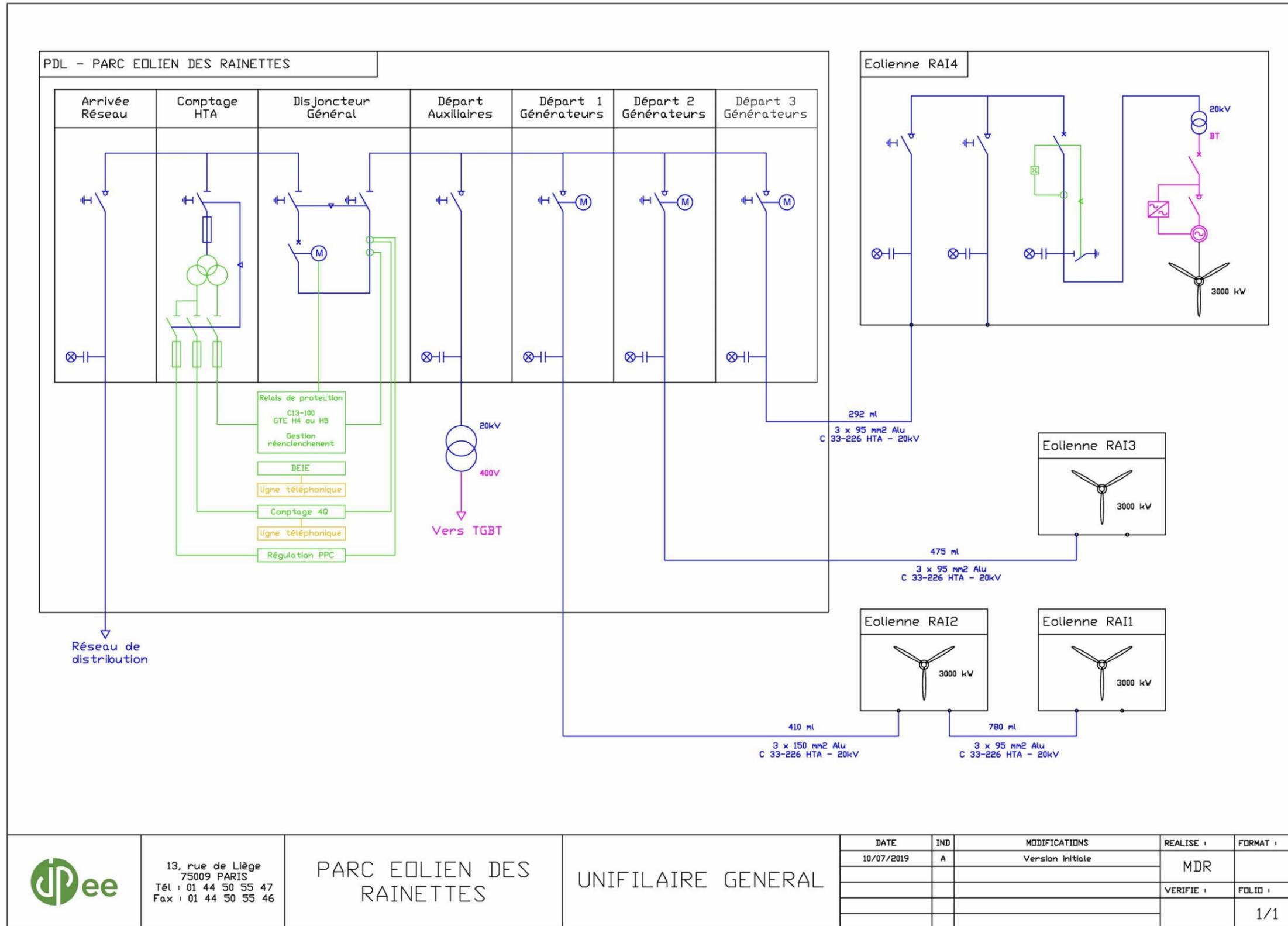
Le tracé et les caractéristiques de raccordement seront définis avec précision lors de la demande de PTF qui ne pourra s'effectuer qu'après l'obtention de la présente autorisation environnementale.

Pour l'aire d'étude, les postes sources les plus proches sont ceux de Chaumont, Froncles et Vesaignes dans un rayon de 15 km autour du projet.

Une pré-étude simple (PES) réalisée par ENEDIS propose le raccordement au poste source de Chaumont qui dispose d'une capacité réservée disponible de 12 MW (en date d'avril 2018) au titre du S3REnR.

4.3.4 Autres réseaux

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



13, rue de Liège
 75009 PARIS
 Tél : 01 44 50 55 47
 Fax : 01 44 50 55 46

PARC EOLIEN DES
 RAINETTES

UNIFILAIRE GENERAL

DATE	IND	MODIFICATIONS	REALISE :	FORMAT :
10/07/2019	A	Version initiale	MDR	
			VERIFIE :	FOLIO :
				1/1

Figure 9. Schéma unifilaire général

CHAPITRE 5. IDENTIFICATION DES DANGERS POTENTIELS DE L'INSTALLATION

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

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

5.1 Potentiels de dangers liés aux produits

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

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

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

5.1.1 Dangers des produits

Les risques associés aux différents produits concernant le Parc éolien des Rainettes sont :

■ Inflammabilité et comportement vis à vis de l'incendie

Les huiles, les graisses et l'eau glycolée ne sont pas des produits inflammables. Ce sont néanmoins des produits combustibles qui sous l'effet d'une flamme ou d'un point chaud intense peuvent développer et entretenir un incendie. Dans les incendies d'éoliennes, ces produits sont souvent impliqués.

Certains produits de maintenance peuvent être inflammables mais ils ne sont amenés dans l'éolienne que pour les interventions et sont repris en fin d'opération.

Le SF₆ (Héxafluorure de soufre) est pour sa part ininflammable.

■ Toxicité pour l'homme

Ces divers produits ne présentent pas de caractère de toxicité pour l'homme. Ils ne sont pas non plus considérés comme corrosifs. Toutefois, le risque de toxicité peut survenir suite à un incendie créant certains produits de décomposition nocifs, entraînés dans les fumées de l'incendie.

■ Dangérosité pour l'environnement

Vis-à-vis de l'environnement, le SF₆ possède un potentiel de réchauffement global (gaz à effet de serre) très important, mais les quantités présentes sont limitées.

Les huiles et graisses, même si elles ne sont pas classées comme dangereuses pour l'environnement, peuvent en cas de déversement au sol ou dans les eaux entraîner une pollution en hydrocarbures du milieu.

Le classement des substances utilisées sur le site sera conforme à l'arrêté du 20 avril 1994 modifié en janvier 2009 relatif à la déclaration, la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances.

En conclusion, il ressort que les produits présentent des dangers en cas d'incendie ou s'ils sont déversés dans l'environnement générant un risque de pollution des sols ou des eaux.

5.2 Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

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

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

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant :

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

Tableau 9. Dangers potentiels d'une éolienne

5.3 Réduction des potentiels de dangers à la source

5.3.1 Principales actions préventives

Ce paragraphe a pour but de montrer que des actions préventives ont été mises en œuvre.

■ Réduction des dangers liés aux produits

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

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

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

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

■ Substitution des équipements

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

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

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

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

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

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

■ Réduction des dangers liés aux installations

Les principaux choix qui ont été effectués par le porteur de projet au cours de sa conception permettent de réduire les potentiels de danger identifiés et garantir une sécurité optimale de l'installation :

- Des mesures de vents ont été effectuées en amont du projet permettant une prévision des conditions climatiques. Le choix de la machine sera adapté à ces conditions.
- Lors de la démarche de conception du projet, le porteur du projet a étudié plusieurs scénarii d'implantation afin de déterminer celui qui minimise les impacts vis-à-vis des intérêts mentionnés par l'article L511-1 du code de l'environnement. (Cf. Volet 4 : Etude d'impact : § Analyse des variantes)

Le respect des prescriptions générales de l'arrêté du 26/08/11 impose au projet :

- Un éloignement des aérogénérateurs de 500 m des habitations,
- Un choix d'aérogénérateurs respectant des normes de sécurité et disposant d'équipements de prévention des risques,
- La réalisation obligatoire d'un contrôle technique des ouvrages.

5.3.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles

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

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

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

CHAPITRE 6. ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE

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

L'analyse des retours d'expérience vise donc ici à faire émerger des typologies d'accidents rencontrés tant au niveau national qu'international. Ces typologies apportent un éclairage sur les scénarios les plus rencontrés.

D'autres informations sont également utilisées dans l'analyse détaillée des risques.

6.1 Inventaire des accidents et incidents en France

Un inventaire des incidents et accidents en France a été réalisé afin d'identifier les principaux phénomènes dangereux potentiels pouvant affecter le parc éolien. Cet inventaire se base sur le retour d'expérience de la filière éolienne et a été effectué en mars 2012 et complété par les données disponibles de la base de données ARIA (consultation en janvier 2019).

Cf. Annexe 3 : Annexe au guide technique, inventaire de l'accidentologie réalisé en mars 2012 par le groupe de travail INERIS/SER FEE + complément à l'accidentologie mis à jour jusqu'en 2019.

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 INERIS/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. Ce tableau de travail a été validé par les membres du groupe de travail précédemment mentionné. Il est complété, en 2018, par 38 incidents supplémentaires enregistrés en France entre 2012 et début 2018.

Il apparaît dans ce recensement que les aérogénérateurs accidentés sont principalement des modèles anciens (installés dans les années 90 et la première moitié des années 2000), qui ne bénéficient 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 2018. 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.

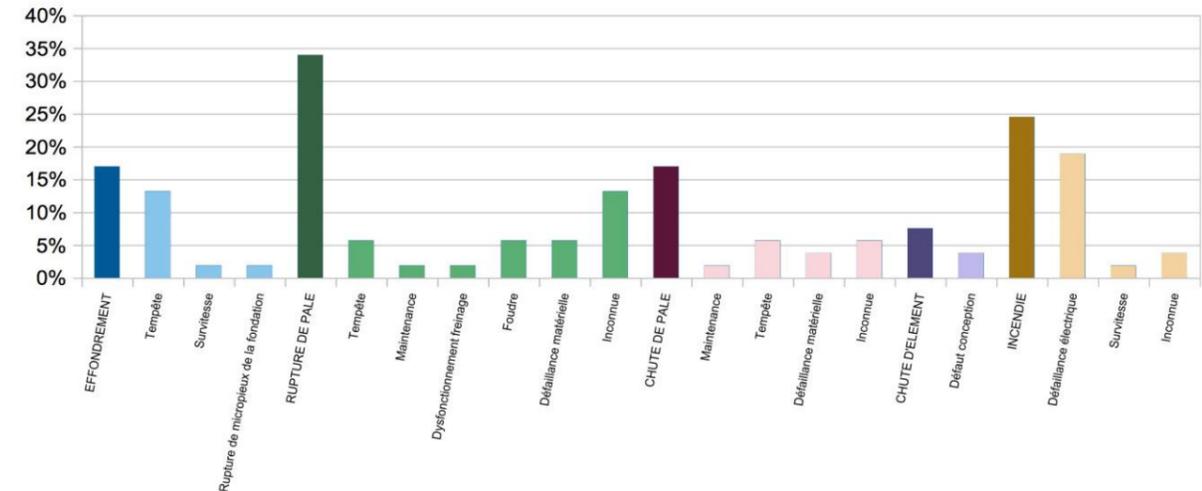


Figure 10. Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et 2018

Par ordre d'importance, les accidents les plus recensés sont les ruptures de pale, les incendies, les effondrements, les chutes de pale et les chutes des autres éléments de l'éolienne. La principale cause de ces accidents est les tempêtes (hors incendie liés principalement à des défaillances électriques).

6.2 Inventaire des accidents et incidents à l'international

Un inventaire des incidents et accidents à l'international a également été réalisé. Il se base lui aussi sur le retour d'expérience de la filière éolienne au 31 mars 2018.

La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur les 2 231 accidents décrits dans la base de données au moment de sa mise à jour au 31 mars 2018, 1 368 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.

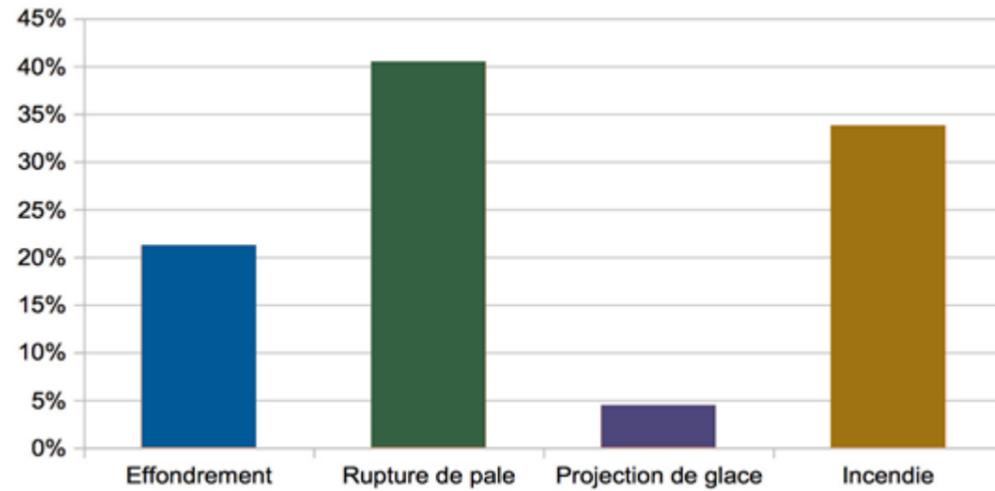


Figure 11. Répartition des évènements accidentels dans le monde entre 2000 et 2018

La répartition des évènements accidentels dans le monde entre 2000 et 2018 du même ordre de grandeur que celle qui avait été observée entre 2000 et 2011 par le groupe de travail de SER/FEE.

