

7. ÉTUDE DE DANGERS

PROJET ÉOLIEN DE PUGNY (79)

COMMUNE DE MONCOUTANT-SUR-SÈVRE

DÉCEMBRE 2022



Identité du Maître d'Ouvrage :

PE de Pugny

SARL – Société de Valeco / EnBW

SIREN : 879 696 623

SIRET : 879 696 623 00013

188 rue Maurice Béjart

34080 MONTPELLIER

Spécificité du dossier :

VALECO, en tant qu'entreprise dépendant d'une société dont la majeure partie des capitaux appartiennent à des fonds publics, doit se soumettre à la directive européenne 2014/25/UE visant à garantir le respect des principes de mise en concurrence, d'égalité de traitement des fournisseurs, et de transparence pour tout achat de matériels et services destinés à ses sociétés de projet de construction, dès lors que ces achats sont liés à leur activité de production d'électricité. Cette directive s'applique aux marchés de travaux d'une valeur supérieure à 5 000 000€ et aux marchés de fournitures et de services d'une valeur supérieure à 400 000 € (*) pour le **parc éolien de Pugny**, tels que la fourniture et l'installation d'éolienne. Afin de garantir le principe de mise en concurrence des fabricants d'éoliennes aucun nom de fabricant ne sera présenté dans ce dossier, et les éoliennes seront définies par leurs dimensions principales. Pour cette raison également, lorsque plusieurs éoliennes présentent des grandeurs équivalentes nous avons choisi de retenir la grandeur maximale dans l'analyse des impacts, dangers et inconvénients de l'installation, pour ne pas risquer de les sous évaluer.

() seuils actuellement applicables à compter du premier janvier 2012 par le règlement européen n°1251 2011 du 30 novembre 2011 et le décret n 2011 2027 du 29 décembre 2011 et réévalués par période de 2 ans.*

Table des matières

1	Introduction	7	5	Identification des potentiels dangers de l'installation	29
1.1	Objectif de l'étude de dangers	7	5.1	Potentiels de dangers liés aux produits	29
1.2	Contexte législatif et réglementaire	7	5.2	Potentiel de dangers liés au fonctionnement de l'installation	30
1.3	Nomenclature des installations classées	7	5.3	Réduction des potentiels de dangers à la source	30
2	Informations générales concernant l'installation	8	5.3.1	Principales actions préventives	30
2.1	Renseignement administratif	8	5.3.2	Utilisation des meilleures techniques disponibles	31
2.2	Localisation du site	8	6	Analyse des retours d'expérience	32
2.3	Définition de l'aire d'étude	9	6.1	Inventaire des accidents et incidents en France	32
3	Description de l'environnement de l'installation	9	6.2	Inventaire des accidents et incidents à l'international	34
3.1	Environnement urbain	9	6.3	Inventaire des accidents majeurs survenus sur les sites de l'exploitant	35
3.1.1	Zones urbanisées	9	6.4	Synthèse des phénomènes dangereux issus du retour d'expérience	35
3.1.2	Etablissement recevant du public (ERP)	10	6.4.1	Analyse de l'évolution des accidents en France	35
3.1.3	Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE et installations nucléaires de base)	10	6.4.2	Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents	36
3.1.4	Autres activités	10	6.5	Limite d'utilisation de l'accidentologie	36
3.2	Environnement naturel	11	7	Analyse préliminaire des risques	37
3.2.1	Contexte climatique	11	7.1	Objectif de l'analyse préliminaire des risques	37
3.2.2	Risque naturels	12	7.2	Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse de risques	37
3.3	Environnement matériel	13	7.3	Recensement des agressions externes potentielles	37
3.3.1	Voies de communication	13	7.3.1	Agressions externes liées aux activités humaines	37
3.3.2	Réseaux publics et privés	13	7.3.2	Agressions externes liées aux phénomènes naturels	38
3.3.3	Autres ouvrages publics	13	7.4	Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques	38
3.4	Cartographie de synthèse	13	7.5	Effets dominos	40
4	Description de l'installation	18	7.6	Mise en place des mesures de sécurité	40
4.1	Caractéristique de l'installation	18	7.7	Conclusion de l'analyse préliminaire des risques	44
4.1.1	Caractéristiques générales d'un parc éolien	18	8	Etude détaillée des risques	46
4.1.2	Activité de l'installation	20	8.1	Rappel des définitions	46
4.1.3	Composition de l'installation	20	8.1.1	Cinétique	46
4.2	Fonctionnement de l'installation	23	8.1.2	Intensité	46
4.2.1	Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur	23	8.1.3	Gravité	47
4.2.2	Sécurité de l'installation	23	8.1.4	Probabilité	47
4.2.3	Opération de maintenance de l'installation	25	8.2	Caractéristiques des scénarios retenus	49
4.2.4	Stockage et flux de produits dangereux	27	8.2.1	Effondrement de l'éolienne	49
4.3	Fonctionnement des réseaux de l'installation	27	8.2.2	Chute de glace	50
4.3.1	Raccordement électrique	28	8.2.3	Chute d'éléments de l'éolienne	51
4.3.2	Autres réseaux	29	8.2.4	Projection de pales ou de fragments de pales	52
			8.2.5	Projection de glace	54
			8.3	Synthèse de l'étude détaillée des risques	55

8.3.1	Tableaux de synthèse des scénarios étudiés	55
8.3.2	Synthèse de l'acceptabilité des risques	56
8.3.3	Cartographie des risques	57
9	Conclusion.....	60
Le niveau des risques potentiels précédemment cités sont tous acceptables. 3 ont un niveau très faible et 2 ont un niveau faible.		
10	RESUME NON TECHNIQUE	62
10.1	Une étude de danger : Qu'est-ce que c'est ?	62
10.1.1	Objectif de l'étude de dangers	62
10.1.2	Contexte législatif et réglementaire.....	62
10.1.3	Nomenclature des installations classées	62
10.2	Informations générales concernant l'installation	62
10.2.1	Renseignements administratif	62
10.2.2	Localisation du site	62
10.2.3	Définition de l'aire d'étude.....	63
10.3	Description de l'environnement de l'installation	63
10.4	Caractéristiques de l'instalation	67
10.5	Fonctionnement de l'installation.....	68
10.6	Fonctionnement des réseaux de l'installation	69
10.7	Identification des potentiels dangers de l'installation	70
10.7.1	Potentiels de dangers liés aux produits.....	70
10.7.2	Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation.....	70
10.7.3	Reduction des potentiels de dangers à la source	70
10.8	Analyse préliminaire des risques	71
10.8.1	Objectif de l'analyse préliminaire des risques.....	71
10.8.2	Recensement des évènements initiateurs exclus de l'analyse de risques	71
10.8.3	Recensement des agressions externes potentielles	71
10.8.4	Agressions externes liées aux phénomènes naturels	71
10.8.5	Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques	72
10.8.6	Effets dominos.....	72
10.8.7	Mise en place des mesures de sécurité.....	72
10.8.8	Conclusion sur l'analyse préliminaire des risques.....	74
10.9	Etude détaillée des risques.....	75
10.9.1	Rappel des définitions	75
10.9.2	Synthèse détaillée des risques.....	76
10.9.3	Synthèse de l'acceptabilité des risques.....	76
10.9.4	Cartographie des risques	76

10.10	Conclusion	79
11	Annexes	80
Annexe 1 – Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne		
		80
Annexe 2 – Tableau de l'accidentologie française		
		82
Annexe 3 – Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques		
		95
Annexe 4 – Probabilité d'atteinte et Risque individuel.....		
		97
Annexe 5 – Glossaire.....		
		98
Annexe 6 – Bibliographie et références utilisées.....		
		100

Table des illustrations

Illustration 1	: Localisation de l'aire d'étude	8
Illustration 2	: Localisation du projet.....	9
Illustration 3	: Localisation des zones urbaines à proximité	10
Illustration 4	: Localisation des installations ICPE et INB.....	10
Illustration 5	: Occupation des sols.....	11
Illustration 6	: Exemple de Mât de mesure (Source : Valeco).....	11
Illustration 7	: Rose des vents sur site 5Source : AWS).....	11
Illustration 8	: Répartition des aléas sismique en France.....	12
Illustration 9	: Retrait et gonflement des argiles.....	12
Illustration 10	: Répartition du niveau d'exposition à la foudre et densité	13
Illustration 11	: Synthèse des enjeux identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E1.....	15
Illustration 12	: Synthèse des enjeux identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E2.....	16
Illustration 13	: Synthèse des enjeux identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E3.....	17
Illustration 14	: Schéma simplifié d'un aérogénérateur	18
Illustration 15	: Schéma de la nacelle d'un aérogénérateur	19
Illustration 16	: Emprises au sol d'une éolienne.....	20
Illustration 17	: Plan détaillé de l'installation, éoliennes E1 et E2.....	21
Illustration 18	: Plan détaillé de l'installation, éoliennes E3.....	22
Illustration 19	: Raccordement électrique des installations	28
Illustration 20	: Raccordement inter-éolien	28
Illustration 21	: Synthèse des risques identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E1.....	57
Illustration 22	: Synthèse des risques identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E2	58
Illustration 23	: Synthèse des risques identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E3	59
Illustration 24	: Localisation de l'aire d'étude.....	63
Illustration 25	: Synthèse des enjeux identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E1.....	64
Illustration 26	: Synthèse des enjeux identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E2	65
Illustration 27	: Synthèse des enjeux identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E3	66
Illustration 28	: Schéma simplifié d'un aérogénérateur	67
Illustration 29	: Illustration des emprises au sol d'une éolienne.....	67
Illustration 30	: Raccordement électrique des installations.....	69
Illustration 31	: Synthèse des risques identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E2	77
Illustration 32	: Synthèse des risques identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E1	77
Illustration 33	: Synthèse des risques identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E3	78

Table des figures

Figure 1 : Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et 2011	32
Figure 2 : Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2011.....	34
Figure 3 : Répartition des accidents éoliens entre 2000 et 2021 en % des accidents éoliens mondiaux	34
Figure 4 : Répartition des causes premières d'effondrement	34
Figure 5 : Répartition des causes premières de rupture de pale.....	35
Figure 6 : Répartition des causes premières d'incendie	35
Figure 7 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées (2000 – 2011).....	35
Figure 8 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et du nombre d'éoliennes en exploitation (2008-2020).....	36

Table des tableaux

Tableau 1 : Nomenclature des installations classées.....	7
Tableau 2 : Identité du demandeur.....	8
Tableau 3 : Synthèse du comptage de personne à proximité.....	14
Tableau 4 : Coordonnées des éoliennes et du poste de livraison	20
Tableau 5 : Tâches réalisées à l'inspection des 3 mois après la mise en service du parc.....	26
Tableau 6 : Tâches réalisées à l'inspection des 6 mois puis tous les ans	27
Tableau 7 : Liste des produits utilisés	29
Tableau 8 : Dangers liés au fonctionnement de l'installation.....	30
Tableau 9 : Synthèse des agressions externes liées aux activités humaines	37
Tableau 10 : Synthèse des agressions externes liées aux phénomènes naturels	38
Tableau 11 : Analyse des risques.....	40
Tableau 12 : Mesures de sécurité.....	44
Tableau 13 : Scénarios exclus de l'analyse préliminaires des risques	44
Tableau 14 : Degré d'exposition	46
Tableau 15 : Seuils de gravité.....	47
Tableau 16 : Classe de probabilité	47
Tableau 17 : Zone d'effet et intensité dans le cas de l'effondrement d'une éolienne	49
Tableau 18 : Gravité dans le cas de l'effondrement d'une éolienne.....	49
Tableau 19 : Probabilité dans le cas de l'effondrement d'une éolienne.....	49
Tableau 20 : Acceptabilité dans le cas de l'effondrement d'une éolienne.....	50
Tableau 21 : Zone d'effet et intensité dans le cas de chute de glace.....	51
Tableau 22 : Gravité dans le cas de chute de glace	51
Tableau 23 : Acceptabilité dans le cas de chute de glace	51
Tableau 24 : Zone d'effet et intensité dans le cas de chute d'élément de l'éolienne.....	52
Tableau 25 : Gravité dans le cas de chute d'élément de l'éolienne.....	52
Tableau 26 : Acceptabilité dans le cas de chute d'élément de l'éolienne.....	52
Tableau 27 : Zone d'effet et intensité dans le cas de projection de pale ou de fragment de pale... 53	53
Tableau 28 : Gravité dans le cas de projection de pale ou de fragment de pale	53
Tableau 29 : Probabilité dans le cas de projection de pale ou de fragment de pale.....	53
Tableau 30 : Acceptabilité dans le cas de projection de pale ou de fragment de pale	54

Tableau 31 : Zone d'effet et intensité dans la cas de projection de morceaux de glace	54
Tableau 32 : Gravité dans la cas de projection de morceaux de glace.....	55
Tableau 33 : Acceptabilité dans la cas de projection de morceaux de glace.....	55
Tableau 34 : Synthèse des scénarios étudiés.....	55
Tableau 35 : Matrice de criticité des risques	56
Tableau 36 : Légende de la matrice	56
Tableau 37 : Synthèse des mesures mise en place pour limiter les risques.....	61
Tableau 38 : Identité du demandeur.....	62
Tableau 39 : Description de l'environnement de l'installation.....	63
Tableau 40 : Coordonnées des éoliennes et du poste de livraison.....	67
Tableau 41 : Détails des réseaux du projet.....	69
Tableau 42 : Agressions externes liées aux activités humaines	71
Tableau 43 : Agressions externes liées aux phénomènes naturels.....	71
Tableau 44 : Mesures de sécurité	74
Tableau 45 : Degré d'exposition.....	75
Tableau 46 : Seuils de gravité	75
Tableau 47 : Classe de probabilité.....	75
Tableau 48 : Synthèse des risques.....	76
Tableau 49 : Matrice de criticité des risques.....	76
Tableau 50 : Légende de la matrice.....	76
Tableau 51 : Synthèse des mesures mise en place pour limiter les risques.....	79

1 INTRODUCTION

1.1 Objectif de l'étude de dangers

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

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

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

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

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

1.2 Contexte législatif et réglementaire

Les objectifs et le contenu de l'étude de dangers sont définis dans la partie du Code de l'environnement relative aux installations classées. Selon l'article L. 181-25, l'étude de dangers expose les risques que peut présenter l'installation pour les intérêts visés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation.

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

Ainsi, l'étude de dangers a pour objectif de démontrer la maîtrise du risque par l'exploitant. Elle comporte une analyse des risques qui présente les différents scénarios d'accidents majeurs susceptibles d'intervenir. Ces scénarios sont caractérisés en fonction de leur probabilité d'occurrence, de leur cinétique, de leur intensité et de la gravité des accidents potentiels.

Elle justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.

Selon le principe de proportionnalité, le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte tenu de son environnement et de sa vulnérabilité. Ce contenu est défini en des termes laconiques, par l'article L. 181-25 du Code de l'environnement :

- Risques auxquels l'installation peut exposer, directement ou indirectement, les intérêts mentionnés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation ;
- Une analyse de risques qui prend en compte la probabilité d'occurrence, la cinétique et la gravité des accidents potentiels selon une méthodologie qu'elle explicite ;
- Les mesures propres à réduire la probabilité et les effets de ces accidents.

Il convient de préciser que l'article R. 512-9 du code de l'environnement qui définissait exhaustivement le contenu de l'étude de dangers et exigeait la fourniture d'un résumé non technique de l'étude de dangers a été abrogé par le Décret n°2017-81 en date du 26 janvier 2017 relatif à l'autorisation environnementale. Aucun article réglementaire du code de l'environnement n'a depuis repris cette exigence de production d'un résumé non technique de l'étude de dangers.

De même, la circulaire du 10 mai 2010 [11] récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003 précise le contenu attendu de l'étude de dangers et apporte des éléments d'appréciation des dangers pour les installations classées soumises à autorisation.

1.3 Nomenclature des installations classées

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

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

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

Tableau 1 : Nomenclature des installations classées

Le parc éolien de Pugny comprend au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 110 m : cette installation est donc soumise à autorisation (A) au titre des installations classées pour la protection de l'environnement et doit présenter une étude de dangers au sein de sa demande d'autorisation d'exploiter.

2 INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

2.1 Renseignement administratif

Dénomination	PE de Pugny
N° SIREN	879 696 623
Registre de commerce	RCS Montpellier
Forme juridique	SARL au capital de 500 €
Actionariat	Filiale à 100% de Valeco
Gérant	Sébastien APPY
Adresse	188 Rue Maurice Béjart 34080 Montpellier
Téléphone	04 67 40 74 00
Télécopie	04 67 40 74 05
Site internet	www.groupevaleco.com

Tableau 2 : Identité du demandeur

Le PE de Pugny est une société spécialement créée et détenue à 100% par Valeco pour être le maître d'ouvrage et exploitant du parc éolien de Pugny.

Pour plus de renseignement, le lecteur pourra se référer à :

Camille CHARRIERE

camillecharriere@groupevaleco.com

2.2 Localisation du site

Le parc éolien de Pugny, composé de 3 aérogénérateurs, est localisé sur la commune de Moncoutant-sur-Sèvre, au sein du département des Deux-Sèvres (79), dans la région Nouvelle Aquitaine.

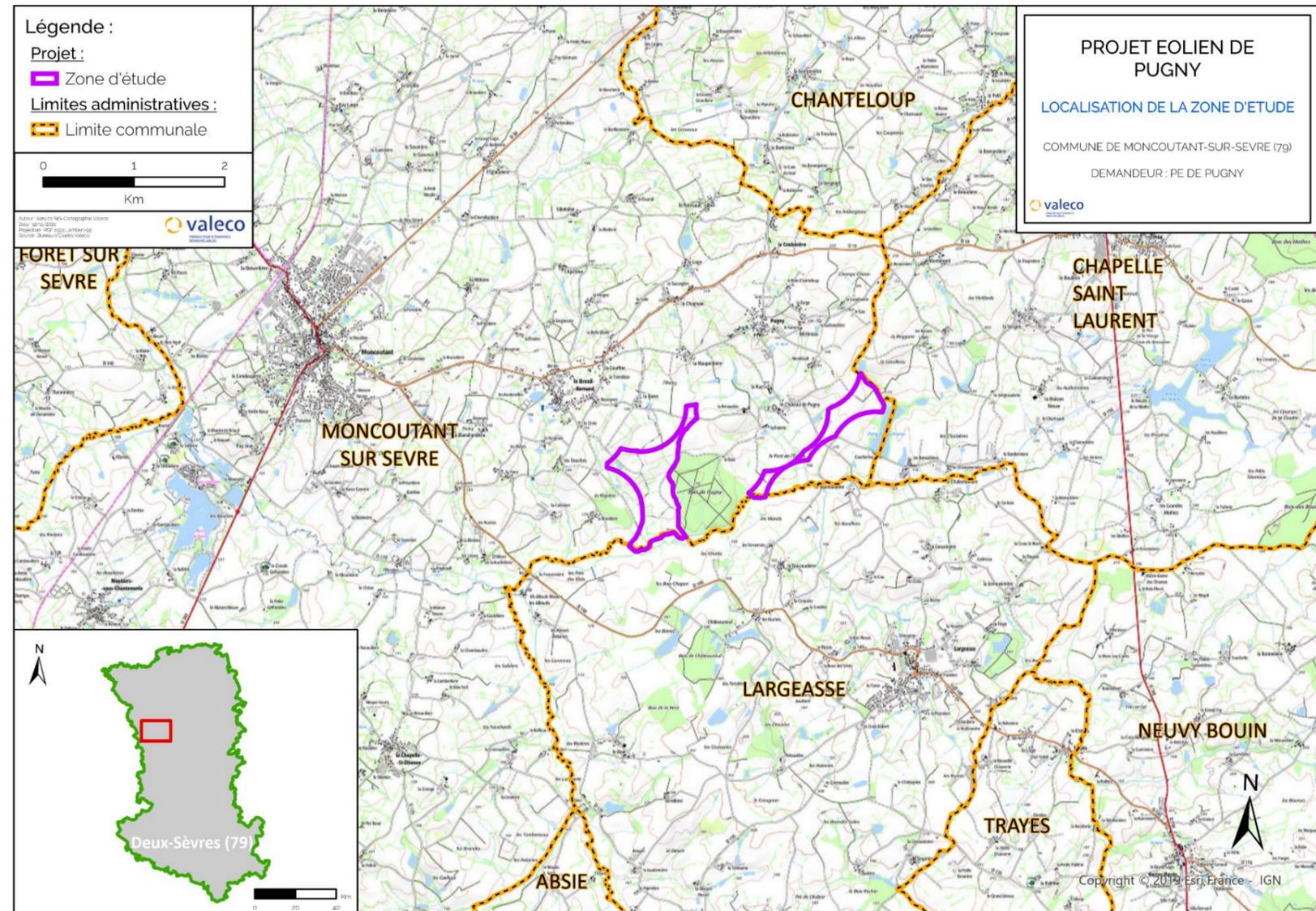


Illustration 1 : Localisation de l'aire d'étude

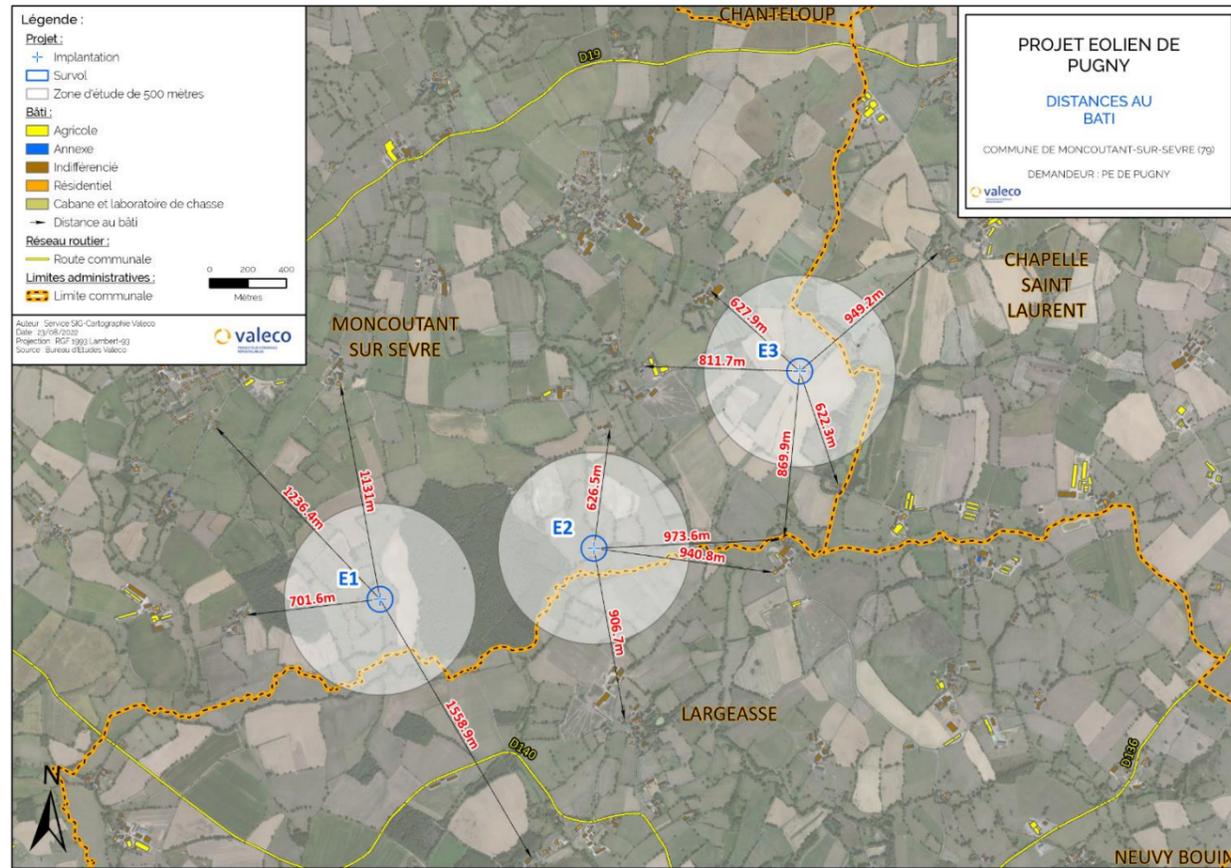


Illustration 3 : Localisation des zones urbaines à proximité

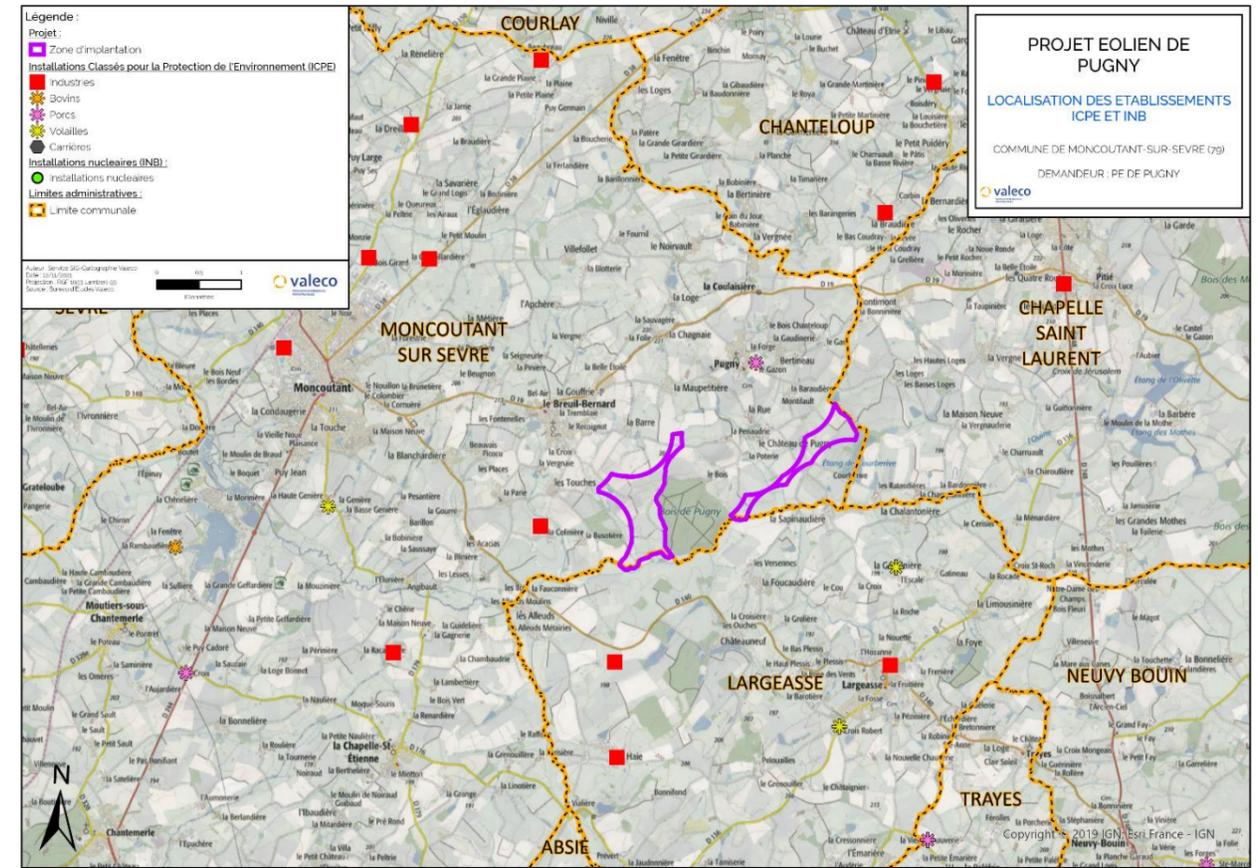


Illustration 4 : Localisation des installations ICPE et INB

3.1.2 Etablissement recevant du public (ERP)

Aucun ERP ne se trouve dans la zone d'étude.

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

Aucune installation ICPE et aucune installation nucléaire de base ne se situent dans la zone d'étude.

Un parc éolien autorisés se trouvent à proximité (distance inférieure à 2km). Il s'agit du parc éolien de Largeasse, non construit lors de la rédaction de l'étude, dont l'éolienne la plus proche (E2) est située à 707m du mât de l'éolienne E1 de Pugny.

La centrale nucléaire de Chinon est la plus proche du projet, située à 85km au nord-est.

3.1.4 Autres activités

D'après les données fournies par la base de données européenne Corine Land Cover 2006, l'occupation des sols sur l'aire d'étude immédiate apparaît très largement dominée par une activité agricole, ou des boisements. La majorité des parcelles de la zone d'implantation potentielle est caractérisée par des terres arables hors périmètre d'irrigation et des systèmes culturaux complexes, interrompues par des prairies au centre de la zone.

La carte ci-dessous présente l'occupation du sol simplifiée issue de la base de données européenne Corine Land Cover 2006.

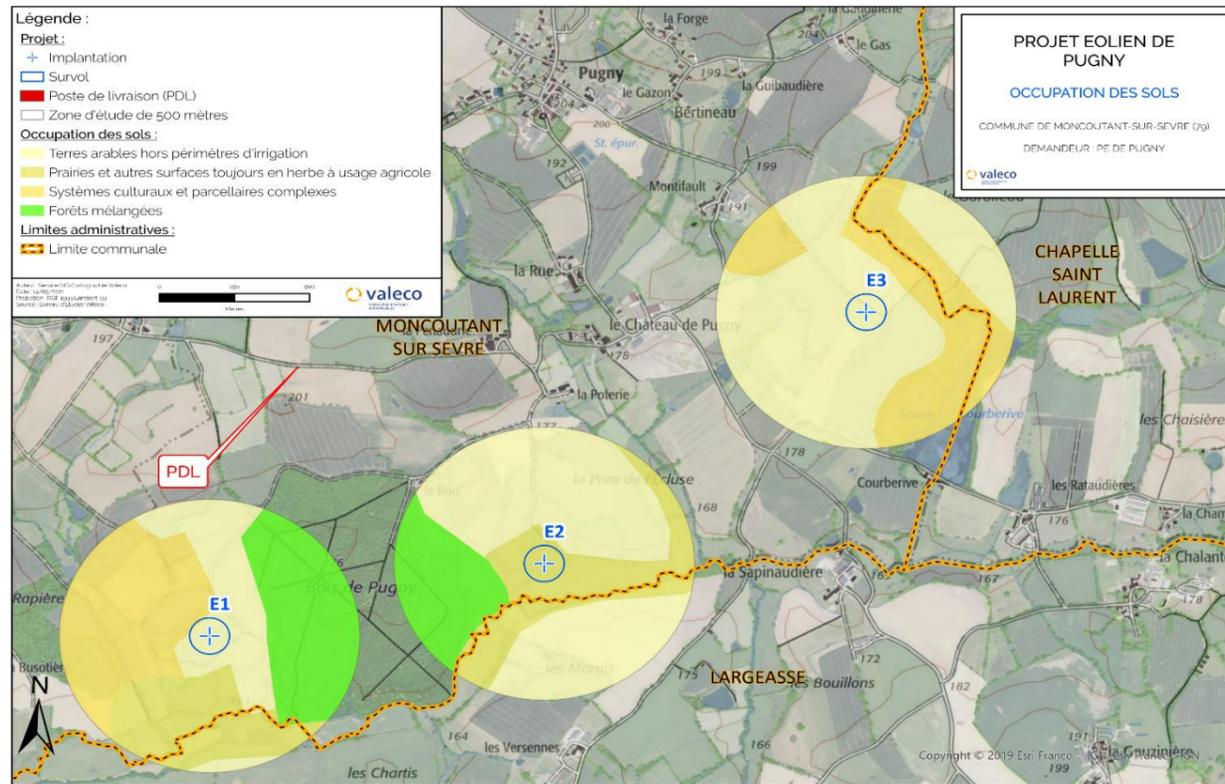


Illustration 5 : Occupation des sols



Illustration 6 : Exemple de Mât de mesure (Source : Valeco)

3.2 Environnement naturel

3.2.1 Contexte climatique

Les Deux-Sèvres disposent d'un climat à forte dominance océanique, bien que située dans les terres. Cette position relativement proche de l'océan atlantique fait que les hivers sont assez doux et les étés relativement tempérés. La moyenne des températures par an est de 12,5°C (station météorologique de Niort), les précipitations se situent autour de 850mm par an.

