

Déposé en octobre 2019

Mis à jour en avril 2020

Etude de dangers du projet du parc éolien de Fromentaux

Département : Haute-Vienne

Communes : La Meyze, Nexon



Maître d'ouvrage

ENGIE Green Fromentaux, filiale de



Réalisation de l'étude

ENCIS Environnement



Bureau d'études en environnement
énergies renouvelables et aménagement durable

**Tome n°5.1 :
Etude de dangers**

www.encis-environnement.fr

Mise à jour du dossier d'autorisation environnementale

La société ENGIE Green a déposé auprès de la Préfecture de Haute-Vienne le dossier de demande d'autorisation environnementale pour le parc éolien de Fromentaux, sur les communes de La Meyze et de Nexon, le 23 octobre 2019.

Le caractère complet du dossier a été jugé recevable lors du dépôt. Toutefois, les services instructeurs, dont l'Inspection des Installations Classées de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement (DREAL) ont relevé des insuffisances sur le fond qui nécessitent des éclaircissements.

Les pièces constitutives de la demande d'autorisation environnementale initiale ont donc été mises à jour afin de prendre en compte les compléments demandés.

PREAMBULE

Depuis le 13 juillet 2011, tout parc éolien terrestre comportant au moins un aérogénérateur de plus de 50 m ou ayant une puissance de plus de 20 MW est soumis au régime « autorisation » des ICPE (Nomenclature ICPE : rubrique 2980). Suite à la loi n° 2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte, et à l'ordonnance n°2017-80 du 26 janvier 2017 relative à l'autorisation environnementale, une demande d'autorisation environnementale doit être fournie.

L'autorisation environnementale rassemble plusieurs procédures :

- autorisation spéciale au titre des réserves naturelles nationales et des réserves naturelles classées en Corse par l'Etat ;
- autorisation spéciale au titre des sites classés ou en instance de classement ;
- dérogation aux mesures de protection de la faune et de la flore sauvage ;
- absence d'opposition au titre des sites Natura 2000 ;
- déclaration ou agrément pour l'utilisation d'organismes génétiquement modifiés ;
- agrément pour le traitement de déchets ;
- autorisation d'exploiter une installation de production d'électricité ;
- autorisation d'émission de gaz à effet de serre ;
- autorisation de défrichement ;
- pour les éoliennes terrestres, autorisations au titre des obstacles à la navigation aérienne, des servitudes militaires et des abords des monuments historiques et sites patrimoniaux remarquables;
- déclaration IOTA, enregistrement ou déclaration ICPE.

Pour les éoliennes seulement, l'autorisation environnementale dispense de permis de construire.

L'étude de dangers recense, à partir d'une description de l'installation et de son environnement, les phénomènes dangereux possibles, leurs conséquences, leurs probabilités d'occurrence et leurs cinétiques pour évaluer leurs criticités en vue de proposer des mesures d'amélioration (préventives et correctives).

Cette étude a été réalisée à partir du guide technique élaboré par un groupe de travail constitué de l'INERIS et de professionnels du Syndicat des Energies Renouvelables : porteurs de projets, exploitants de parcs éoliens et constructeurs d'éoliennes et qui présente les méthodes et outils nécessaires à la réalisation d'une étude de dangers.

SOMMAIRE

Introduction	8
Contexte réglementaire	10
<i>Application du régime des installations classées aux parcs éoliens.....</i>	<i>10</i>
<i>Réglementation relative à l'étude de dangers</i>	<i>11</i>
1. PREAMBULE.....	14
1.1. Objectif de l'étude de dangers	14
1.2. Nomenclature ICPE du parc éolien de Fromentaux.....	15
1.3. Rédacteur de l'étude	16
2. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION.....	16
2.1. Renseignements administratifs	16
2.2. Localisation du site	17
2.3. Définition de l'aire d'étude.....	19
3. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION	20
3.1. Environnement humain	20
3.1.1. Zones urbanisées.....	20
3.1.1. Etablissements recevant du public (ERP).....	21
3.1.2. Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et installations nucléaires de base.....	22
3.1.1. Autres activités.....	23
3.2. Environnement naturel	25
3.2.1. Contexte climatique.....	25
3.2.2. Risques naturels	26
3.3. Environnement matériel.....	34
3.3.1. Voies de communication	34
3.3.2. Réseaux publics et privés.....	34
3.3.1. Autres ouvrages publics.....	37
3.4. Cartographies de synthèse	38
4. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION	46
4.1. Caractéristiques de l'installation	46
4.1.1. Caractéristiques générales d'un parc éolien.....	46
4.1.2. Activité de l'installation	48
4.1.3. Composition de l'installation.....	48
4.2. Fonctionnement de l'installation.....	51
4.2.1. Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur	51
4.2.2. Fonction et caractéristiques du parc éolien de Fromentaux.....	52
4.2.3. Sécurité de l'installation	52
4.2.4. Opérations de maintenance de l'installation	57
4.2.5. Stockage et flux de produits dangereux	57
4.3. Fonctionnement des réseaux de l'installation.....	58