Ci-après, le recensement des causes premières présenté pour chacun des événements accidentels recensés (données en répartition par rapport à la totalité des accidents analysés) est celui qui porte sur les données 2000-2011 analysées par le groupe de travail mentionné précédemment.

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.

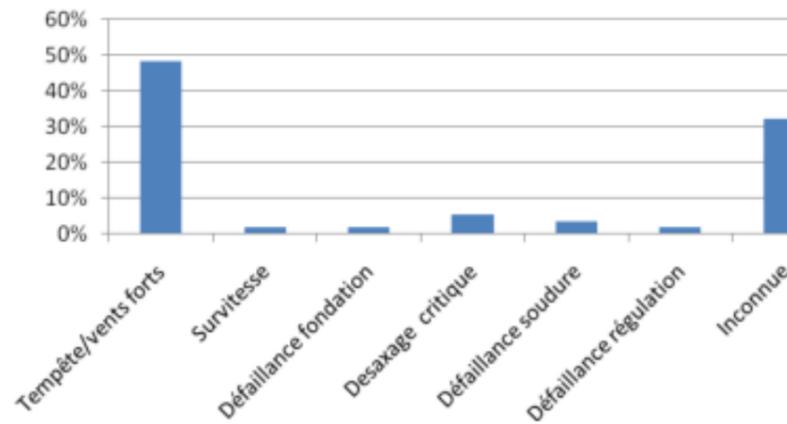


Figure 12. Répartition des causes premières d'effondrement

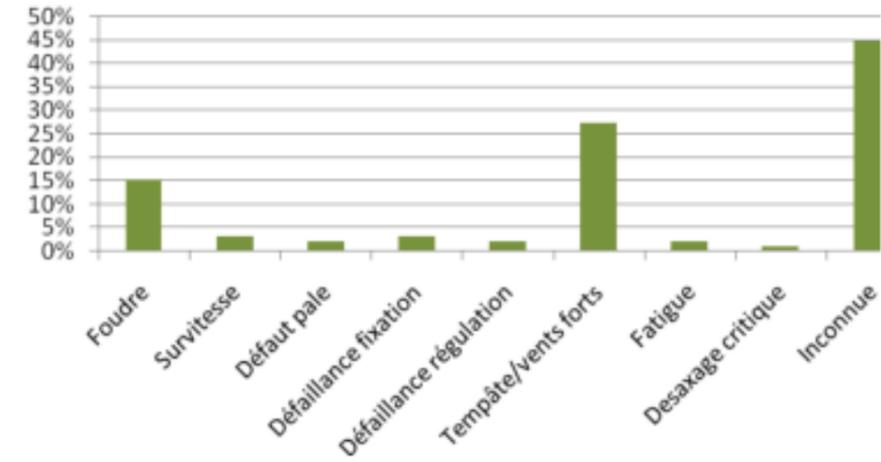


Figure 13. Répartition des causes premières de ruptures de pales

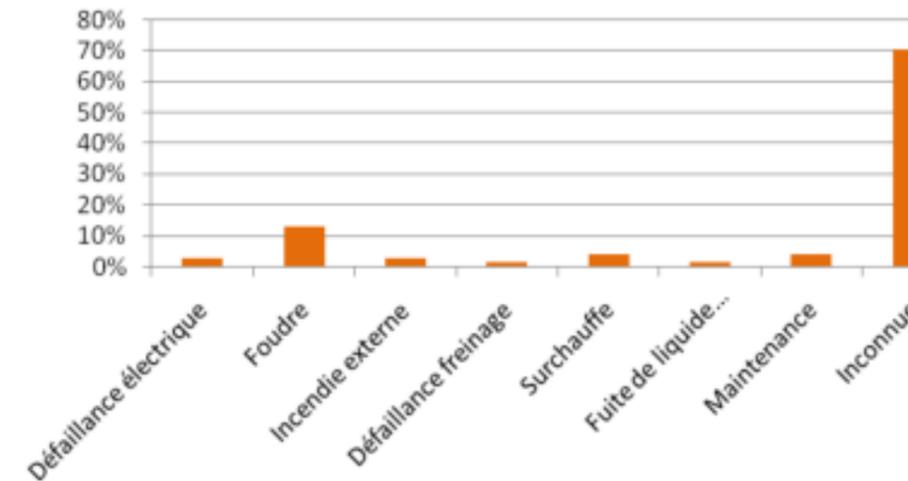


Figure 14. Figure 10. Répartition des causes premières d'incendie

6.3 Inventaire des accidents majeurs sur les sites de l'exploitant

La société JPEE possède et exploite, en France, un ensemble de 12 parcs éoliens terrestres pour une puissance totale installée de plus de 178 MW à mi-2018. Au 1^{er} juin 2019, un seul accident majeur a été recensé :

Société	Date	Zone d'effet	Evènement initiateur	Phénomène redouté	Phénomène observé	Enseignements tirés
PELEIA 3	24-août-15	Zone de survol des pales	Câble électrique à l'intérieur de l'éolienne	Chute d'éléments	Incendie. Des éléments légers de fibre de verre sont tombés au sol.	Sécurisation renforcée du périmètre lors de l'intervention des secours et jusqu'à remplacement de l'aérogénérateur
BEAUCE ENERGIE	06-juin-17	Zone de ruine	Expertise en cours	Chute d'éléments	Incendie, chute d'éléments lourds dans la zone de survol des pales. Pollution du sol dans la zone de ruine (huile)	Sécurisation renforcée et organisation de la dépollution des sols

Tableau 10. Accidentologie du demandeur (JPEE)

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

6.4.1 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.

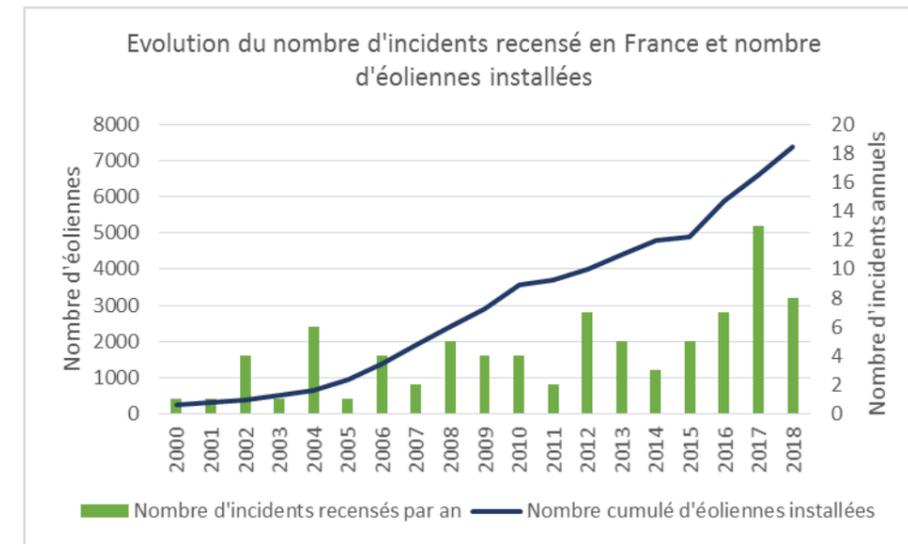


Figure 15. Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées*

*Données non officielles collectées auprès de plusieurs organismes dont Aria, FEE, SER, eolienne.f4jr.org...

6.4.2 Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

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

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

6.4.3 Limites d'utilisation de l'accidentologie

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

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

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

CHAPITRE 7. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

7.1 Objectif de l'analyse préliminaire des risques

L'analyse des risques a pour objectif principal d'identifier les scénarii d'accident majeurs et les mesures de sécurité qui empêchent ces scénarii de se produire ou en limitent les effets. Cet objectif est atteint au moyen d'une identification de tous les scénarii 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 scénarii d'accident sont ensuite hiérarchisés en fonction de leur intensité et de l'étendue possible de leurs conséquences. Cette hiérarchisation permet de « filtrer » les scénarii d'accident qui présentent des conséquences limitées et les scénarii d'accident majeurs – ces derniers pouvant avoir des conséquences sur les personnes.

7.2 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.

7.3 Recensement des agressions externes potentielles

7.3.1 Agressions externes liées aux activités humaines

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

Infrastructure	Fonction	Événement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Distance par rapport au mât de l'éolienne la plus proche
Voies de circulation	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	Pas de voie structurante (fréquentation supérieure à 2 000 véhicules/jour) à moins de 500 m RAI2 : 300 m d'une voie communale RAI3 : 70 m d'une voie communale RAI4 : 410 m d'une voie communale
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2000 m	Non concerné, infrastructure au-delà du périmètre de 2 000 m
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	Non concerné, infrastructure au-delà du périmètre de 200 m
Autres aérogénérateurs (hors parc en projet)	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	Non concerné, aucun aérogénérateur à moins de 500 m des machines du parc des Rainettes,

Tableau 11. Agressions externes liées aux activités humaines

7.3.2 Agressions externes liées aux phénomènes naturels

Les principales agressions externes sont liées aux phénomènes naturels. Ceux-ci sont étudiés dans le chapitre 3.2.2 « Risques naturels ». L'intensité des phénomènes est donnée par une cotation sur la base de données observées. Seuls sont retenus pour l'analyse des risques, les phénomènes de vents et tempête, foudre et glissement de sols.

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 puisque 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 au § 7.6 Mise en place des mesures de sécurité.

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 scénarii de rupture de pale.

7.4 Scénarii étudiés dans l'Analyse Préliminaire des Risques (APR)

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

- une description des causes et de leur séquençage (*événements initiateurs et événements intermédiaires*) ;
- une description des *événements redoutés* centraux qui marquent la partie incontrôlée de la séquence d'accident ;
- une description des *fonctions de sécurité* permettant de prévenir l'événement redouté central ou de limiter les effets du phénomène dangereux, elles sont numérotées de façon à être listées dans le chapitre « Mise en place des mesures de sécurité » § 7.6.
- 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 scénarii listés dans le tableau générique de l'APR sont regroupés et numérotés par thématique, en fonction des typologies d'événement redoutés centraux identifiés grâce au retour d'expérience du groupe de travail INERIS/SER FEE (« G » pour les scénarii 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).

Voir précisions en annexe :

Cf. Annexe 3 : Annexes au guide technique INERIS et compléments à l'accidentologie, p.97

Annexe 1.C du guide technique, scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement 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
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

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
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 central – mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop importante sur les pales	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la 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

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
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°13)	Chute fragments et chute mât	2
E05	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°12) Dans les zones cycloniques, mettre en place un système de prévision cyclonique et équiper les éoliennes d'un dispositif d'abattage et d'arrimage au sol (N°13)	Projection/chute fragments et chute mât	2
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

Tableau 12. Analyse générique des risques

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

7.5 Effets dominos

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

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

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

Le guide technique préconise de limiter l'évaluation de la probabilité d'impact d'un élément de l'aérogénérateur sur une autre installation ICPE que lorsque celle-ci se situe dans un rayon de 100 mètres.

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

Le risque de propagation d'un incendie d'une éolienne à la végétation environnante ne peut être exclu. Comme il est difficile de calculer la probabilité et l'intensité de l'effet domino, il n'est pas possible d'évaluer l'acceptabilité du risque de sur-accident. Cependant au regard de l'accidentologie, cet événement peut être considéré comme très improbable selon la définition de l'arrêté du 29/09/05. Afin de réduire le risque, l'exploitant prendra des mesures de prévention en accord avec le service prévention du SDIS :

- pour limiter la propagation du feu et faciliter l'intervention des secours : débroussaillage, élagage des branches basses ;
- entretien des voies carrossables permettant aux engins des secours d'intervenir ;
- en cas d'alerte risque feu de forêt respect des consignes des services de la sécurité civile.

7.6 Mise en place des mesures de sécurité

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

Dans le cadre de la présente étude de dangers, les fonctions de sécurité sont détaillées selon les critères suivants :

- **Fonction de sécurité** : il est proposé ci-dessous un tableau par fonction de sécurité. Cet intitulé décrit l'objectif de la ou des mesure(s) de sécurité : il s'agira principalement d'« empêcher, éviter, détecter, contrôler ou limiter » et sera en relation avec un ou plusieurs événements conduisant à un accident majeur identifié dans l'analyse des risques. Plusieurs mesures de sécurité peuvent assurer une même fonction de sécurité.
- **Numéro de la fonction de sécurité** : ce numéro vise à simplifier la lecture de l'étude de dangers en permettant des renvois à l'analyse de risque par exemple.
- **Mesures de sécurité** : cette ligne permet d'identifier les mesures assurant la fonction concernée. Dans le cas de systèmes instrumentés de sécurité, tous les éléments de la chaîne de sécurité sont présentés (détection + traitement de l'information + action).
- **Description** : cette ligne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires.
- **Indépendance** (« oui » ou « non ») : cette caractéristique décrit le niveau d'indépendance d'une mesure de maîtrise des risques vis-à-vis des autres systèmes de sécurité et des scénarii d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner « oui ») ou non (renseigner « non »).
- **Efficacité** (100% ou 0%) : l'efficacité mesure la capacité d'une mesure de maîtrise des risques à remplir la fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation.
- **Temps de réponse** (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité.
- **Test** (fréquence) : dans ce champ sont rappelés les tests/essais qui seront réalisés sur les mesures de maîtrise des risques. conformément à la réglementation, un essai d'arrêt, d'arrêt d'urgence et d'arrêt à partir d'une situation de survitesse seront réalisés avant la mise en service de l'aérogénérateur. Dans tous les cas, les tests effectués sur les mesures de maîtrise des risques seront tenus à la disposition de l'inspection des installations classées pendant l'exploitation de l'installation.
- **Maintenance** (fréquence) : ce critère porte sur la périodicité des contrôles qui permettront de vérifier la performance de la mesure de maîtrise des risques dans le temps. Pour rappel, la réglementation demande qu'à minima : un contrôle tous les ans soit réalisé sur la performance des mesures de sécurité permettant de mettre à l'arrêt, à l'arrêt d'urgence et à l'arrêt à partir d'une situation de survitesse et sur tous les systèmes instrumentés de sécurité.