➤ Vents :

Les vents extrêmement violents peuvent être la cause de détériorations de structures, de chute ou de pliage de mât, de survitesse des pales et de projection de pales.

Afin de caractériser le régime de vent, Valeco a implanté, le 12 mars 2020, un mât de mesures de vent d'une hauteur de 125 m sur la commune de Moncoutant-sur-Sèvre. Les mesures ont été relevées afin de déterminer précisément la force des vents présents. Six anémomètres, trois girouettes, ainsi que des sondes permettant de connaître la température et la pression sont installés sur le mât.

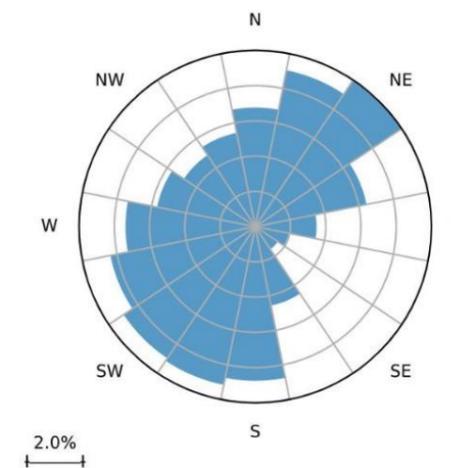


Illustration 7 : Rose des vents sur site (Source : AWS)

Les vents dominants proviennent principalement du Sud-Ouest / Nord-Est

- Pluviométrie et température :

Sud-Ouest / Nord-Est.

- Pluviométrie et température :

Les précipitations enregistrées à la station de Radome Clessé (à 10km du projet) sont de 799,9 mm/ an¹. Sur la période de 1985 à 2010, les données pour cette même station indiquent une température moyenne de 11,5°C avec une amplitude thermique modérée, de l'ordre de 9°C. La température minimale record a été enregistrée en janvier 1985 avec -15,5°C et le record maximal a été de 39°C en août 2003.

3.2.2 Risque naturels

- Sismicité :

Dans la nomenclature des zones de sismicité (décret n° 2010-1255 du 22 octobre 2010 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français et décret n° 2010-1254 du 22 octobre 2010 relatif à la prévention du risque sismique), la commune de Moncoutant-sur-Sèvre se trouve en zone de sismicité 3, modérée.²

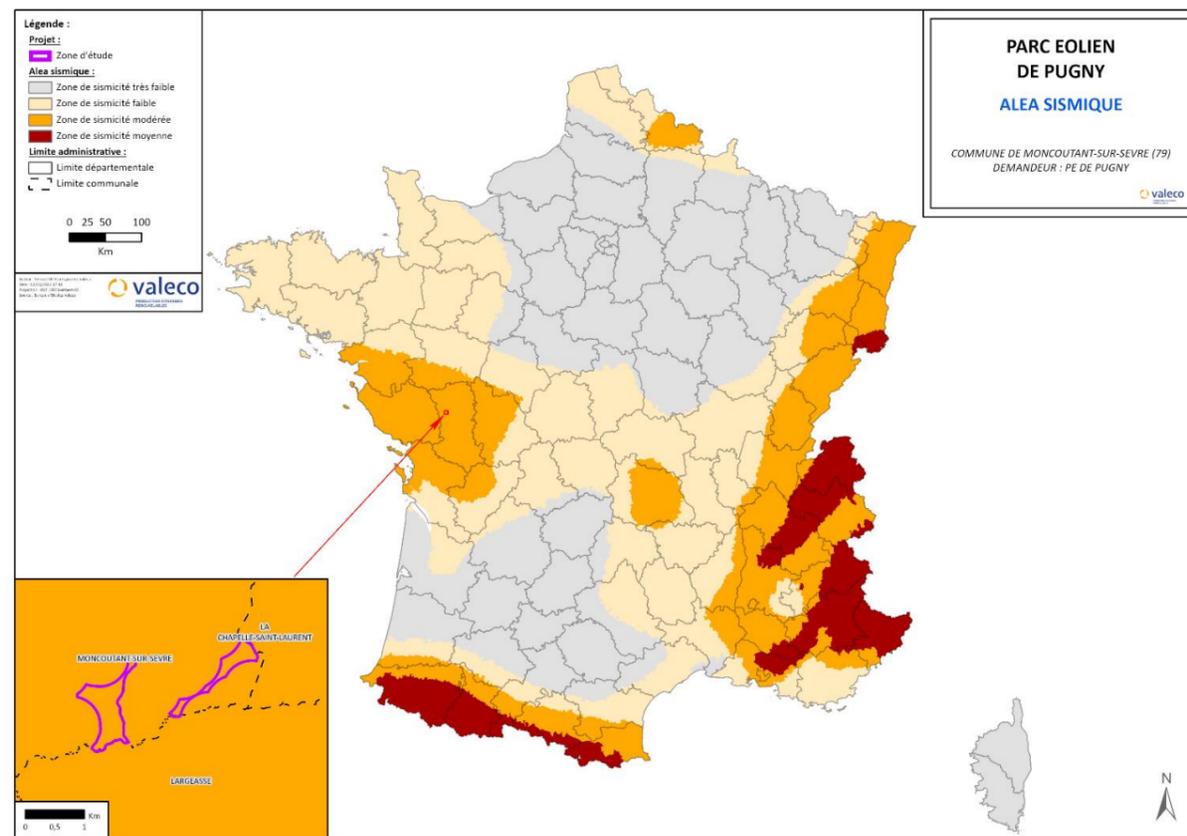


Illustration 8 : Répartition des aléas sismique en France

- Mouvements de terrain :

D'après la base de données du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, et de l'Energie (<http://www.georisques.gouv.fr>), des mouvements de terrain ont eu lieu entre 1999 et 2017. Les Deux-Sèvres sont un secteur sensible à ce type de catastrophe naturelle.

- Aléa retrait-gonflement des argiles :

En climat tempéré, les terrains argileux sont souvent proches de leur état de saturation, si bien que leur potentiel de gonflement est relativement limité. En revanche, ils sont souvent éloignés de leur limite de retrait, ce qui explique que les mouvements les plus importants sont observés en période sèche. La tranche la plus superficielle de sol, sur 1 à 2 m de profondeur, est alors soumise à l'évaporation. Il en résulte un retrait des argiles, qui se manifeste verticalement par un tassement, pouvant être à l'origine de mouvements de terrain lents, et horizontalement par l'ouverture de fissures, classiquement observées dans les fonds de mares qui s'assèchent. L'amplitude de ce tassement est d'autant plus importante que la couche de sol argileux concernée est épaisse et qu'elle est riche en minéraux gonflants.

Le risque aléa retrait-gonflement des argiles pouvant induire des mouvements de terrain dits lents est cartographié sur la zone d'étude du projet.

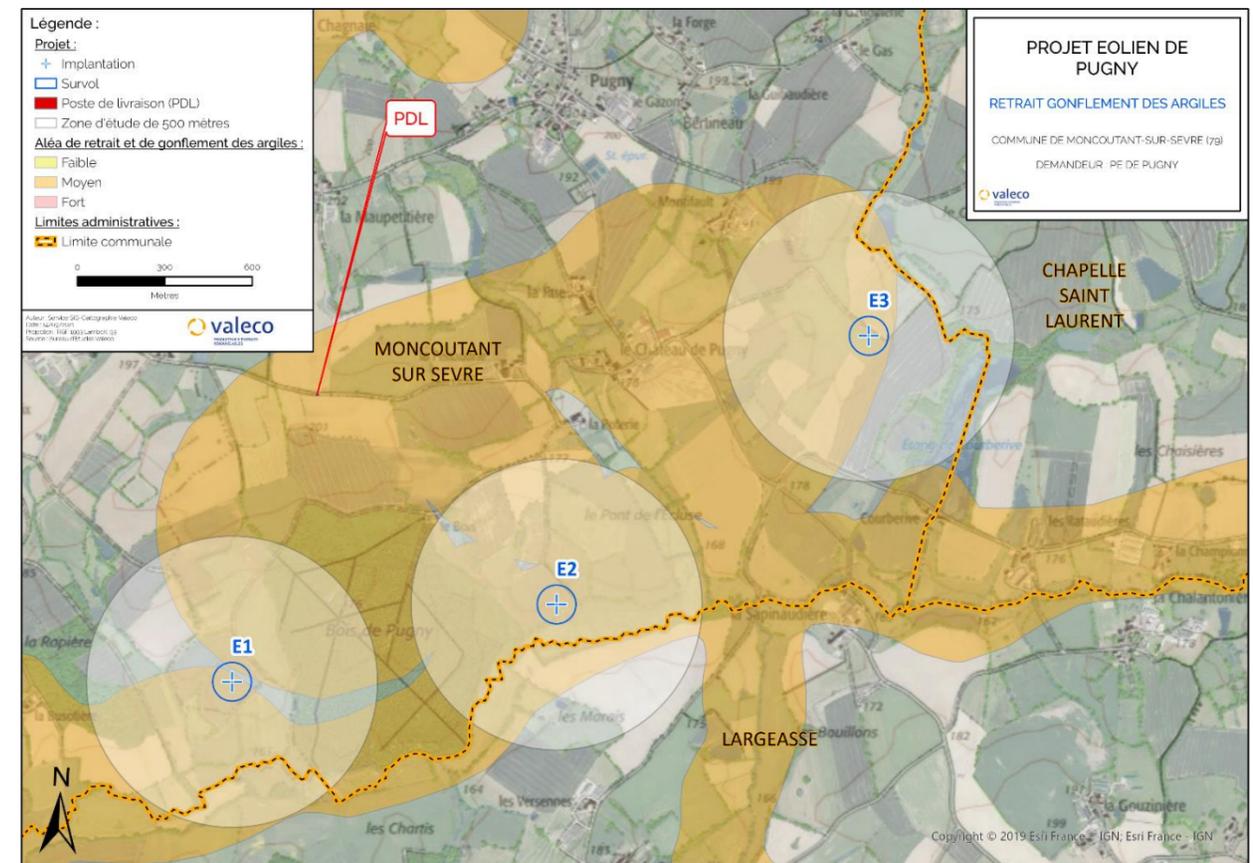


Illustration 9 : Retrait et gonflement des argiles

¹ <https://www.infoclimat.fr/>

² <http://www.georisques.gouv.fr/>

D'après le BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières), la zone d'étude du projet est concernée par un risque de retrait gonflement des argiles qualifié de « faible ».³ Une étude géotechnique sera réalisée en amont de la construction du projet afin de caractériser précisément le risque lié à cet aléa. Les fondations sont dimensionnées avec des marges de sécurité conséquentes permettant de pallier une hausse éventuellement significative de la fréquence des phénomènes de précipitations ou de sécheresses extrêmes.

Par ailleurs, le sol pourra être renforcé par des pieux s'appuyant sur une couche de sol résistante en profondeur, ou via une homogénéisation des conditions de sol sous la fondation par colonnes ballastées (matériaux granulaires compactés) ou par inclusions rigides (en béton ou métalliques)

➤ Foudre :

L'activité orageuse est définie par deux paramètres :

- La Densité de foudroiement (niveau N_g) définit le nombre d'impact foudre par an et par km^2 dans une région.
- Le Niveau kéraunique (niveau N_k) définit le nombre de jour d'orage par an.

Ces 2 paramètres sont liés par une relation approximative :

$$N_g = \frac{N_k}{10}$$

En Deux-Sèvres, l'exposition foudre est « moyenne » avec une densité de foudroiement entre 1,5 et 2,5.

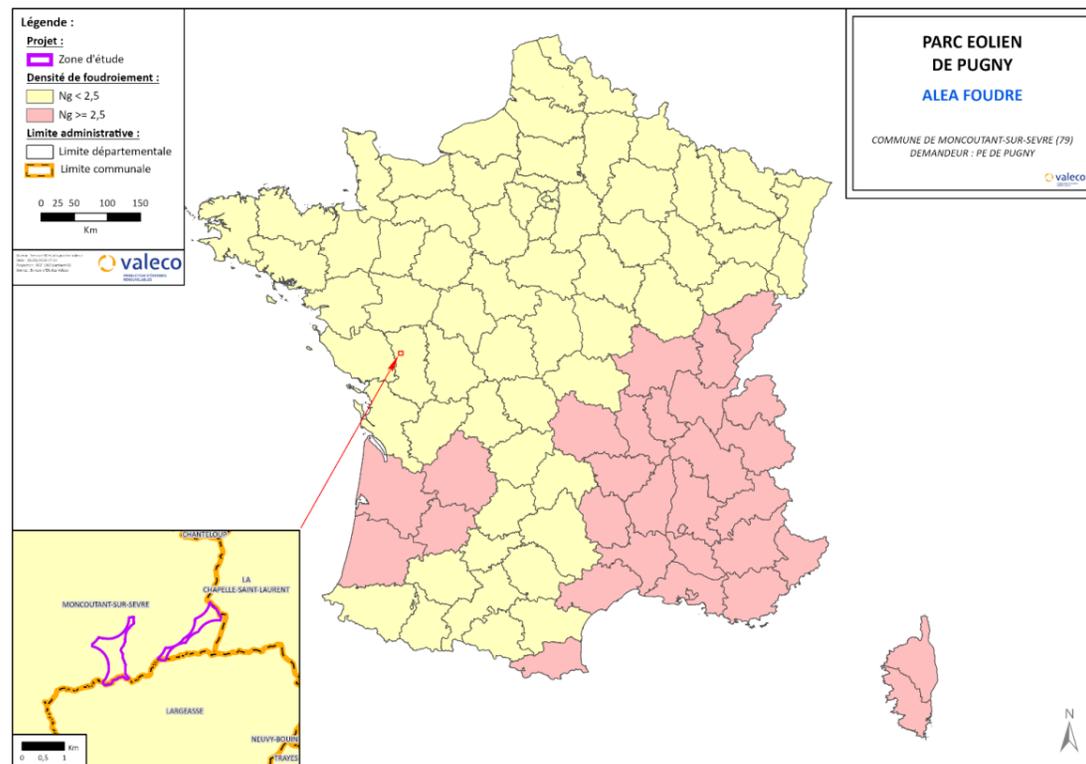


Illustration 10 : Répartition du niveau d'exposition à la foudre et densité

³ <http://www.georisques.gouv.fr/>

➤ Inondations :

La zone d'implantation du projet n'est pas exposée à un risque important d'inondation (source : BRGM)

➤ Incendies de forêts :

Le Plan Départemental de Protection des Forêts Contre les Incendies a été approuvé par arrêté préfectoral le 20/01/2014 et a considéré qu'aucun massif forestier en Deux-Sèvres n'avait lieu d'être considéré comme « à risques ».

3.3 Environnement matériel

3.3.1 Voies de communication

La zone d'étude est à proximité de deux routes départementales : la D19 à environ 1,5 km au nord-ouest, et la D140 à une distance équivalente au sud-ouest. Ces axes sont considérés comme non structurants.

La zone d'étude est uniquement traversée par des chemins ruraux. Dans le cas général, comme détaillé dans l'Annexe 1, on comptera 1 personne par tranche de 10 hectares pour les chemins agricoles et les voies de circulation non structurantes.

Aucune voie ferroviaire, fluviale ou aérienne n'est par ailleurs recensée sur la zone d'étude.

3.3.2 Réseaux publics et privés

D'après la carte de l'ARS datant de Juin 2014, la zone d'étude se trouve en dehors de périmètre de protection de captage d'eau potable. Aucune canalisation de gaz ou ligne électrique n'est présente sur la zone d'étude.

3.3.3 Autres ouvrages publics

Aucun autre ouvrage public n'est recensé dans la zone d'étude (barrages, digues, châteaux d'eau, bassins de rétention, etc.).

3.4 Cartographie de synthèse

En conclusion de ce chapitre de l'étude de dangers, une cartographie lisible pour chaque aérogénérateur permet d'identifier géographiquement les enjeux à protéger dans la zone d'étude :

- Le nombre de personnes exposées par secteur (champs, routes, habitations...)
- La localisation des biens, infrastructures et autres établissements

La méthode de comptage des enjeux humains dans chaque secteur est présentée en Annexe 1. Elle se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 [11] relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers.

Sur chacune des éoliennes, les terrains avoisinants des éoliennes sont soit des :

- Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts, friches, marais...) : compter 1 personne par tranche de 100 hectares. C'est le cas de l'ensemble des parcelles avoisinantes des éoliennes, à l'exception des voies de circulation et chemins agricoles ;
- 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. Il s'agit exclusivement des routes et chemins présents dans la zone d'étude de chaque éolienne.

La zone d'étude est composée majoritairement de terrains non aménagés et très peu fréquentés. Cependant, afin de garder une approche majorante dans l'étude de dangers, l'intégralité de la zone d'étude sera considérée comme des terrains aménagés mais peu fréquentés, où, comme dans le cas général détaillé dans l'Annexe 1, on comptera 1 personne par tranche de 10 hectares (comptage identique aux chemins ruraux).

Eolienne	Terrains aménagés mais peu fréquentés (ha) ⁴	Nombre de personnes potentiellement présentes dans le secteur
E1	78,5	7,854
E2	78,5	7,854
E3	78,5	7,854

Tableau 3 : Synthèse du comptage de personne à proximité

⁴ Correspond à toute la zone d'étude pour chaque éolienne

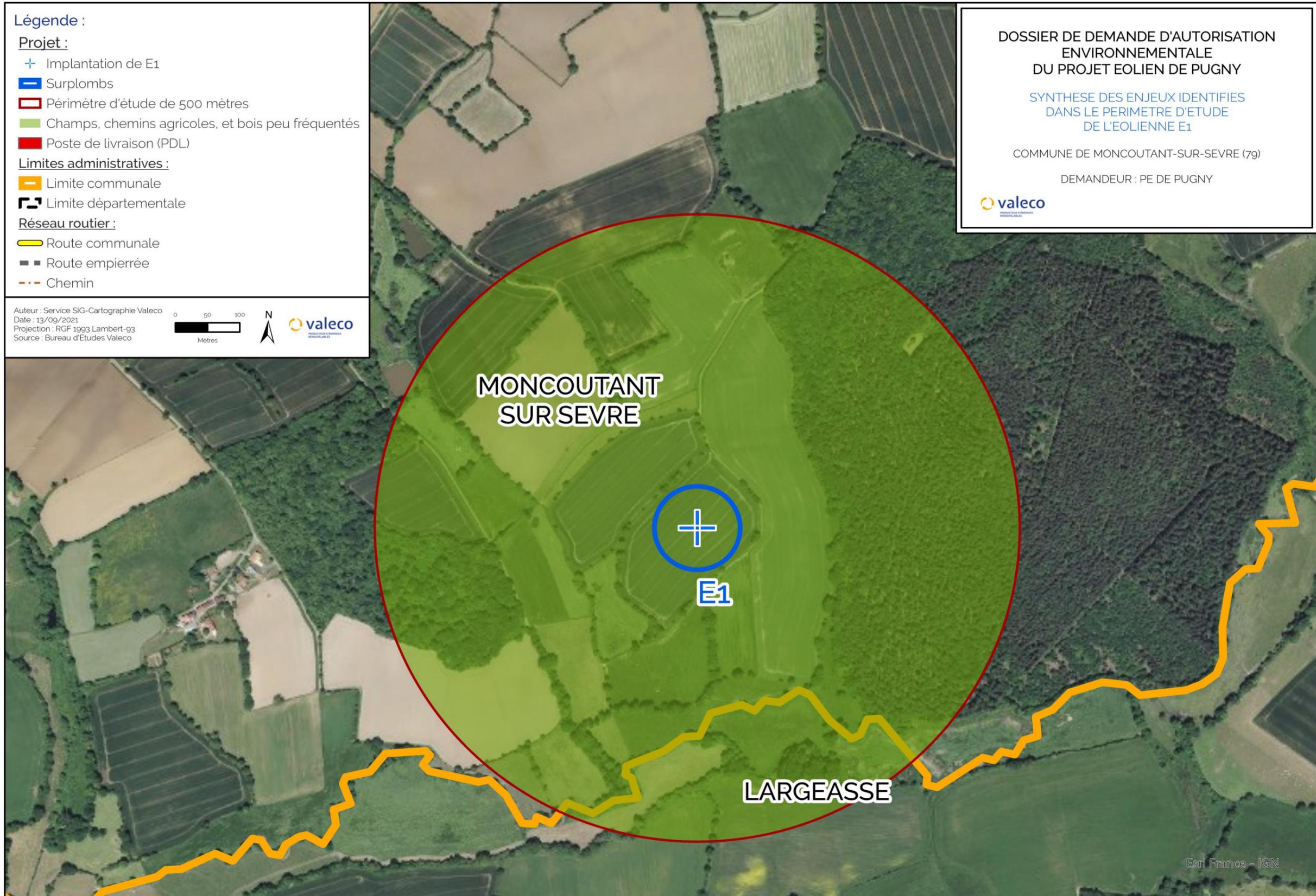


Illustration 11 : Synthèse des enjeux identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E1.

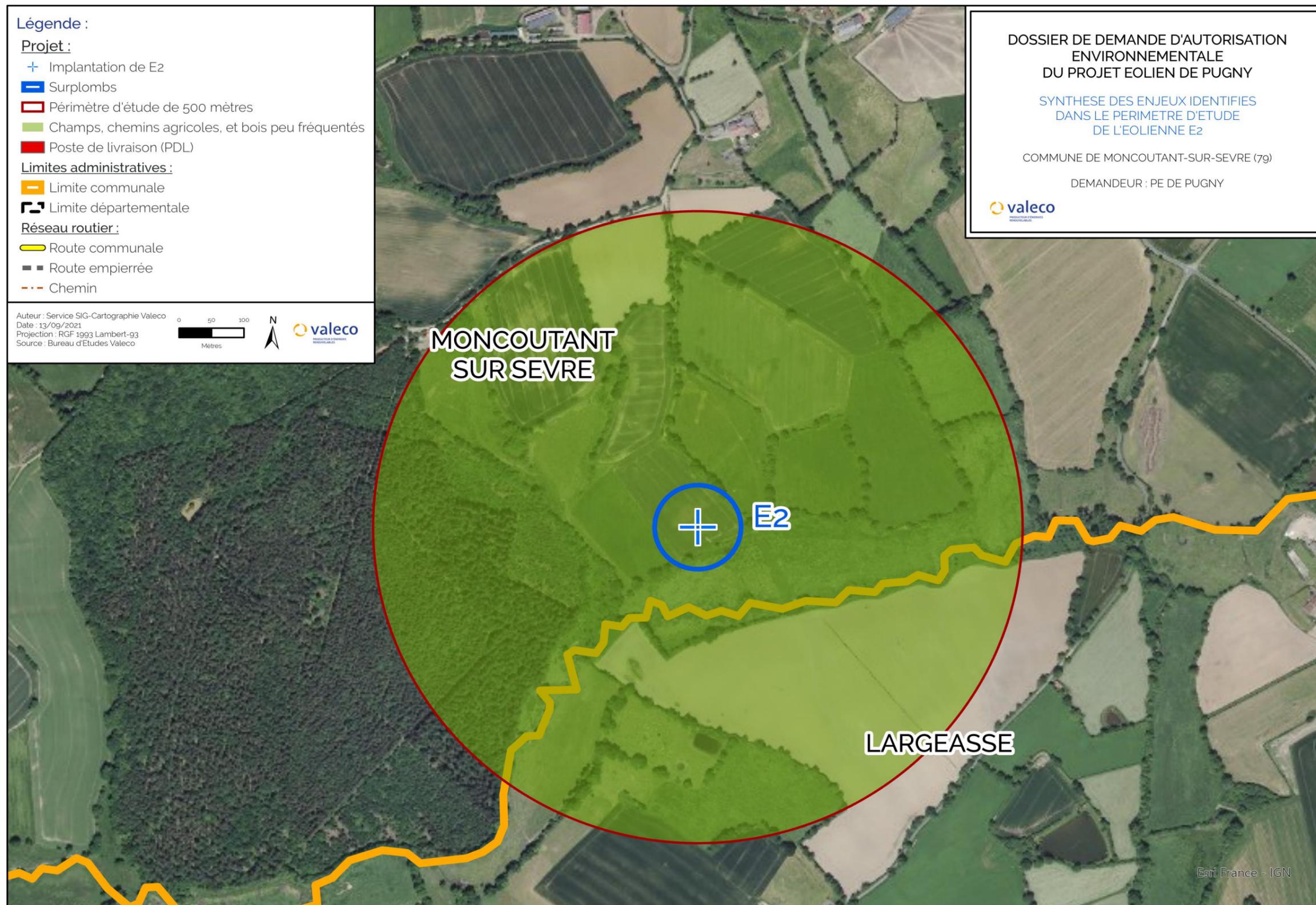


Illustration 12 : Synthèse des enjeux identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E2.

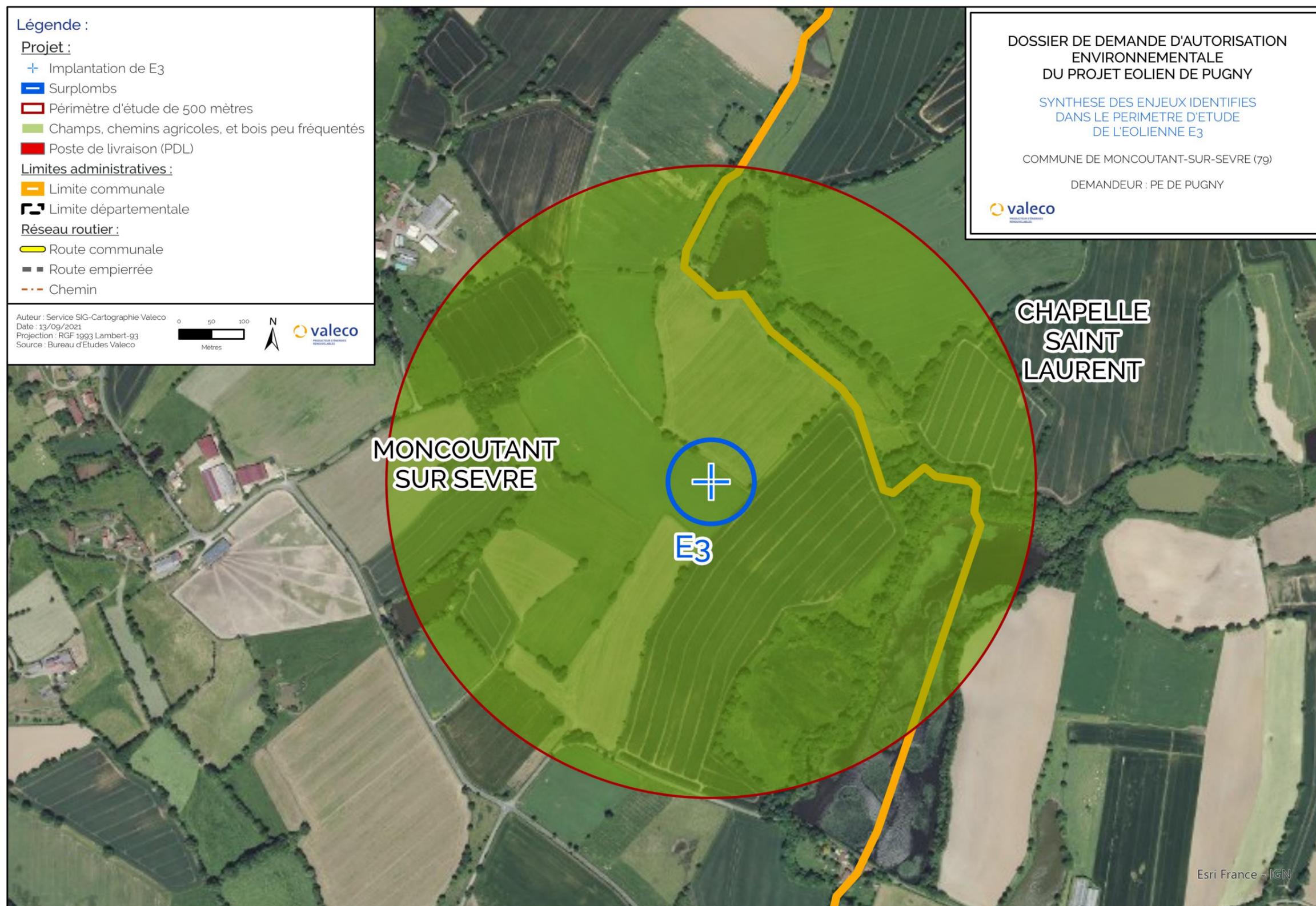


Illustration 13 : Synthèse des enjeux identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E3.

4 DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

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

4.1 Caractéristique 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 aérogénérateurs et de leurs annexes (cf. schéma du raccordement électrique au paragraphe Erreur ! Source du renvoi introuvable.) :

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 les postes de livraison électrique (appelé « réseau inter-éolien ») ;

Plusieurs postes de livraison électrique, concentrant l'électricité des éoliennes et organisant son évacuation vers le réseau public d'électricité au travers du poste source local (point d'injection de l'électricité sur le réseau public) ;

Un réseau de câbles enterrés permettant d'évacuer l'électricité regroupée au(x) poste(s) de livraison vers le poste source (appelé « réseau externe » et appartenant le plus souvent au gestionnaire du réseau de distribution d'électricité) ;

Un réseau de chemins d'accès ;

Éventuellement des éléments annexes type mât de mesure de vent, aire d'accueil du public, aire de stationnement, etc.