4.3.1.	<i>Raccordement électrique</i>	58
4.3.2.	<i>Autres réseaux</i>	59
5.	IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION	59
5.1.	Potentils de dangers liés aux produits.....	60
5.2.	Potentils de dangers liés au fonctionnement de l'installation	61
5.3.	Réduction des potentiels de dangers à la source	62
5.3.1.	<i>Principales actions préventives</i>	62
5.3.2.	<i>Procédures relatives à l'hygiène et la sécurité</i>	63
5.3.3.	<i>Utilisation des meilleures techniques disponibles</i>	65
6.	ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE	66
6.1.	Inventaire des accidents et incidents en France	66
6.2.	Inventaire des accidents et incidents à l'international.....	76
6.3.	Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience	78
6.3.1.	<i>Analyse de l'évolution des accidents en France</i>	78
6.3.2.	<i>Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents</i>	78
6.4.	Limites d'utilisation de l'accidentologie	78
7.	ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES	79
7.1.	Objectif de l'analyse préliminaire des risques.....	79
7.2.	Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques.....	79
7.3.	Recensement des agressions externes potentielles.....	80
7.3.1.	<i>Agression externes liées aux activités humaines</i>	80
7.3.2.	<i>Agressions externes liées aux phénomènes naturels</i>	80
7.4.	Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques.....	81
7.5.	Effets dominos.....	85
7.6.	Mise en place des mesures de sécurité	85
7.7.	Conclusion de l'analyse préliminaire des risques	92
8.	ETUDE DETAILLEE DES RISQUES	93
8.1.	Rappel des définitions	93
8.1.1.	<i>Cinétique</i>	93
8.1.2.	<i>Intensité</i>	93
8.1.3.	<i>Gravité</i>	94
8.1.4.	<i>Probabilité</i>	94
8.1.5.	<i>Acceptabilité</i>	96
8.2.	Caractérisation des scénarios retenus.....	97
8.2.1.	<i>Effondrement de l'éolienne</i>	98
8.2.2.	<i>Chute de glace</i>	101
8.2.3.	<i>Chute d'éléments de l'éolienne</i>	104
8.2.4.	<i>Projection de pales ou de fragments de pales</i>	107
8.2.5.	<i>Projection de glace</i>	111
8.3.	Synthèse de l'étude détaillée des risques	114
8.3.1.	<i>Tableau de synthèse des scénarios étudiés</i>	114

8.3.2.	<i>Synthèse de l'acceptabilité des risques</i>	115
8.3.3.	<i>Cartographie des risques</i>	115
9.	CONCLUSION	121
	Annexe 1 – Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne	123
	<i>Terrains non bâtis</i>	123
	<i>Voies de circulation</i>	123
	<i>Logements</i>	124
	<i>Etablissements recevant du public (ERP)</i>	124
	<i>Zones d'activité</i>	125
	Annexe 2 – Tableau de l'accidentologie française	126
	Annexe 3 – Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques	133
	<i>Scénarios relatifs aux risques liés à la glace (G01 et G02)</i>	133
	<i>Scénarios relatifs aux risques d'incendie (I01 à I07)</i>	133
	<i>Scénarios relatifs aux risques de fuites (F01 à F02)</i>	134
	<i>Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments (C01 à C03)</i>	135
	<i>Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales (P01 à P06)</i>	135
	<i>Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E01 à E10)</i>	136
	Annexe 4 – Probabilité d'atteinte et Risque individuel	137
	Annexe 5 – Glossaire	138
	Annexe 6 – Bibliographie et références utilisées	142

INTRODUCTION

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

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

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

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

- 10 500 MW terrestres et 1 000 MW en mer en 2012,
- 19 000 MW terrestres et 6 000 MW en mer en 2020.

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

La loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte fixe les grands objectifs du nouveau modèle énergétique français et va permettre à la France de contribuer plus efficacement à la lutte contre le dérèglement climatique et de renforcer son indépendance énergétique. L'objectif est que la part des énergies renouvelables représente au moins 30% de la consommation énergétique finale en 2030.

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

Le service de la donnée et des études statistiques (SDES) du ministère de la Transition écologique et solidaire a publié le 31 août 2017 les chiffres du parc éolien raccordé au deuxième trimestre 2017. La puissance installée et raccordée pour l'ensemble du parc éolien en métropole et dans les DOM atteint 12 333 MW au 30 juin. Au cours du deuxième trimestre 2017, 189 MW (20 nouvelles installations) ont été raccordés. La production d'électricité éolienne s'élève à environ 11 TWh au premier semestre 2017 et représente près de 4,5 % de la consommation électrique française.

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

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

Ainsi, les premiers incidents qui ont été rencontrés (bris de pales, incendies, effondrement, etc.) ont amené les constructeurs à améliorer sans cesse leurs aérogénérateurs. Grâce à ces évolutions, et le

retour d'expérience le montre bien, les incidents sont aujourd'hui très rares et concernent en majorité des éoliennes d'ancienne génération.

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

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

Cette loi prévoit d'autre part de soumettre les éoliennes au régime d'autorisation au titre de la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Conformément à cette réglementation, les exploitants sont notamment amenés à formaliser leur savoir-faire en matière de maîtrise des risques dans une étude de dangers.