Les fonctions de sécurité présentées ci-après sont celles fournies par Vestas pour le modèle VESTAS V110.

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

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1-b
Mesures de sécurité	Système de détection de glace sur la nacelle.		
Description	Ce système Vestas est composé d'une sonde vibratoire installée sur la nacelle, permettant d'alerter les opérateurs dès que l'accumulation de glace dépasse un certain niveau. Ce dispositif détecte la formation de glace sur la nacelle, et donc par déduction sur les pales. Lorsqu'il y a détection, la mise à l'arrêt de la turbine est automatique ou manuelle, après vérification de la glace formée, selon le type de configuration demandé.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min		
Efficacité	100 %		
Tests	NA		
Maintenance	Le système de détection est supervisé par les contrôleurs de la machine. Un warning est envoyé via le SCADA en cas de défaut => maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement		

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1-c
Mesures de sécurité	Système de détection de glace sur les pales, développé par un fabricant spécialisé		
Description	Ce dispositif est constitué de capteurs de température et d'accéléromètres installés sur les pales et reliés à un serveur de collecte des données. Le dispositif est alors couplé avec le système SCADA qui met la turbine à l'arrêt en cas de détection de formation de glace sur les pales.		
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	Testé à la mise en service. Surveillance continue des données, via le serveur du fabricant. Déviation des fréquences des pâles supervisées en permanence.		
Maintenance	Vérification annuelle conformément au manuel du fabricant.		

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.		

Tableau 13. Ensemble des tableaux des fonctions de sécurité fournis par VESTAS pour la V110

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.		
Maintenance	Surveillance via la maintenance prédictive, avec détection de la déviation de température de chaque capteur (comparaison avec les données des autres éoliennes du parc). Remplacement de la sonde de température en cas de dysfonctionnement de l'équipement. Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011.		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4-a
Mesures de sécurité	Détection de vent fort et freinage aérodynamique par le système de contrôle.		
Description	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale de 20 m/s pour la V110. Cet arrêt est réalisé par le frein aérodynamique de l'éolienne avec mise en drapeau des pales (le freinage est effectué en tournant ensemble les 3 pales à un angle de 85 à 90°, afin de positionner celles-ci en position où elles offrent peu de prise au vent). Cette mise en drapeau est effectuée par le système d'orientation des pales « Vestas Pitch System ».		

Indépendance	Oui
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011.
Efficacité	100 %
Tests	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procédure d'arrêt en cas de survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011. Tests à chaque maintenance préventive.
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 (notamment de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence.) Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4-b
Mesures de sécurité	Détection de survitesse du générateur		
Description	Les vitesses de rotation du générateur et de l'arbre lent sont mesurées et analysées en permanence par le système de contrôle. Cette mesure redondante permet de limiter les défaillances liées à un seul capteur. En cas de discordance des mesures, l'éolienne est mise à l'arrêt. Si la vitesse de rotation est supérieure à la vitesse d'alarme, l'éolienne est considérée comme étant en survitesse et est donc mise à l'arrêt.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011.		
Efficacité	100 %		
Tests	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procédure d'arrêt en cas de survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011. Tests à chaque maintenance préventive (tous les ans).		
Maintenance	Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4-c
Mesures de sécurité	« Vestas Overspeed Guard » (VOG)		
Description	<p>En complément aux capteurs de mesure de vitesse, un système instrumenté de sécurité est présent (automate totalement indépendant de l'automate de conduite utilisé pour la fonction 4-b), et dispose d'un capteur de vitesse de rotation disposé sur l'arbre lent. Le dépassement d'une vitesse de 17 tours par minute sur l'arbre lent conduit à la mise à l'arrêt de la machine par mise en drapeau des pales (cette mise en drapeau est assurée par le circuit hydraulique avec l'assistance complémentaire des accumulateurs disposés sur les vérins).</p> <p>En cas d'arrêt par survitesse (déclenchement du VOG), l'éolienne ne peut pas être redémarrée à distance. Il est nécessaire de venir acquitter localement le défaut et d'effectuer un contrôle de la machine avant de relancer l'éolienne.</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	<p>Temps de détection < 1 min</p> <p>Le couplage du système de détection de survitesse au système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant. L'exploitant sera ainsi en mesure de transmettre l'alerte aux services d'Urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément à l'article 23 de l'arrêté du 26 août 2011.</p>		
Efficacité	100 %		
Tests	Lors de la mise en service de l'aérogénérateur, une série de tests (arrêts simples, d'urgence et de survitesse) est réalisée afin de s'assurer du fonctionnement et de la sécurité de l'éolienne conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011.		
Maintenance	<p>Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 6 mois suivant les manuels de maintenance Vestas. Ces vérifications sont consignées dans le document IRF Vestas.</p> <p>Maintenance conforme aux dispositions des articles 15 et 18 de l'arrêté du 26 août 2011.</p>		
Fonction de sécurité	Prévenir les courts-circuits	N° de la fonction de sécurité	5
Mesures de sécurité	Détecteur d'arc avec coupure électrique (salle transfo et armoires électriques).		
Description	<p>Outre les protections traditionnelles contre les surintensités et les surtensions, les armoires électriques disposées dans les nacelles Vestas (qui abritent notamment les divers jeux de barres), sont équipées de détecteurs d'arc. Ce système de capteurs photosensibles a pour objectif de détecter toute formation d'un arc électrique (caractéristique d'un début d'amorçage) qui pourrait conduire à des phénomènes de fusion de conducteurs et de début d'incendie.</p>		

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

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Système de protection contre la foudre conçu pour répondre à la classe de protection I de la norme internationale IEC 61400.		
Description	<p>Compte tenu de leur situation et des matériaux de construction, les pales sont les éléments les plus sensibles à la foudre. Des pastilles métalliques en acier inoxydable permettant de capter les courants de foudre sont disposées à intervalles réguliers sur les deux faces des pales. Elles sont reliées entre elles par une tresse en cuivre, interne à la pale. Le pied de pale est muni d'une plaque métallique en acier inoxydable, sur une partie de son pourtour, raccordée à la tresse de cuivre. Un dispositif métallique flexible (nommé LCTU – Lightning Current Transfer Unit) assure la continuité électrique entre la pale et le châssis métallique de la nacelle (il s'agit d'un système de contact glissant comportant deux points de contact par pale). Ce châssis est relié électriquement à la tour, elle-même reliée au réseau de terre disposé en fond de fouille.</p>		

	En cas de coup de foudre sur une pale, le courant de foudre est ainsi évacué vers la terre via la fondation et des prises profondes. L'aérogénérateur peut être équipé en option de « copper cap », c'est à dire d'un habillage de l'extrémité de la pale d'une plaque de cuivre qui améliore le captage de l'arc de foudre et assure ainsi une meilleure protection de la pale.
Indépendance	Oui
Temps de réponse	Immédiat, dispositif passif
Efficacité	100 %
Tests	Avant la première mise en route de l'éolienne, une mesure de mise à la terre est effectuée.
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011.

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	1. Sondes de température sur pièces mécaniques. Suivant les niveaux d'alarme et les capteurs, la machine peut être bridée ou mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement. Le redémarrage peut être effectué à distance, si les seuils de température sont au-dessous des seuils d'alarme. 2. Système de détection incendie		
Description	1. Des sondes de température sont mises en place sur les équipements ayant de fortes variations de température au cours de leur fonctionnement (paliers et roulements des machines tournantes, enroulements du générateur et du transformateur). Ces sondes ont des seuils hauts qui, une fois dépassés, conduisent à une alarme et à une mise à l'arrêt du rotor. 2. Les éoliennes sont équipées par défaut d'un système autonome de détection composé de plusieurs capteurs de fumée et de chaleur disposés aux possibles points d'échauffements tels que : <ul style="list-style-type: none"> - La chambre du transformateur - Le générateur - La cellule haute tension - Le convertisseur - Les armoires électriques principales - Le système de freinage. En cas de détection, une sirène est déclenchée, l'éolienne est mise à l'arrêt en « emergency stop » et isolement électrique par ouverture de la cellule en pied de		

	mât. De façon concomitante un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance via le système de contrôle commande. Le système de détection incendie est alimenté par le réseau secouru (UPS). Vis-à-vis de la protection incendie, deux extincteurs sont présents dans la nacelle et un extincteur est disponible en pied de tour (utilisables par le personnel sur un départ de feu).
Indépendance	oui
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Le couplage des éléments de détection de fumée au système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant. L'exploitant sera ainsi en mesure de transmettre l'alerte aux services d'Urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément à l'article 23 de l'arrêté du 26 août 2011.
Efficacité	100%
Tests	Test des détecteurs de fumée à la mise en service puis tous les ans.
Maintenance	Contrôle tous les 6 mois du système de détection incendie pour être conforme à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2012 Le matériel incendie (extincteurs) est contrôlé périodiquement par un organisme spécialisé. Maintenance prédictive sur les capteurs de température

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	1. Détecteurs de niveau d'huile et capteurs de pression 2. Capteur de niveau du circuit de refroidissement (niveau bas alarmé avec arrêt après temporisation) 3. Procédure d'urgence 4. Kit antipollution 5. Nacelle et dernière plateforme de la tour formant rétention		

Description	<p>1. Le circuit hydraulique est équipé de capteurs de pression (une mesure de pression dans le bloc hydraulique de chaque pale) permettant de s'assurer de son bon fonctionnement. Toute baisse de pression au-dessous d'un seuil préalablement déterminé, conduit au déclenchement de l'arrêt du rotor (mise en drapeau des pales). Afin de pouvoir assurer la manœuvre des pales en cas de perte du groupe de mise en pression ou en cas de fuite sur le circuit, chaque bloc hydraulique (situé au plus près du vérin de pale) est équipé d'un accumulateur hydropneumatique (pressurisé à l'azote) qui permet la mise en drapeau de la pale.</p> <p>Le système hydraulique, et notamment le maintien en pression des accumulateurs, est testé avant chaque démarrage de l'éolienne.</p> <p>La pression du circuit de lubrification du multiplicateur fait également l'objet d'un contrôle, asservissant le fonctionnement de l'éolienne.</p> <p>Les niveaux d'huile sont surveillés d'une part au niveau du multiplicateur et d'autre part au niveau du groupe hydraulique. L'atteinte du niveau bas sur le multiplicateur ou sur le groupe hydraulique, déclenche une alarme et conduit à la mise à l'arrêt du rotor.</p> <p>2. Le circuit de refroidissement (eau glycolée) est équipé d'un capteur de niveau bas, qui en cas de déclenchement conduit à l'arrêt de l'éolienne.</p> <p>3. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange.</p> <p>Une procédure Vestas en cas de pollution accidentelle du sol est communiquée au personnel intervenant dans les aérogénérateurs.</p> <p>4. En cas de fuite, les véhicules de maintenance Vestas sont équipés de kits de dépollution composés de grandes feuilles absorbantes. Ces kits d'intervention d'urgence permettent :</p> <ul style="list-style-type: none"> • de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; • d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...); • de récupérer les déchets absorbés. <p>Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, Vestas se charge de faire intervenir une société spécialisée qui récupérera et traitera la terre souillée via les filières adéquates.</p> <p>5. La nacelle et la dernière plateforme de la tour font office de bacs de rétention en cas de fuite d'huile.</p>
Indépendance	Oui
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde

	Mise en pause de la turbine < 1 min
Efficacité	100%
Tests	Tests des systèmes hydrauliques à la mise en service, au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les ans suivant les manuels de maintenance Vestas. Ces vérifications sont consignées dans le document IRF Vestas.
	Dépendant du débit de fuite.
Maintenance	Les vérifications d'absence de fuites sont effectuées à chaque service planifié.
	Surveillance des niveaux d'huile via des outils d'analyses instantanées ou hebdomadaires. Inspection et maintenance curative en fonction du type de déclenchement d'alarme.

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

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

Fonction de sécurité	Prévenir les erreurs de maintenance	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	Traçabilité : rapport de service		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	1. Procédure de contrôle des équipements lors des maintenances planifiées. 2. Suivi de données mesurées par les capteurs et sondes présentes dans les éoliennes Vestas 3. CMS		
Description	1. Ce point est détaillé dans le chapitre dédié aux maintenances planifiées. 2. L'intégralité des données mesurées par les capteurs et sondes présentes dans les éoliennes Vestas est suivie et enregistrée dans une base de données unique. Ces données sont traitées par des algorithmes en permanence afin de détecter, au plus tôt, les dégradations des équipements. Lorsqu'elle est nécessaire, une inspection de l'équipement soupçonné de se dégrader est planifiée. Les algorithmes de détection et de génération d'alarmes sont en amélioration continue.		
Indépendance	Oui		

Temps de réponse	Entre 12 heures et 6 mois selon le type de dégradation
Efficacité	NA
Tests	Traçabilité : rapport de service
Maintenance	NA

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

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

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

7.7 Conclusion de l'analyse préliminaire des risques

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

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m ² n'est pas atteinte. Dans le cas d'un incendie au niveau du mât les effets sont également mineurs et l'arrêté du 26 Août 2011 encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques. Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.
Incendie du poste de livraison ou du transformateur	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)
Chute et projection de glace dans les cas particuliers où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C	Lorsqu'un aérogénérateur est implanté sur un site où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C, il peut être considéré que le risque de chute ou de projection de glace est nul. Des éléments de preuves doivent être apportés pour identifier les implantations où de telles conditions climatiques sont applicables.
Infiltration d'huile dans le sol	En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs. Ce scénario peut ne pas être détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques sauf en cas d'implantation dans un périmètre de protection rapprochée d'une nappe phréatique.

Tableau 14. Scénarii exclus de l'étude détaillée

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

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

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

Pour le scénario suivant : Effondrement de l'éolienne, chute ou projection d'élément de l'éolienne sur un poste de livraison, le guide INERIS précise que les expertises réalisées ont montré l'absence d'effet à l'extérieur des postes de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter. Ce scénario n'est donc pas développé dans le présent rapport.