4.1.1.1 Eléments 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, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 [9], 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.

Le parc sera composé de 3 aérogénérateurs d'une hauteur maximale de 176,5 m en bout de pale. Elles auront toutes une couleur sobre (RAL 7035). Plusieurs modèles ont été sélectionnés pour le projet, ainsi la puissance disponible du parc éolien de Pugny sera comprise entre 9 et 14,4 MW.

Les aérogénérateurs se composent des éléments suivants :

Un rotor composé de trois pales, un moyeu et de couronnes d'orientation et d'entraînements pour le calage des pales. Les pales du rotor sont fabriquées en matière plastique renforcée de fibres de verre (GFK) à haute résistance. Chaque système pitch (pale) est indépendant.

Une tour tubulaire en acier couverte d'un revêtement époxy (protection anti-corrosion) et de peinture acrylique, équipée à son sommet d'une nacelle qui s'oriente en permanence en direction du vent. Le mât est composé de 3 à 4 tronçons en acier ou 15 à 20 anneaux en béton surmonté d'un ou plusieurs tronçons en acier. Le mât comporte des plates-formes intermédiaires et est équipé d'une échelle, pourvue d'un système antichute (rail), de plates-formes de repos, et d'un élévateur de personnel. Pour 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.

Une nacelle composée d'un châssis en fonte et d'une coquille fabriquée en matière plastique renforcée de fibres de verre, dimensionnés suivant le standard IEC classe S. Elle est composée d'un train d'entraînement, d'une génératrice, d'un système d'orientation, du convertisseur ainsi que du transformateur.

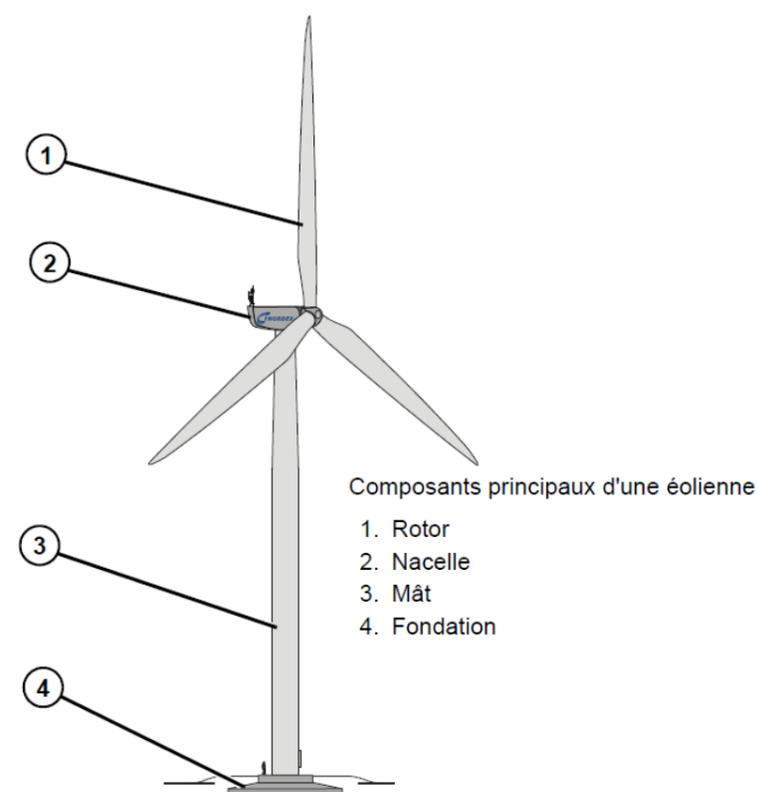


Illustration 14 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

4.1.1.2 Le rotor :

Le rotor permet de convertir l'énergie cinétique du vent en mouvement de rotation de l'éolienne. Il est composé de trois pales, d'un moyeu de rotor, de trois roulements et de trois entraînements pour l'orientation des pales.

Le moyeu du rotor est une construction en fonte modulaire et rigide. Le roulement d'orientation de pale et la pale sont montés dessus.

Les pales sont constituées de deux moitiés collées ensemble. Le matériau du noyau de cette construction à plusieurs couches est en balsa et mousse de PVC. Le profil aérodynamique des pales résiste bien aux salissures et à la glace, ce qui permet une réduction des pertes de puissance. Chaque pale est pourvue d'une pointe en aluminium qui dévie le courant de foudre par un câble en acier vers le moyeu du rotor. Les pales sont fixées au roulement d'orientation du système Pitch à l'aide de boulons en T.

Système à pas variable oriente les pales du rotor dans les positions définies par la commande. Chaque pale est commandée et entraînée séparément par un entraînement électromagnétique avec moteur triphasé, un engrenage planétaire, et une unité de commande avec convertisseur de fréquence et alimentation électrique de secours. Le système à pas variable est le frein principal de l'éolienne. Les pales se tournent ainsi de 90° pour le freinage, ce qui interrompt la portance et crée une grande résistance de l'air provoquant ainsi le freinage du rotor (frein aérodynamique).

➤ La nacelle :

Une vue d'ensemble de la nacelle est présentée sur la figure suivante :

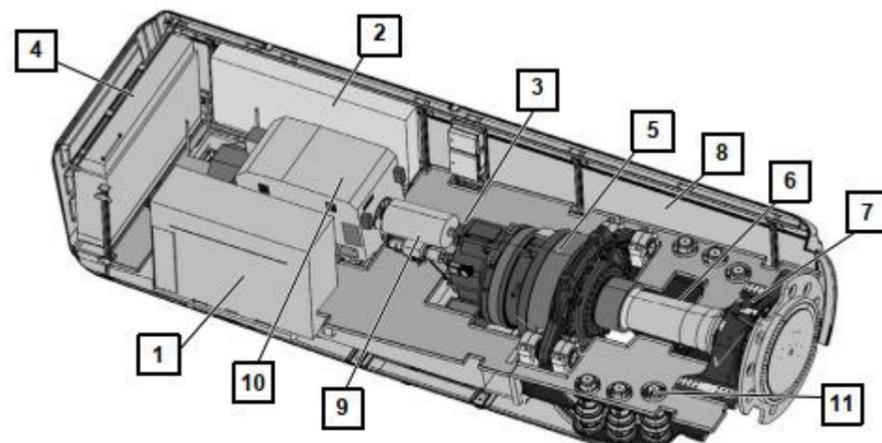


Fig.2 Schematic representation of the nacelle

1 Transformer	2 Switch cabinet	3 Rotor brake
4 Converter	5 Gearbox	6 Rotor shaft
7 Rotor bearing	8 Nacelle housing	9 Coupling
10 Generator	11 Yaw drives	

Illustration 15 : Schéma de la nacelle d'un aérogénérateur

La couronne d'orientation : La direction du vent est mesurée de manière continue à hauteur de moyeu par deux appareils indépendants. L'un d'entre eux est un appareil ultrasonique. Tous les anémomètres sont chauffés. Si la direction du vent relevée diffère du positionnement de la nacelle d'une valeur supérieure à la valeur limite, la nacelle est réorientée via quatre entraînements constitués d'un moteur électrique, d'un engrenage planétaire à plusieurs niveaux et de pignons d'entraînement. Les freins d'orientation sont activés.

Le train d'entraînement transmet le mouvement de rotation du rotor à la génératrice. Il est constitué des composants principaux suivants :

- L'arbre du rotor transmet les forces radiales et axiales du rotor au châssis machine. Le roulement du rotor contient un dispositif de verrouillage mécanique du rotor.
- Un multiplicateur qui augmente la vitesse de rotation au niveau nécessaire pour la génératrice. L'huile du multiplicateur assure non seulement la lubrification mais aussi le refroidissement du multiplicateur. La température des roulements du multiplicateur et de l'huile est surveillée en permanence
- Une frette de serrage qui relie entre eux l'arbre de rotor et le multiplicateur
- Un coupleur qui compense les décalages entre multiplicateur et génératrice. Une protection contre les surcharges (limitation prédéfinie de couple) est montée sur l'arbre de la génératrice. Elle empêche la transmission de pics de couple qui peuvent avoir lieu dans la génératrice en cas de panne de réseau. Le coupleur est isolé électriquement.

La génératrice : De manière générale, la transformation de l'énergie éolienne en énergie électrique s'effectue grâce à une génératrice asynchrone à double alimentation de 4500 kW à 50 Hz. Elle est maintenue à une température de fonctionnement optimale grâce au circuit de refroidissement. Son stator est directement relié au réseau du parc éolien, son rotor l'est via un convertisseur de fréquence à commande spéciale.

Le transformateur électrique sec (permettant d'élever la tension de 660 Volts en sortie de la génératrice à 20 000 Volts dans le réseau inter-éolien) est installé à l'arrière sur le flanc droit de la nacelle. Il remplit les conditions de classe de protection incendie F1.

Convertisseur de fréquence : est situé à l'arrière de la nacelle. Grâce à un système générateur-convertisseur à régime variable, les pics de charge et pointes de surtension sont limités.

Circuit de refroidissement : multiplicateur, génératrice, convertisseur sont refroidis via un échangeur air/eau couplé avec un échangeur eau/huile pour le multiplicateur.

Tous les systèmes sont conçus de manière à garantir des températures de fonctionnement optimales même en cas de températures extérieures élevées. La température de chaque roulement de multiplicateur, de l'huile du multiplicateur, des bobinages et des roulements de la génératrice ainsi que du réfrigérant est contrôlée en permanence et en partie de manière redondante par le système contrôle-commande.

Les freins : L'éolienne est équipée d'un frein aérodynamique disposant de deux niveaux de freinage. Ce frein est déclenché par rotation des pales. Il peut être couplé à un deuxième système de freinage mécanique disposant lui aussi de 2 niveaux de freinage.

4.1.1.3 Le pied du mât :

Le mât est un mât tubulaire cylindrique en acier. L'échelle d'ascension avec son système de protection antichute et les plateformes de repos et de travail à l'intérieur du mât permettent un accès à la nacelle à l'abri de la météo.

La construction des fondations dépend de la nature du sol du site d'implantation prévu. Pour l'ancrage du mât, une cage d'ancrage est bétonnée dans les fondations. Le mât et la cage d'ancrage sont vissés ensemble.

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.

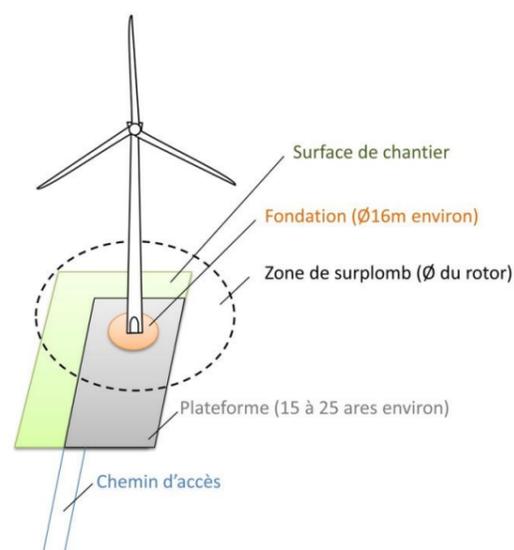


Illustration 16 : Emprises au sol d'une éolienne

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

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

L'aménagement de ces accès concerne principalement les chemins agricoles existants ;

Si nécessaire, de nouveaux chemins sont créés sur les parcelles agricoles.

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

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

4.1.2 Activité de l'installation

L'activité principale du parc éolien de Pugny est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur (mât + nacelle) supérieure à 110 m. Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

4.1.3 Composition de l'installation

Le parc éolien de Pugny est composé de 3 aérogénérateurs et de 2 postes de livraison. Les aérogénérateurs ont une hauteur de moyeu maximale de 110 m et un diamètre de rotor maximal de 133 mètres, soit une hauteur totale maximale en bout de pales de 176,5 mètres.

Les coordonnées des éoliennes et du poste de livraison sont fournies dans le tableau suivant en systèmes de coordonnées Lambert 93, WGS 84 et Lambert II étendu :

	Lambert 93		WGS 84		Lambert II étendu		Altitude au sol
	E_L93	N_L93	Latitude	Longitude	X_L2E	Y_L2E	
E1	429828,7867	6629208,907	0°32'15.4237" O	46°42'30.6108" N	380292,38	2193855,11	172.9
E2	430942.54142	6629474.1441	0°31'23.5506" O	46°42'40.8136" N	381404,83	2194129,74	168.5
E3	432013.973626	6630395.53165	0°30'35.0384" O	46°43'12.1966" N	382469,51	2195060,68	192.5
PDL 1	430121.032733	6630194.47777	0°32'3.7442" O	46°43'2.9500" N	380576,73	2194843,87	198.3

Tableau 4 : Coordonnées des éoliennes et du poste de livraison

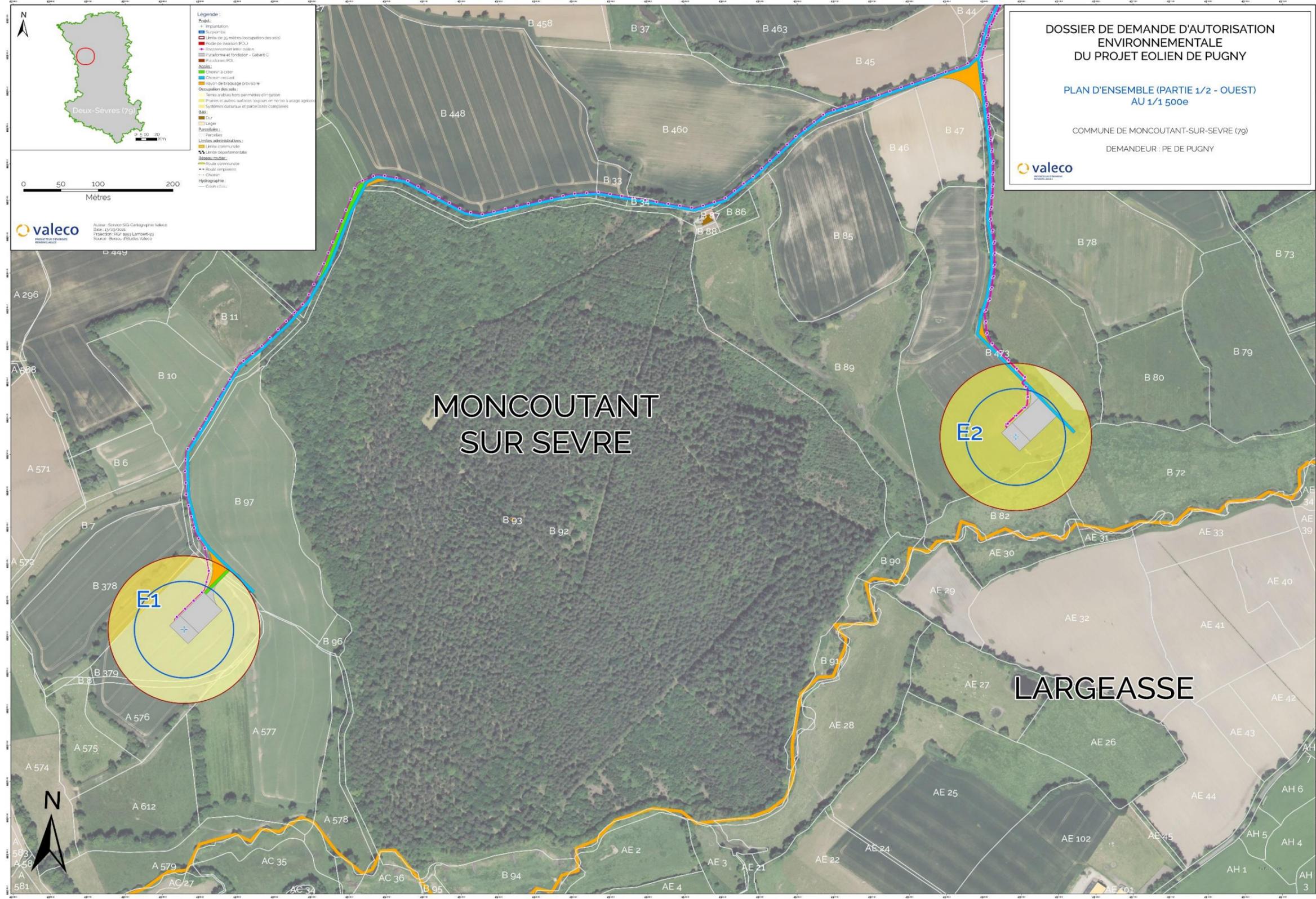


Illustration 17 : Plan détaillé de l'installation, éoliennes E1 et E2

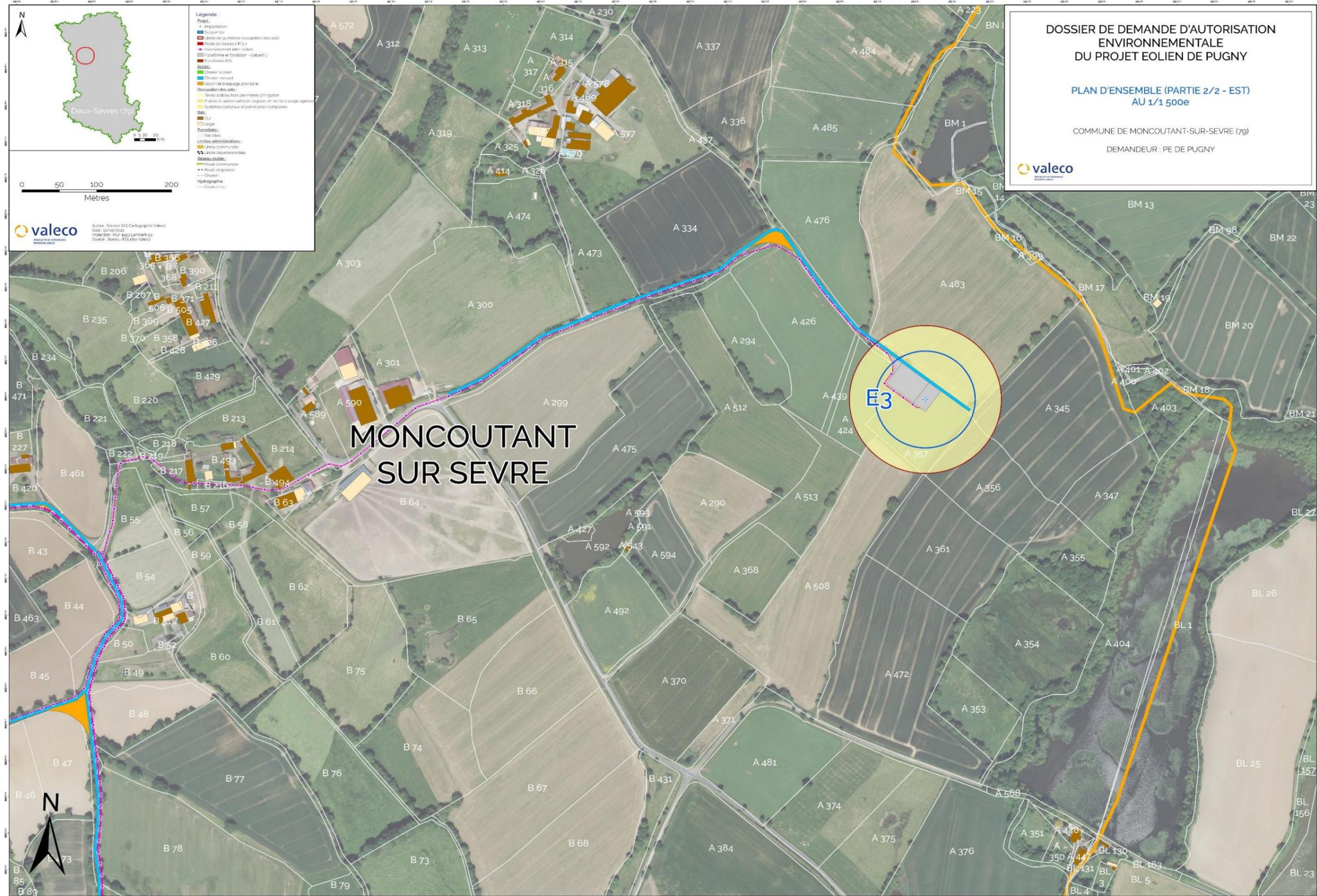


Illustration 18 : Plan détaillé de l'installation, éoliennes E3

4.2 Fonctionnement de l'installation

4.2.1 Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur

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

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

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

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

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

le premier par la mise en drapeau des pales, c'est-à-dire un freinage aérodynamique : les pales prennent alors une orientation parallèle au vent ;

le second par un frein mécanique sur l'arbre de transmission à l'intérieur de la nacelle.

4.2.2 Sécurité de l'installation

4.2.2.1 Règles de conception et système qualité :

Conformément à 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, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 [9], les aérogénérateurs seront conformes aux dispositions de la norme IEC 61 400-1. Conformément aux dispositions de l'article R. 111-38 du code de la construction et de l'habitation, les aérogénérateurs subiront un contrôle technique.

L'installation sera mise à la terre et respectera les dispositions de la norme IEC 61 400-24 (version de juin 2010). Les opérations de maintenance incluront un contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre.

Les installations électriques à l'intérieur des aérogénérateurs respecteront les dispositions de la directive 2006/42/CE du parlement européen et du conseil du 17 mai 2006 relative aux machines et modifiant la directive 95/16/CE qui leur sont applicables.

Les installations électriques extérieures à l'aérogénérateur seront conformes aux normes NFC 15-100. Ces installations seront entretenues et maintenues en bon état et seront contrôlées avant la mise en service industrielle puis à une fréquence annuelle, après leur installation ou leur modification. Ces interventions seront effectuées par du personnel du constructeur d'éoliennes dans le cadre de la garantie constructeur ou du personnel de l'équipe de maintenance du groupe Valeco.

La périodicité, l'objet et l'étendue des vérifications des installations électriques ainsi que le contenu des rapports relatifs auxdites vérifications sont fixés par l'arrêté du 10 octobre 2000 fixant la périodicité, l'objet et l'étendue des vérifications des installations électriques au titre de la protection des travailleurs ainsi que le contenu des rapports relatifs auxdites vérifications.

Le balisage de l'installation sera conforme à l'arrêté du 23 avril 2018 ainsi qu'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.

Pour ce faire, la société Parc éolien de Pugny tient à disposition de l'inspection des installations classées l'ensemble des rapports de conformité aux normes précédemment citées.

Le site dispose en permanence d'une voie d'accès carrossable au moins pour permettre l'intervention des services d'incendie et de secours. Cet accès est entretenu. Le centre SDIS le plus proche se situe sur la commune de Moncoutant (79320), à 7,2 km du projet.

Les abords de l'installation placés sous le contrôle de l'exploitant sont maintenus en bon état de propreté.

4.2.2.2 Conformité aux prescriptions de l'arrêté ministériel :

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

Cela concerne notamment :

L'éloignement de 500 mètres de toute construction à usage d'habitation, de tout immeuble habité ou de toute zone destinée à l'habitation telle que définie dans les documents d'urbanisme opposables en vigueur au 13 juillet 2010 et de 300 mètres d'une installation nucléaire,

L'implantation de façon à ne pas perturber de manière significative le fonctionnement des radars et des aides à la navigation utilisés dans le cadre des missions de sécurité de la navigation aérienne et de sécurité météorologique des personnes et des biens,

La présence d'une voie d'accès carrossable entretenue permettant l'intervention des services d'incendie et de secours,

Le respect des normes suivantes : norme NF EN 61 400-1 (version de juin 2006) ou CEI 61 400-1 (version de 2005) ou toute norme équivalente en vigueur dans l'Union européenne,

L'installation conforme aux dispositions de l'article R. 111-38 du code de la construction et de l'habitation,

Le respect des normes suivantes : norme IEC 61 400-24 (version de juin 2010), normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NFC 13-100 (version de 2001) et NFC 13-200 (version de 2009),

L'installation conforme aux dispositions de la directive du 17 mai 2006 susvisée qui leur sont applicables,

Le balisage de l'installation conformément aux dispositions prises en application des articles L. 6351-6 et L.6352-1 du code des transports et des articles R. 243-1 et R. 244-1 du code de l'aviation civile,

Le maintien fermé à clé des accès à l'intérieur de chaque aérogénérateur, du poste de transformation, de raccordement ou de livraison, afin d'empêcher les personnes non autorisées d'accéder aux équipements,

L'affichage visible des prescriptions à observer par les tiers 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,

La réalisation d'essais d'arrêt permettant de s'assurer du fonctionnement correct de l'ensemble des équipements avant la mise en service industrielle des aérogénérateurs,

L'interdiction d'entreposage à l'intérieur de l'aérogénérateur de matériaux combustibles ou inflammables,

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

4.2.2.3 Conformité des liaisons électriques intérieures avec la réglementation technique en vigueur

Le transport de l'énergie de chaque éolienne est réalisé à partir d'un câble de 20 kV souterrain. Une ligne enterrée de 20 kV permet la liaison de chaque éolienne entre elle jusqu'au poste de livraison. Les caractéristiques du réseau sont présentées ci-dessous :

Conducteurs souterrains

1 - Type de câble	HTA
2 - Nature de l'âme des conducteurs	NFC 33.226 Aluminium
3 - Nombre et section des conducteurs	3 x 240 mm
4 - Caractéristiques du câble	Caractéristiques U.T.E
5 - Profondeur de pose du câble	1.10 m
6 - Protection	Grillage avertisseur

Transformateurs

1 transformateur par éolienne, situé en pied de chaque aérogénérateur

20 000 V / 400 V – 2 500 KVA

Poste de livraison

1 - Type de poste	Poste HTA 20 KVA
2 - Nature des matériaux	Béton
3 - Alignement	Au début du chemin d'accès
4 - Protection contre l'incendie	Détecteur d'incendie, extincteurs

L'ensemble des liaisons électriques des éoliennes jusqu'au poste de livraison répondront à la réglementation technique en vigueur, notamment aux normes C13-100, C13-200 et C15-100 ainsi qu'au recueil UTE C18-530

4.2.2.4 Sécurité positive de l'éolienne – redondance des capteurs

L'éolienne est équipée d'un grand nombre de capteurs, par mesure de sécurité, la totalité de ceux pouvant avoir un impact sur l'intégrité structurelle de la turbine sont redondants. Les capteurs concernés sont par exemple les capteurs de température, de vitesse de vent, de vitesse de rotation... Ainsi, si l'un d'eux est défaillant, le second prendra le relais et relayera l'information par le biais du système de supervision (SCADA) monitoré 24h sur 24 et 7 jours sur 7.

4.2.2.5 Gestion à distance du fonctionnement des éoliennes

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

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

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

A titre d'exemple, les éoliennes N131/3.0-3.9 sont équipées d'un système de contrôle à distance des données. La supervision peut s'effectuer à distance depuis un PC équipé d'un navigateur Internet et d'une connexion ADSL ou RNIS. Le logiciel de supervision (SCADA – Supervising Control And Data Acquisition) utilisé est le Nordex Control 2.

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

Le réseau SCADA permet le contrôle à distance du fonctionnement des éoliennes. Ainsi, chaque éolienne dispose de son propre SCADA relié lui-même à un SCADA central qui a pour objectif principal :

De regrouper et permettre la visualisation du parc éolien dans sa globalité

De permettre l'envoi de commande au parc éolien. L'automate SCADA se chargera de relayer la commande aux éoliennes concernées

Ainsi en cas de dysfonctionnement (survitesse, échauffement) ou d'incident (incendie), l'exploitant est immédiatement informé et peut réagir.

Dans le cas d'un dysfonctionnement du système de SCADA central, le contrôle de commande des éoliennes à distance est maintenu puisque ces machines disposent d'un SCADA qui leur est propre. Le seul inconvénient est qu'il faut donner l'information à chacune des éoliennes du parc. Dans le cas d'un dysfonctionnement du système SCADA propre à une éolienne, ce dernier entraîne l'arrêt immédiat de la machine.

Ainsi, en cas de défaillance éventuelle du système SCADA de commande à distance, le parc éolien est maintenu sous contrôle soit via le système SCADA propre à la machine, soit par l'arrêt automatique de la machine.

Le système de contrôle de commande des éoliennes est relié par fibre optique aux différents capteurs en forme d'anneau. En cas de rupture de la fibre optique entre deux éoliennes, la transmission peut s'effectuer directement dans le sens inverse et permettre ainsi de garantir une communication continue avec les éoliennes.

4.2.2.6 Méthodes et moyens d'intervention

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

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

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

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

Le site dispose en permanence d'une voie d'accès carrossable au moins pour permettre l'intervention des services d'incendie et de secours. Cet accès est entretenu. Le centre SDIS le plus proche se situe sur la commune de Moncoutant (79320), à 7,2 km du projet.

4.2.3 Opération de maintenance de l'installation

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

Type 1 : vérification après 500 à 1500 heures de fonctionnement (contrôle visuel du mât, des fixations fondation/tour, tour/nacelle, rotor et test du système de déclenchement de la mise en sécurité de l'éolienne),

Type 3 : vérification annuelle des matériaux (soudures, corrosions), des équipements mécaniques et hydrauliques, 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.

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.

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

De manière générale, l'exploitant dispose d'un manuel d'entretien de l'installation dans lequel sont précisés la nature et les fréquences des opérations d'entretien. Il tient également à jour pour chaque installation un registre dans lequel sont consignées les opérations de maintenance ou d'entretien et leur nature, les défaillances constatées et les opérations correctives engagées.

Le retour d'expérience de Valeco et des nombreuses éoliennes mises en service à travers le monde, l'analyse fonctionnelle des parcs éoliens et l'analyse des diverses défaillances ont permis de définir des plans de maintenance permettant d'optimiser la production électrique des éoliennes en minimisant les arrêts de production.

Une maintenance prédictive et préventive des éoliennes peut être mise en place. Celle-ci porte essentiellement sur l'analyse des huiles, l'analyse vibratoire des machines tournantes et l'analyse électrique des éoliennes.

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

Une première inspection est prévue au bout de 3 mois de fonctionnement de l'éolienne envisagée, une liste des tâches de maintenance à effectuer est présentée ci-après.