L'ordonnance n°2017-80 du 26 janvier 2017 ainsi que les décrets n°2017-81 et 2017-82 relatifs à l'autorisation environnementale introduisent la procédure d'autorisation environnementale pour certains types de projets. Depuis le 1^{er} mars 2017, les parcs éoliens sont désormais soumis à cette procédure qui regroupe les différentes autorisations environnementales auxquelles ils sont soumis.

Ainsi, la présente étude s'inscrit dans une double démarche :

- d'une part réglementaire pour vérifier que les risques des parcs éoliens sont maîtrisés, et cela en toute transparence avec le grand public ;
- d'autre part méthodologique, pour permettre aux exploitants de formaliser et d'améliorer sans cesse les mesures de maîtrise des risques qu'ils mettent en place.

CONTEXTE REGLEMENTAIRE

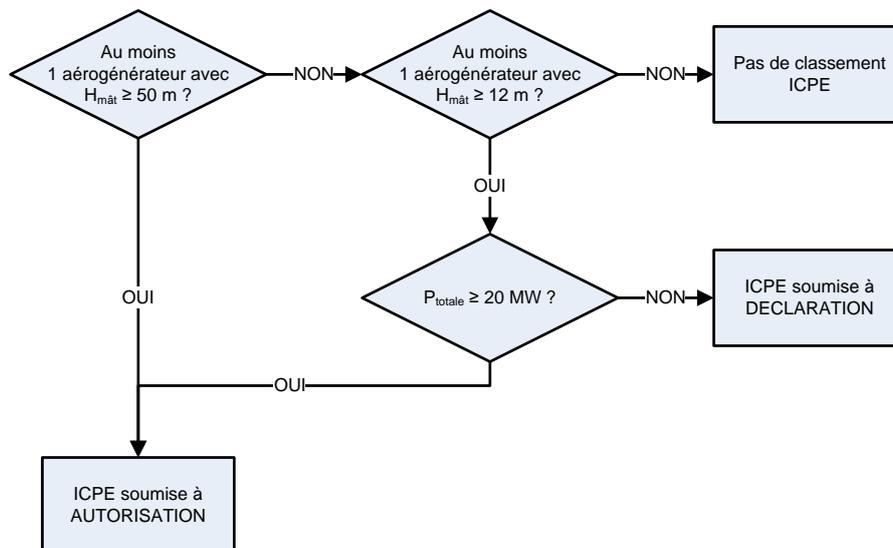
Application du régime des installations classées aux parcs éoliens

En application de la loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, dite loi Grenelle II, les éoliennes sont désormais soumises au régime des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

En effet, l'article 90 de ladite loi précise que « les installations terrestres de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent constituant des unités de production telles que définies au 3° de l'article 10 de la loi n°2000-108 du 10 février 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité, et dont la hauteur des mâts dépasse 50 mètres sont soumises à autorisation au titre de l'article L. 511-2, au plus tard un an à compter de la date de publication de la loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 précitée. »

Le décret n°2011-984 du 23 août 2011, modifiant l'article R. 511-9 du Code de l'environnement, crée la rubrique 2980 pour les installations de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs. Il prévoit deux régimes d'installations classées pour les parcs éoliens terrestres :

- Le régime de autorisation pour les installations comprenant au moins une éolienne dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m et pour les installations comprenant uniquement des éoliennes dont le mât a une hauteur comprise entre 12 et 50 m et dont la puissance totale est supérieure ou égale à 20 MW
- Le régime de déclaration pour les installations comprenant uniquement des éoliennes dont le mât a une hauteur comprise entre 12 et 50 m et dont la puissance totale est inférieure à 20 MW



La réglementation prévoit que, dans le cadre d'une demande d'autorisation environnementale, l'exploitant doit réaliser une étude de dangers.

Enfin, 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 prévoit un certain nombre de dispositions par rapport à l'implantation, la construction, l'exploitation et la prévention des risques. Ces prescriptions nationales sont applicables à tous les nouveaux parcs éoliens et, pour partie, aux installations existantes. Elles devront être prises en compte dans le cadre de l'étude de dangers.

Réglementation relative à l'étude de dangers

Selon l'article L. 512-1 du Code de l'environnement, 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. Les impacts de l'installation sur ces intérêts en fonctionnement normal sont traités dans l'étude d'impact sur l'environnement.

Article L. 512-1 du Code de l'environnement :

Sont soumises à autorisation préfectorale les installations qui présentent de graves dangers ou inconvénients pour les intérêts visés à l'article L. 511-1.

L'autorisation ne peut être accordée que si ces dangers ou inconvénients peuvent être prévenus par des mesures que spécifie l'arrêté préfectoral.

Le demandeur fournit une étude de dangers qui précise les risques auxquels l'installation peut exposer, directement ou indirectement, les intérêts visés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation.

Le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation. En tant que de besoin, cette étude donne lieu à 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.

Elle définit et justifie les mesures propres à réduire la probabilité et les effets de ces accidents.