CHAPITRE 8. ETUDE DETAILLEE DES RISQUES

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

8.1 Rappel des définitions

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

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

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

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

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

Afin de pouvoir présenter des éléments au sein de cette étude de dangers, il est proposé de recourir à la méthode ad hoc préconisée par le guide technique 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.

8.1.1 Cinétique

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

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

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

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

8.1.2 Intensité

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

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

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

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

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

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

Tableau 15. Grille de cotation en intensité issue du guide technique

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

8.1.3 Gravité

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

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

Tableau 16. Grille de cotation en gravité de l'arrêté du 29 septembre 2005

■ Méthodologie et hypothèse de travail

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 3.A du guide.

Annexe 3 : Annexe au guide technique, méthode comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne

Cette méthode se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers. Cette fiche permet de compter aussi simplement que possible, selon des règles forfaitaires, le nombre de personnes exposées.

Ainsi, pour chaque phénomène dangereux identifié, nous comptabiliserons l'ensemble des personnes présentes dans la zone d'effet correspondante.

Dans chaque zone couverte par les effets d'un phénomène dangereux issu de l'analyse de risque, nous identifierons les ensembles homogènes (ERP, zones habitées, zones industrielles, commerces, voies de circulation, terrains non bâtis...) et nous en déterminerons la surface (pour les terrains non bâtis, les zones d'habitat) et/ou la longueur (pour les voies de circulation).

Cf. § 3.4.2 Hypothèse de travail, page 18

8.1.4 Probabilité

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

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

Tableau 17. Grille de cotation en probabilité de l'arrêté du 29 septembre 2005

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8.1.5 Acceptabilité

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

L'analyse d'acceptabilité est basée sur la matrice de criticité ci-dessous, adaptée de la circulaire du 29 septembre 2005 et reprise dans la circulaire du 10 mai 2010.

L'acceptabilité résulte du croisement entre probabilité d'occurrence et gravité de l'accident.

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

Tableau 18. Cotation des risques selon la matrice de criticité de la circulaire du 10 mai 2010

Légende de la matrice :

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

8.2 Sélection de l'éolienne la plus impactante

Le type d'aérogénérateur n'étant pas encore retenu (il sera choisi après délivrance des autorisations administratives nécessaires), l'étude de dangers a été réalisée de manière à se placer dans les conditions les plus impactantes.

Pour cela, les zones d'effet, les degrés d'exposition ainsi que l'intensité des phénomènes sont comparés pour les deux modèles d'éoliennes envisagées : la Nordex N117 (deux modèles de même caractéristiques : 2.4 et 3 MW) et la Vestas V110. Les données de base de ces calculs sont issues du Tableau 4 en page 23.

8.2.1 Comparaison des zones d'effet

La zone d'effet est la zone dans laquelle le phénomène étudié est susceptible de se produire. Elle varie en fonction des scénarios et des dimensions des éoliennes.

Pour chaque modèle d'éolienne envisagé, les zones d'effet par scénario sont présentées dans le tableau suivant.

Scénario	NORDEX N117	VESTAS V110
Effondrement de l'éolienne	149,4 m	150 m
Chute de glace	58,4 m	55 m
Chute d'élément	58,4 m	55 m
Projection de pale ou de morceaux de pale	500 m	500 m
Projection de glace	311,7 m	307,5 m

Tableau 19. Zone d'effet (rayon autour de l'éolienne) calculée par phénomène et par modèle d'éolienne

8.2.2 Comparaison du degré d'exposition et de l'intensité des phénomènes

Le degré d'exposition a été calculé pour chaque phénomène et pour chaque type d'éolienne d'après leurs dimensions respectives. Le résultat des calculs est présenté dans le tableau suivant.

Scénario	NORDEX N117	VESTAS V110
Effondrement de l'éolienne	0,987 %	0,937 %
Chute de glace	0,009 %	0,011 %
Chute d'élément	0,936 %	1,108 %
Projection de pale ou de morceaux de pale	0,013 %	0,013 %
Projection de glace	0,00033 %	0,00034 %

Tableau 20. Degré d'exposition (%) calculé par phénomène et par modèle d'éolienne

Les degrés d'exposition ainsi calculés ont permis d'évaluer l'intensité des phénomènes pour chaque type d'éolienne :

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

Nota pour mémoire : Grille de cotation en intensité issue du guide technique

Scénario	NORDEX N117	VESTAS V110
Effondrement de l'éolienne	Exposition modérée	Exposition modérée
Chute de glace	Exposition modérée	Exposition modérée
Chute d'élément	Exposition modérée	Exposition forte
Projection de pale ou de morceaux de pale	Exposition modérée	Exposition modérée
Projection de glace	Exposition modérée	Exposition modérée

Tableau 21. Intensité des phénomènes selon le modèle d'éolienne

8.2.3 Conclusion sur l'éolienne la plus impactante

Les 2 modèles d'éoliennes ont une hauteur en bout de pale similaire de 150 m, alors que mât et rotor ont des proportions différentes. Cette différence de rapport de taille du rotor et du mât entraîne des valeurs différentes pour les zones d'effet et le degré d'exposition. Toutefois, il en résulte des modèles dont les effets sont assez semblables.

L'éolienne Nordex N117 est le modèle dont les zones d'effet sont les plus étendues et la Vestas V110 est celle dont les degrés d'exposition pour les différents scénarios sont le plus souvent supérieurs.

L'éolienne Nordex N117 présente des scénarii dont l'exposition à l'intensité des phénomènes est jugée modérée (cf. Tableau 21). Pour la Vestas V110, l'exposition est estimée comme modérée, excepté pour la chute d'un élément de l'éolienne (exposition forte).

Le modèle Vestas 110 sera retenu pour l'ensemble de l'étude de danger en raison de degrés d'exposition et d'intensité des phénomènes légèrement plus marqués.

Afin de se placer dans des conditions majorantes, et même si les différences sont minimales, les calculs présentés dans l'analyse détaillée des risques sont effectués avec les dimensions du modèle VESTAS 110.

8.3 Caractérisation des scénarii retenus

Toutes les formules employées dans ce chapitre sont issues du guide technique INERIS/SER FEE.

8.3.1 Effondrement de l'éolienne

■ Zone d'effet

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

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

■ Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne.

- R est la longueur d'une pale (R= **54 m**),
- H est la hauteur du moyeu (H= **95 m**),
- D/2 est la longueur d'un demi diamètre (D/2= **55 m**),
- L est la largeur du mât (L= **3,65 m**),
- LB est la corde maximale de la pale (LB= **3,9 m**).

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale) Soit H+D/2= 150 m			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
(H) x L + 3*R*LB/2	= $\pi \times (H+D/2)^2$	0,937 %	Exposition modérée
662,65 m ²	70 686 m ²		

Tableau 22. Scénario d'effondrement – calcul de l'intensité

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

² Dans le guide technique la formule initiale est : $\pi \times (H+R)^2$, D/2 nous semble plus cohérent que R.

■ Gravité

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

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

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

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)				
Eolienne	Terrain agricole * aménagé mais peu fréquenté Cultures + Voie + Chemin		Comptage du nombre de personnes totales	Gravité
	Surface en m ²	Comptage sur la zone		
RAI1	70 686	0,707	0,707	Modérée
RAI2	70 686	0,707	0,707	Modérée
RAI3	70 686	0,707	0,707	Modérée
RAI4	70 686	0,707	0,707	Modérée

* Les surfaces agricoles sont comptées au même titre que les voies non structurantes et sont assimilées à des terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne par 10 ha), cf. § 3.4.2. Hypothèse de travail en page 18.

Tableau 23. Scénario d'effondrement – cotation de la gravité

■ Probabilité

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

Source	Fréquence	Justification
Guide for risk based zoning of wind turbines [5]	4,5 x 10 ⁻⁴	Retour d'expérience
Specification of minimum distances [6]	1,8 x 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.

Tableau 24. Probabilités d'effondrement et valeurs retenues

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

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 » est donc retenue par défaut pour ce type d'événement.

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

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

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

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

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

■ Acceptabilité

Dans le cas d'implantation d'éoliennes équipées des technologies récentes, compte tenu de la classe de probabilité d'un effondrement, on pourra conclure à l'acceptabilité de ce phénomène si moins de 100 personnes sont exposées.

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

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
RAI1	Modéré	Acceptable
RAI2	Modéré	Acceptable
RAI3	Modéré	Acceptable
RAI4	Modéré	Acceptable

Tableau 25. Scénario d'effondrement – acceptabilité du risque

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

³ Une année d'expérience correspond à une éolienne observée pendant une année. Ainsi, si on a observé une éolienne pendant 5 ans et une autre pendant

7 ans, on aura au total 12 années d'expérience.

8.3.2 Chute de glace

■ Considérations générales

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

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

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

■ Zone d'effet

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne. Pour le parc éolien, la zone d'effet à donc **un rayon de 55 m**. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

■ Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace.

- Z_i est la zone d'impact,
- Z_e est la zone d'effet,
- $D/2$ est la longueur d'un demi-diamètre ($D/2 = 55$ m),
- SG est la surface du morceau de glace majorant ($SG = 1$ m²).

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à $D/2 = 55$ m)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_i = SG$	$Z_e = \pi \times (D/2)^2$ ⁴	0,011 %	Exposition modérée
1,0 m ²	9 503,3 m ²		

Tableau 26. Scénario chute de glace – calcul de l'intensité

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

⁴ Dans le guide technique la formule initiale est : $\pi \times R^2$, $D/2$ nous semble plus cohérent que R .

■ Gravité

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

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

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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à $D/2 = 55$ m)				
Eolienne	Terrain agricole aménagé mais peu fréquenté Cultures + Voie + Chemin		Comptage du nombre de personnes totales	Gravité
	Surface en m ²	Comptage sur la zone		
RAI1	9 503	0,095	0,095	Modérée
RAI2	9 503	0,095	0,095	Modérée
RAI3	9 503	0,095	0,095	Modérée
RAI4	9 503	0,095	0,095	Modérée

* Les surfaces agricoles sont comptées au même titre que les voies non structurantes et sont assimilées à des terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne par 10 ha), cf. § 3.4.2. Hypothèse de travail en page 18.

Tableau 27. Scénario chute de glace – cotation de la gravité

■ Probabilité

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

■ Acceptabilité

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

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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
RAI1	Modéré	Acceptable
RAI2	Modéré	Acceptable
RAI3	Modéré	Acceptable
RAI4	Modéré	Acceptable

Tableau 28. Scénario chute de glace – acceptabilité du risque

Ainsi, pour le parc éolien des Rainettes 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 gel.

8.3.3 Chute d'éléments de l'éolienne

■ Zone d'effet

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

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

■ 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.

- d est le degré d'exposition,
- Z_I est la zone d'impact,
- Z_E est la zone d'effet,
- R est la longueur de pale (R=54 m),
- LB est la corde maximale de la pale (LB= 3,9 m),
- D/2 est la longueur d'un demi-diamètre (D/2= 55 m).

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = 55 m)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = R \cdot LB / 2$	$Z_E = \pi \times (D/2)^2$ ⁵	$d = Z_I / Z_E$	Exposition forte
105,3 m ²	9 503,3 m ²	1,108 %	

Tableau 29. Scénario chute d'éléments de l'éolienne – calcul de l'intensité

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

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

■ Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe « Rappel des définitions »), 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 d'éléments de l'éolienne et la gravité associée :

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = 55 m)				
Eolienne	Terrain agricole * aménagé mais peu fréquenté Cultures + Voie + Chemin		Comptage du nombre de personnes totales	Gravité
	Surface en m ²	Comptage sur la zone		
RAI1	9 503	0,095	0,095	Sérieux
RAI2	9 503	0,095	0,095	Sérieux
RAI3	9 503	0,095	0,095	Sérieux
RAI4	9 503	0,095	0,095	Sérieux

* Les surfaces agricoles sont comptées au même titre que les voies non structurantes et sont assimilées à des terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne par 10 ha), cf. § 3.4.2. Hypothèse de travail en page 18.

Tableau 30. Scénario chute d'éléments de l'éolienne – cotation de la gravité

■ 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 » (8 chutes et 5 incendies pour 15 667 années d'expérience, soit $8,3 \times 10^{-4}$ événement par éolienne et par an).

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

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

■ Acceptabilité

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

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

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
RAI1	Sérieux	Acceptable
RAI2	Sérieux	Acceptable
RAI3	Sérieux	Acceptable
RAI4	Sérieux	Acceptable

Tableau 31. Scénario chute d'éléments de l'éolienne – acceptabilité du risque

Ainsi, pour le parc éolien des Rainettes le phénomène de chute d'éléments des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

8.3.4 Projection de pales ou de fragments de pales

■ Zone d'effet

Dans l'accidentologie française rappelée en Annexe 5, la distance maximale relevée et vérifiée par le groupe de travail INERIS/SER FEE précédemment mentionné pour une projection de fragment de pale est de 380 mètres par rapport au mât de l'éolienne. On constate que les autres données disponibles dans cette accidentologie montrent des distances d'effet inférieures.

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

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

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

■ 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.

- d est le degré d'exposition,
- ZI est la zone d'impact,
- ZE est la zone d'effet,
- R est la longueur de pale (R= 54 m),
- LB est la corde maximale de la pale (LB= 3,9 m).