INSPECTION DES 3 MOIS	
Composants	Opérations
Base de l'éolienne	Vérification boulons Vérification des blocs de foudre et paratonnerre
Pitch system	Vérification des boulons du cylindre principal et du bras de manivelle Vérification de la plaque de guidage extérieure Vérification des boulons de l'arbre terminal et des roulements
Rotor	Vérification écrous Contrôle aléatoire des réservoirs de graisse pour la lubrification Tests de survitesse
Pales	Vérification écrous et roulements Vérification s'il y a des fissures le long des pales

	Vérification des bandes paratonnerres
Arbre principal	Vérification écrous
Bras de couple	Vérification écrous Vérification fissures du bras de couple Vérification des amortisseurs caoutchoucs et des fissures des éléments en caoutchouc
Multiplicateur	Vérification des bruits anormaux ou des vibrations lors du fonctionnement du multiplicateur Vérification du niveau d'huile Vérification des joints, de l'absence de fuite, etc. ... Vérification des fuites au niveau des points de lubrification
Générateur	Vérification des câbles électriques dans le générateur Vérification de système Power Ring Slip
Système de refroidissement par eau	Vérification des pompes à eau et des vannes Vérifications des tubes et des tuyaux Vérification écrous Vérification de la propreté de la surface de l'eau Vérification des marques et des absences de fissures Vérification du liquide de refroidissement dans le vase d'expansion
Système hydraulique	Vérification des fuites dans la nacelle, dans l'arbre principal et dans le nez
Engrenages	Vérification du niveau d'huile Vérification des écrous Vérification des roulements Vérification des fuites
Nacelle	Vérification écrous Vérification fissures autour des raccords Vérification des points d'ancrage et des fissures autour de ceux-ci
Tour	Vérification écrous et brides Vérification soudure des portes
Extérieur	Vérification de la protection de surface Vérification des dommages externes

	Nettoyage des têtes de boulons et d'écrous, des raccords, etc..
Sécurité générale	Test des boutons d'arrêt d'urgence Test du système de freinage Test du capteur de vibration Test du disjoncteur Test des contrôleurs et des batteries Inspection visuelle des câbles Inspection du système de mise à la terre Tests de survitesse Inspection du transformateur

Tableau 5 : Tâches réalisées à l'inspection des 3 mois après la mise en service du parc

Ces opérations de maintenance courante seront répétées lors de l'inspection des 6 mois puis tous les ans. D'autres opérations auront lieu en complément, elles sont présentées dans le tableau ci-après.

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

INSPECTIONS DES 6 MOIS ET ANNUELLES	
Composants	Opérations
Base de l'éolienne	Vérification des dommages
Moyeu	Vérification des contrôleurs (PTS5)
Pitch system	Test de chaque Pitch system Vérification des bagues de guidage pour vérins Vérification des roulements entre la bielle et la manivelle Lubrification des tourillons Vérification des pistons des vérins hydrauliques
Rotor	Vérification des joints d'étanchéité Vérification des roulements et du jeu Lubrification des roulements Remplacement des réservoirs de graisse pour la lubrification
Pales	Vérification écrous et roulements Vérification s'il y a des fissures le long des pales

	Vérification des bandes paratonnerres
Arbre principal	Vérification et lubrification des roulements principaux Vérification des dommages au niveau des boulons de blocage du rotor
Bras de couple	Vérification des boulons reliant le bras de couple et l'assiette de la nacelle Vérification des jeux au niveau des amortisseurs
Multiplicateur	Inspection interne du multiplicateur (débris de métal, boues, dommages, rouille, ...) Changement d'huile et nettoyage du multiplicateur si nécessaire Vérification et remplacement (si nécessaire) des filtres à air Remplacement des tuyaux tous les 7 ans Contrôle des flux et de la pression tous les 4 ans
Générateur	Vérification et lubrification des roulements
Système de refroidissement par eau	Remplacement du liquide de refroidissement tous les 5 ans
Système hydraulique	Vérification des niveaux d'huile et remplacement si nécessaire Changement des différents filtres Vérification de la pompe Vérification de la soupape de surpression Vérification de la pression dans le système de frein
Engrenages	Vérification et ajustement du couple de freinage
Nacelle	Vérification des capteurs de vent Changement des filtres à air Changement des batteries des contrôleurs
Tour	Changement des filtres de ventilation Maintenance de l'élévateur de personnes

Tableau 6 : Tâches réalisées à l'inspection des 6 mois puis tous les ans

Ces contrôles feront l'objet d'un rapport tenu à la disposition de l'inspecteur des installations classées.

Les installations électriques extérieure et intérieure à l'aérogénérateur seront entretenues en bon état et seront contrôlées avant la mise en service industrielle puis à une fréquence annuelle, après leur installation par une personne compétente (soit par du personnel du constructeur soit celui de l'exploitant le groupe Valeco).

D'une manière générale, les vérifications suivantes seront opérées :

Les véhicules et matériels utilisés seront contrôlés périodiquement (révision, contrôle technique),
Les installations électriques seront vérifiées et contrôlées annuellement conformément aux dispositions du Code du Travail,

Le matériel incendie sera vérifié chaque année,

Les équipements de protection individuelle et les équipements de travail seront contrôlés et remplacés si nécessaire.

Ces divers contrôles et vérifications seront réalisés soit par un organisme agréé, soit par un contrôle interne et consignés sur des registres qui seront tenus à la disposition de l'administration (inspecteur du travail et inspecteur des installations classées).

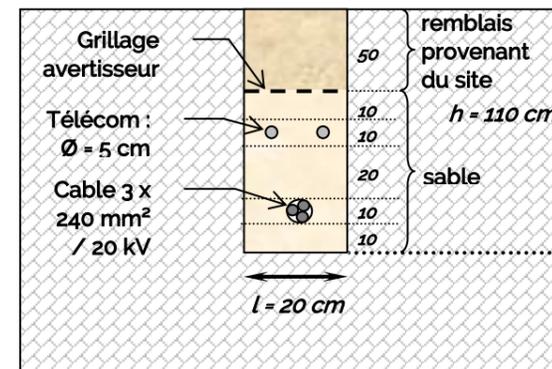
4.2.4 Stockage et flux de produits dangereux

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 [g], aucun matériel inflammable ou combustible ne sera stocké dans les éoliennes du parc de Pugny.

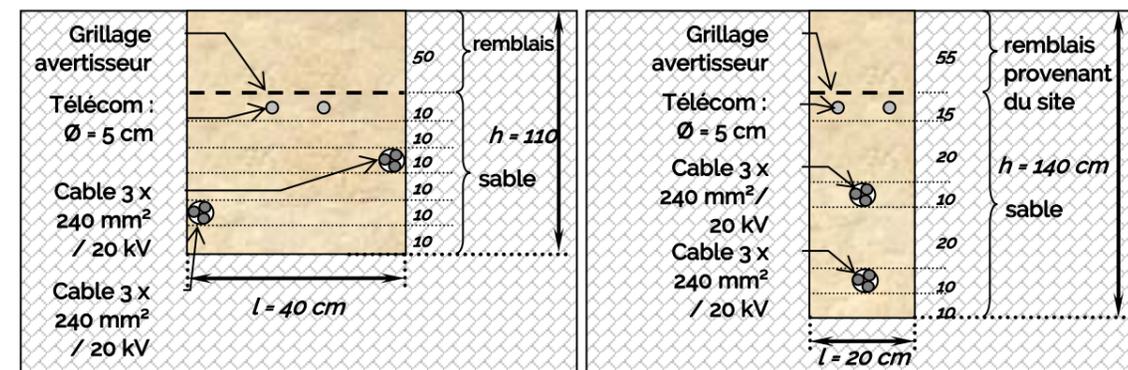
4.3 Fonctionnement des réseaux de l'installation

Sur le site, le tracé des lignes électriques et téléphoniques qui relie chaque éolienne est le même que celui des pistes d'accès aux éoliennes.

Le câble ainsi que les fourreaux nécessaires au raccordement des lignes France Télécom (R.T.C, Numéris et télécommande) seront enfouis dans la même tranchée. Le traitement des tranchées est présenté sur la figure ci-dessous.



Tranchée simple câble



Tranchées double câble, type 1 et 2

Le raccordement au réseau sera réalisé depuis le poste de livraison 20 kV (20 000 volts) situé sur le parc éolien par la mise en place d'un câble souterrain triphasé type HN33S23 / 20 kV de 240 mm² de section par phase répondant à la recommandation technique permettant de l'intégrer au réseau électrique public.

Cet ouvrage fera l'objet d'une demande d'autorisation d'exécution spécifique et n'est donc pas concerné par la présente demande de permis de construire.

4.3.1 Raccordement électrique

Sur le site, le tracé des lignes électriques et téléphoniques qui relie chaque éolienne est le même que celui des pistes d'accès aux éoliennes.

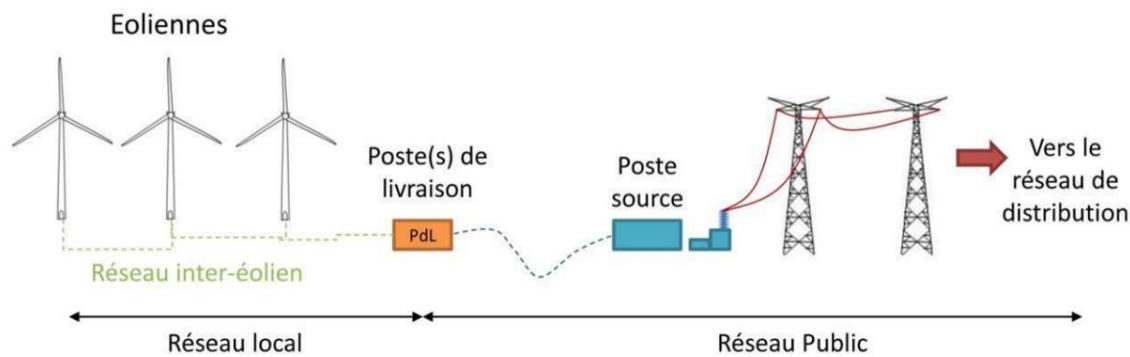


Illustration 19 : Raccordement électrique des installations

➤ Réseau inter-éolien :

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur, situé dans la nacelle⁵, 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. La carte ci-après permet de localiser le raccordement inter-éoliennes qui sera mis en place sur le parc éolien.

⁵ Si le transformateur n'est pas intégré au mât de l'éolienne, il est situé à l'extérieur du mât, à proximité immédiate, dans un local fermé.

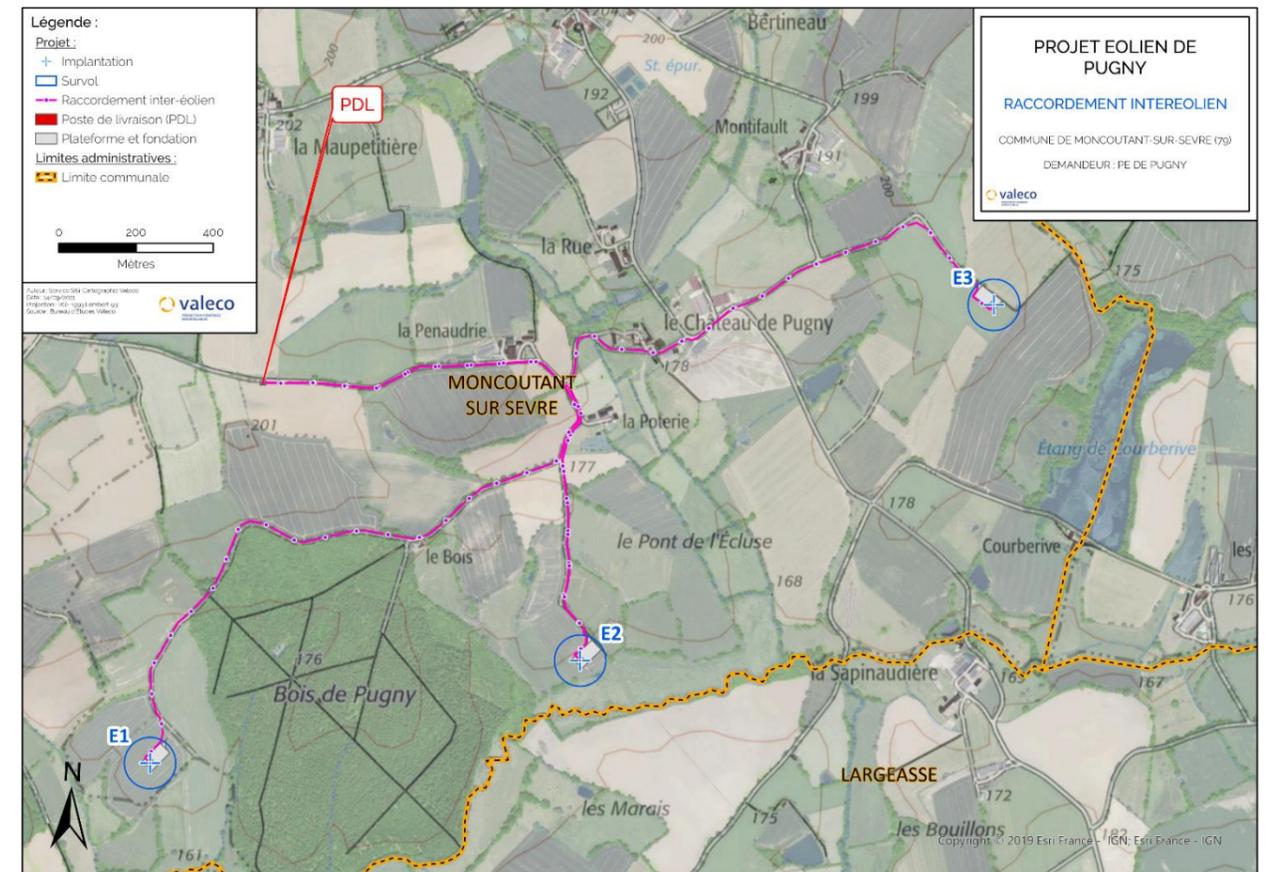


Illustration 20 : Raccordement inter-éolien

➤ Poste de livraison :

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

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

➤ Réseau électrique externe :

Le réseau électrique externe relie le ou les postes de livraison avec le poste source (réseau public de transport d'électricité). Ce réseau est réalisé par le gestionnaire du réseau de distribution (généralement ENEDIS). Il est lui aussi entièrement enterré. Le poste source pressenti est celui de Moncoutant, à environ 4 km.

4.3.2 Autres réseaux

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

5 IDENTIFICATION DES POTENTIELS DANGERS DE L'INSTALLATION

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

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

5.1 Potentiels de dangers liés aux produits

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

Les produits identifiés dans le cadre du parc éolien de Pugny 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...).

A titre d'exemple, la liste pour le modèle Nordex N131 en est fournie dans le tableau suivant :

Lieu de lubrification	Désignation	Lubrifiant	Quantité	Classe de matière dangereuse
Système de refroidissement /Génératrice, /Convertisseur	Varidos FSK 45	Liquide de refroidissement	env. 300 L	Xn
Roulements de la génératrice	Klüberplex BEM 41-132	Graisse	env. 12 kg	-
Multiplicateurs, circuits de refroidissement inclus	Mobilgear SHC XMP 320 Castrol Optigear Synthetic X320 Fuchs RENOLIN UNISYN CLP 320	Huile minérale Huile synthétique	Max. 800 L	-
Système Hydraulique	Shell Tellus S4 VX 32	Huile minérale	env. 25 L	-
Roulement du rotor	Mobil SHC Graisse 460 WT	Graisse	env. 30 kg	-
Roulement d'orientation des pales	Fuchs Gleitmo 585K	Graisse	Approx. 35 kg	-
Boite de vitesse du système d'orientation des pales	Mobil SHC 629	Huile synthétique	3 x 11 L	-
Boite de vitesse du système d'orientation de la nacelle	Mobil SHC 629	Huile synthétique	4x 27 L	-
Roulements du système d'orientation de la nacelle	Fuchs Gleitmo 585K	Graisse	13 kg	-
Transformateur	-	-	-	-

Tableau 7 : Liste des produits utilisés⁶

⁶ Graisse = Lubrifiant solide et Huile = Lubrifiant liquide

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 [9], aucun produit inflammable ou combustible n'est stocké dans les aérogénérateurs ou les postes de livraison.

Les risques associés aux différents produits concernant le site du parc éolien de Pugny sont :

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

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

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

Les produits mis en œuvre dans l'éolienne sont principalement des dégriffants, des freins filets, des graisses, des huiles, des nettoyants, de la peinture, du silicone. Pour plus de précisions, le lecteur pourra se référer à l'étude de dangers.

Les produits chimiques pouvant être utilisés peuvent être dangereux en raison de leur incompatibilité ou de leurs propriétés (toxicité, inflammabilité, température d'emploi).

Les risques inhérents à ces aspects pour le personnel sont :

Des brûlures chimiques (projections de produits caustiques),

Une intoxication.

Pour se prévenir de ces risques, tous les récipients contenant des matières premières seront étiquetés et le personnel intervenant sera sensibilisé aux points suivants :

Les dangers présentés par les produits,

Les opérations de manipulation de produits,

Le comportement à tenir en cas d'incident ou d'accident.

Les fiches de données de sécurité des produits sont portées à la connaissance des personnes les manipulant et toujours disponibles.

5.2 Potentiel de dangers liés au fonctionnement de l'installation

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien de Pugny 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 ;

Courts-circuits électriques (aérogénérateur ou poste de livraison).

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant :

Installation système	ou	Fonction	Phénomène redouté	Danger potentiel
Système transmission	de	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 l'aérogénérateur	de	Réseau électrique	Court-circuit interne	Arc électrique
Nacelle		Protection des équipements destinés à la production électrique	Chute d'éléments	Energie cinétique de projection
Rotor		Transformer l'énergie éolienne en énergie mécanique	Projection d'objets	Energie cinétique des objets
Nacelle		Protection des équipements destinés à la production électrique	Chute de nacelle	Energie cinétique de chute

Tableau 8 : Dangers liés au fonctionnement de l'installation

5.3 Réduction des potentiels de dangers à la source

5.3.1 Principales actions préventives

➤ Réduction des dangers liés aux produits :

Comme précédemment indiqué, les produits présents dans une éolienne sont des lubrifiants. La quantité est estimée à environ 1250 L par éolienne, et les lubrifiants doivent être contrôlés et partiellement renouvelés tous les 6 mois à 5 ans selon le type.

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

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

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

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

En ce qui concerne les potentiels de dangers internes aux équipements associés au projet :

Les équipements et installations présentes ont été optimisés de façon à réduire au mieux les potentiels de danger dans des conditions technico économiquement acceptables.

Pour l'équipement en lui-même : les 3 éoliennes installées pour le site du projet seront des machines de dernière technologie limitant ainsi le risque d'incident.

Pour les pales : le projet intègre uniquement des éoliennes tripales, permettant ainsi de limiter les vibrations et la fatigue du rotor.

Substitution des produits utilisés : les huiles et lubrifiants utilisés sont des produits de base des installations de réparation et de maintenance qui ne peuvent être remplacés.

Pour les zones de manipulation de produits dangereux : afin de limiter la pollution des sols et du sous-sol lors d'un déversement accidentel, la zone de fondation est bétonnée. Une aire étanche d'alimentation en carburant est prévue lors du chantier. Cette aire sera utilisée aussi pour les éventuelles opérations de maintenance du matériel de construction et lavage. De plus, les personnes en charge de la maintenance et de l'entretien possèdent une instruction technique relative aux opérations réalisées.

Autres : une attention particulière est portée sur la prévention des sources d'inflammation possibles (cigarette, portable...) et les travaux à points chauds font l'objet de mesures spécifiques, « le permis feu », qui est associé à un ensemble de mesure permettant de prévenir le risque d'inflammation (surveillance permanente et extincteur à proximité).

En ce qui concerne les potentiels de dangers extérieurs au site :

Pour la foudre : il n'est pas possible d'agir pour supprimer ou diminuer le nombre d'impacts de foudre. Une protection contre la foudre est installée sur les éoliennes. Toutes les éoliennes seront équipées d'un système de protection contre la foudre qui répond à la classe de protection I de la norme internationale IEC 61400. De plus, les matériaux constituant la pale sont des matériaux synthétiques (résine et fibre de verre) mauvais conducteurs électriques et donc ne facilitant pas l'écoulement des charges en cas de coup de foudre.

Pour le transport de matières dangereuses : aucune matière dangereuse n'est utilisée pour le fonctionnement d'une éolienne.

➤ Réduction des dangers liés aux installations :

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

Le fournisseur des éoliennes assurant leur maintenance, dispose d'un système de management HSE respecté par tous ses salariés.

Le respect des règles de conduite et la limitation de la vitesse de circulation des engins et véhicules seront imposés. Un plan de circulation sera établi pour l'accès depuis les routes les plus proches.

Les interventions se font par du personnel possédant l'habilitation électrique et la législation du travail dans les installations en hauteur, après visite de conformité par un organisme de contrôle agréé. Les techniciens sont formés, entraînés et autorisés. Ils sont équipés de leurs EPI.

Des procédures d'installation et de maintenance claires et détaillées seront disponibles pour chacun des équipements.

Le design et l'assemblage des équipements respectent les normes en vigueur et normes constructeur.

5.3.2 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.

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 spécialisée, etc.). Ces bases de données sont cependant très différentes tant en termes de structuration des données qu'en termes de détail de l'information.

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

6.1 Inventaire des accidents et incidents en France

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

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

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

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

Dans l'état actuel, la base de données élaborée par le groupe de travail de SER/FEE ayant élaboré le guide technique d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis l'année 2000. L'ensemble de ces sources permet d'arriver à un inventaire aussi complet que possible des incidents survenus en France. Le tableau en ANNEXE n°2 de travail a été validé par les membres du groupe de travail précédemment mentionné.

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

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et 2011. Cette synthèse exclut les

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

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

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

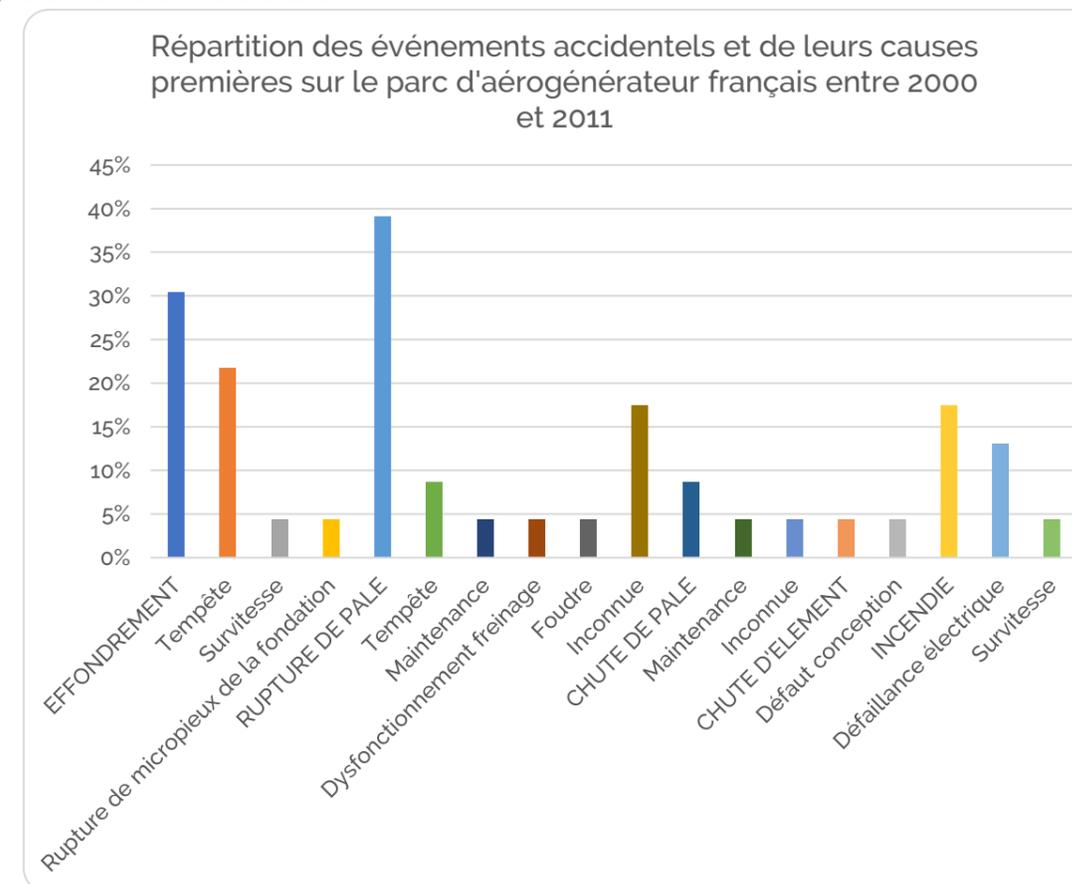


Figure 1 : Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et 2011

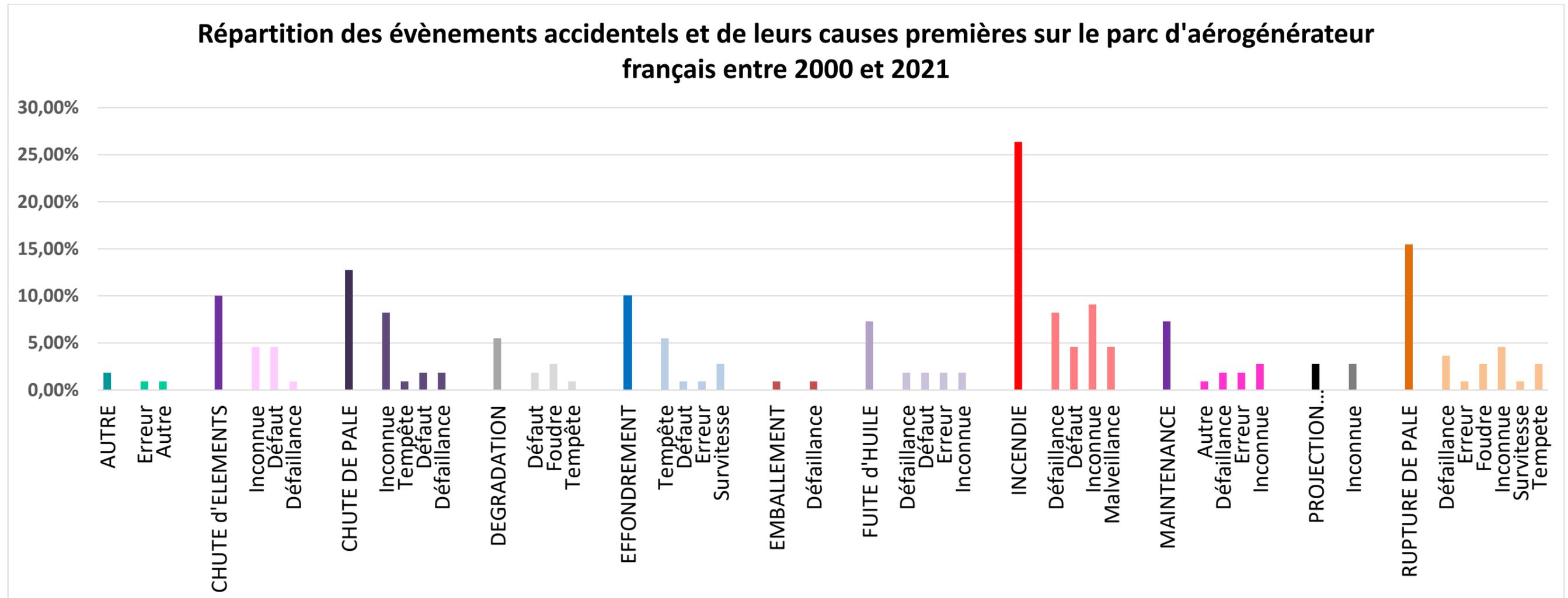
Par ordre d'importance, les accidents les plus recensés sont les ruptures de pale, les effondrements, les incendies, les chutes de pale et les chutes des autres éléments de l'éolienne. La principale cause de ces accidents est les tempêtes.

Une mise à jour de la répartition des incidents et de leur causes a été effectuée par Valeco en 2021 à l'aide de la base de données ARIA du ministère du Développement Durable ainsi que des sources internes.

L'accidentologie fait état de 110⁷ incidents sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et 2021. Dans ce graphique sont présentés :

- La répartition des événements « autres », chute d'éléments, chute de pale, dégradation, effondrement, emballement, fuite d'huile, incendie, maintenance, projection d'éléments et rupture de pale.

- La répartition des causes premières pour chacun des événements décrits ci-dessus par rapport à la totalité des accidents observés en France⁸. L'évènement est représenté en majuscule avec la cause à la suite en minuscule.



⁷ Ce chiffre peut ne pas être exhaustif. Il est le fruit d'un travail de recherche effectué par Valeco à l'aide de plusieurs sources officielles. (Base de données ARIA principalement)

⁸ Accidents répertoriés dans l'accidentologie disponible en annexe grâce à la base de données ARIA ainsi que diverses sources officielles.

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 fin 2010.

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

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

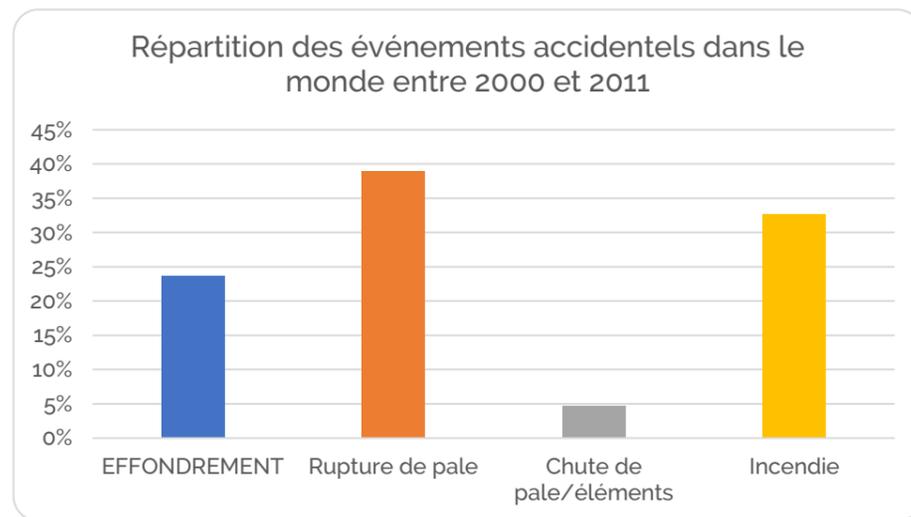


Figure 2 : Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2011

Le graphique suivant reprend l'ensemble des statistiques répertoriées dans la base de données de l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF) sur la période 2000 – 2021 (au 31 mars).