La délivrance de l'autorisation, pour ces installations, peut être subordonnée notamment à leur éloignement des habitations, immeubles habituellement occupés par des tiers, établissements recevant du public, cours d'eau, voies de communication, captages d'eau, ou des zones destinées à l'habitation par des documents d'urbanisme opposables aux tiers. Elle prend en compte les capacités techniques et financières dont dispose le demandeur, à même de lui permettre de conduire son projet dans le respect des intérêts visés à l'article L. 511-1 et d'être en mesure de satisfaire aux obligations de l'article L. 512-6-1 lors de la cessation d'activité.

Les intérêts visés à l'article L. 511-1 sont la commodité du voisinage, la santé, la sécurité, la salubrité publiques, l'agriculture, la protection de la nature, de l'environnement et des paysages, l'utilisation rationnelle de l'énergie, la conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique. Cependant, il convient de noter que 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] 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 s'intéressera prioritairement aux dommages sur les personnes. Pour les parcs éoliens, les atteintes à l'environnement (notamment le paysage), 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 donc pour objectif de démontrer la maîtrise du risque par l'exploitant. Elle comporte une analyse des risques qui présente les différents scénarios d'accidents majeurs susceptibles d'intervenir. Ces scénarios sont caractérisés en fonction de leur probabilité d'occurrence, de leur cinétique, de leur intensité et de la gravité des accidents potentiels. Elle justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.

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

Article R. 512-9 du Code de l'Environnement :

I. - L'étude de dangers mentionnée à l'article R. 512-6 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.

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 la vulnérabilité des intérêts mentionnés aux articles L. 211-1 et L. 511-1.

II. - Cette étude précise, notamment, la nature et l'organisation des moyens de secours dont le demandeur dispose ou dont il s'est assuré le concours en vue de combattre les effets d'un éventuel sinistre. Dans le cas des installations figurant sur la liste prévue à l'article L. 515-8¹, le demandeur doit fournir les éléments indispensables pour l'élaboration par les autorités publiques d'un plan particulier d'intervention.

L'étude comporte, notamment, un résumé non technique explicitant la probabilité, la cinétique et les zones d'effets des accidents potentiels, ainsi qu'une cartographie des zones de risques significatifs.

Le ministre chargé des installations classées peut préciser les critères techniques et méthodologiques à prendre en compte pour l'établissement des études de dangers, par arrêté pris dans les formes prévues à l'article L. 512-5. Pour certaines catégories d'installations impliquant l'utilisation, la fabrication ou le stockage de substances dangereuses, le ministre chargé des installations classées peut préciser, par arrêté pris sur le fondement de l'article L. 512-5, le contenu de l'étude de dangers portant, notamment, sur les mesures d'organisation et de gestion propres à réduire la probabilité et les effets d'un accident majeur.

III. - Dans le cas des installations figurant sur la liste prévue à l'article L. 515-8, l'étude de dangers est réexaminée et, si nécessaire, mise à jour au moins tous les cinq ans, sans préjudice de l'application des dispositions de l'article R. 512-31. Cette étude, mise à jour, est transmise au préfet.

Enfin, d'autres textes législatifs et réglementaires, concernant les installations classées soumises à autorisation, s'appliquent aux études de dangers, notamment en ce qui concerne les objectifs et la méthodologie à mettre en œuvre :

- **Loi n°2003-699 du 30 juillet 2003** relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages
- **Décret n°2005-1170 du 13 septembre 2005** modifiant le décret n°77-1133 du 21 septembre 1977 pris pour application de la loi n°76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement
- **Arrêté du 10 mai 2000** relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation
- **Arrêté du 29 septembre 2005** modifiant l'arrêté du 10 mai 2000 relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation
- **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.

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

¹ Les installations soumises à la rubrique 2980 des installations classées (parcs éoliens) ne font pas partie de cette liste.

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.

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

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

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

1. PREAMBULE

1.1. OBJECTIF DE L'ETUDE DE DANGERS

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par ENGIE Green pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du parc éolien de Fromentaux, 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 étudié. 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 ce parc éolien, 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.

L'étude de dangers s'articule autour de plusieurs axes :

Identifier les enjeux pour permettre une bonne caractérisation des conséquences des accidents (présence et vulnérabilité de maisons, infrastructures, etc.). Cette étape s'appuie sur une description et caractérisation de l'environnement.

Connaître les équipements étudiés pour permettre une bonne compréhension des dangers potentiels qu'ils génèrent. Cette étape s'appuie sur une description des installations et de leur fonctionnement.

Identifier les potentiels de danger. Cette étape s'appuie sur une identification des éléments techniques et la recherche de leurs dangers. Suit une étape de réduction / justification des potentiels.

Connaître les accidents qui se sont produits sur le même type d'installation pour en tirer des enseignements (séquences des événements, possibilité de prévenir ces accidents, etc.). Cette étape s'appuie sur un retour d'expérience (des accidents et incidents représentatifs).

Analyser les risques inhérents aux installations étudiées en vue d'identifier les scénarios d'accidents possibles (qui se sont produits et qui pourraient se produire). Cette étape utilise notamment les outils d'analyses de risques classiques (tableaux d'Analyse Préliminaire des Risques par exemple).