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = R * LB / 2$	$Z_E = \pi \times (500)^2$	$d = Z_I / Z_E$	Exposition modérée
105,3 m ²	785398,2 m ²	0,013 %	

Tableau 32. Scénario projection de pales ou de fragments de pales – calcul de l'intensité

■ Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe « Rappel des définitions », 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 chute d'éléments de l'éolienne et la gravité associée :

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)				
Eolienne	Terrain agricole * aménagé mais peu fréquenté Cultures + Voie + Chemin		Comptage du nombre de personnes totales	Gravité
	Surface en m ²	Comptage sur la zone		
RAI1	785 398	7,854	7,854	Sérieux
RAI2	785 398	7,854	7,854	Sérieux
RAI3	785 398	7,854	7,854	Sérieux
RAI4	785 398	7,854	7,854	Sérieux

** Les surfaces agricoles sont comptées au même titre que les voies non structurantes et sont assimilées à des terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne par 10 ha), cf. § 3.4.2. Hypothèse de travail en page 18.*

Tableau 33. Scénario projection de pales ou de fragments de pales – cotation de la gravité

NB : Les routes répertoriées sur la zone d'effet sont considérées comme des voies non structurantes c'est-à-dire dont la fréquentation est inférieure à 2 000 véhicules/jours (cf. courrier du 29 janvier 2019 du Conseil Départemental de Haute-Marne)

Cf. Cahier 5 Accords et avis - Demande d'Autorisation Environnementale

■ Probabilité

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

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

Tableau 34. Probabilité de rupture de tout ou partie de pale et valeurs retenues

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

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

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

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

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

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

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

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

■ Acceptabilité

Avec une classe de probabilité de « D », le risque de projection de tout ou partie de pale pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un nombre équivalent de personnes permanentes inférieur à 1000 dans la zone d'effet.

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

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
RAI1	Sérieux	Acceptable
RAI2	Sérieux	Acceptable
RAI3	Sérieux	Acceptable
RAI4	Sérieux	Acceptable

Tableau 35. Scénario projection de pales ou de fragments de pales – acceptabilité du risque

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

8.3.5 Projection de glace

■ Zone d'effet

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

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

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

Soit **307,5 m** dans le cas du projet des Rainettes.

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

■ Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace.

- d est le degré d'exposition,
- Z_i est la zone d'impact,
- Z_e est la zone d'effet,
- D est la longueur du diamètre du rotor (D= 110 m),
- H est la hauteur au moyeu (H=95 m),
- SG est la surface majorante d'un morceau de glace (1 m²).

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R _{PG} = 1,5 x (H+D) autour de l'éolienne soit 307,5 m)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
Z _i = SG	ZE = π x 1,5*(H+D) ² ⁶	d=Z _i /Z _e	Exposition modérée
1,0 m ²	297057,2	0,00034 %	

Tableau 36. Scénario projection de glace – calcul de l'intensité

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

■ Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe « Rappel 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 [17] qu'en cas de projection, les morceaux de glace se cassent en petits fragments dès qu'ils se détachent de la pale.

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

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

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R _{PG} = 1,5 x (H+D)= 307,5 m)				
Eolienne	Terrain agricole * aménagé mais peu fréquenté Cultures + Voie + Chemin		Comptage du nombre de personnes totales	Gravité
	Surface en m ²	Comptage sur la zone		
RAI1	297 057	2,971	2,971	Sérieux
RAI2	297 057	2,971	2,971	Sérieux
RAI3	297 057	2,971	2,971	Sérieux
RAI4	297 057	2,971	2,971	Sérieux

* Les surfaces agricoles sont comptées au même titre que les voies non structurantes et sont assimilées à des terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne par 10 ha), cf. § 3.4.2. Hypothèse de travail en page 18.

Tableau 37. Scénario projection de glace – cotation de la gravité

■ Probabilité

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

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

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

■ Acceptabilité

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

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

Projection de morceaux de glace <i>(dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+D)$ autour de l'éolienne)</i>			
<i>Eolienne</i>	<i>Gravité</i>	<i>Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage*</i>	<i>Niveau de risque</i>
RAI1	Sérieux	Oui	Acceptable
RAI2	Sérieux	Oui	Acceptable
RAI3	Sérieux	Oui	Acceptable
RAI4	Sérieux	Oui	Acceptable

** Pour rappel, chaque aérogénérateur est équipé d'un système permettant de déduire la formation de glace sur les pales, voir § 7.6 fonctions 1 et 2.*

Tableau 38. Scénario projection de glace – acceptabilité du risque

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

La présence de glace peut être automatiquement déduite par le système de détection de givre de l'éolienne. Ce dernier sert donc à déduire la présence de glace tout en évitant la projection de celle-ci :

- Le capteur est installé sur le toit de la nacelle. Il mesure la température et l'humidité relative de l'air ambiant. Si les conditions dépassent certaines valeurs limites fixées d'avance par le service de météorologie, l'installation est arrêtée par l'ordinateur de commande.
- Le système contrôle-commande procède par ailleurs à un arrêt automatique de l'éolienne si il relève une inadéquation entre la puissance produite et la vitesse du vent.

8.4 Synthèse de l'étude détaillée des risques

8.4.1 Tableaux de synthèse des scénarii étudiés

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

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
S1	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale Soit 150 m	Rapide	Exposition modérée	D (car éoliennes récentes) ⁷	Modéré Pour toutes les éoliennes
S2	Zone de survol Soit 55 m	Rapide	Exposition modérée	A	Modéré Pour toutes les éoliennes
S3	Zone de survol Soit 55 m	Rapide	Exposition forte	C	Sérieux Pour toutes les éoliennes
S4	Projection de pale ou de fragment de pale 500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (car éoliennes récentes) ⁸	Sérieux Pour toutes les éoliennes
S5	Projection de glace 1,5 x (H + D) autour de l'éolienne Soit 307,5 m	Rapide	Exposition modérée	B	Sérieux Pour toutes les éoliennes

Tableau 39. Synthèse de la cotation des risques – étude détaillée

Les scénarii ci-dessus sont repris dans la matrice d'acceptabilité (voir paragraphe suivant).

8.4.2 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 et reprise dans la circulaire du 10 mai 2010 mentionnée ci-dessus, sera utilisée.

Les scénarii étudiés dans ce chapitre précédent sont synthétisés dans la matrice de la circulaire :

GRAVITÉ des Conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		S4 : Projection de pale ou de fragment de pale	S3 : Chute d'élément	S5 : Projection de glace	
Modéré		S1 : Effondrement éolienne			S2 : Chute de glace

Tableau 40. Cotation des risques selon la matrice de criticité de la circulaire du 10 mai 2010

Légende de la matrice :

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

S1	Effondrement de l'éolienne
S2	Chute de glace
S3	Chute d'élément de l'éolienne
S4	Projection de pale ou de fragments
S5	Projection de glace

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

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

⁷ Voir paragraphe 8.3.1

⁸ Voir paragraphe 0

8.4.3 Cartographie des risques

La cartographie des risques a été réalisée. Elle indique les différents périmètres de risques ainsi que les enjeux vulnérables identifiés. La carte des risques pour chaque éolienne est présentée ci-après.

Carte des risques - Eolienne RAI1

-  Eolienne projetée
-  Poste de livraison
-  Raccordement électrique interne
-  Aire d'étude (500 m)
-  Limites cadastrales
-  Limites communales
-  Pales
-  Emprise
-  Plateforme
-  Pan coupé
-  Surplomb
-  Chemin provisoire
-  Chemin à créer
-  Chemin à renforcer
-  Chemin en état à renforcer au cas par cas

Enjeux :

Axes de circulation :

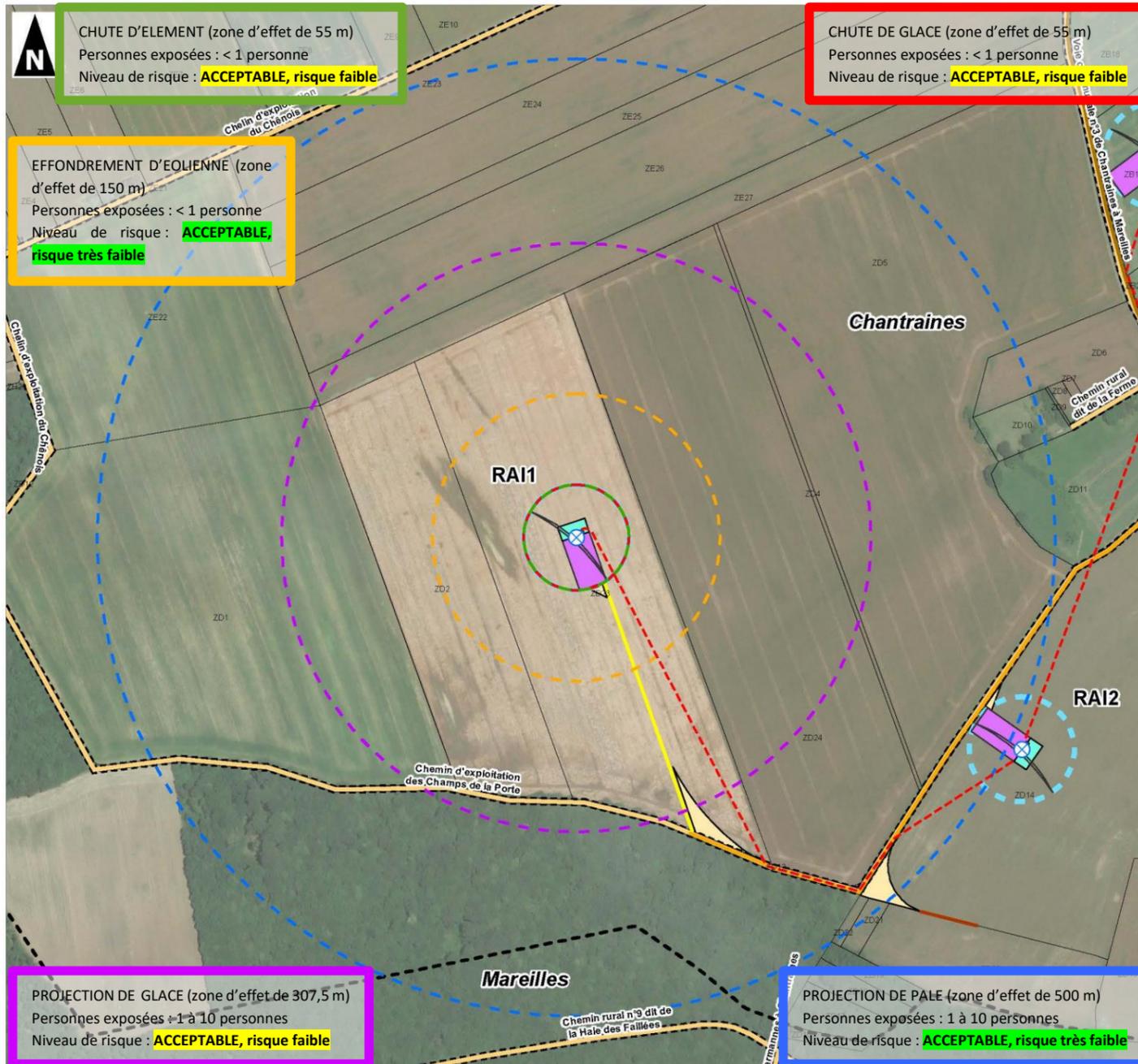
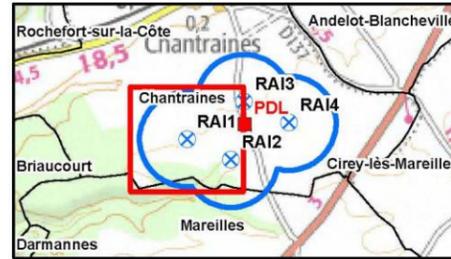
-  Route départementale
-  Voie communale
-  Chemin

Réseau d'électricité :

-  Ligne HTA aérienne

Périmètres de zones d'effets des scénarios :

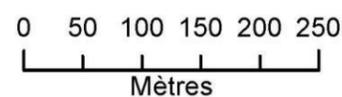
-  Chute d'éléments de l'éolienne (55 m)
-  Chute de glace (55 m)
-  Effondrement de l'éolienne (150 m)
-  Projection de glace (307,5 m)
-  Projection de pales ou de fragments de pales (500 m)



1:6 000

(Pour une impression sur format A4 sans réduction de taille)

Réalisation : AUDDICE - 2019
 Source de fond de carte : IGN Scan 100® - RGE Cadastre - Bing Satellite®
 Sources de données : IGN BD Carto® - CADASTRE - ENEDIS - JPEE - AUDDICE, 2019



Carte des risques - Eolienne RAI2

-  Eolienne projetée
-  Poste de livraison
-  Raccordement électrique interne
-  Aire d'étude (500 m)
-  Limites cadastrales
-  Limites communales
-  Pales
-  Emprise
-  Plateforme
-  Pan coupé
-  Surplomb
-  Chemin provisoire
-  Chemin à créer
-  Chemin à renforcer
-  Chemin en état à renforcer au cas par cas

Enjeux :

Axes de circulation :