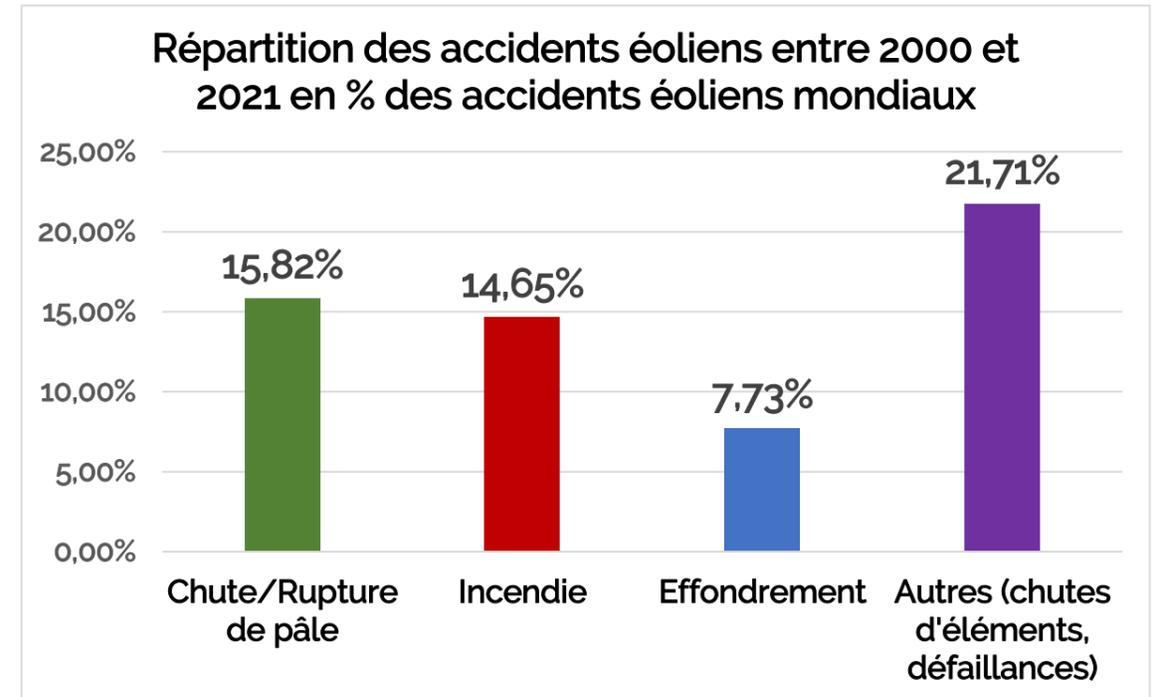


Figure 3 : Répartition des accidents éoliens entre 2000 et 2021 en % des accidents éoliens mondiaux

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

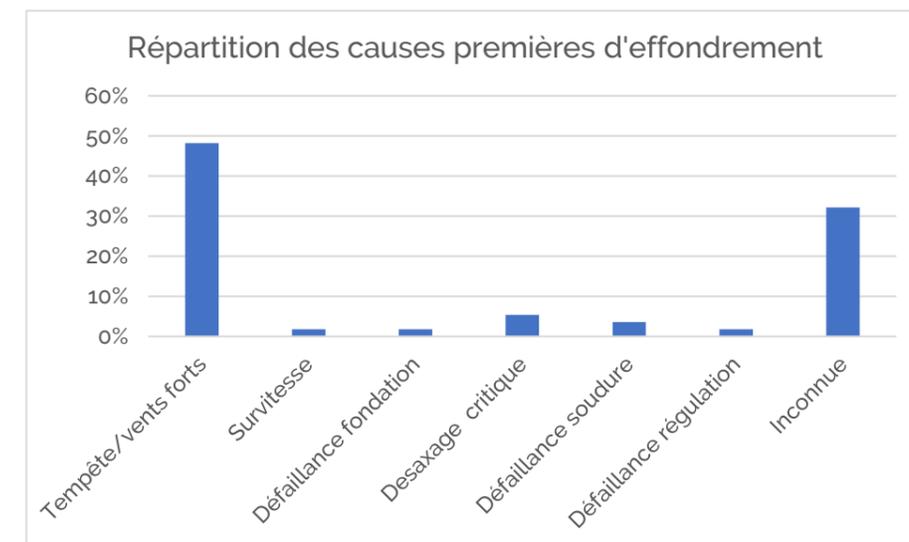


Figure 4 : Répartition des causes premières d'effondrement

Figure 5 : Répartition des causes premières de rupture de pale

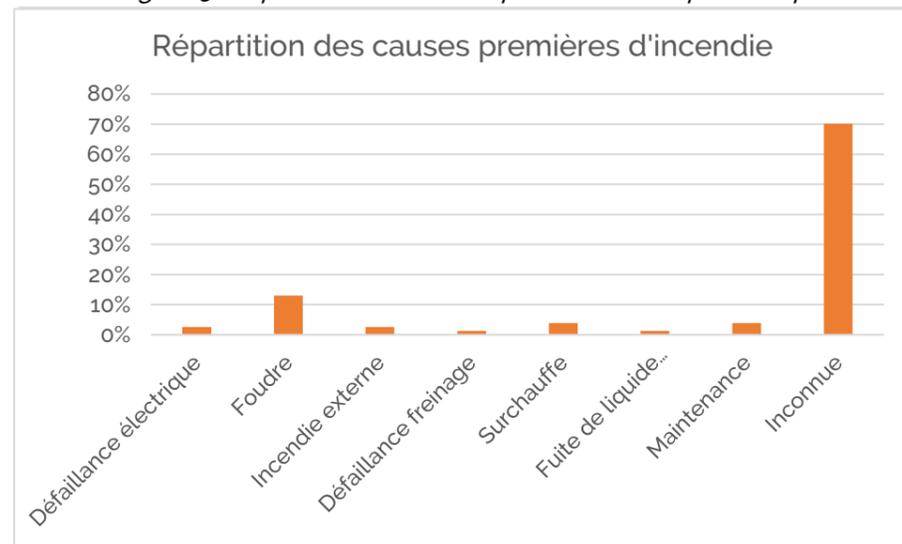


Figure 6 : Répartition des causes premières d'incendie

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

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

A ce jour, aucun incident ou accident n'est survenu sur les sites de Valeco, futur exploitant du parc éolien de Pugny.

6.4 Synthèse des phénomènes dangereux 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 La mise à jour confirme la tendance qui se dégageait déjà sur la période 2000 - 2011. Malgré une croissance forte et continue du parc éolien français l'occurrence des incidents est restée relativement stable sur la période.

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.

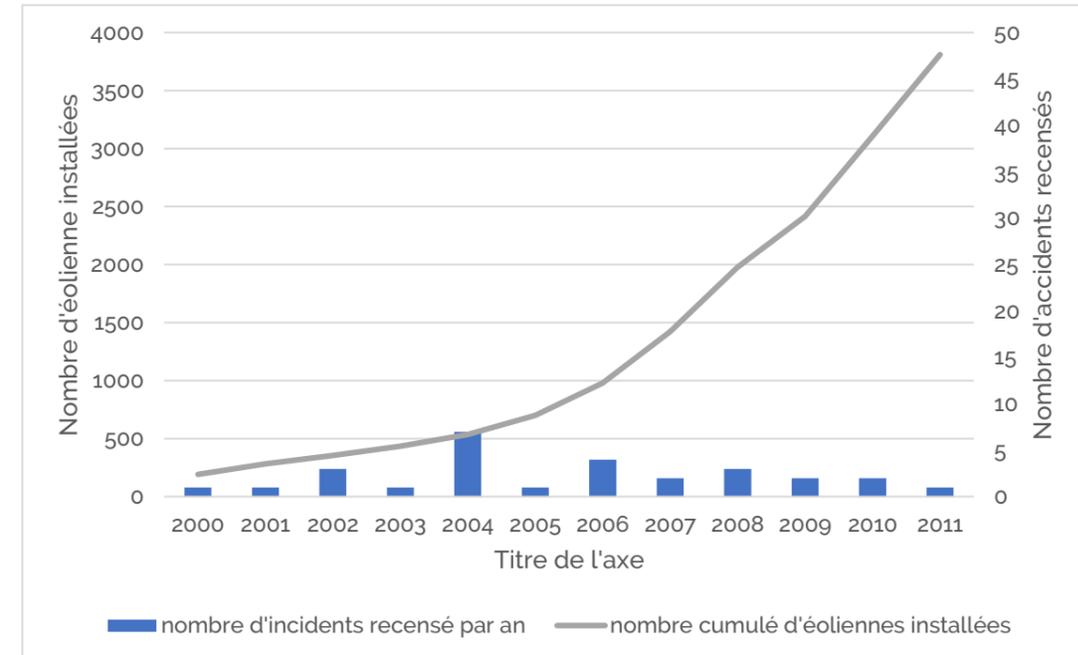


Figure 7 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées (2000 - 2011)

L'essor de la filière Française à partir de 2005 est bien visible alors que le nombre d'accident reste relativement constant.

En 2021, Valeco a mis à jour l'évolution du nombre d'incidents recensé par an et le nombre cumulé d'éoliennes en exploitation entre 2008 et 2020.

Elle s'est appuyée sur des données internes afin de présenter la croissance du parc éolien français durant cette période. Le nombre d'incidents recensés par année est tiré de l'accidentologie présentée en annexe, elle-même construite à partir de sources officielles comme la base de données ARIA du ministère du Développement Durable.

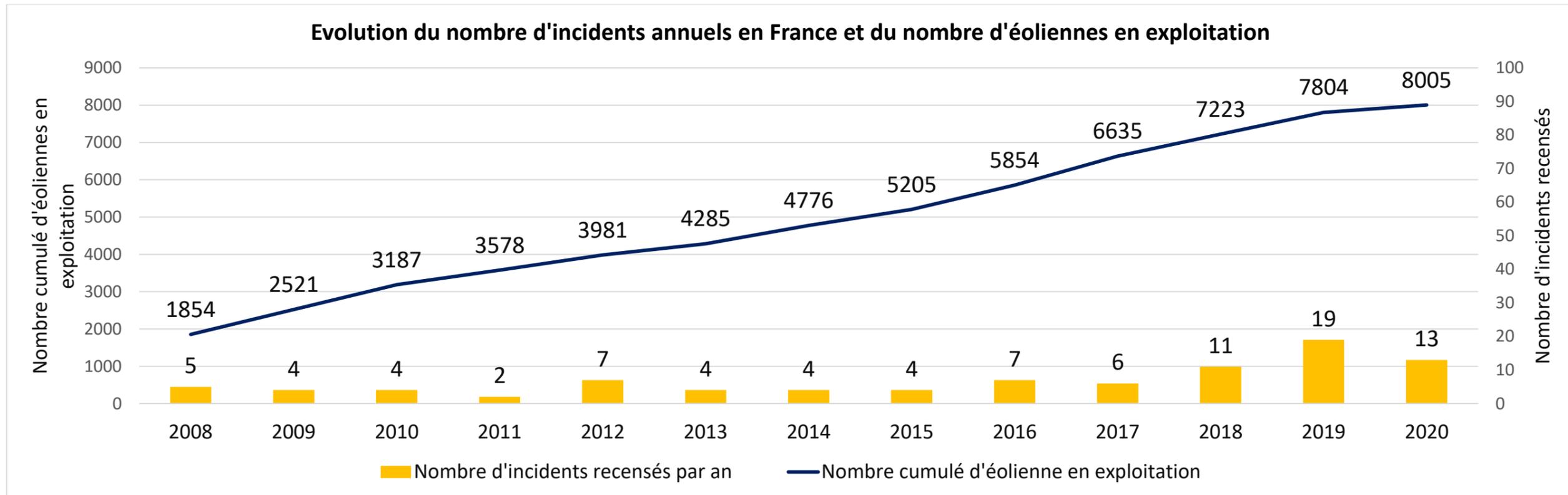


Figure 8 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et du nombre d'éoliennes en exploitation (2008-2020)

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

6.5 Limite d'utilisation de l'accidentologie

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

La non-exhaustivité des événements : ce retour d'expérience, constitué à partir de sources variées, ne provient pas d'un système de recensement organisé et systématique. Dès lors certains événements ne sont pas reportés. En particulier, les événements les moins spectaculaires peuvent être négligés : chutes d'éléments, projections et chutes de glace ;

La non-homogénéité des aérogénérateurs inclus dans ce retour d'expérience : les aérogénérateurs observés n'ont pas été construits aux mêmes époques et ne mettent pas en œuvre les mêmes technologies. Les informations sont très souvent manquantes pour distinguer les différents types d'aérogénérateurs (en particulier concernant le retour d'expérience mondial) ;

Les importantes incertitudes sur les causes et sur la séquence qui a mené à un accident : de nombreuses informations sont manquantes ou incertaines sur la séquence exacte des accidents ;

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

7 ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

7.1 Objectif de l'analyse préliminaire des risques

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

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

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

Conformément à la circulaire du 10 mai 2010 [11], 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 suraccident 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 des éoliennes
Voies de circulation	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	Hors périmètre
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2000 m	Hors périmètre
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	Hors périmètre
Autres aérogénérateurs	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	Inter-distance

Tableau 9 : Synthèse des agressions externes liées aux activités humaines

7.3.2 Agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

Agression externe	Intensité
Vents et tempête	Météo France ne dispose pas de données sur la commune d'implantation du projet. La zone d'implantation n'est pas concernée par les phénomènes météorologiques des zones tropicales.
Foudre	Eoliennes équipées d'un système de mise à la terre et respect de la norme IEC 61 400-24 (Juin 2010)
Glissement de sols / affaissement miniers	Des mouvements de terrain ont eu lieu entre 1999 et 2017

Tableau 10 : Synthèse des agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

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

7.4 Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques

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

une description des causes et de leur séquençage (événements initiateurs et événements intermédiaires) ;

une description des événements redoutés centraux qui marquent la partie incontrôlée de la séquence d'accident ;

une description des fonctions de sécurité permettant de prévenir l'événement redouté central ou de limiter les effets du phénomène dangereux ;

une description des phénomènes dangereux dont les effets sur les personnes sont à l'origine d'un accident ;

une évaluation préliminaire de la zone d'effets attendue de ces événements.

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

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

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

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

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

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
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 des rétention 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 des rétention fuites (N°8)	Pollution environnement	1
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Ecoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et des rétention 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
C3	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

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
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
E05	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
E07	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
E08	Vents forts	Défaillance fondation	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°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
				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)		
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

Tableau 11 : Analyse des risques

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

Des précisions sur les différents scénarios décrits dans ce tableau sont disponibles en ANNEXE n°3 du présent guide.

distance plus lointaine, l'état des connaissances scientifiques ne permet pas de disposer de prédictions suffisamment précises et crédibles de la description des phénomènes pour déterminer l'action publique ».

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

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 [11] précise : « [...] seuls les effets dominos générés par les fragments sur des installations et équipements proches ont vocation à être pris en compte dans les études de dangers [...]. Pour les effets de projection à une distance plus lointaine, l'état des connaissances scientifiques ne permet pas de disposer de prédictions suffisamment précises et crédibles de la description des phénomènes pour déterminer l'action publique ».

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

7.6 Mise en place des mesures de sécurité

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

Fonction de sécurité : il est proposé ci-dessous un tableau par fonction de sécurité. Cet intitulé décrit l'objectif de la ou des mesure(s) de sécurité : il s'agira principalement de « empêcher, éviter, détecter, contrôler ou limiter » et sera en relation avec un ou plusieurs événements conduisant à un accident majeur identifié dans l'analyse des risques. Plusieurs mesures de sécurité peuvent assurer une même fonction de sécurité.

Numéro de la fonction de sécurité : ce numéro vise à simplifier la lecture de l'étude de dangers en permettant des renvois à l'analyse de risque par exemple.

Mesures de sécurité : cette ligne permet d'identifier les mesures assurant la fonction concernée. Dans le cas de systèmes instrumentés de sécurité, tous les éléments de la chaîne 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 scénarios d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner « oui ») ou non (renseigner « non »).

Temps de réponse (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité.

Efficacité (100% ou 0%) : l'efficacité mesure la capacité d'une mesure de maîtrise des risques à remplir la fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation.

Test (fréquence) : 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.

Fonction sécurité	de	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
Mesures sécurité	de	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		Quelques minutes (<60min) conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 [9].		
Efficacité		100 %		
Tests		Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne.		
Maintenance		Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction sécurité	de	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité	2
Mesures sécurité	de	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, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 [9]).		
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 sécurité	de	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
Mesures sécurité	de	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.		
Description		/		
Indépendance		Oui		
Temps de réponse		NA		
Efficacité		100 %		
Tests		/		
Maintenance		Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011n modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 [9]. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction sécurité	de	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures sécurité	de	Détection de survitesse et système de freinage.		
Description		Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande. NB: Le système de freinage est constitué d'un frein aérodynamique principal (mise en drapeau des pales) et / ou d'un frein mécanique auxiliaire.		
Indépendance		Oui		
Temps de réponse		Temps de détection < 1 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, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020.		
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, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020.		
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, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 [9] (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 sécurité	de	Prévenir les courts-circuits	N° de la fonction de sécurité	5
Mesures sécurité	de	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.		
Description		Les organes et armoires électriques de l'éolienne sont équipés d'organes de coupures et de protection adéquats et correctement dimensionnés. Tout fonctionnement anormal des composants électriques est suivi d'une coupure de la transmission électrique et à la transmission d'un signal d'alerte vers l'exploitant qui prend alors les mesures appropriées.		
Indépendance		Oui		
Temps de réponse		De l'ordre de la seconde		
Efficacité		100 %		
Tests		/		

Maintenance		Des vérifications de tous les composants électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrées dans la plupart des mesures de maintenance préventive mises en œuvre. Les installations électriques sont contrôlées avant la mise en service du parc puis à une fréquence annuelle, conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 [9].		
-------------	--	--	--	--

Fonction sécurité	de	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures sécurité	de	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur.		
Description		Respect de la norme IEC 61 400 – 24 (juin 2010). Dispositif de capture + mise à la terre. Parasurtenseurs sur les circuits électriques.		
Indépendance		Oui		
Temps de réponse		Immédiat dispositif passif		
Efficacité		100 %		
Tests		/		
Maintenance		Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 [9].		

Fonction sécurité	de	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures sécurité	de	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	/
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, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 [9]. 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 sécurité	de	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures sécurité	de	Détecteurs de niveau d'huiles. Procédure d'urgence. Kit antipollution.		
Description		Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange. Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin : <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. Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, une société spécialisée récupérera et traitera le gravier souillé via les filières adéquates, puis le remplacera par un nouveau revêtement.		
Indépendance		Oui		
Temps de réponse		Dépendant du débit de fuite		
Efficacité		100 %		
Tests		/		
Maintenance		Inspection des niveaux d'huile plusieurs fois par an.		

Fonction sécurité	de	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	N° de la fonction de sécurité	9
Mesures sécurité	de	Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.). Procédures qualités. Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire).		
Description		La norme IEC 61400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi la nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61400-1. Les pales respectent le standard IEC 61400-1 ; 12 ; 23. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223.		
Indépendance		Oui		
Temps de réponse		NA		
Efficacité		100 %		
Tests		NA		
Maintenance		Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du pitch system, couronne du Yam Gear, boulons de fixation de la nacelle...) sont vérifiés au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 [9].		

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

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

Tableau 12 : Mesures de sécurité

L'ensemble des procédures de maintenance et des contrôles d'efficacité des systèmes sera conforme à l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 [g].

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.

Concernant les éventuelles défaillances de l'instrumentation mise en place dans le cadre des mesures de sécurité (sondes de températures, anémomètres, vitesse du rotor...), la principale mesure de prévention mise en place est la redondance de ces éléments (doublage de chaque instrument) afin que le contrôle des différents éléments puisse continuer malgré la défaillance d'un instrument.

Par ailleurs, ces instruments étant reliés au système de surveillance, une éventuelle défaillance sera détectée immédiatement et l'instrument défaillant sera réparé ou remplacé.

Enfin, selon une périodicité de 3 mois durant l'inspection de chaque éolienne, ces instruments sont inspectés et tout instrument présentant des signes de fatigue sera remplacé.

7.7 Conclusion de l'analyse préliminaire des risques

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

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	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'arrêt du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 [g], 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, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 [g], 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 13 : Scénarios exclus de l'analyse préliminaires des risques

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

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

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

8 ETUDE DETAILLEE DES RISQUES

L'étude détaillée des risques vise à caractériser les scénarios retenus à l'issue de l'analyse préliminaire des risques en termes de probabilité, cinétique, intensité et gravité. Son objectif est donc de préciser le risque généré par l'installation et d'évaluer les mesures de maîtrise des risques mises en œuvre. L'étude détaillée permet de vérifier l'acceptabilité des risques potentiels générés par l'installation. Etant donné que 3 machines sont envisagées pour ce projet, les calculs ont été réalisés en prenant un cas maximisant.

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 toxique.

Cet arrêté est complété par la circulaire du 10 mai 2010 [11] 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 [10], 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 [10]).

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

Or, les seuils d'effets proposés dans l'arrêté du 29 septembre 2005 [10] caractérisent des phénomènes dangereux dont l'intensité s'exerce dans toutes les directions autour de l'origine du phénomène, pour des effets de surpression, toxiques ou thermiques). Ces seuils ne sont donc pas adaptés aux accidents générés par les aérogénérateurs.

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

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

5% d'exposition : seuils d'exposition très forte.

1% d'exposition : seuil d'exposition forte.

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

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

Tableau 14 : Degré d'exposition

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 [10], les seuils de gravité sont déterminés en fonction du nombre équivalent de personnes permanentes dans chacune des zones d'effet définies dans le paragraphe précédent.

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

Tableau 15 : Seuils de gravité

8.1.4 Probabilité

L'annexe I de l'arrêté du 29 septembre 2005 [10] définit les classes de probabilité qui doivent être utilisées dans les études de dangers pour caractériser les scénarios 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 16 : Classe de probabilité

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 [10].

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 [10] 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 :

$$P_{\text{accident}} = P_{\text{ERC}} * P_{\text{orientation}} * P_{\text{rotation}} * P_{\text{atteinte}} * P_{\text{presence}}$$

Où :

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

= probabilité de départ ;

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

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

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

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

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

8.2 Caractéristiques des scénarios retenus

8.2.1 Effondrement de l'éolienne

➤ Zone d'effet :

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 176,5 m dans le cas des éoliennes du parc de Pugny (hauteur maximisant).

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 dans le cas du parc éolien de Pugny.

Pour les éoliennes E1 à E3 : R est la longueur de pale (R = 66,5 m), H la hauteur du mât (H = 110 m), L la largeur du mât (L = 4,3 m) et LB la largeur de la base de la pale (LB = 2,9 m).

Effondrement de l'éolienne	Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)			
	Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$= (H) \times L + 3 \times R \times LB / 2$	$= \pi \times (H+R)^2$	« =zone d'impact/zone d'effet »	Exposition modérée
	Pour R = 66,5m, H= 110m, LB=2,9m et L= 4,3m La zone d'impact est de 762,275 m ²	La zone d'effet est de 97868 m ²	0,779% (x<1%)	

Tableau 17 : Zone d'effet et intensité dans le cas de l'effondrement d'une éolienne

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

Gravité :

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 [10] (voir paragraphe 8.3.1.), 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	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
Eolienne 1	< 1 personne (0,98)	Modérée
Eolienne 2	< 1 personne (0,98)	Modérée
Eolienne 3	< 1 personne (0,98)	Modérée

Tableau 18 : Gravité dans le cas de l'effondrement d'une éolienne

➤ 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]	$4,5 \times 10^{-4}$	Retour d'expérience
Specification of minimum distances [6]	$1,8 \times 10^{-4}$ (effondrement de la nacelle et de la tour)	Retour d'expérience

Tableau 19 : Probabilité dans le cas de l'effondrement d'une éolienne

Ces valeurs correspondent à une classe de probabilité « C » selon l'arrêté du 29 septembre 2005 [10]. 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'expérience⁹, 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 [10] 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 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, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 [9], 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 :

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc de Pugny, 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
Eolienne 1	Modérée	Acceptable
Eolienne 2	Modérée	Acceptable
Eolienne 3	Modérée	Acceptable

Tableau 20 : Acceptabilité dans le cas de l'effondrement d'une éolienne

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

8.2.2 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 [14], une grande partie du territoire français (hors zones de montagne) est concerné par moins d'un jour de formation de glace par an. Certains secteurs du territoire comme les zones côtières affichent des moyennes variant entre 2 et 7 jours de formation de glace par an.

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

➤ Zone d'effet :

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne. Pour le parc éolien de Pugny, la zone d'effet a donc un rayon de 66,5 mètres maximum pour les éoliennes E1 à E3. 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 dans le cas du parc éolien de Pugny. D est le degré d'exposition, Z_i est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, D le

⁹ 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.

diamètre de la zone de survol autour du mât de l'éolienne en projection verticale (D = 133 m), SG est la surface du morceau de glace majorant (SG = 1 m²).

Chute de Glace	Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)			
	Zone d'impact en m²	Zone d'effet du phénomène étudié en m²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	ZI=1m²	= $\pi \times R^2$ 13893 m²	« =zone d'impact/zone d'effet » 0,007% (x<1%)	Exposition modérée

Tableau 21 : Zone d'effet et intensité dans le cas de chute de glace

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

➤ Gravité :

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 [10] (voir paragraphe 8.3.1.), 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 = zone de survol)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
Eolienne 1	< 1 personne (0,139)	Modérée
Eolienne 2	< 1 personne (0,139)	Modérée
Eolienne 3	< 1 personne (0,139)	Modérée

Tableau 22 : Gravité dans le cas de chute de glace

➤ 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 :

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc de Pugny, 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
Eolienne 1	Modérée	Acceptable
Eolienne 2	Modérée	Acceptable
Eolienne 3	Modérée	Acceptable

Tableau 23 : Acceptabilité dans le cas de chute de glace

Ainsi, pour le parc éolien de Pugny, 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, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 [9], un panneau informant le public des risques (et notamment des risques de chute de glace) sera installé sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, c'est-à-dire en amont de la zone d'effet de ce phénomène. Cette mesure permettra de réduire les risques pour les personnes potentiellement présentes sur le site lors des épisodes de grand froid.

8.2.3 Chute d'éléments de l'éolienne

➤ Zone d'effet :

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

Le risque de chute d'élément est cantonné à la zone de survol des pales, c'est-à-dire une zone d'effet correspondant à un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne en projection verticale. Pour le parc éolien de Pugny, la zone d'effet a donc un rayon de 66,5 mètres pour les éoliennes E1 à E3.

➤ Intensité :

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Pugny. d est le degré d'exposition, Z_i la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, D le diamètre du rotor autour du mât de l'éolienne en projection verticale ($D = 133$ m) et LB la largeur de la base de la pale ($LB = 2,9$ m pour chaque éolienne).

Chute d'éléments	Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à $D/2 =$ zone de survol)			
	Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_i = R * LB / 2$ La zone d'impact est de 96,425 m^2	$= \pi * R^2$ 13893 m^2	"=zone d'impact/zone d'effet" 0,694% ($x < 1\%$)	Exposition modérée

Tableau 24 : Zone d'effet et intensité dans le cas de chute d'élément de l'éolienne

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

➤ Gravité :

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 [10] (voir paragraphe 8.3.1.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute d'élément de l'éolienne, 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 d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à $D/2 =$ zone de survol)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
Eolienne 1	< 1 personne (0,139)	Modérée
Eolienne 2	< 1 personne (0,139)	Modérée
Eolienne 3	< 1 personne (0,139)	Modérée

Tableau 25 : Gravité dans le cas de chute d'élément de l'éolienne

➤ Probabilité :

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

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

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 Septembre 2005 [10] 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.

➤ Acceptabilité :

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc de Pugny, 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
Eolienne 1	Modérée	Acceptable
Eolienne 2	Modérée	Acceptable
Eolienne 3	Modérée	Acceptable

Tableau 26 : Acceptabilité dans le cas de chute d'élément de l'éolienne

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

8.2.4 Projection de pales ou de fragments de pales

➤ Zone d'effet :

Dans l'accidentologie française rappelée en annexe, la distance maximale relevée et vérifiée par le groupe de travail précédemment mentionné pour une projection de fragment de pale est de 97 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 dans le cas du parc éolien de Pugny. d est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R la longueur de pale ($R= 65,9$ m) et LB la largeur de la base de la pale ($LB= 2,9$ m).

Projection de pale ou de fragment de pale	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
	$Z_I = R \cdot LB / 2$ La zone d'impact est de 96,425 m ²	$= \pi \times 500^2$ 785398 m ²	"zone d'impact/zone d'effet" 0,012% ($x < 1\%$)	Exposition modérée

Tableau 27 : Zone d'effet et intensité dans le cas de projection de pale ou de fragment de pale

➤ Gravité :

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe 8.3.1., il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection, dans la zone de 500 m autour de l'éolienne :

Plus de 1000 personnes exposées → « Désastreux »

Entre 100 et 1000 personnes exposées → « Catastrophique »

Entre 10 et 100 personnes exposées → « Important »

Moins de 10 personnes exposées → « Sérieux »

Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré »

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

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
Eolienne 1	7,854	Sérieux
Eolienne 2	7,854	Sérieux
Eolienne 3	7,854	Sérieux

Tableau 28 : Gravité dans le cas de projection de pale ou de fragment de pale

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

Tableau 29 : Probabilité dans le cas de projection de pale ou de fragment de pale

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 [10] d'une probabilité « C » : « Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité ».

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

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

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

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 [9], 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 :**

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc de Pugny, 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
Eolienne 1	Sérieux	Acceptable
Eolienne 2	Sérieux	Acceptable
Eolienne 3	Sérieux	Acceptable

Tableau 30 : Acceptabilité dans le cas de projection de pale ou de fragment de pale

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

8.2.5 Projection de glace

➤ **Zone d'effet :**

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

En ce qui concerne la distance maximale atteinte par ce type de projectiles, il n'existe pas d'information dans l'accidentologie. La référence [14] propose une distance d'effet fonction de la hauteur et du diamètre de l'éolienne, dans les cas où le nombre de jours de glace est important et où l'éolienne n'est pas équipée de système d'arrêt des éoliennes en cas de givre ou de glace :

$$Distance\ d'effet = 1,5 * (hauteur\ moyeu + diamètre\ de\ rotor * 2)$$

Cette distance de projection est jugée conservatrice dans des études postérieures [16]. 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 dans le cas du parc éolien de Pugny. d est le degré d'exposition, Zi la zone d'impact, ZE la zone d'effet, R la longueur de pale (R = 65,9 m), Hm la hauteur au moyeu (Hm = 110 m) et SG la surface majorante d'un morceau de glace.