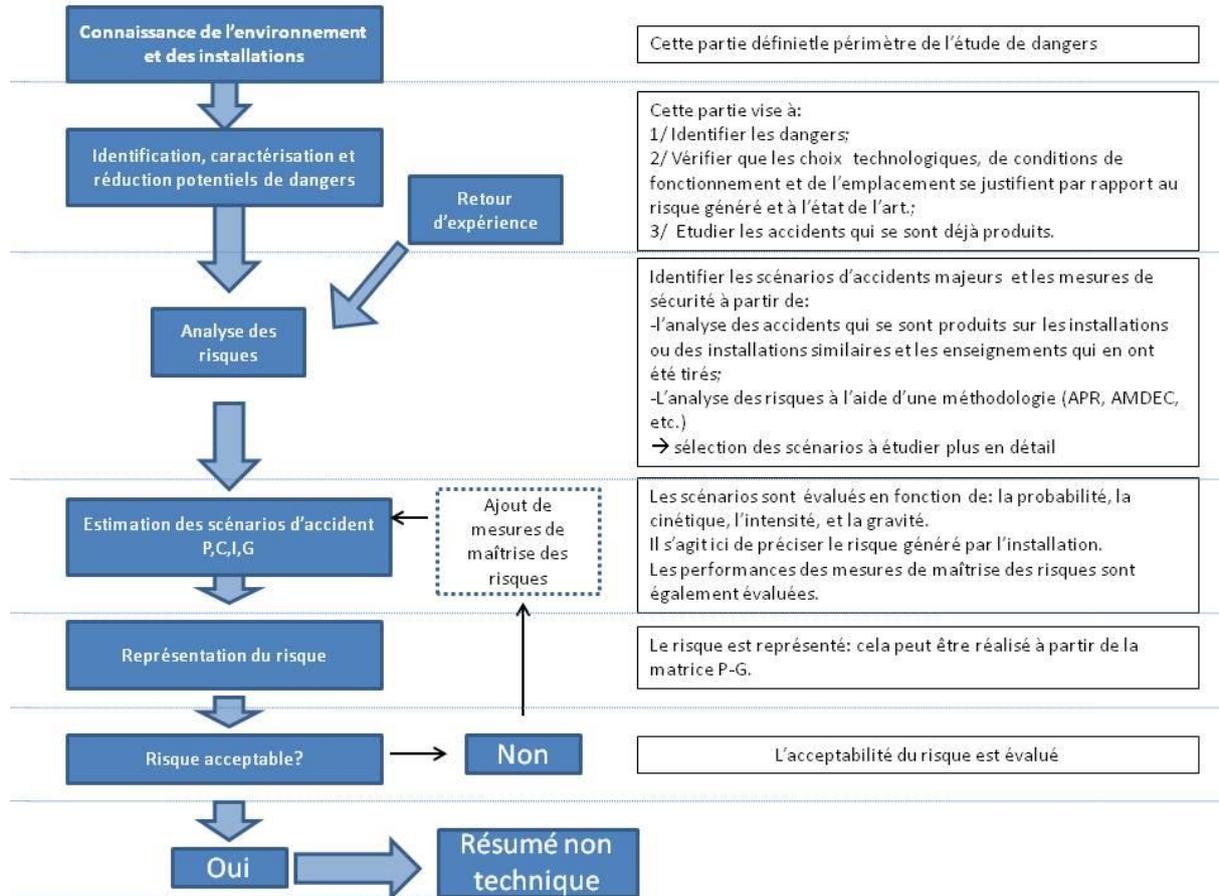
Caractériser et classer les différents phénomènes et accidents en termes de probabilités, cinétique, intensité et gravité. C'est l'étape détaillée des risques, avec mise en œuvre des outils de quantification en probabilité et en intensité / gravité.

Réduire le risque si nécessaire. Cette étape s'appuie sur des critères d'acceptabilité du risque : si le risque est jugé inacceptable, des évolutions et mesures d'amélioration sont proposées par l'exploitant.

Représenter le risque. Cette étape s'appuie sur une représentation cartographique.

Résumer l'étude de dangers. Cette étape s'appuie sur un résumé non technique de l'étude des dangers.

Le graphique ci-dessous synthétise ces différentes étapes et leurs objectifs :



Si la démarche de réduction du risque est considérée comme acceptable, une représentation cartographique et un résumé non-technique sont réalisés.

1.2. NOMENCLATURE ICPE DU PARC EOLIEN DE FROMENTAUX

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°	DESIGNATION DE LA RUBRIQUE	REGIME (1)	RAYON (2)
2980	Installation terrestre de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs :		
	1. Comprenant au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m..... 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 supérieure ou égale à 12 m et pour une puissance totale installée : a) supérieure ou égale à 20 MW..... b) inférieure à 20 MW.....	A	6
		A D	6

(1) A : Autorisation, D : Déclaration.
 (2) Rayon d'affichage en kilomètres.

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

1.3. REDACTEUR DE L'ETUDE

La réalisation de cette étude de danger a été effectuée par Matthieu DAILLAND pour ENCIS Environnement.