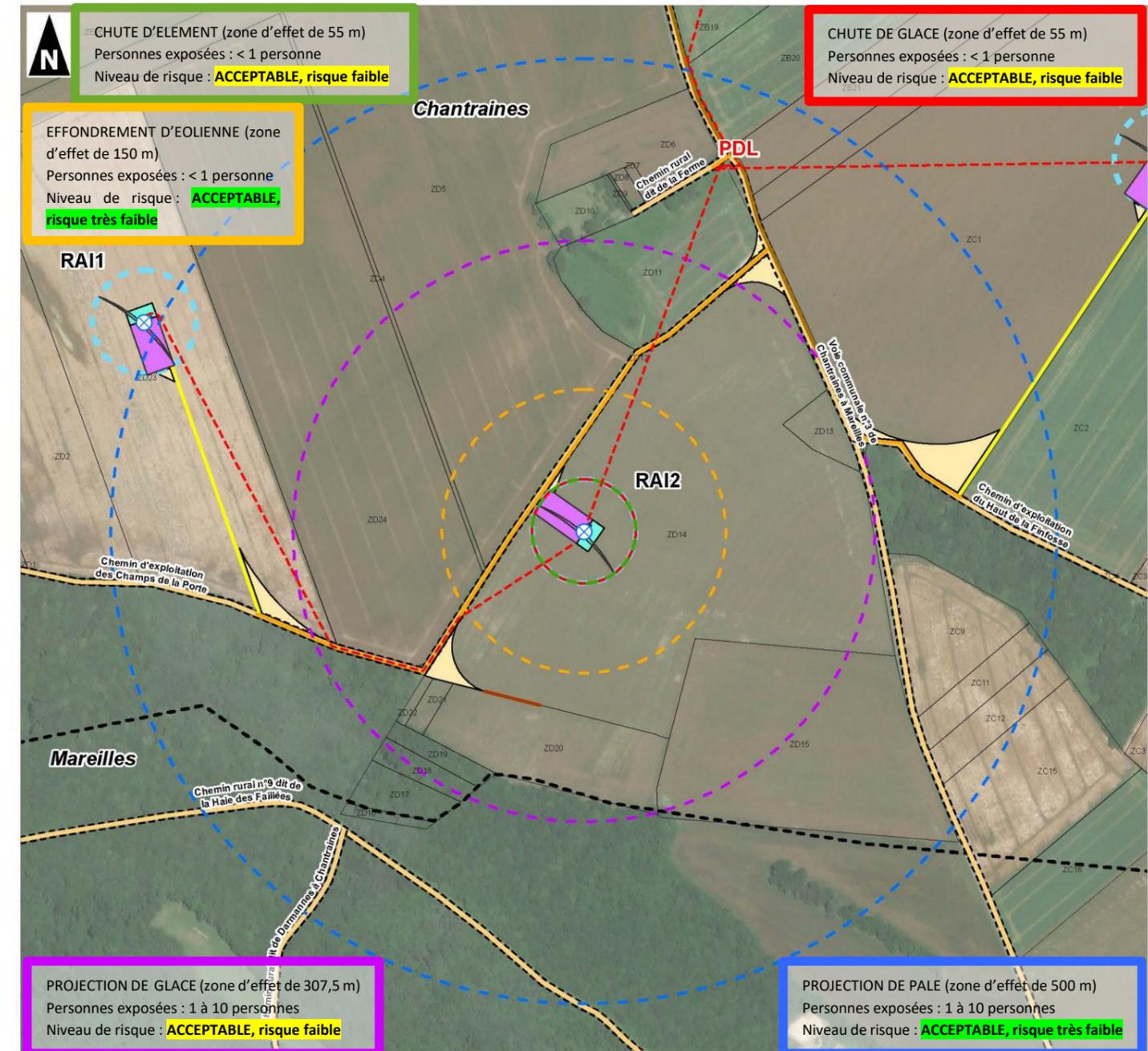
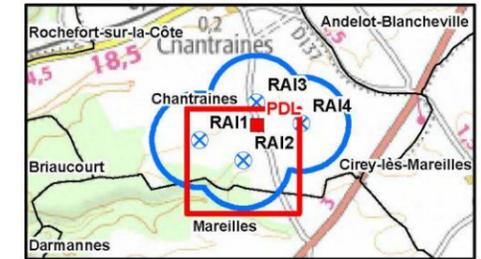
-  Route départementale
-  Voie communale
-  Chemin

Réseau d'électricité :

-  Ligne HTA aérienne

Périmètres de zones d'effets des scénarios :

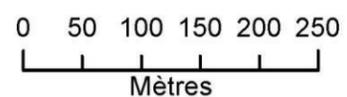
-  Chute d'éléments de l'éolienne (55 m)
-  Chute de glace (55 m)
-  Effondrement de l'éolienne (150 m)
-  Projection de glace (307,5 m)
-  Projection de pales ou de fragments de pales (500 m)



1:6 000

(Pour une impression sur format A4 sans réduction de taille)

Réalisation : AUDDICE - 2019
 Source de fond de carte : IGN Scan 100® - RGE Cadastre - Bing Satellite®
 Sources de données : IGN BD Carto® - CADASTRE - ENEDIS - JPEE - AUDDICE, 2019



Carte des risques - Eolienne RAI3

- ⊗ Eolienne projetée
- Poste de livraison
- - - Raccordement électrique interne
- Aire d'étude (500 m)
- Limites cadastrales
- - - Limites communales
- Pales
- Emprise
- Plateforme
- Pan coupé
- Surplomb
- Chemin provisoire
- Chemin à créer
- Chemin à renforcer
- Chemin en état à renforcer au cas par cas

Enjeux :

Axes de circulation :

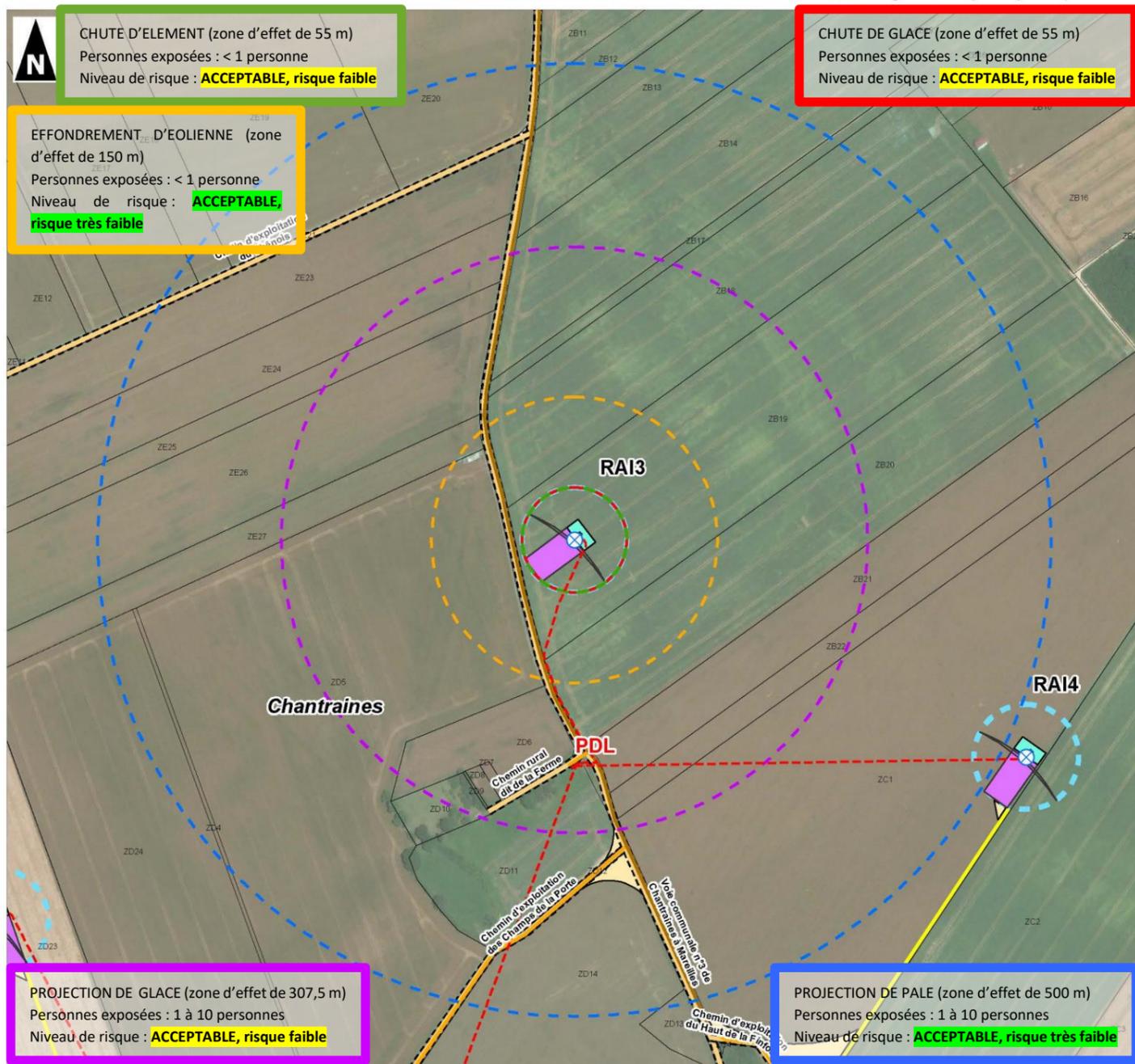
- Route départementale
- Voie communale
- Chemin

Réseau d'électricité :

- Ligne HTA aérienne

Périmètres de zones d'effets des scénarios :

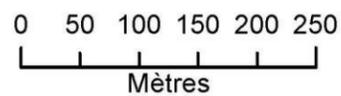
- Chute d'éléments de l'éolienne (55 m)
- Chute de glace (55 m)
- Effondrement de l'éolienne (150 m)
- Projection de glace (307,5 m)
- Projection de pales ou de fragments de pales (500 m)



1:6 000

(Pour une impression sur format A4 sans réduction de taille)

Réalisation : AUDDICE - 2019
Source de fond de carte : IGN Scan 100® - RGE Cadastre - Bing Satellite®
Sources de données : IGN BD Carto® - CADASTRE - ENEDIS - JPEE - AUDDICE, 2019



Carte des risques - Eolienne RAI4

- ⊗ Eolienne projetée
- Poste de livraison
- - - Raccordement électrique interne
- Aire d'étude (500 m)
- Limites cadastrales
- - - Limites communales
- Pales
- Emprise
- Plateforme
- Pan coupé
- Surplomb
- Chemin provisoire
- Chemin à créer
- Chemin à renforcer
- Chemin en état à renforcer au cas par cas

Enjeux :

Axes de circulation :

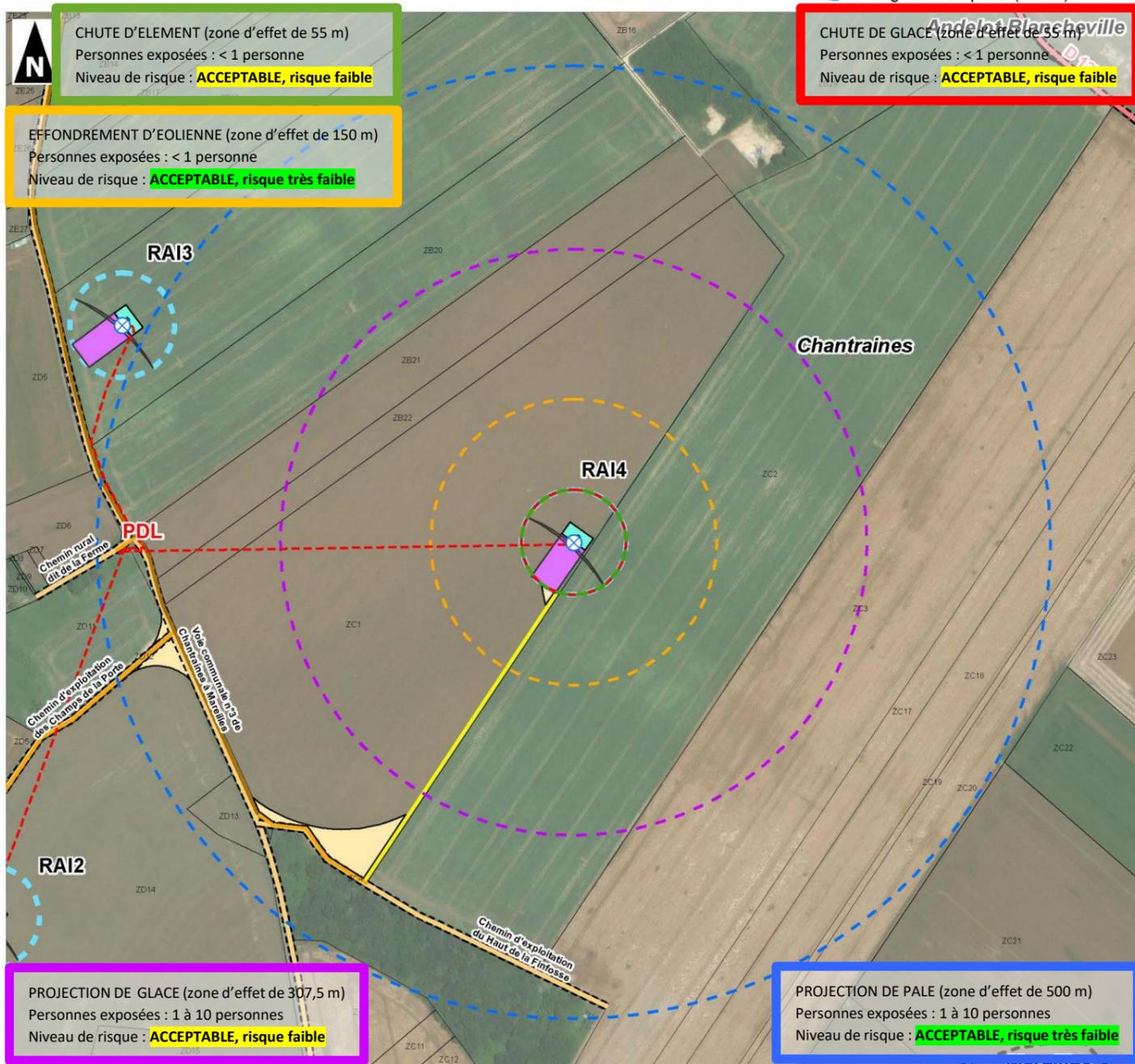
- Route départementale
- Voie communale
- Chemin

Réseau d'électricité :

- Ligne HTA aérienne

Périmètres de zones d'effets des scénarios :

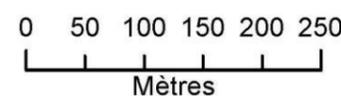
- Chute d'éléments de l'éolienne (55 m)
- Chute de glace (55 m)
- Effondrement de l'éolienne (150 m)
- Projection de glace (307,5 m)
- Projection de pales ou de fragments de pales (500 m)



1:6 000

(Pour une impression sur format A4 sans réduction de taille)

Réalisation : AUDDICE - 2019
Source de fond de carte : IGN Scan 100® - RGE Cadastre - Bing Satellite®
Sources de données : IGN BD Carto® - CADASTRE - ENEDIS - JPEE - AUDDICE, 2019



CHAPITRE 9. CONCLUSION

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

- à des causes externes :
 - Présence d'ouvrages (voies de communications) ;
 - Risques naturels (vents violents, foudre, mouvements de terrains, tremblements de terres, inondations) ;
- à des causes internes liées au fonctionnement des machines et aux produits utilisés :
 - Chute d'éléments de l'aérogénérateur (boulons, morceaux d'équipements, pale, etc.) ;
 - Projection d'éléments (morceaux de pale, brides de fixation, etc.) ;
 - Effondrement de tout ou partie de l'aérogénérateur ;
 - Echauffement de pièces mécaniques ;
 - Courts-circuits électriques (aérogénérateur ou poste de livraison).