Projection de morceau de glace	Projection de morceaux de glace (dans un rayon de RPG = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)			
	Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	Zi= 1m ²	$ZE = \pi \times (1,5 * (H+2 * R))^2$ 417393 m ²	"=zone d'impact/zone d'effet" 0,00024% (x<1%)	Exposition modérée

Tableau 31 : Zone d'effet et intensité dans la cas de projection de morceaux de glace

➤ **Gravité :**

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe 8.3.1., 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 [16] 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 RPG = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
Eolienne 1	4,174	Sérieux
Eolienne 2	4,174	Sérieux
Eolienne 3	4,174	Sérieux

Tableau 32 : Gravité dans la cas de projection de morceaux de glace

➤ 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, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 [9] ;
- 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 de Pugny, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de RPG = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
Eolienne 1	Sérieux	Acceptable
Eolienne 2	Sérieux	Acceptable
Eolienne 3	Sérieux	Acceptable

Tableau 33 : Acceptabilité dans la cas de projection de morceaux de glace

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

8.3 Synthèse de l'étude détaillée des risques

8.3.1 Tableaux de synthèse des scénarios étudiés

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

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale (202 m)	Rapide	Exposition modérée	D	Modérée
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol (68 m)	Rapide	Exposition modérée	C	Modérée
Chute de glace	Zone de survol (68 m)	Rapide	Exposition modérée	A	Modérée
Projection de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D	Sérieux
Projection de glace	405 m autour des éoliennes	Rapide	Exposition modérée	B	Sérieux

Tableau 34 : Synthèse des scénarios étudiés

8.3.2 Synthèse de l'acceptabilité des risques

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

Pour conclure à l'acceptabilité, la matrice de criticité ci-dessous, adaptée de la circulaire du 29 septembre 2005 reprise dans la circulaire du 10 mai 2010 [11] mentionnée ci-dessus sera utilisée.

Conséquence	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		PP		PG	
Modéré		E	CE		CG

Tableau 35 : Matrice de criticité des risques

Tableau 36 : Légende de la matrice

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

Signification des abréviations

E = effondrement de l'éolienne

CE = chute d'élément

CG = chute de glace

PP = projection de pales ou de fragments

PG = 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 (projection de pale et chute de glace). Pour ces accidents, il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 sont mises en place.

8.3.3 Cartographie des risques

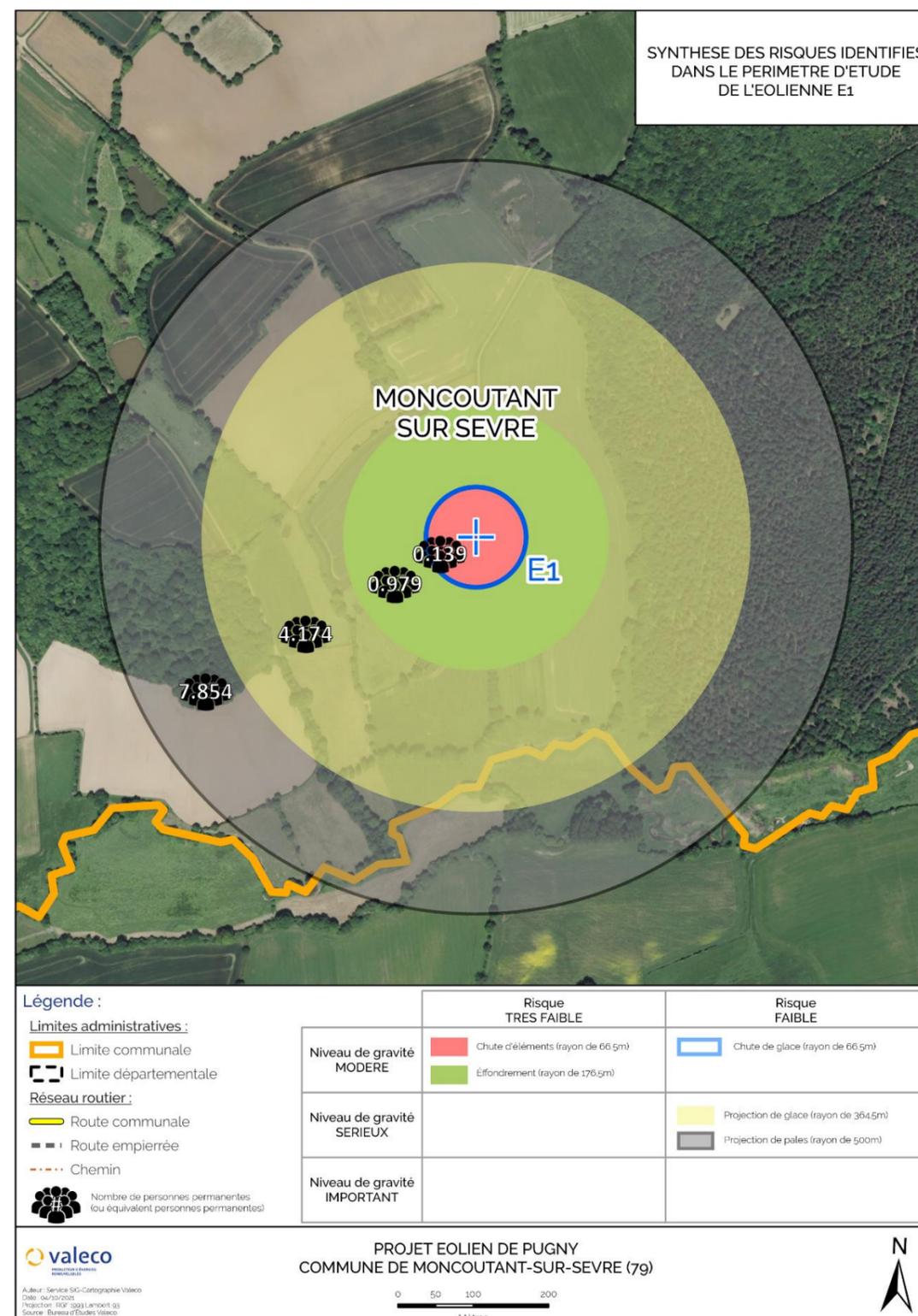


Illustration 21 : Synthèse des risques identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E1

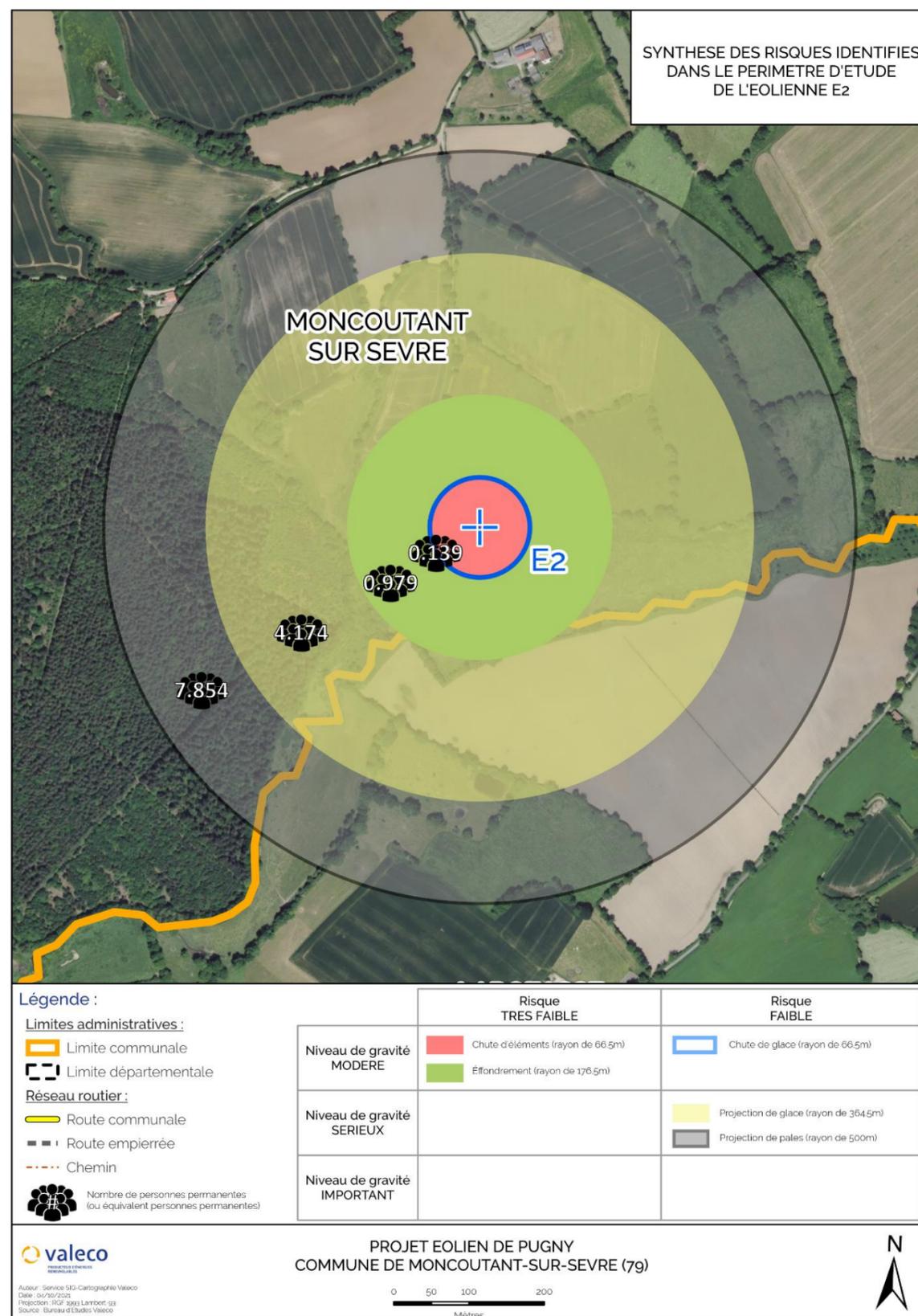


Illustration 22 : Synthèse des risques identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E2

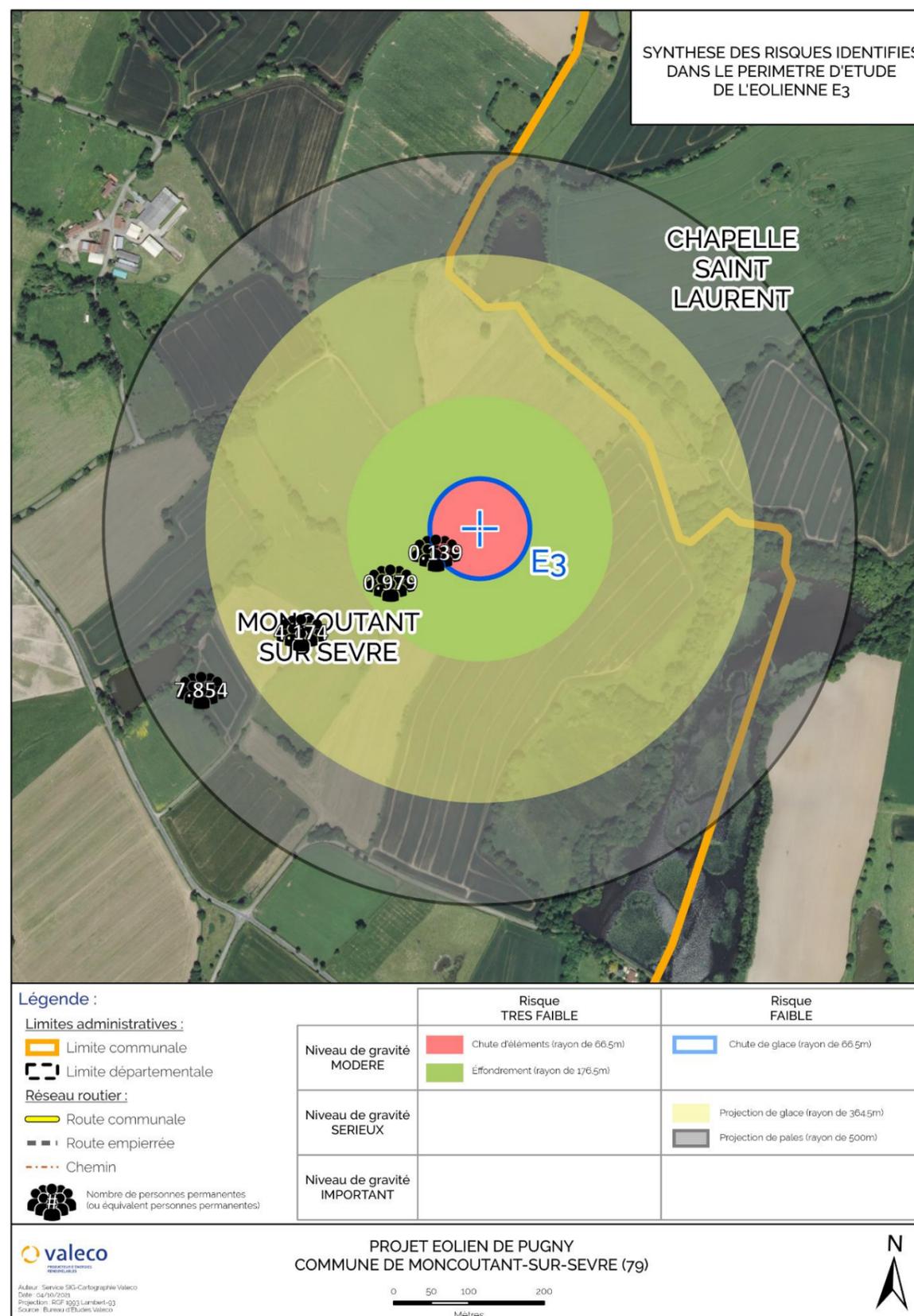


Illustration 23 : Synthèse des risques identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E3

9 CONCLUSION

L'analyse des risques liés aux installations et équipements du site est basée sur un recensement des accidents possibles, sur de l'évaluation de leurs conséquences, de leur probabilité de se réaliser en prenant en compte les moyens de secours et de prévention adaptés notamment à la vitesse d'apparition de l'accident.

A l'issue de l'analyse détaillée des risques effectuée dans l'étude de dangers, les risques potentiels retenus pour les installations du site sont les suivants :

- ✓ *l'effondrement des éoliennes*
- ✓ *la chute d'élément*
- ✓ *la chute de glace*
- ✓ *la projection de tout ou partie de pale*
- ✓ *la projection de glace*

A l'issue de cette analyse, les niveaux de risque avec leur probabilité respective ont pu être définis selon la matrice de criticité.

Le niveau des risques potentiels précédemment cités sont tous acceptables. 3 ont un niveau très faible et 2 ont un niveau faible.

Le projet éolien de Pugny, composé de 3 éoliennes d'une hauteur maximale en bout de pale de 176,5 m, présente donc des risques faibles. Ainsi du fait de l'implantation du projet, la maîtrise des risques est suffisante pour garantir un risque acceptable pour chacun des phénomènes dangereux retenue dans l'étude détaillée.

Le tableau ci-après récapitule les principales mesures mises en place pour limiter les risques étudiés et fournit les dangers résiduels et leur acceptabilité.

Accidents	Mesures de prévention	Dangers résiduels			Acceptabilité
		Probabilité associée	Valeur et classe de probabilité	Gravité	
Effondrement de l'éolienne	<ul style="list-style-type: none"> - respect d'une distance minimale de 500m par rapport aux habitations les plus proches. - détection de survitesse et système de freinage. - mise à la terre des éoliennes et protection des éléments de l'aérogénérateur contre la foudre. - machines équipées de capteurs de température des pièces mécaniques et d'une mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement - machines équipées d'un système de détection incendie relié à une alarme transmise à un poste de contrôle. - contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages. - réalisation d'un panneautage en pied de machine. 	Rare	D	Modérée	Acceptable

Accidents	Mesures de prévention	Dangers résiduels			Acceptabilité
		Probabilité associée	Valeur et classe de probabilité	Gravité	
	<ul style="list-style-type: none"> - détection des vents forts, des tempêtes avec arrêt automatique de la machine et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pâles) par le système de conduite. - respect des préconisations du manuel de maintenance et formation du personnel 				
Chute d'éléments de l'éolienne	<ul style="list-style-type: none"> - respect d'une distance minimale de 500m par rapport aux habitations les plus proches. - détection de survitesse et système de freinage. - mise à la terre des éoliennes et protection des éléments de l'aérogénérateur contre la foudre. - machines équipées d'un système de détection incendie relié à une alarme transmise à un poste de contrôle. - contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages. - réalisation d'un panneautage en pied de machine. - détection des vents forts, des tempêtes avec arrêt automatique de la machine et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pâles) par le système de conduite. 	Improbable	C	Modéré	Acceptable
Chute de glace	<ul style="list-style-type: none"> - respect d'une distance minimale de 500m par rapport aux habitations les plus proches. - procédure adéquate de redémarrage après disparition du givre - réalisation d'un panneautage en pied de machine. 	Courant	A	Modéré	Acceptable
Projection de pale ou de fragments de pale	<ul style="list-style-type: none"> - respect d'une distance minimale de 500m par rapport aux habitations les plus proches. - détection de survitesse et système de freinage. - mise à la terre des éoliennes et protection des éléments de l'aérogénérateur contre la foudre. - machines équipées de capteurs de température des pièces mécaniques et d'une mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement - machines équipées d'un système de détection incendie relié à une alarme transmise à un poste de contrôle. 	Rare	D	Sérieux	Acceptable

Accidents	Mesures de prévention	Dangers résiduels			Acceptabilité
		Probabilité associée	Valeur et classe de probabilité	Gravité	
	<ul style="list-style-type: none"> - contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages. - réalisation d'un panneautage en pied de machine. - détection des vents forts, des tempêtes avec arrêt automatique de la machine et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pâles) par le système de conduite. - respect des préconisations du manuel de maintenance et formation du personnel 				
Projection de glace	<ul style="list-style-type: none"> - procédure adéquate de redémarrage après disparition du givre - respect d'une distance minimale de 500m par rapport aux habitations les plus proches. - réalisation d'un panneautage en pied de machine. 	Probable	B	Sérieux	Acceptable

Tableau 37 : Synthèse des mesures mise en place pour limiter les risques

10 RESUME NON TECHNIQUE

10.1 Une étude de danger : Qu'est-ce que c'est ?

10.1.1 Objectif de l'étude de dangers

La présente étude expose les dangers que peuvent présenter les installations du parc éolien de Pugno. Elle a pour objet de caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques encourus par les personnes ou l'environnement.

Cette étude est proportionnée aux risques présentés par cette installation. Le choix de la méthode d'analyse utilisée et la justification des mesures de prévention, de protection et d'intervention sont adaptées à la nature et la complexité des installations et de leurs risques.

10.1.2 Contexte législatif et réglementaire

Cette étude de dangers est élaborée conformément aux textes suivants notamment :

- L'article R 512-6 du code de l'environnement prévoit la réalisation d'une étude de dangers telle que prévue par l'article L512-1, préalablement à la délivrance de l'autorisation d'exploiter ;
- Arrêté ministériel du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation.
- L'article R. 512-9 du Code de l'environnement précise le contenu de l'étude de dangers, qui, selon le principe de proportionnalité, doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation.
- La circulaire du 10 mai 2010 précise le contenu attendu de l'étude de dangers et apporte des éléments d'appréciation des dangers pour les installations classées soumises à autorisation.

10.1.3 Nomenclature des installations classées

Le parc éolien de Pugno comprend 3 aérogénérateurs d'une hauteur de mât maximale de 110 m. Conformément à l'article R. 511-9 du Code de l'environnement, modifié par le décret n°2011-984 du 23 août 2011, cette installation est donc soumise à autorisation au titre des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et doit présenter une étude de dangers au sein de sa demande d'autorisation d'exploiter.

10.2 Informations générales concernant l'installation

10.2.1 Renseignements administratif

Dénomination	PARC EOLIEN DE PUGNY
N° SIREN	879 696 623
Registre de commerce	RCS Montpellier
Forme juridique	SARL au capital de 500 €
Actionnariat	Filiale à 100% de Valeco
Gérant	Sébastien APPY
Adresse	188 Rue Maurice Béjart 34080 Montpellier
Téléphone	04 67 40 74 00
Télécopie	04 67 40 74 05
Site internet	www.groupevaleco.com

Tableau 38 : Identité du demandeur

Le PE de Pugno est une société spécialement créée et détenue à 100% par Valeco pour être le maître d'ouvrage et exploitant du parc éolien de Pugno.

Pour plus de renseignement, le lecteur pourra se référer à :

Camille CHARRIERE
 Cheffe de projets
 06 07 17 20 69
camillecharriere@groupevaleco.com

10.2.2 Localisation du site

Le parc éolien de Pugno, composé de 3 aérogénérateurs, est localisé sur la commune de Moncoutant-sur-Sèvre, au sein du département des Deux Sèvres (79), dans la région Nouvelle-Aquitaine.

10.2.3 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 seront néanmoins représentés sur la carte. Les expertises réalisées dans le cadre de la présente étude ont en effet montré l'absence d'effet à l'extérieur du poste de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter. L'aire d'étude est représentée sur la carte ci-après.

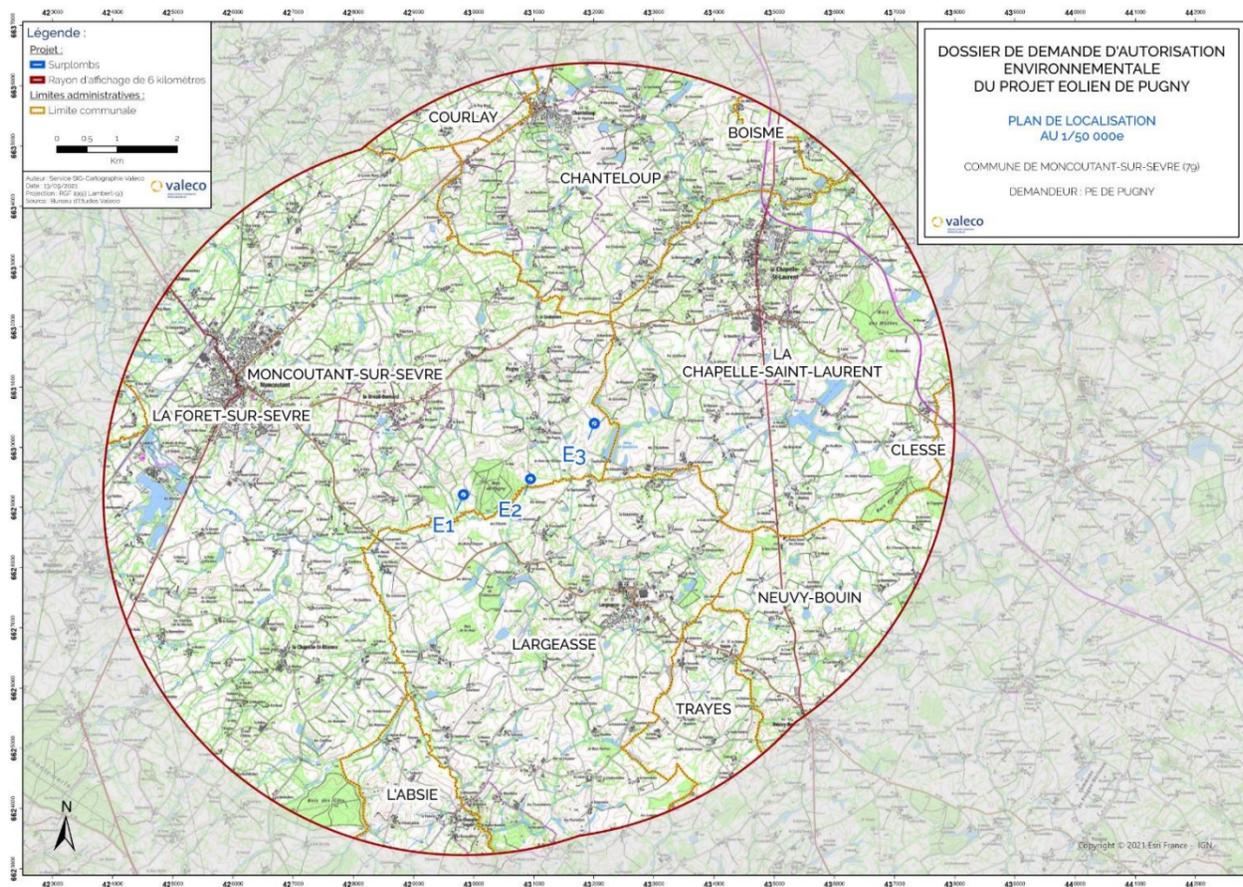


Illustration 24 : Localisation de l'aire d'étude

10.3 Description de l'environnement de l'installation

La description de l'environnement de l'installation est récapitulée dans le tableau ci-dessous :

	Thème	Commentaires	
Environnement Humain	Zones urbanisées	Aucune zone urbanisée dans la zone d'étude.	
	ERP	Aucun ERP (Etablissement Recevant du Public) dans la zone d'étude.	
	ICPE (Installation Classée pour la Protection de l'Environnement)	Aucun établissement SEVESO dans les limites de la zone d'étude. Aucune installation ICPE dans la zone d'étude.	
	Autres activités	La zone d'étude comprend de nombreuses parcelles cultivées exploitées par les agriculteurs locaux.	
Environnement Naturel	Contexte climatique	L'aire d'étude du projet éolien de Pugny se caractérise par un climat à forte dominante océanique : - Les précipitations moyennes annuelles sont d'environ de 867,2 mm. - La température annuelle moyenne est de 12,5°C.	
	Risques Naturels	Sismicité	La commune de Moncoutant-sur-Sèvre se trouve en zone de sismicité 3, modérée.
		Mouvements de terrain	Des mouvements de terrain ont été recensés sur la commune d'implantation entre 1999 et 2007.
		Aléa retrait-gonflement	L'éolienne E2, est concernée par un « Aléa faible »
		Activité Orageuse	En Deux-Sèvres (79), l'exposition foudre est « moyenne » avec une densité de foudroiement entre 1,5 et 2,5.
		Incendies	- Pas de recommandations particulières de la part du SDIS. - Les plateformes seront entretenue et débroussaillées. - Les aérogénérateurs seront dotés de système de détection permettant d'alerter en cas de survitesse. - Des moyens de lutte contre l'incendie appropriés aux risques à défendre et en nombre suffisant seront installés.
		Inondations	Aucune commune d'implantation n'est concernée par le risque inondation.
Environnement matériel	Voies de communication	Aucune route départementale ne traverse la zone d'étude. Le règlement de voirie des Deux-Sèvres impose une distance de recul d'une hauteur d'éolienne. Cette distance de recul est respectée.	
	Réseaux publics et privés	Aucun réseau n'est présent sur la zone d'étude.	
	Autres ouvrages publics	Aucun ouvrage public n'est situé au sein de la zone d'étude.	

Tableau 39 : Description de l'environnement de l'installation

Les cartes ci-après positionnent l'ensemble de ces enjeux vis-à-vis de l'aire d'étude des éoliennes. Au total, après utilisation de la méthode de comptage des enjeux humains, moins de 10 personnes seront impactées par éoliennes.

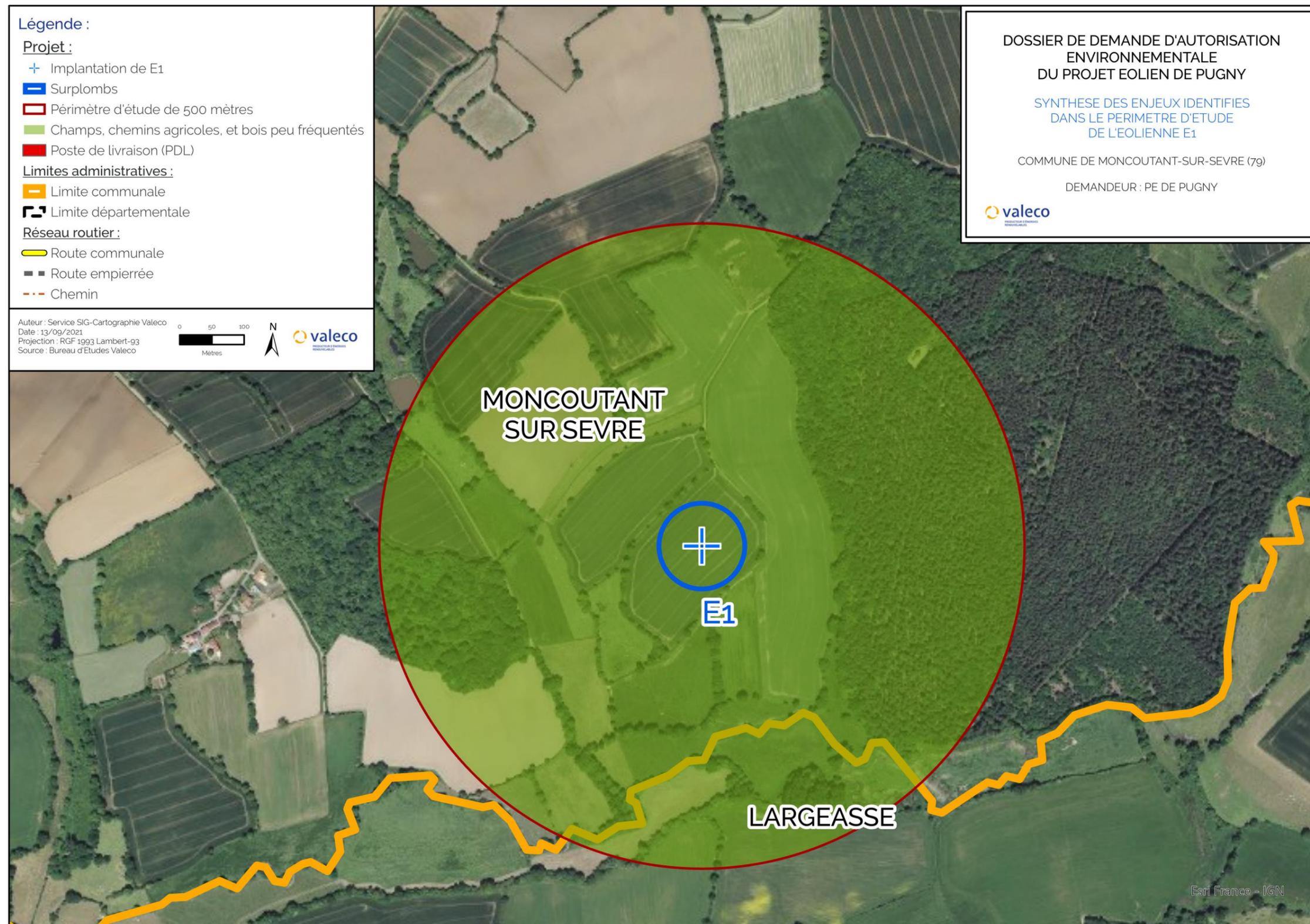


Illustration 25 : Synthèse des enjeux identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E1.