Le Bureau d'études d'ENCIS Environnement est spécialisé dans les problématiques environnementales, d'énergies renouvelables et d'aménagement durable. Dotée d'une expérience de plus de dix années dans ces domaines, notre équipe indépendante et pluridisciplinaire accompagne les porteurs de projets publics et privés au cours des différentes phases de leurs démarches.

L'équipe du pôle environnement, composée de géographes, d'écologues et de paysagistes, s'est spécialisée dans les problématiques environnementales, paysagères et patrimoniales liées aux projets de parcs éoliens, de centrales photovoltaïques et autres infrastructures. En 2018, les responsables d'études d'ENCIS Environnement ont pour expérience la coordination et/ou réalisation de plus de soixante-dix études d'impact sur l'environnement pour des projets d'énergie renouvelable (éolien, solaire) et de plus de 25 études de dangers pour des parcs éoliens.

Structure	
Adresse	Parc ESTER Technopole 21 rue Columbia 87068 LIMOGES Cedex
Téléphone	05 55 36 28 39
Rédacteur	Matthieu DAILLAND, Responsable d'études Environnement / ICPE
Correcteur	Elisabeth GALLET-MILONE, Responsable du pôle Environnement/ICPE
Version / date	Octobre 2019

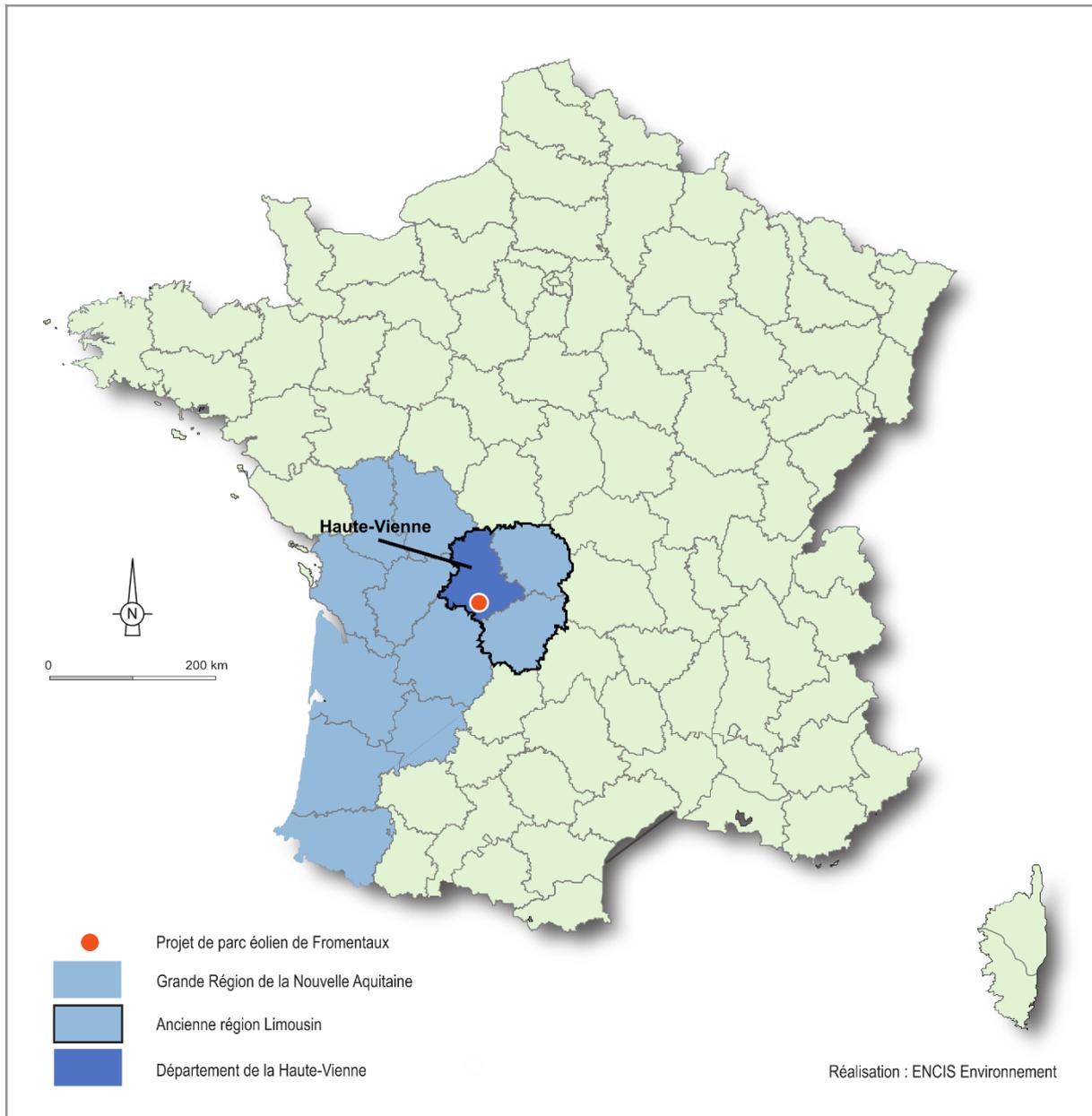
2. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