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

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

Cinq catégories de scénarii sont ressorties de l'analyse préliminaire et font l'objet d'une étude détaillée des risques :

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

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

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

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

Après analyse détaillée des risques, selon la méthodologie de la circulaire du 10 mai 2010, il apparaît qu'aucun scénario étudié ne ressort comme inacceptable.

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

- l'implantation permet d'assurer un éloignement suffisant des zones fréquentées,
- l'exploitant respecte les prescriptions générales de l'arrêté du 26 août 2011,
- les systèmes de sécurité des aérogénérateurs sont adaptés aux risques.

Les systèmes de sécurité des aérogénérateurs seront maintenus dans le temps et testés régulièrement en conformité avec la section 4 de l'arrêté du 26 août 2011.

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

ANNEXES

Annexe 1 – Bibliographie

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

Annexe 2 – Déclaration de conformité Vestas 110 – Nordex N117

V110-2.2MW Mk10 Type Certificate 0063-5965_V02.pdf downloaded from VCP by Oddon, Guillaume on Mon Nov 20 13:08:34 CET 2017

PUBLIC



TYPE CERTIFICATE

Certificate No.: TC-DNVGL-SE-0074-02382-2
 Issued: 2017-09-29
 Valid until: 2020-01-16

Issued for:

Vestas V110 2.0-2.2 MW 50 Hz VCS Mk 10

Specified in Annex 1 and Annex 2

Issued to:

Vestas Wind Systems A/S

Hedeager 42
 8200 Aarhus N
 Denmark

According to:

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

Based on the documents:

DB-DNVGL-SE-0074-02383-1	Design Basis Conformity Statement, dated 2017-09-29
DE-DNVGL-SE-0074-02384-1	Design Evaluation Conformity Statement, dated 2017-09-29
TT-DNVGL-SE-0074-02385-1	Type Test Conformity Statement, dated 2017-09-29
ME-DNVGL-SE-0074-02386-2	Manufacturing Evaluation Conformity Statement, dated 2017-09-29
FER-TC-DNVGL-SE-0074-02382-2	Final Evaluation Report, dated 2017-09-29

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

Hellerup, 2017-09-29

For DNV GL Renewables Certification

Christer Eriksson
 Service Line Leader for Type Certification



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

Hellerup, 2017-09-29

For DNV GL Renewables Certification

Mark Wollenberg
 Project Manager

The accredited certification body is Germanischer Lloyd Industrial Services GmbH, Brooktorkei 18, 20457 Hamburg.
 DNV GL Renewables Certification is the trading name of DNV GL's certification business in the renewable energy industry.
 VESTAS PROPRIETARY NOTICE: This document contains valuable confidential information of Vestas Wind Systems A/S. It is protected by copyright law as an unpublished work. Vestas reserves all patent, copyright, trade secret, and other proprietary rights to it. The information in this document may not be used, reproduced, or disclosed except if and to the extent rights are expressly granted by Vestas in writing and subject to applicable conditions. Vestas disclaims all warranties except as expressly granted by written agreement and is not responsible for unauthorized uses, for which it may pursue legal remedies against responsible parties.

Original Instruction: T05 0063-5965 VER 02

T05 0063-5965 Ver 02 - Approved - Exported from DMS: 2017-10-11 by FAFCA

Type Certificate

Registration-No.
44 220 13034651-TC-IEC, Rev. 1

Name and address of customer
 NORDEX Energy GmbH
 Langenhorner Chaussee 600
 22419 Hamburg
 GERMANY

Wind Turbine
N117/2400

with the characteristic data given in the "Design Evaluation Conformity Statement" and the attached Annexes referenced below (without tower PH141 and NGC gearboxes) has been assessed by TÜV NORD concerning the design, testing and manufacture.

Assessed according to
IEC III A (NCV)
IEC SA (Option NCV -20°C, CCV, HCV)

The Type Certification is based on the indicated documents as follows:

44 220 13394519-D-IEC-c, Rev. 1	Design Evaluation Conformity Statement of the Wind Turbine NORDEX N117, TÜV NORD, dated 2014-12-16
44 220 12487041-M-IEC, Rev. 4	Manufacturing Conformity Statement for the Wind Turbine Platform K08 Gamma, TÜV NORD, dated 2014-12-17
44 220 13034651-T-IEC, Rev. 1	Type Test Conformity Statement for the Wind Turbine NORDEX N117, TÜV NORD, dated 2014-12-17
8110034651-20, Rev.1	Final Evaluation Report NORDEX N117, TÜV NORD, dated 2014-12-17

Normative references:
 Certification scheme:
IEC 61400-22 "Wind turbines – Part 22: Conformity testing and certification", First edition, 2010-05
 in combination with
IEC 61400-1, Wind Turbine Generator Systems Part 1: Design Requirements, Third Edition, 2005-08 and Amendment 1, 2010-10

Any change in the design has to be approved by TÜV NORD. Without approval the Type Certificate loses its validity.

This Type Certificate is valid until: 2018-07-17.
 under the condition of regular maintenance according to chapter 6.5.2, IEC 61400-22

TÜV NORD CERT GmbH
 Certification Body for
 Wind Turbines

 Dipl.-Ing. Christian Hering

Deutsche
 Akkreditierungsstelle
 D-ZE-12007-01-02

Essen, 17th December 2014

Langemarckstraße 20 • 45141 Essen • email: windenergy@tuev-nord.de



Type Certificate

Registration-No.

44 220 16117724-TC-IEC-a, Rev. 5

This certificate is issued to

Nordex Energy GmbH
Langenhorner Chaussee 600
22419 Hamburg
Germany

For the wind turbines

**N117/3000, N117/3000 Controlled,
N117/3600, N117/3675**

WT Class

IEC S/SA (see Table 1)

This Certificate attests compliance with the below cited standards concerning the design, testing and manufacturer. It is based on the following reference documents:

44 220 16585391-D-IEC, Rev. 5	Design Evaluation Conformity Statement on the Wind Turbines Nordex N117/3000, N117/3000 Controlled, N117/3600, N117/3675, TÜV NORD, dated 2018-11-30.
014.17.2.03.18.02	Design Evaluation Conformity Statement on the Wind Turbine Nordex N117/3600, N117-3675, TCS141, TÜV SÜD, dated 2018-03-15.
44 220 12487041-M-IEC, Rev. 13	Manufacturing Conformity Statement on the Wind Turbine Platform Nordex K08 Gamma/Delta, TÜV NORD, dated 2018-11-30.
44 220 16117724-T-IEC-a, Rev. 1	Type Test Conformity Statement on the Wind Turbine Nordex N117/3600 TS91, TS106 & TCS141, TÜV NORD, dated 2017-07-21.
014.10.3.01.17.07	Component Certificate for Gearbox EH905A of ZF Wind Power Antwerpen NV, TÜV SÜD, dated 2017-12-12, valid until 2020-07-30.
8114 117 724-20 E I, Rev. 5	Final Evaluation Report, TÜV NORD, dated 2018-12-12.

Normative references:

Certification scheme:
IEC 61400-22 "Wind turbines - Part 22: Conformity testing and certification", Edition 1.0, 2010-05
in combination with:
IEC 61400-1 "Wind Turbines - Part 1: Design requirements", Third Edition, 2005-08 and Amendment 1, 2010-10
GL Wind-Technical Note 067 - Certification of Wind Turbines for Extreme Temperatures (here: Cold Climate), Revision: 5, 2013-07-31

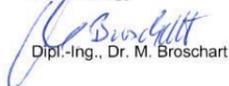
The wind turbine type is specified on pages 2 - 14 of this Certificate.

Any change in the design, the production and erection or the manufacturer's quality system has to be approved by TÜV NORD CERT GmbH. Without approval this certificate loses its validity.

Provided that a valid Component Certificate of the Gearbox EH905A is available this Type Certificate is valid until: 21st December 2021

(under the condition of regular maintenance according to chapter 6.5.2 of IEC 61400-22)

TÜV NORD CERT GmbH
Certification Body
Wind Energy


Dipl.-Ing., Dr. M. Broschart



Deutsche
Akkreditierungsstelle
D-ZE-12007-01-02

Langemarkstraße 20 • 45141 Essen • email: windenergy@tuev-nord.de

Essen, 2018-12-12

Page 1 of 14

Annexe 3 – Opérations de maintenance Nordex

Le programme préventif de maintenance s'étale sur quatre niveaux :

- type 1 : vérification après 300 à 500 heures de fonctionnement (contrôle visuel du mât, des fixations fondation/tour, tour/nacelle, rotor...et test du système de déclenchement de la mise en sécurité de l'éolienne),
- type 2 : vérification semestrielle des équipements mécaniques et hydrauliques,
- type 3 : vérification annuelle des matériaux (soudures, corrosions), de l'électrotechnique et des éléments de raccordement électrique,
- type 4 : vérification quinquennale de forte ampleur pouvant inclure le remplacement de pièces.

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

Pour la maintenance, une équipe de techniciens spécialisés est implantée à Toul, distante d'environ 80 km du parc éolien. En cas de déviance sur la production ou d'avaries techniques, une équipe de maintenance interviendra sur le site.

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

Annexe 4 – Fonction de sécurité Nordex (N117)

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
Mesures de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage.		
Description	Système de détection redondant du givre permettant, en cas de détection de glace, une mise à l'arrêt rapide de l'aérogénérateur. Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site.		
Indépendance	Non. Les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. En cas de danger particulièrement élevé sur site (survol d'une zone fréquentée sur site soumis à des conditions de gel importantes), des systèmes additionnels peuvent être envisagés.		
Temps de réponse	Immédiat (L'alarme est déclenchée dès que le capteur est gelé ou détecte de la neige.)		
Efficacité	100 %		
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne		
Maintenance	Vérification des capteurs du système de détection de givre lors des maintenances préventives annuelles.		

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

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
Mesures de sécurité	Capteurs de température des pièces mécaniques Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement Systèmes de refroidissement indépendants pour le multiplicateur et la génératrice		
Description	/		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	A préciser si possible		
Maintenance	Maintenance préventive semestrielle de la génératrice et de son système de refroidissement, ainsi que du multiplicateur (y compris le système de refroidissement de l'huile du multiplicateur). Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage. Eléments du système de protection contre la survitesse conformes aux normes IEC 61508 (SIL 2) et EN 954-1		
Description	Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande. NB : Le système de freinage est constitué d'un frein aérodynamique principal (mise en drapeau des pales) et / ou d'un frein mécanique auxiliaire.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	15 à 60s (arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage adapté) L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011.		
Efficacité	100 %		
Tests	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procédure d'arrêt en cas de survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011.		

Maintenance	Maintenance préventive annuelle de l'éolienne avec notamment contrôle de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.
--------------------	--

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

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur.		
Description	Respect de la norme IEC 61 400 – 24 (juin 2010) Parafoudres sur la nacelle + récepteurs de foudre sur les 2 faces des pales Mise à la terre (nacelle/mât, sections de mât, mât/fondation) Parasurtenseurs sur les circuits électriques		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	Mesure de terre lors des vérifications réglementaires des installations électriques		

Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011. Contrôle de l'état de l'installation de mise à la terre dans le mât à chaque maintenance préventive.
--------------------	---

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

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	Détecteurs de niveau d'huiles Systèmes d'étanchéité et dispositifs de collecte / récupération		

	Procédure d'urgence Kit antipollution
Description	<p>Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence.</p> <p>Présence de plusieurs bacs collecteurs au niveau des principaux composants.</p> <p>Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange.</p> <p>Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; - d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...) - de récupérer les déchets absorbés. <p>Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, une société spécialisée récupérera et traitera le gravier souillé via les filières adéquates, puis le remplacera par un nouveau revêtement.</p>
Indépendance	Oui
Temps de réponse	Dépendant du débit de fuite
Efficacité	100 %
Tests	/
Maintenance	Inspection des niveaux d'huile plusieurs fois par an

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	<p>Surveillance des vibrations</p> <p>Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.)</p> <p>Procédures qualités</p> <p>Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)</p>		
Description	<p>La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne.</p> <p>Ainsi la nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23.</p> <p>Les éoliennes sont équipées de capteurs de vibration, qui entraînent l'arrêt en cas de dépassement des seuils définis.</p> <p>Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223 (peinture et revêtement anti-corrosion).</p>		

Indépendance	Oui
Temps de réponse	15 à 60s (arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage adapté)
Efficacité	100 %
Tests	Déclenchement manuel des capteurs de vibration et vérification de la réponse du système
Maintenance	<p>Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du pitch system, couronne du Yam Gear, boulons de fixation de la nacelle...) sont vérifiés au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011.</p> <p>Inspection visuelle du mât et, si besoin, nettoyage lors des maintenances préventives annuelles.</p>

Fonction de sécurité	Prévenir les erreurs de maintenance	N° de la fonction de sécurité	10
Mesures de sécurité	Procédure maintenance		
Description	<p>Préconisations du manuel de maintenance</p> <p>Formation du personnel</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	<p>Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents.</p> <p>Détection et prévention des vents forts et tempêtes</p> <p>Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pales) par le système de conduite</p>		
Description	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale pour laquelle elle a été conçue.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	15 à 60 s suivant le programme de freinage		
Efficacité	100 %.		