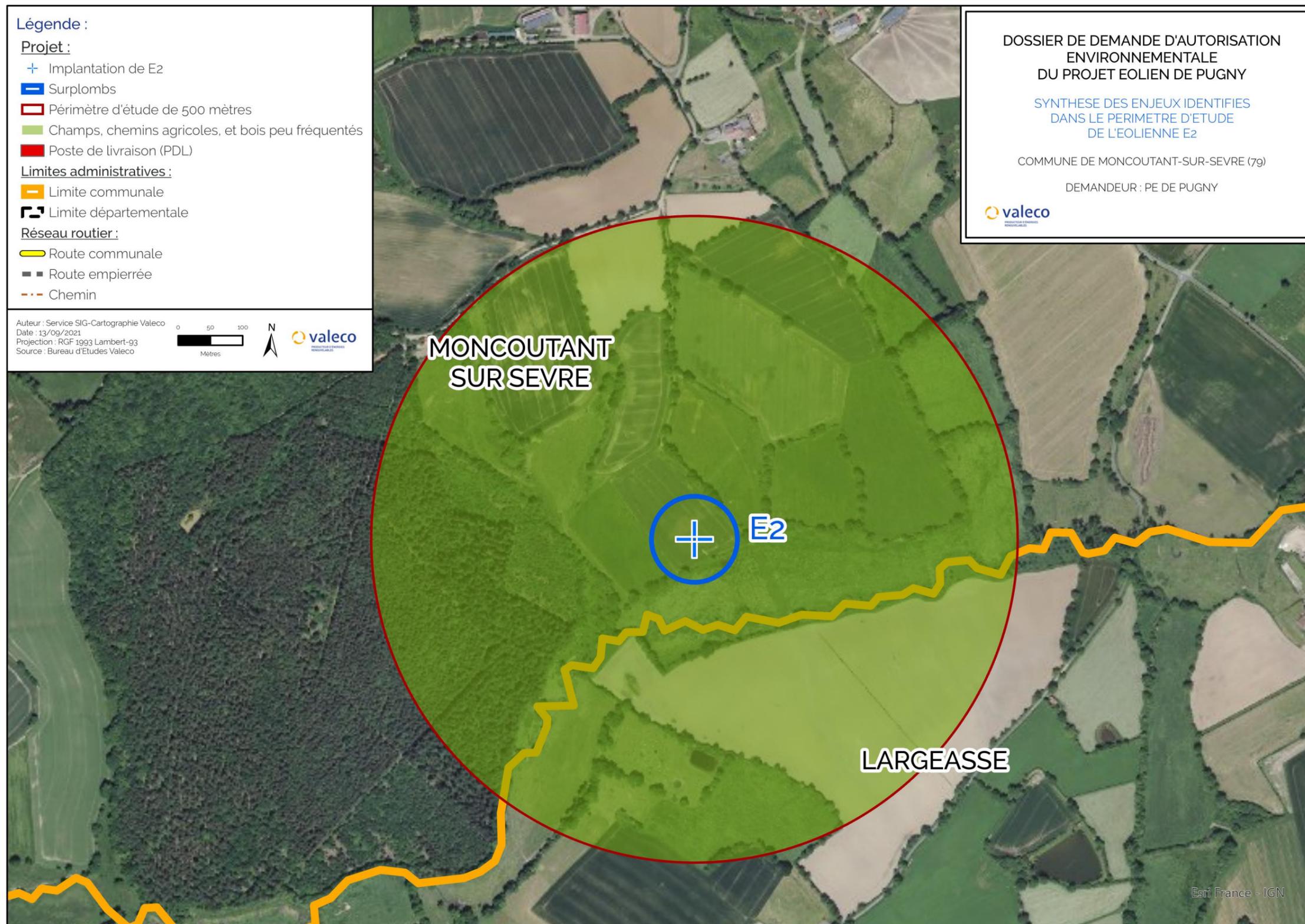


Illustration 26 : Synthèse des enjeux identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E2.

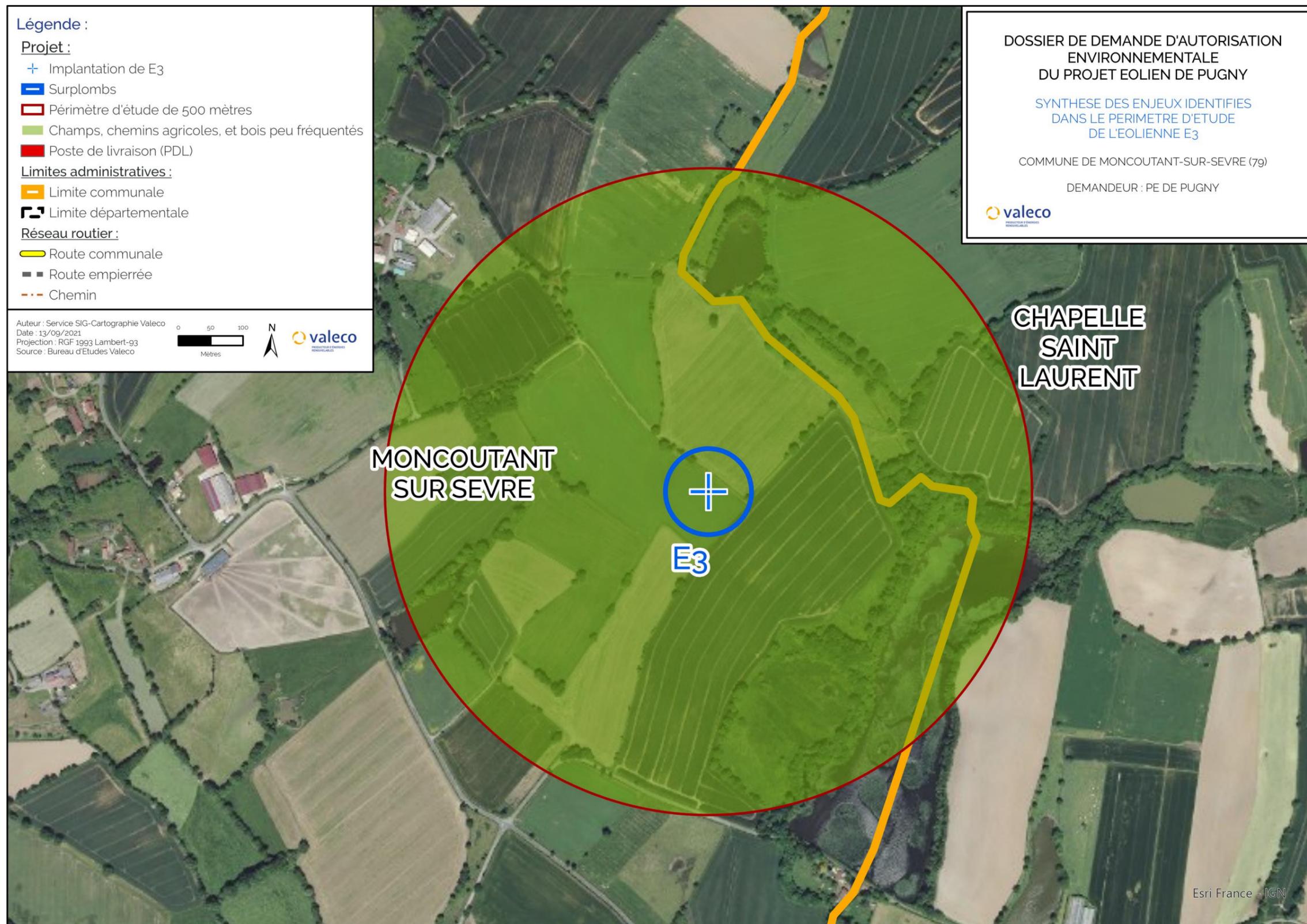


Illustration 27 : Synthèse des enjeux identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E3.

10.4 Caractéristiques de l'installation

Un parc éolien est une centrale de production d'électricité à partir de l'énergie du vent. Il est composé de plusieurs aérogénérateurs et de leurs annexes (cf. paragraphe dédié au raccordement électrique) :

- Plusieurs éoliennes
- Un réseau de câbles électriques enterrés permettant d'évacuer l'électricité produite par chaque éolienne vers le réseau public d'électricité au travers du poste source local
- Un réseau de chemins d'accès

Au sens de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020, les aérogénérateurs (ou éoliennes) sont composés des principaux éléments suivants :

- Le rotor qui est composé de trois pales
- Le mât est composé de plusieurs tronçons en acier. 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 tels que générateur, système de freinage, système d'orientation de la nacelle, outils de mesure du vent (anémomètre, girouette), balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aérienne (conforme à l'arrêté du 23 avril 2018).

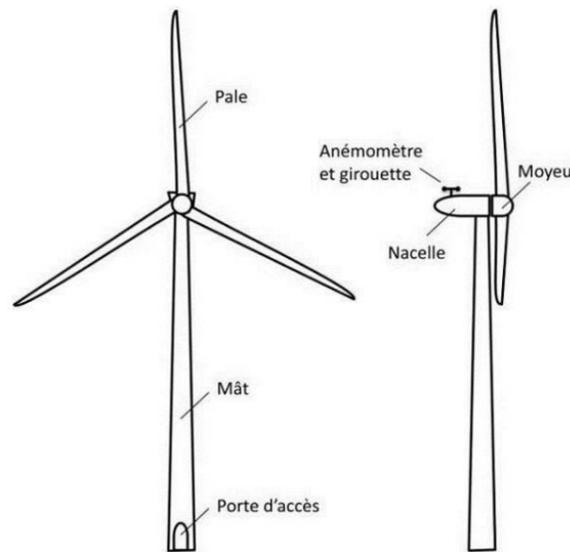


Illustration 28 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

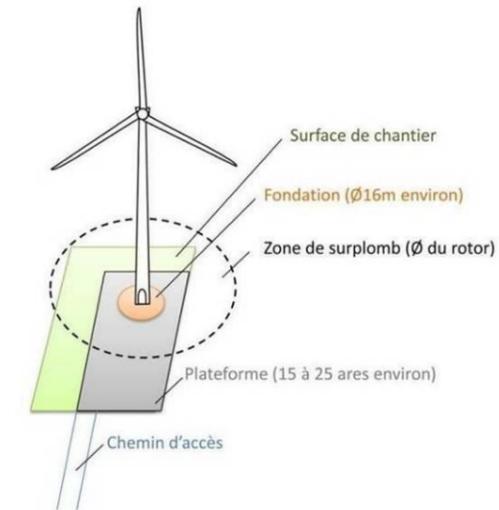


Illustration 29 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne

Le parc éolien de Pugny est composé de 3 aérogénérateurs et d'un poste de livraison. Les aérogénérateurs auront une hauteur maximale de mât de 110 m et un diamètre de rotor maximal de 133 m soit une hauteur maximale en bout de pales de 176,5 m.

L'activité de cette installation est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

Les coordonnées des éoliennes et du poste de livraison sont fournies dans le tableau suivant en systèmes de coordonnées Lambert 93, et WGS 84:

	Lambert 93		WGS 84	
	E_L93	N_L93	Latitude	Longitude
E1	429828,7867	6629208,907	0°32'15.4237" O	46°42'30.6108" N
E2	430942.54142	6629474.1441	0°31'23.5506" O	46°42'40.8136" N
E3	432013.973626	6630395.53165	0°30'35.0384" O	46°43'12.1966" N
PDL 1	430121.032733	6630194.47777	0°32'3.7442" O	46°43'2.9500" N

Tableau 40 : Coordonnées des éoliennes et du poste de livraison

10.5 Fonctionnement de l'installation

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

Les pales se mettent en mouvement lorsque l'anémomètre (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 10 km/h et c'est seulement à partir de 12 km/h que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique.

Les machines retenues pour ce projet, sont dépourvues de multiplicateur et la génératrice est donc entraînée directement par l'arbre « lent » lié au rotor. C'est elle qui transforme l'énergie mécanique captée par les pales en énergie électrique.

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

L'installation respectera la réglementation en vigueur en matière de sécurité. Conformément aux prescriptions de l'arrêté ministériel relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées relatives à la sécurité de l'installation, les aérogénérateurs et les installations électriques extérieures seront notamment conformes :

- Aux dispositions de la norme IEC 61 400-1
- Les aérogénérateurs subiront un contrôle technique.
- L'installation sera mise à la terre et respectera les dispositions de la norme IEC 61 400-24. Les opérations de maintenance incluront un contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre.
- Aux dispositions de la directive 2006/42/CE du parlement européen et du conseil du 17 mai 2006
- Aux normes NFC 15-100
- Le balisage de l'installation sera conforme aux dispositions prises en application des articles L. 6351-6 et L. 6352-1 du code des transports et des articles R. 243-1 et R. 244-1 du code de l'aviation civile.

Par ailleurs, l'installation sera conforme aux prescriptions de l'arrêté ministériel relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées relatives à la sécurité de l'installation, les aérogénérateurs et les installations électriques extérieures :

- Toutes les fonctions pertinentes pour la sécurité sont surveillées par un système électronique et, en plus, par l'intervention à un niveau hiérarchique supérieur de capteurs mécaniques. L'éolienne est immédiatement arrêtée si l'un des capteurs détecte une anomalie sérieuse.
- Avant la mise en service industrielle du parc éolien de Pugny, puis suivant une périodicité annuelle, l'exploitant réalisera des essais permettant de s'assurer du fonctionnement normal de l'ensemble des équipements. Ces contrôles feront l'objet d'un rapport tenu à la disposition de l'inspecteur des installations classées.
- Les installations électriques extérieure et intérieure à l'aérogénérateur seront entretenues en bon état et seront contrôlées avant la mise en service industrielle puis à une fréquence annuelle, après leur installation

Enfin, conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par l'arrêté du 22 juin 2020, aucun matériel inflammable ou combustible ne sera stocké dans les éoliennes du parc de Pugny.

10.6 Fonctionnement des réseaux de l'installation

Sur le site, le tracé des lignes électriques et téléphoniques qui relie chaque éolienne est le même que celui des pistes d'accès aux éoliennes.

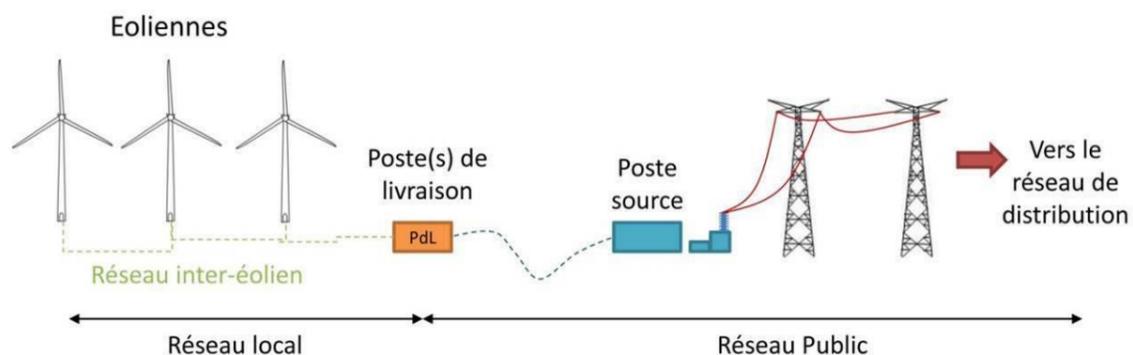


Illustration 30 : Raccordement électrique des installations

Réseaux	Fonction	Caractéristiques propres au projet éolien de Pugny
Réseau inter-éolien	Relie le transformateur au point de raccordement avec le réseau public.	<ul style="list-style-type: none"> - Câbles électriques en aluminium de section 240mm² - Câbles enfouis à une profondeur allant de 80 cm à 1,1 m - Le courant électrique entre la nacelle et le transformateur à la base de la machine est de 690 volts. A sa sortie, il est converti en 20 000 volts.
Réseau électrique externe	Relie les éoliennes au poste source	<ul style="list-style-type: none"> - Production électrique injectée au poste source - Raccordement par voie souterraine, à 80cm à 1m10 de profondeur.
Autres	Eau, assainissement, gaz	L'installation ne nécessite pas d'autre réseau.

Tableau 41 : Détails des réseaux du projet

10.7 Identification des potentiels dangers de l'installation

10.7.1 Potentiels de dangers liés aux produits

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

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020, aucun produit inflammable ou combustible ne sera stocké dans les aérogénérateurs.

10.7.2 Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

Les dangers liés au fonctionnement du Parc éolien de Pugny sont de cinq types :

- Chute d'éléments de l'aérogénérateur (boulons, morceaux d'équipements)
- Projection d'éléments (morceaux de pale, brides de fixation)
- Effondrement de tout ou partie de l'aérogénérateur
- Echauffement de pièces mécaniques
- Courts-circuits électriques (aérogénérateur).

10.7.3 Réduction des potentiels de dangers à la source

➤ En ce qui concerne les potentiels de dangers internes aux équipements associés au projet :

Les équipements et installations présentes ont été optimisés de façon à réduire au mieux les potentiels de danger dans des conditions technico économiquement acceptables.

- Pour l'équipement en lui-même : les éoliennes de dernière technologie.
- Pour les pales : uniquement des éoliennes tri pales limitant vibrations et fatigue du rotor.
- Pour l'emplacement des éoliennes : éloignement de plus de 150m des routes départementales
- Substitution des produits utilisés : les huiles et lubrifiants utilisés sont des produits de base des installations de réparation et de maintenance qui ne peuvent être remplacés.
- Pour les zones de manipulation de produits dangereux : afin de limiter la pollution des sols et du sous-sol lors d'un déversement accidentel, la zone de fondation est bétonnée. Une aire étanche d'alimentation en carburant est prévue lors du chantier. Cette aire sera utilisée aussi pour les éventuelles opérations de maintenance du matériel de construction et levage.

De plus, les personnes en charge de la maintenance et de l'entretien possèdent une instruction technique relative aux opérations réalisées.

- Autres : une attention particulière est portée sur la prévention des sources d'inflammation possibles (cigarette, portable...) et les travaux à point chaud font l'objet de mesures spécifiques, « le permis feu », qui est associé à un ensemble de mesure permettant de prévenir le risque d'inflammation (surveillance permanente et extincteur à proximité).

➤ En ce qui concerne les potentiels de dangers extérieurs au site :

- Pour la foudre : éoliennes répondant à la classe de protection I de la norme internationale IEC 61400.
- Pour le transport de matières dangereuses : aucune matière dangereuse n'est utilisée pour le fonctionnement d'une éolienne.

Par ailleurs, Les installations éoliennes, ne consommant pas de matières premières et ne rejetant aucune émission dans l'atmosphère, ne sont pas soumises à la directive 96/61/CE du 24 septembre 1996 relative à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution.

10.8 Analyse préliminaire des risques

10.8.1 Objectif de l'analyse préliminaire des risques

L'analyse des risques a pour objectif principal d'identifier les scénarios d'accident majeurs et les mesures de sécurité qui empêchent ces scénarios de se produire ou en limitent les effets. Les scénarios d'accident sont ensuite hiérarchisés en fonction de leur intensité et de l'étendue possible de leurs conséquences. Cette hiérarchisation permet de « filtrer » les scénarios d'accident majeurs.

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

Conformément à la circulaire du 10 mai 2010, les événements initiateurs 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, le risque de suraccident 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.

10.8.3 Recensement des agressions externes potentielles

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

Infrastructure	Fonction	Evénement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Distance par rapport au mât des éoliennes
Voies de circulation	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	Hors périmètre
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef et flux thermique	200 m	Hors périmètre
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique et surtensions	200 m	Hors périmètre
Autres aérogénérateurs	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	L'inter-distance E1-E2 sera de 372m

Tableau 42 : Agressions externes liées aux activités humaines

10.8.4 Agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

Agressions externes	Intensité
Vents et tempête	Météo France ne dispose pas de données sur la commune d'implantation du projet. La zone d'implantation n'est pas concernée par les phénomènes météorologiques des zones tropicales.
Foudre	Eoliennes équipées d'un système de mise à la terre et respect de la norme IEC 61 400-24
Glissement de sols / affaissement miniers	Des mouvements de terrain ont eu lieu entre 1999 et 2017

Tableau 43 : Agressions externes liées aux phénomènes naturels

10.8.5 Scenarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques

Le tableau ci-dessous présente par thématique les typologies d'évènement redoutés centraux identifiés grâce au retour d'expérience groupe de travail précédemment cité. Il peut être considéré comme représentatif des scénarios d'accident pouvant potentiellement se produire sur les éoliennes :

Thématique	Évènement redouté central
Glace	Chute de glace lorsque les éoliennes sont arrêtées
	Projection de glace lorsque les éoliennes sont en mouvement
Incendie	Court-circuit
	Incendie de tout ou partie de l'éolienne
	Fuites d'huile isolante
Fuites	Infiltration d'huile dans le sol
Chute	Chute d'élément de l'éolienne
Projection	Projection de tout ou partie pale
Effondrement	Effondrement éolienne

10.8.6 Effets dominos

Dans le cadre des études de dangers des éoliennes, l'évaluation de la probabilité d'impact d'un élément de l'aérogénérateur sur une autre installation ICPE est uniquement prise en compte lorsque celle-ci se situe dans un rayon de 300 mètres.

Aucune éolienne n'est concernée, ce qui implique des effets nuls et c'est ce qui explique que ces effets sont négligés dans le cadre de la présente étude.

10.8.7 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 projet de Pugny :

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.		

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, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020).		

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.		
Description	Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement. /		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage.		
Description	Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande. NB : Le système de freinage est constitué d'un frein aérodynamique principal (mise en drapeau des pales) et / ou d'un frein mécanique auxiliaire.		

Fonction de sécurité	Prévenir les courts-circuits	N° de la fonction de sécurité	5
Mesures de sécurité	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.		
Description	Les organes électriques de l'éolienne sont équipés d'organes de coupures et de protection. 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.		

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). Dispositif de capture + mise à la terre. Parasurtenseurs sur les circuits électriques.		

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 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.		

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	Détecteurs de niveau d'huiles. Procédure d'urgence. Kit antipollution.		
Description	Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés.		

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'assemblages (ex : brides ; joints, etc.). Procédures qualités et attestation du contrôle technique.		
Description	La nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223.		

Fonction de sécurité	Prévenir les erreurs de maintenance	N° de la fonction de sécurité	10
Mesures de sécurité	Procédure maintenance.		
Description	Préconisations du manuel de maintenance et formation du personnel.		

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	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes. Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne.		
Description	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale pour laquelle elle a été conçue.		

Tableau 44 : Mesures de sécurité

L'ensemble des procédures de maintenance et des contrôles d'efficacité des systèmes sont conforme à 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, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020.

10.8.8 Conclusion sur l'analyse préliminaire des risques

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

- Incendie de l'éolienne (effets thermiques)
- Incendie du transformateur
- Chute et projection de glace dans les cas particuliers où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C
- Infiltration d'huile dans le sol.

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

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

10.9 Etude détaillée des risques

10.9.1 Rappel des définitions

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. 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.

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]). Ces seuils n'étant pas adaptés aux accidents générés par les aérogénérateurs, deux valeurs de référence ont été retenues :

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

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

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

Tableau 45 : Degré d'exposition

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

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.

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

Tableau 46 : Seuils de gravité

La détermination du nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) présentes dans chacune des zones d'effet est effectuée à l'aide de la méthode présentée en annexe 1.

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

Niveaux	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 47 : Classe de probabilité

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.

10.9.2 Synthèse détaillée des risques

Le tableau suivant récapitule, pour chaque événement redouté central retenu, les paramètres de risques : la cinétique, l'intensité, la gravité et la probabilité.

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale	Rapide	Exposition modérée	D	Modéré pour les 3 éoliennes
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	C	Modéré pour les 3 éoliennes
Chute de glace	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	A	Modéré pour les 3 éoliennes
Projection de pale ou de fragments	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D	Sérieux pour les 3 éoliennes
Projection de glace	1,5 x (H + 2R) soit 412,5m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	B	Sérieux pour les 3 éoliennes

Tableau 48 : Synthèse des risques

10.9.3 Synthèse de l'acceptabilité des risques

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

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

Conséquence	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Déastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		PP		PG	
Modéré		E	CE		CG

Tableau 49 : Matrice de criticité des risques

Tableau 50 : Légende de la matrice

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

Signification des abréviations

E = effondrement de l'éolienne

CE = chute d'élément

CG = chute de glace

PP = projection de pales ou de fragments

PG = projection de glace

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- Aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice
- Trois accidents figurent en case jaune. Pour ces accidents, il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 8.7 sont mises en place.

Par conséquent, les 3 éoliennes du projet de Pugny présentent des risques qui sont qualifiés d'acceptables.

10.9.4 Cartographie des risques

La cartographie de synthèse des risques ci-après permet de récapituler la zone d'effet pour chaque risque et chaque éolienne et le nombre de personnes permanentes exposées.

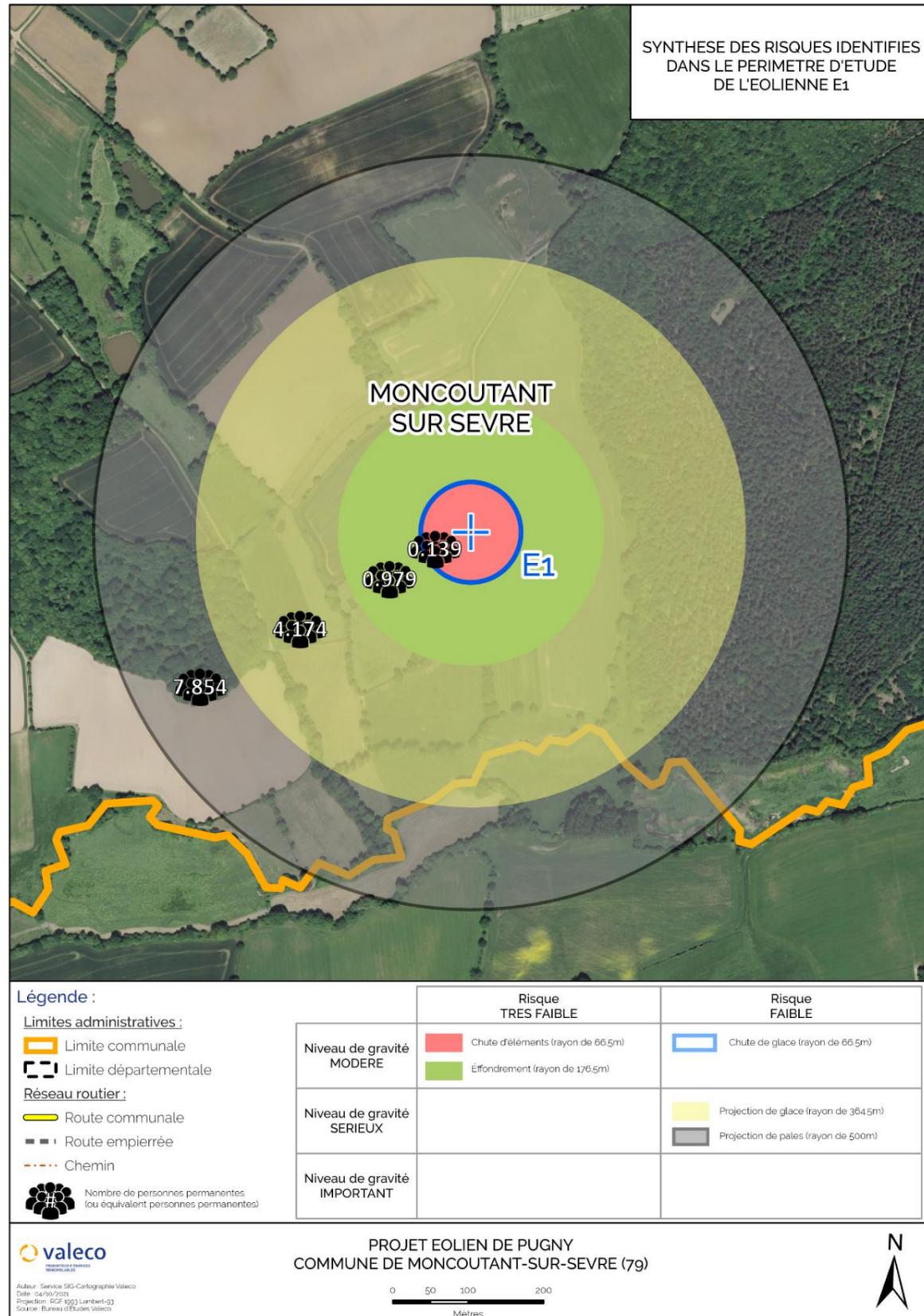


Illustration 31 : Synthèse des risques identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E2