2.1. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

Le demandeur et exploitant du projet est :
 ENGIE Green Fromentaux
 Le Triade II
 Parc d'activités Millénaire II
 215, rue Samuel Morse
 34000 MONTPELLIER

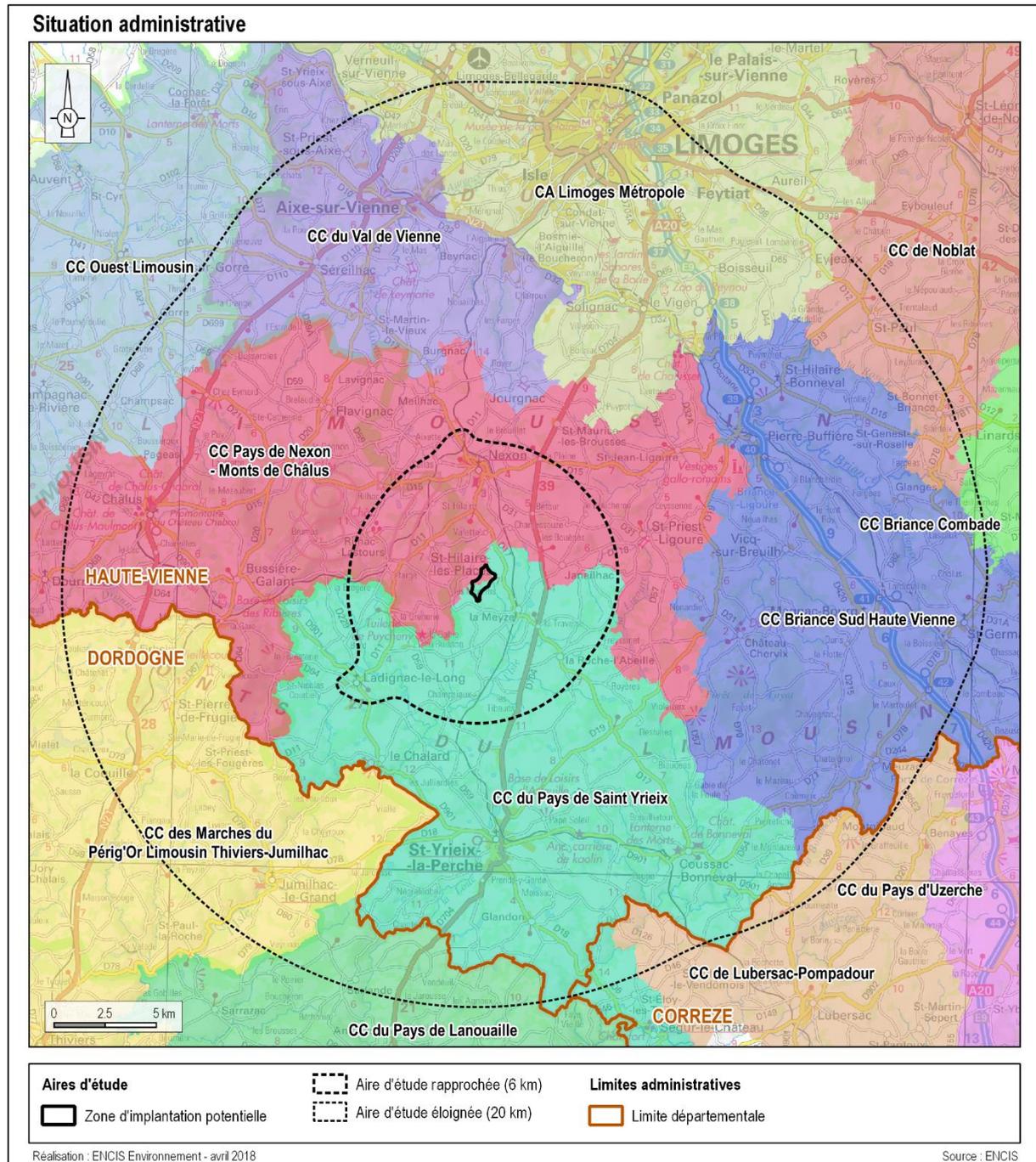
2.2. LOCALISATION DU SITE

Le site d'implantation potentielle du parc éolien est localisé au sein de la grande région de la Nouvelle Aquitaine, dans le département de la Haute-Vienne, sur les communes de La Meyze et de Nexon.



Carte 1 : Localisation du site en France (Source : ENCIS Environnement)

La commune de La Meyze fait partie de la Communauté de Communes du Pays de Saint-Yrieix tandis que la commune de Nexon est dans la Communauté de Communes Pays de Nexon – Monts de Châlus.