	NB : En fonction de l'intensité attendue des vents, d'autres dispositifs de diminution de la prise au vent de l'éolienne peuvent être envisagés.
Tests	Test des programmes de freinage lors de la mise en service de l'éolienne. Test automatique du système de freinage mécanique et du fonctionnement de chaque système pitch (freinage aérodynamique) lors de la séquence de démarrage de l'éolienne.
Maintenance	Maintenance préventive du système pitch (les points contrôlés varient suivant le type de maintenance – T1 / T2 / T3 / T4), notamment vérification du câblage et du système de lubrification automatique, graissage des roulements de pitch. Maintenance préventive du frein mécanique (les points contrôlés varient suivant le type de maintenance – T1 / T2 / T3 / T4), notamment inspection visuelle, vérification de l'épaisseur des plaquettes de frein et des capteurs du frein mécanique.

Fonction de sécurité	Empêcher la perte de contrôle de l'éolienne en cas de défaillance réseau	N° de la fonction de sécurité	12
Mesures de sécurité	Détection des défaillances du réseau électrique Batteries pour chaque système pitch Système d'alimentation sans coupure (UPS)		
Description	Surveillance du réseau + surveillance des défaillances réseau par le convertisseur principal qui entraîne la déconnexion de l'éolienne du réseau électrique. Commande de l'éolienne et communication externe assurées pendant environ 10 min, permettant l'arrêt automatique de l'éolienne.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	150 ms pour identifier une défaillance réseau 15 à 60 s pour l'arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage		
Efficacité	100%		
Tests	Vérification de la charge des batteries d'alimentation de secours des systèmes pitch lors de la séquence de démarrage de l'éolienne		
Maintenance	Remplacement des batteries du système pitch au cours de la maintenance quinquennal. Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.		

Annexe 5 – Annexes au guide technique INERIS et compléments à l'accidentologie

ANNEXE A – MÉTHODE DE COMPTAGE DES PERSONNES POUR LA DÉTERMINATION DE LA GRAVITÉ POTENTIELLE D'UN ACCIDENT À PROXIMITÉ D'UNE ÉOLIENNE

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

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

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

Terrains non bâtis

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

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

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

Voies de circulation

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

Voies de circulation automobiles

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

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

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

Voies ferroviaires

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

Voies navigables

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

Chemins et voies piétonnes

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

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

Logements

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

Etablissements recevant du public (ERP)

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

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

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

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

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

Zones d'activité

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

ANNEXE B – TABLEAU DE L'ACCIDENTOLOGIE FRANÇAISE

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

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

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	25/02/2002	Sailières-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	Sailières-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts) sur trois éoliennes. Morceaux de pales disséminés sur 100 m.	Dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Article de presse (Midi Libre du 15/11/2003)	-
Effondrement	01/01/2004	Le Portel – Boulogne sur Mer	Pas de Calais	0,75	2002	Non	Cassure d'une pale, chute du mât et destruction totale. Une pale tombe sur la plage et les deux autres dérivent sur 8 km.	Tempête	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (Windpower Monthly May 2004, La Voix du Nord du 02/01/2004)	-
Effondrement	20/03/2004	Loon Plage – Port de Dunkerque	Nord	0,3	1996	Non	Couchage du mât d'une des 9 éoliennes suite à l'arrachement de la fondation	Rupture de 3 des 4 micropieux de la fondation, erreur de calcul (facteur de 10)	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (La Voix du Nord du 20/03/2004 et du 21/03/2004)	-
Rupture de pale	22/06/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50 m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	-
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	Incident identique à celui s'étant produit 15 jours auparavant
Rupture de pale	2004	Escalles-Conilhac	Aude	0,75	2003	Non	Bris de trois pales	Tempête	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	-

5 / 18

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	2005	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris de pale	Allongement des pales et retrait de sécurité (débridage), pas de REX suite aux précédents accidents sur le même parc	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	Malveillance / incendie criminel	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)	-

6 / 18

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Emballlement	03/2008	Dinéault	Finistère	0,3	2002	Non	Emballlement de l'éolienne mais pas de bris de pale	Tempête + système de freinage hors service (boulon manquant)	Base de données ARIA	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (événement unique et sans répercussion potentielle sur les personnes)
Collision avion	04/2008	Plouguin	Finistère	2	2004	Non	Léger choc entre l'aile d'un bimoteur Beechcraftch (liaison Ouessant-Brest) et une pale d'éolienne à l'arrêt. Perte d'une pièce de protection au bout d'aile. Mise à l'arrêt de la machine pour inspection.	Mauvaise météo, conditions de vol difficiles (sous le plafond des 1000m imposé par le survol de la zone) et faute de pilotage (altitude trop basse)	Articles de presse (Le Télégramme, Le Post)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident aéronautique)
Rupture de pale	19/07/2008	Erize-la-Brûlée - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale et projection de morceaux de pale suite à un coup de foudre	Foudre + défaut de pale	Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain 22/07/2008)	-
Incendie	28/08/2008	Vauvillers	Somme	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Problème au niveau d'éléments électroniques	Dépêche AFP 28/08/2008	-
Rupture de pale	26/12/2008	Raival - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale		Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain)	-
Maintenance	26/01/2009	Clastres	Aisne	2,75	2004	Oui	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance	Accident électrique (explosion d'un convertisseur)	Base de données ARIA	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Rupture de pale	08/06/2009	Bollène	Vaucluse	2,3	2009	Oui	Bout de pale d'une éolienne ouvert	Coup de foudre sur la pale	Interne exploitant	Non utilisable dans les chutes ou les projections (la pale est restée accrochée)

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Incendie	21/10/2009	Froidfond - Espinassière	Vendée	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit dans transformateur sec embarqué en nacelle ?	Article de presse (Ouest-France) Communiqué de presse exploitant Site FED	-
Incendie	30/10/2009	Freyssenet	Ardèche	2	2005	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit faisant suite à une opération de maintenance (problème sur une armoire électrique)	Base de données ARIA Site FED Article de presse (Le Dauphiné)	-
Maintenance	20/04/2010	Touffiers	Nord	0,15	1993	Non	Décès d'un technicien au cours d'une opération de maintenance	Crise cardiaque	Article de presse (La Voix du Nord 20/04/2010)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
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	Emballlement 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	-

ANNEXE C – SCÉNARIOS GÉNÉRIQUES ISSUS DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

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

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

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

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

Scénario G01

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

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

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

① **Note : Si les enjeux principaux seront principalement humains, il conviendra d'évoquer les enjeux matériels, avec la présence éventuelle d'éléments internes au parc éolien (poste de livraisons, sous-stations), ou extérieurs sous le surplomb de la machine.**

Scénario G02

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

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

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

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

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

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

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

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Maintenance	15/12/2010	Pouillé-les-Côteaux	Loire Atlantique	2,3	2010	Oui	Chute de 3 m d'un technicien de maintenance à l'intérieur de l'éolienne. L'homme de 22 ans a été secouru par le GRIMP de Nantes. Aucune fracture ni blessure grave.		Interne SER-FEE	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Transport	31/05/2011	Mesvres	Saône-et-Loire	-	-	-	Collision entre un train régional et un convoi exceptionnel transportant une pale d'éolienne, au niveau d'un passage à niveau. Aucun blessé.		Article de presse (Le Bien Public 01/06/2011)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident de transport hors site éolien)
Rupture de pale	14/12/2011	Non communiqué	Non communiqué	2,5	2003	Oui	Pale endommagée par la foudre. Fragments retrouvés par l'exploitant agricole à une distance n'excédant pas 300 m.	Foudre	Interne exploitant	Information peu précise sur la distance d'effet
Incendie	03/01/2012	Non communiqué	Non communiqué	2,3	2006	Oui	Départ de feu en pied de tour. Acte de vandalisme : la porte de l'éolienne a été découpée pour y introduire des pneus et de l'huile que l'on a essayé d'incendier. Le feu ne s'est pas propagé, dégâts très limités et restreints au pied de la tour.	Malveillance / incendie criminel	Interne exploitant	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'incendie)
Rupture de pale	05/01/2012	Widehem	Pas-de-Calais	0,75	2000	Non	Bris de pales, dont des fragments ont été projetés jusqu'à 380 m. Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne).	Tempête + panne d'électricité	Article de presse (La Voix du Nord 06/01/2012) Vidéo DailyMotion Interne exploitant	-

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Scénarios relatifs aux risques de fuites (F01 à F02)

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

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

Scénario F01

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

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

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

Deux événements peuvent être aggravants :

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

Scénario F02

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

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

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

Ce scénario est à adapter en fonction des produits utilisés.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Scénario P01

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

Scénario P02

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

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

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

Scénarios P03

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

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

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

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

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

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

ANNEXE D – PROBABILITE D'ATTEINTE ET RISQUE INDIVIDUEL

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ANNEXE 5 –GLOSSAIRE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Attention aux confusions possibles :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Enfin, quelques sigles utiles employés dans 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

Compléments à l'accidentologie de parcs éoliens en France
(mise à jour début 2019)

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	Département	Cause probable de l'accident	Source d'information
Rupture de pale	Avril 2012	Sigean	Aude	Foudre	Aria
Chute de pale	Mai 2012	Fresnay-L'Eveque	Eure-et-Loir	Corrosion	Aria
Effondrement	Mai 2012	Port la Nouvelle	Aude	Tempête	Aria
Rupture de pale	Novembre 2012	Vieillespesse	Cantal	/	Aria
Incendie	Novembre 2012	Sigean	Aude	Dysfonctionnement électrique	Aria
Chute de pale	Mars 2013	Conilhac de la Montagne	Aude	Problème de fixation ?	Aria
Incendie	17 Mars 2013	Euvy	Marne	Défaillance électrique	Aria
Rupture de pale	Juin 2013	Labastide sur Besorgues	Ardèche	Foudre	Aria
Maintenance	Juillet 2013	Cambon et Salvergues	Hérault	Défaut de conception d'un accumulateur	Aria
Maintenance	Août 2013	Moreac	Morbihan	Fuite d'une nacelle élévatrice (déversement d'huile hydraulique)	Aria

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	Département	Cause probable de l'accident	Source d'information
Incendie	9 Janvier 2014	Antheny	Ardennes	Incident électrique	Aria
Chute de pale	Novembre 2014	Saint Cirques en Montagne	Ardèche	Tempête	Aria
Rupture de pale	Décembre 2014	Fitou	Aude	Défaillance matérielle	Aria
Incendie	Janvier 2015	Remigny	Aisne	Incident électrique (défaut d'isolation)	Aria
Incendie	Février 2015	Luserey	Deux-Sèvres	?	Aria
Rupture de pale	05 Avril 2015	Roquetaillade (extension)	Aude	?	Aria
Incendie	Août 2015	Santilly	Eure-et-Loir	?	Aria
Chute du rotor	10 Novembre 2015	Ménil-la-Horgne	Meuse	Défaillance matérielle	Aria
Chute d'élément	07 Février 2016	Conilhac-Corbières	Aude	Défaillance matérielle	Aria
Projection de fragments de pale	08 Février 2016	Dinéault	Finistère	Tempête ?	Aria
Rupture de pale	05 Mars 2016	Calanhel	Côtes d'Armor	Défaillance matérielle	Aria
Fuite d'huile	28 Mai 2016	Janville	Eure-et-Loir	Défaillance d'un raccord	Aria
Incendie	10 Août 2016	Hescamps	Somme	Défaillance électrique	Aria
Incendie	18 Août 2016	Dargies	Oise	Défaillance électrique	Aria

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	Département	Cause probable de l'accident	Source d'information
Maintenance	14 septembre 2016	Les Grandes Chapelles	Aube	Inconnue	Aria
Projection de pale	12 Janvier 2017	Tuchan	Aude	Défaillance matérielle	Aria
Chute de pale et projection d'éléments	18 Janvier 2017	Nurlu	Somme	Tempête ?	Aria
Rupture de pale	27 Février 2017	Trayes	Deux Sèvres	Défaillance matérielle et intempérie	Aria
Rupture de pale	27 février 2017	Lavallée	Meuse	?	
Rupture de pale	28 Février 2017	Belrain	Meuse	Tempête	Aria
Incendie	06 Juin 2017	Allonnes	Eure-et-Loir	Défaillance technique	Aria
Rupture de pale	08 Juin 2017	Aussac Vadalle	Charente	Foudre	Aria
Chute de pale	24 Juin 2017	Conchy-sur-Canche	Pas-de-Calais	?	Aria
Chute d'élément	17 Juillet 2017	Fécamp	Seine-Maritime	Défaillance matérielle Conséquence : augmentation fréquence d'inspection	Aria
Fuite d'huile	24 Juillet 2017	Mauron	Morbihan	Rupture flexible	Aria
Chute de pale	05 Août 2017	Priez	Aisnes	?	Aria
Maintenance	26 Octobre 2017	Vaux-lès-Mouzon	Ardennes	Accident de travail	Aria

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	Département	Cause probable de l'accident	Source d'information
Chute d'élément	8 novembre 2017	Roman	Eure	Défaut d'assemblage des boulonnages	Aria
Effondrement éolienne	01 Janvier 2018	Bouin	Vendée	Défaillance matérielle, de pilotage et intempérie	Aria
Projection d'élément de pale	4 janvier 2018	Nixeville-Blercourt	Meuse	Episode venteux	Aria
Chute d'élément	6 février 2018	Conilhac-Corbières	Aude	Défaillance matérielle	Aria
Chute d'élément	5 juin 2018	Aumelas	Hérault	Défaillance électrique ?	Aria
Projection d'élément de pale	4 juillet 2018	Port-la-Nouvelle	Aude	Inconnue	Aria
Chute d'éléments	28 septembre 2018	Sauveterre	Tarn	Incendie suite à acte de malveillance	Aria
Fuite d'huile	17 octobre 2018	Flers-sur-Noye	Somme	Défaillance d'opération maintenance	Aria
Effondrement d'éolienne	6 novembre 2018	Guigneville	Loiret	Panne du système de freinage aérodynamique	France 3
Rupture de pale	17 janvier 2019	Bambiderstroff	Moselle	?	DREAL Grand Est