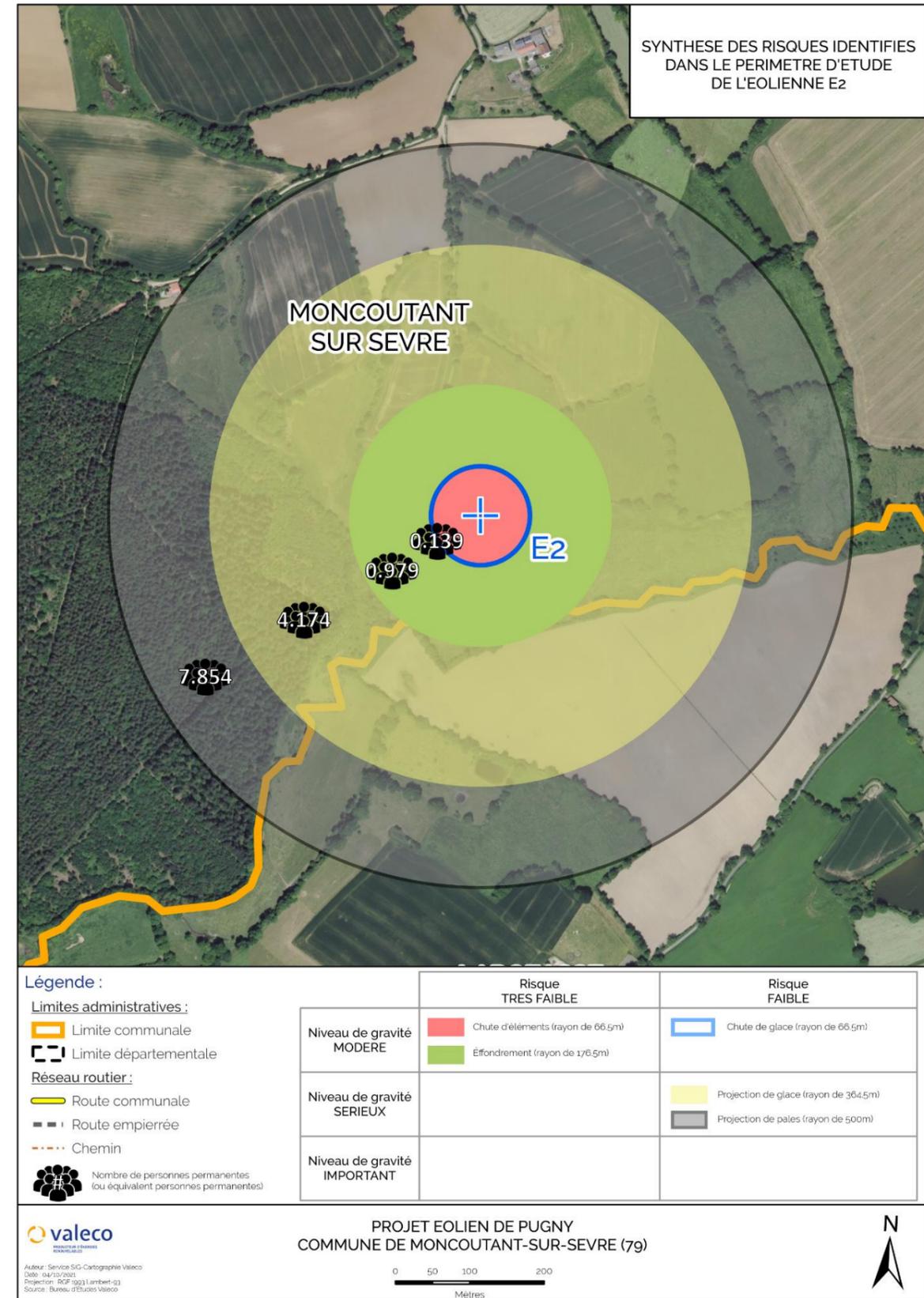


Illustration 32 : Synthèse des risques identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E1

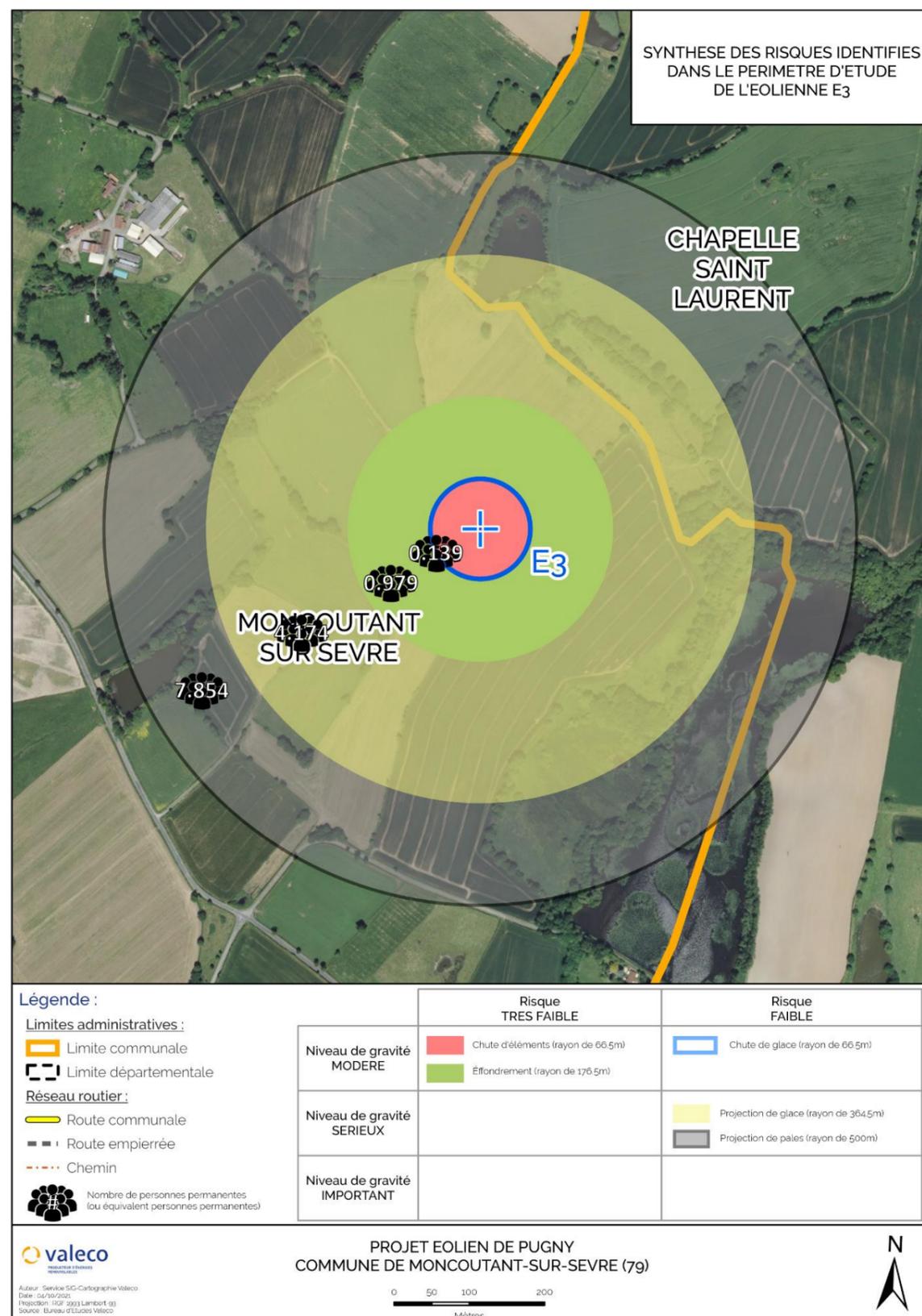


Illustration 33 : Synthèse des risques identifiés dans le périmètre d'étude de l'éolienne E3

10.10 Conclusion

L'analyse des risques liés aux installations et équipements du site est basée sur un recensement des accidents possibles, sur de l'évaluation de leurs conséquences, de leur probabilité de se réaliser en prenant en compte les moyens de secours et de prévention adaptés notamment à la vitesse d'apparition de l'accident.

A l'issue de l'analyse détaillée des risques effectuée dans l'étude de dangers, les risques potentiels retenus pour les installations du site sont les suivants :

- ✓ *l'effondrement des éoliennes*
- ✓ *la chute d'élément*
- ✓ *la chute de glace*
- ✓ *la projection de tout ou partie de pale*
- ✓ *la projection de glace*

A l'issue de cette analyse, les niveaux de risque avec leur probabilité respective ont pu être définis selon la matrice de criticité.

Le niveau des risques potentiels précédemment cités sont tous acceptables. 3 ont un niveau très faible et 2 ont un niveau faible.

Le projet éolien de Pugny, composé de 3 éoliennes d'une hauteur maximale en bout de pale de 176,5 m, présente donc des risques faibles. Ainsi du fait de l'implantation du projet, la maîtrise des risques est suffisante pour garantir un risque acceptable pour chacun des phénomènes dangereux retenue dans l'étude détaillée.

Le tableau ci-après récapitule les principales mesures mises en place pour limiter les risques étudiés et fournit les dangers résiduels et leur acceptabilité.

Accidents	Mesures de prévention	Dangers résiduels			Acceptabilité
		Probabilité associée	Valeur et classe de probabilité	Gravité	
Effondrement de l'éolienne	<ul style="list-style-type: none"> - respect d'une distance minimale de 500m par rapport aux habitations les plus proches. - détection de survitesse et système de freinage. - mise à la terre des éoliennes et protection des éléments de l'aérogénérateur contre la foudre. - machines équipées de capteurs de température des pièces mécaniques et d'une mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement - machines équipées d'un système de détection incendie relié à une alarme transmise à un poste de contrôle. - contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages. - réalisation d'un panneautage en pied de machine. - détection des vents forts, des tempêtes avec arrêt automatique de la machine et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pâles) par le système de conduite. - respect des préconisations du manuel de maintenance et formation du personnel 	Rare	D	Sérieux	Acceptable
Chute d'éléments de l'éolienne	<ul style="list-style-type: none"> - respect d'une distance minimale de 500m par rapport aux habitations les plus proches. 	Improbable	C	Modéré	Acceptable

Accidents	Mesures de prévention	Dangers résiduels			Acceptabilité
		Probabilité associée	Valeur et classe de probabilité	Gravité	
	<ul style="list-style-type: none"> - détection de survitesse et système de freinage. - mise à la terre des éoliennes et protection des éléments de l'aérogénérateur contre la foudre. - machines équipées d'un système de détection incendie relié à une alarme transmise à un poste de contrôle. - contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages. - réalisation d'un panneautage en pied de machine. - détection des vents forts, des tempêtes avec arrêt automatique de la machine et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pâles) par le système de conduite. 				Acceptable
Chute de glace	<ul style="list-style-type: none"> - respect d'une distance minimale de 500m par rapport aux habitations les plus proches. - procédure adéquate de redémarrage après disparition du givre - réalisation d'un panneautage en pied de machine. 	Courant	A	Modéré	Acceptable
Projection de pale ou de fragments de pale	<ul style="list-style-type: none"> - respect d'une distance minimale de 500m par rapport aux habitations les plus proches. - détection de survitesse et système de freinage. - mise à la terre des éoliennes et protection des éléments de l'aérogénérateur contre la foudre. - machines équipées de capteurs de température des pièces mécaniques et d'une mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement - machines équipées d'un système de détection incendie relié à une alarme transmise à un poste de contrôle. - contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages. - réalisation d'un panneautage en pied de machine. - détection des vents forts, des tempêtes avec arrêt automatique de la machine et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pâles) par le système de conduite. - respect des préconisations du manuel de maintenance et formation du personnel 	Rare	D	Sérieux	Acceptable
Projection de glace	<ul style="list-style-type: none"> - procédure adéquate de redémarrage après disparition du givre - respect d'une distance minimale de 500m par rapport aux habitations les plus proches. - réalisation d'un panneautage en pied de machine. 	Probable	B	Sérieux	Acceptable

Tableau 51 : Synthèse des mesures mise en place pour limiter les risques

11 ANNEXES

Annexe 1 – 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 [11] relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers. Cette fiche permet de compter aussi simplement que possible, selon des règles forfaitaires, le nombre de personnes exposées dans chacune des zones d'effet des phénomènes dangereux identifiés.

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

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

➤ Terrains non bâtis

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

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

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

➤ Voies de circulation

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

○ Voies de circulation automobiles

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

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

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

○ Voies ferroviaires

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

○ Voies navigables

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

○ Chemins et voies piétonnes

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

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

➤ Logements

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

➤ Etablissements recevant du public (ERP)

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

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

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

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

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

➤ Zones d'activité

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

Annexe 2 – 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 5. 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 prolongée pendant 4 jours suite à la tempête)	Tempête avec foudre répétée	Rapport du CGM Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2001	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts)	?	Site Vent de Colère	Information peu précise
Effondrement	01/02/2002	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris d'hélice et mât plié	Tempête	Rapport du CGM Site Vent du Bocage	-
Maintenance	01/07/2002	Port la Nouvelle - Sigean	Aude	0,66	2000	Oui	Grave électrisation avec brûlures d'un technicien	Lors de mesures pour cartériser la partie haute d'un transformateur 690V/20kV en tension. Le mètre utilisé par la victime, déroulé sur 1,46m, s'est soudainement plié et est entré dans la zone du transformateur, créant un arc électrique.	Rapport du CGM	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	28/12/2002	Névian - Grande Garrigue	Aude	0,85	2002	Oui	Effondrement d'une éolienne suite au dysfonctionnement du système de freinage	Tempête + dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Site Vent de Colère Article de presse (Midi Libre)	-
Rupture de pale	25/02/2002	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pale en bois (avec inserts) sur une éolienne bipale	Tempête	Article de presse (La Dépêche du 26/03/2003)	Information peu précise
Rupture de pale	05/11/2003	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts) sur trois éoliennes. Morceaux de pales disséminés sur 100 m.	Dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Article de presse (Midi Libre du 15/11/2003)	-
Effondrement	01/01/2004	Le Portel - Boulogne sur Mer	Pas de Calais	0,75	2002	Non	Cassure d'une pale, chute du mât et destruction totale. Une pale tombe sur la plage et les deux autres dérivent sur 8 km.	Tempête	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (Windpower Monthly May 2004, La Voix du Nord du 02/01/2004)	-
Effondrement	20/03/2004	Loon Plage - Port de Dunkerque	Nord	0,3	1996	Non	Couchage du mât d'une des 9 éoliennes suite à l'arrachement de la fondation	Rupture de 3 des 4 micropieux de la fondation, erreur de calcul (facteur de 10)	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (La Voix du Nord du 20/03/2004 et du 21/03/2004)	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	22/06/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50 m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	-
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5m à 50m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	Incident identique à celui s'étant produit 15 jours auparavant
Rupture de pale	2004	Escales-Conilhac	Aude	0,75	2003	Non	Bris de trois pales		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale + incendie	22/12/2004	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne (survitesse de plus de 60 tr/min)	Survitesse due à une maintenance en cours, problème de régulation, et dysfonctionnement du système de freinage	Base de données ARIA Article de presse (La Tribune du 30/12/2004) Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2005	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris de pale		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale	08/10/2006	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2004	Non	Chute d'une pale de 20 m pesant 3 tonnes	Allongement des pales et retrait de sécurité (débridage), pas de REX suite aux précédents accidents sur le même parc	Site FED Articles de presse (Ouest France) Journal FR3	-
Incendie	18/11/2006	Roquetaillade	Aude	0,66	2001	Oui	Acte de malveillance: explosion de bonbonne de gaz au pied de 2 éoliennes. L'une d'entre elles a mis le feu en pieds de mat qui s'est propagé jusqu'à la nacelle.	Malveillance / incendie criminel	Communiqués de presse exploitant Articles de presse (La Dépêche, Midi Libre)	-
Effondrement	03/12/2006	Bondues	Nord	0,08	1993	Non	Sectionnement du mât puis effondrement d'une éolienne dans une zone industrielle	Tempête (vents mesurés à 137Kmh)	Article de presse (La Voix du Nord)	-
Rupture de pale	31/12/2006	Ally	Haute-Loire	1,5	2005	Oui	Chute de pale lors d'un chantier de maintenance visant à remplacer les rotors	Accident faisant suite à une opération de maintenance	Site Vent de Colère	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident pendant la phase chantier)
Rupture de pale	03/2007	Clitourps	Manche	0,66	2005	Oui	Rupture d'un morceau de pale de 4 m et éjection à environ 80 m de distance dans un champ	Cause pas éclaircie	Site FED Interne exploitant	-
Chute d'élément	11/10/2007	Plouvien	Finistère	1,3	2007	Non	Chute d'un élément de la nacelle (trappe de visite de 50 cm de diamètre)	Défaut au niveau des charnières de la trappe de visite. Correctif appliqué et retrofit des boulons de charnières effectué sur toutes les machines en exploitation.	Article de presse (Le Télégramme)	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Emballement	03/2008	Dinéault	Finistère	0,3	2002	Non	Emballement de l'éolienne mais pas de bris de pale	Tempête + système de freinage hors service (boulon manquant)	Base de données ARIA	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (événement unique et sans répercussion potentielle sur les personnes)
Collision avion	04/2008	Plouguin	Finistère	2	2004	Non	Léger choc entre l'aile d'un bimoteur 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)
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	Toufflers	Nord	0,15	1993	Non	Décès d'un technicien au cours d'une opération de maintenance	Crise cardiaque	Article de presse (La Voix du Nord 20/04/2010)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Effondrement	30/05/2010	Port la Nouvelle	Aude	0,2	1991	Non	Effondrement d'une éolienne	Le rotor avait été endommagé par l'effet d'une survitesse. La dernière pale (entière) a pris le vent créant un balourd. Le sommet de la tour a plié et est venu buter contre la base entraînant la chute de l'ensemble.	Interne exploitant	-
Incendie	19/09/2010	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Emballement de deux éoliennes et incendie des nacelles.	Maintenance en cours, problème de régulation, freinage impossible, évacuation du personnel, survitesse de +/- 60 tr/min	Articles de presse Communiqué de presse SER-FEE	-
Maintenance	15/12/2010	Pouillé-les-Côteaux	Loire Atlantique	2,3	2010	Oui	Chute de 3 m d'un technicien de maintenance à l'intérieur de l'éolienne. L'homme de 22 ans a été secouru par le GRIMP de Nantes. Aucune fracture ni blessure grave.		Interne SER-FEE	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Transport	31/05/2011	Mesvres	Saône-et-Loire	-	-	-	Collision entre un train régional et un convoi exceptionnel transportant une pale d'éolienne, au niveau d'un passage à niveau. Aucun blessé		Article de presse (Le Bien Public 01/06/2011)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident de transport hors site éolien)
Rupture de pale	14/12/2011	Non communiqué	Non communiqué	2,5	2003	Oui	Pale endommagée par la foudre. Fragments retrouvés par l'exploitant agricole à une distance n'excédant pas 300 m.	Foudre	Interne exploitant	Information peu précise sur la distance d'effet
Incendie	03/01/2012	Non communiqué	Non communiqué	2,3	2006	Oui	Départ de feu en pied de tour. Acte de vandalisme : la porte de l'éolienne a été découpée pour y introduire des pneus et de l'huile que l'on a essayé d'incendier. Le feu ne s'est pas propagé, dégâts très limités et restreints au pied de la tour.	Malveillance / incendie criminel	Interne exploitant	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'incendie)
Rupture de pale	05/01/2012	Widehem	Pas-de-Calais	0,75	2000	Non	Bris de pales, dont des fragments ont été projetés jusqu'à 380 m. Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne).	Tempête + panne d'électricité	Article de presse (La Voix du Nord 06/01/2012) Vidéo DailyMotion Interne exploitant	-

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	06/02/2012	Lehaucourt	Aisne	-	-	-	Opération de maintenance dans la nacelle - un arc électrique (690V) blesse deux sous-traitants (brulures au visage et aux mains)	-	-	-
Chute de pale	18/05/2012	Fresnay l'Evêque	Eure et Loire	-	-	-	Chute d'une pale au pied de l'éolienne et rupture du roulement qui raccordait la pale au moyeu	-	-	-
Chute d'une éolienne	30/05/2012	Port-la-Nouvelle	Aude	-	-	Non	Chute d'une éolienne liée à des rafales de vent de 130km/h - Eolienne de 1991, mât treillis, 200kW	-	-	-
Projection d'élément d'éolienne	01/11/2012	Vieillespese	Cantal	-	-	-	Projection d'un élément de la pale à 70m du mât pour une éolienne de 2.5MW	-	-	-
Incendie	05/11/2012	Sigean	Aude	-	-	-	Feu sur une éolienne de 660kW entraînant une chute de pale et enflammant 80m ² de garrigue environnante	-	-	-
Chute de pale	06/03/2013	Conihac-de-la-Montagne	Aude	-	-	-	Chute d'une pale liée à un problème de fixation entraînant un arrêt automatique de l'éolienne (détection d'échauffement + vitesse de rotation excessive)	-	-	-
Incendie	13/03/2013	Euvy	Marne	-	-	-	Incendie dans une nacelle conduisant à la chute d'une pale et une fuite de 450L d'huile en provenance du multiplicateur. L'origine du feu est liée à une défaillance électrique. Le feu a été maîtrisé en 1 heure	-	-	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Maintenance	01/07/2013	Cambon-et-Salvergues	Hérault	-	-	-	Un opérateur remplissant un réservoir d'azote sous pression dans une éolienne est blessé par la projection d'un équipement. Ses voies respiratoires ont également été atteintes lors de l'accident	-	-	-
Perte d'huile	03/08/2013	Moreac	Morbihan	-	-	-	Perte de 270L d'huile hydraulique d'une nacelle élévatrice intervenant sur une éolienne - pollution du sol sur 80m ²	-	-	-
Incendie	09/01/2014	Anthény	Ardennes	-	-	-	Feu dans une nacelle au niveau de la partie de la génératrice	-	-	-
Chute de pale	20/01/2014	Sigean	Aude	-	-	-	Chute d'une pale au pied de l'éolienne suite à un défaut de vibration	-	-	-
Chute de pale	14/11/2014	Saint-Cirgues-en-Montagne	Ardèche	-	-	-	Chute d'une pale d'éolienne	-	-	-
Chute de pale	05/12/2014	Fitou	Aude	-	-	-	Chute d'une pale d'éolienne	-	-	-
Incendie	29/01/2015	Remigny	Aisne	-	-	-	Feu d'éolienne	-	-	-
Incendie	06/02/2015	Lusseray	Deux-Sèvres	-	-	-	Feu d'éolienne	-	-	-

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'étude de dangers
Incendie	24/08/2015	Santilly	Eure-et-Loire	-	-	-	Incendie dans une éolienne	-	-	-
Chute du rotor	10/11/2015	Mesnil-la-Horgne	Meuse	-	-	-	Chute du rotor	-	-	-
Chute d'élément de l'éolienne	07/02/2016	Conilhac-Corbières	Aude	-	-	-	Chute de l'aérofrein d'une pale	-	-	-
Chute de pale	08/02/2016	Dineault	Finistère	-	-	-	Chute d'une pale	-	-	-
Chute de pale	07/03/2016	Calanhel	Côtes-d'Armor	-	-	-	Chute d'une pale	-	-	-
Fuite d'huile	28/05/2016	Janville	Eure-et-Loire	-	-	-	Défaillance d'un raccord sur le circuit de refroidissement de l'huile de la boîte vitesse de l'éolienne entraînant une fuite d'huile	-	-	-
Incendie	18/08/2016	Dargies	Oise	2	2014	Oui	Feu dans l'éolienne	-	-	-
Incendie	18/08/2016	Hescamps	Oise	1	2008	Non	Feu dans l'éolienne	-	-	-
Maintenance	14/09/2016	Plaine Aubeoise	Aube	2,3	2009	Oui	Electrification d'un employé dans une éolienne	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)	-	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute d'élément de l'éolienne	27/02/2018	Le Grand Linault	Deux-Sèvres	2	2011	Oui	Chute d'un élément d'une pale d'éolienne lié à un défaut de fabrication	-	-	-
Incendie	06/06/2017	Le Moulin d'Emanville	Eure-et-Loir	3	2014	Oui	Feu dans la nacelle d'une éolienne	-	-	-
Chute de pale	24/06/2017	Tambours	Pas-de-Calais	1,6	2007	Non	Chute d'une pale	-	-	-
Chute d'élément	17/07/2017	Fecamp	Seine Maritime				Un aérofrein se détache d'une pale d'éolienne	problème de montage, ou des vibrations en fonctionnement,		
Perte d'huile	24/07/2017	Mauron	Morbihan				Perte d'huile	rupture d'un flexible du circuit hydraulique de l'aérogénérateur		
Chute de pale	04/08/2017	Priez	Aine				Chute de Pale			
Chute d'éléments	08/11/2017	ROMAN	Eure				Le carénage de la pointe de la nacelle d'une éolienne tombe au sol	Défaut d'assemblage		
Effondrement	01/01/2018	Bouin	Vendée				En début de matinée lors d'une tempête, le mât d'une éolienne de 60 m de haut se brise en 2	Erreur d'interprétation des données + maintenance insuffisante		
Chute d'éléments	06/02/2018	CONILHAC-CORBIERES	Aude				Chute d'aérofrein	Défaut sur l'électronique		

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	01/06/2018	Marsanne	Drôme				Un feu se déclare au pied d'une éolienne	Incendie criminel		
Incendie	05/06/2018	Aumelas	Hérault				Un feu se déclare dans la nacelle	dysfonctionnement électrique		
Projection d'éléments	04/07/2018	Port la nouvelle	Aude				Des éléments sont projetés à 150 m du mât après s'être décrochées			
Incendie	28/09/2018	Sauveterre	Tarn					Acte de malveillance		
Fuite d'huile	17/10/2018	Flers-sur-Noye	Somme					mauvaise réalisation d'une activité de maintenance annuelle préventive		
Effondrement	06/11/2018	Guigneville	Loiret				Une éolienne, de 140 m de haut en bout de pale, s'effondre	une survitesse de rotation des pales de l'éolienne a conduit à une surcharge de contraintes sur la structure		
Chute d'éléments	18/11/2018	Conilhac-Corbieres	Aude				Les 3 aérofreins en extrémité des pales d'une éolienne chutent au sol			
Chute de pale	19/11/2018	Ollezy	Aisne				Rupture d'une pale d'une éolienn			
Incendie	03/01/2019	La Limouziniere	Loire Atlantique				Un feu se déclare au niveau de la nacelle d'une éolienne	Une avarie au niveau de la génératrice		

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
Chute de pale	04/01/2019	Nixeville - Blercourt	Meuse					Episode venteux		
Projection d'éléments	17/01/2019	Bambiderstroff	Moselle							
Incendie	20/01/2019	Roussas	Drôme				Incendie criminel			
Effondrement	23/01/2019	Boutavent	Oise					Passage en survitesse lors de la procédure de mise en arrêt		
Chute de pale	30/01/2019	ROQUETAILLAD E-ET-CONILHAC	Aude				Une pale d'une éolienne se rompt et chute au sol	Corrosion		
Dégradation	12/02/2019	AUTECHAUX	Doubs				6 fissurations sur des roulements de pale positionnés entre la base de la pale et le moyeu	Défaut d'alésage		
Fuite d'huile	23/03/2019	Argentonnay	Deux-Sèvres					rupture d'un composant tournant du multiplicateur		
Chute de pale	27/06/2019	CHARLY-SUR-MARNE	Aisne					Défaillance		
Impact de foudre	02/04/2019	EQUANCOURT	Somme				Lors d'un épisode orageux, la foudre touche une des 12 éoliennes			

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	15/04/2019	CHAILLY-SUR-ARMANCON	Côte d'or				Électrisation lors de la maintenance d'une éolienne			
Incendie	18/06/2019	QUESNOY-SUR-AIRAINES	Somme					court-circuit sur un condensateur		
Incendie	25/06/2019	Ambon	Morbihan		2008		Un feu se déclare au niveau de la nacelle			
Impact de foudre sur une pale d'éolienne	03/07/2019	Sigean	Aude							
Chute d'élément de l'éolienne	04/09/2019	Escales	Aude				Chute d'aérofreins en bout de pale d'une éolienne			
Chute d'élément	28/11/2019	HANGEST-EN-SANTERRE	Somme				Le capot se situant à l'extrémité de la nacelle d'une éolienne se décroche et tombe au sol			
Chute de pale	09/12/2019	LA FORET-DE-TE SSE	Charente				Chute de pale			
Incendie	16/12/2019	POINVILLE	Eure et loire				Les gaines protectrices des câbles de puissance ont brûlé			
Incendie	17/12/2019	Ambonville	Haute-Marne				Départ de feu dans la partie basse de l'éolienne	Défaillance électrique		

Chute d'élément	22/01/2020	SAINT-SEINE-L'ABBAYE	Côte d'or				Chute d'un joint de pale	défaillance du collier de serrage		
Dégradation après tempête	09/02/2020	Wancourt	Pas-de-Calais				Le lendemain du passage de la tempête Ciara, des dommages sont visibles au niveau de l'aileron de la nacelle d'une éolienne			
Rupture de pale + projection d'éléments	09/02/2020	Beaurevoir	Aisne				Rupture de pale + projection d'éléments	tempête Ciara		
Incendie	29/02/2020	Boisbergues	Somme				Un feu se déclare au niveau du moteur d'une éolienne	Fuite d'huile		
Incendie	24/03/20	Flavin	Aveyron				Un feu se déclare au niveau de la nacelle			
Dégradation	31/03/2020	LEHAUCOURT	Aisne				Fissure sur la pale d'une éolienne	Défaut de fabrication		
Fuite d'huile	10/04/2020	RUFFIAC	Morbihan				Une entreprise responsable de la maintenance d'un parc éolien constate une fuite d'huile hydraulique au niveau de la nacelle d'une éolienne	Défaut au niveau de l'accumulateur		
Incendie	20/04/2020	LE VAUCLIN	Martinique				Un feu se déclare sur le générateur d'une éolienne déposée au sol en vue de son démantèlement	Court-circuit du à un manico		
Dégradation	30/04/2020	PLOUARZEL	Finistère				Une pale de 20 m de long d'une des 5 éoliennes d'un parc éolien présente une pliure	Mauvaise orientation des pales/impact de foudre		

Fuite d'huile	07/06/2020	Lehaucourt	Aisne					Rupture d'un flexible de lubrification hydraulique pour refroidissement de la boîte de vitesse		
Chute de pale	27/06/2020	PLEMET	Cotes D'Armor				Une pale de 10 t se détache du rotor d'une éolienne	Accumulation de phénomènes de charge		
Incendie	01/08/2020	ISSANLAS	Ardèche				Dégagement de fumée au niveau de la nacelle d'une éolienne	Echauffement des pièces de protection de la génératrice		
Fuite d'huile	01/09/2020	BOUCHY-SAINTE-GENEST	Marne							

Annexe 3 – 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.

○ 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.

L'incendie peut aussi être provoqué par l'échauffement des pièces mécaniques en cas d'emballlement 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'emballlement 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 4 – Probabilité 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.

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

$$P_{\text{accident}} = P_{\text{ERC}} * P_{\text{orientation}} * P_{\text{rotation}} * P_{\text{atteinte}} * P_{\text{presence}}$$

Où :

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 [11]. 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 [10]). 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 [10], susceptibles d'infliger un dommage à des enjeux (ou éléments vulnérables) vivantes ou matérielles, sans préjuger l'existence de ces dernières. C'est une « Source potentielle de dommages »

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

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

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

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

Attention aux confusions possibles :

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

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

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

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

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

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

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

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

Les définitions suivantes sont issues de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 [9] :

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

Annexe 6 – Bibliographie et références utilisées

- [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, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020.
- [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] Alpine test site Güttsch : monitoring of a wind turbine under icing conditions, R. Cattin et al.
- [14] Wind energy production in cold climate (WECO), Final report - Bengt Tammelin et al. – Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 2000.
- [15] Rapport sur la sécurité des installations éoliennes, Conseil Général des Mines - Guillet R., Leteurtois J.-P. - juillet 2004.
- [16] Risk analysis of ice throw from wind turbines, Seifert H., Westerhellweg A., Kröning J. - DEWI, avril 2003.
- [17] Wind energy in the BSR: impacts and causes of icing on wind turbines, Narvik University College, novembre 2005.
- [18] *Guide technique pour l'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens*, SER - FEE - INERIS, 2012.