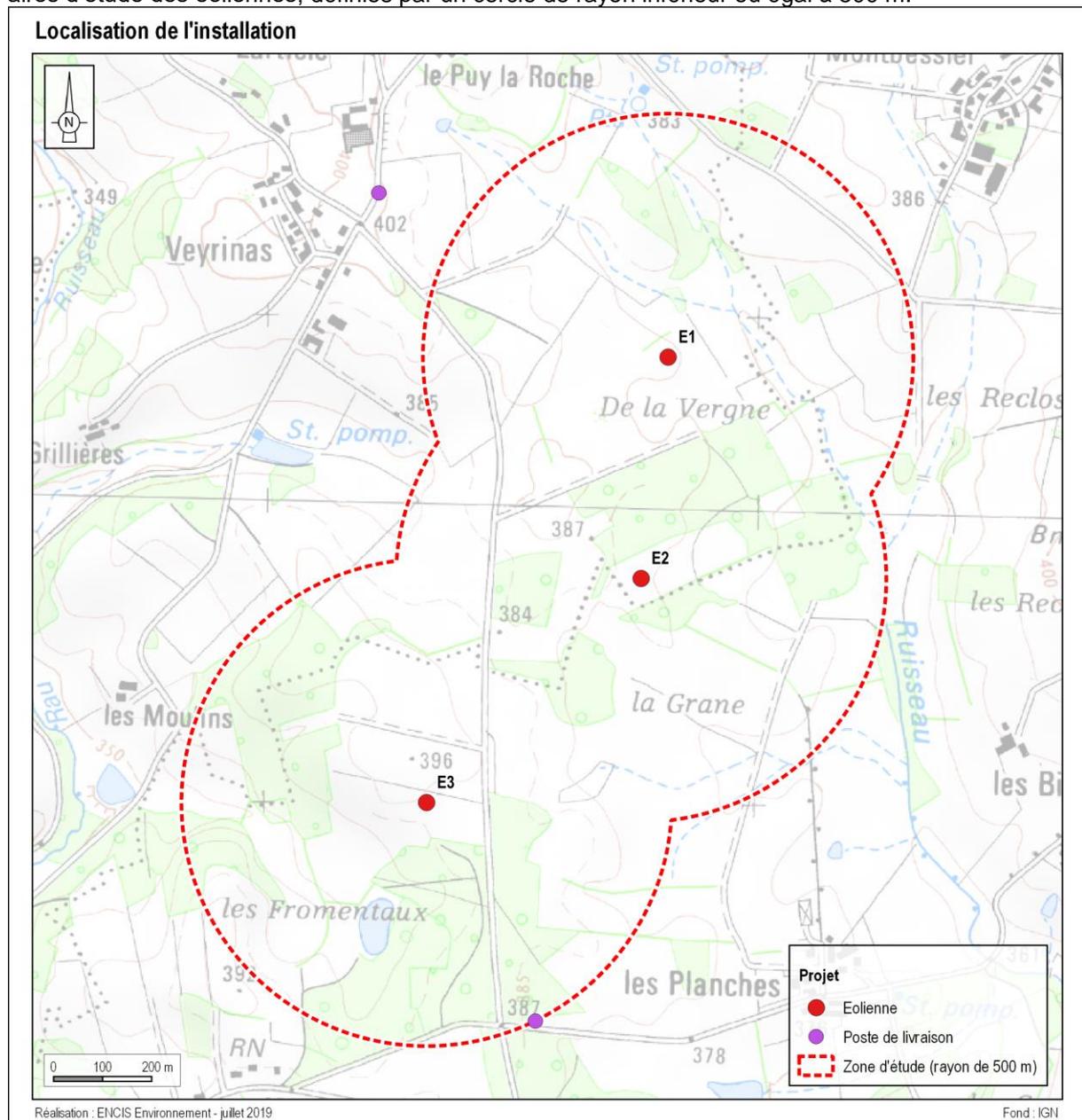
Carte 2 : Localisation du site d'implantation en Haute-Vienne et au sein des structures intercommunales

2.3. DEFINITION DE L'AIRE D'ETUDE

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

Chaque aire d'étude correspond à l'ensemble des points situés à une distance inférieure ou égale à 500 m à partir de l'emprise du mât de l'aérogénérateur. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection, telle que définie au paragraphe 8.2.4.

La zone d'étude n'intègre pas les environs des postes de livraison, qui sont néanmoins représentés sur la carte. Les expertises réalisées dans le cadre des études par l'INERIS et le SER FEE ont en effet montré l'absence d'effet à l'extérieur des postes de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter. Sera appelée dans la suite du document « zone d'étude » les aires d'étude des éoliennes, définies par un cercle de rayon inférieur ou égal à 500 m.



Carte 3 : Carte de situation de l'installation (Source : ENCIS Environnement)

3. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

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

3.1. ENVIRONNEMENT HUMAIN

3.1.1. ZONES URBANISEES

En 2014, la population des communes de La Meyze et de Nexon étaient de respectivement 825 et 2 564 habitants.

Aucune habitation ni zone destinée à l'habitation ne sont présentes dans la zone d'étude. Toutefois, plusieurs lieux-dits sont situés de part et d'autre de cette zone. Le tableau suivant précise la distance des éoliennes par rapport aux premières habitations :

Nom des lieux de vie	Eolienne la plus proche	Distance à l'éolienne
Puyrassou	E3	595 m
Les Moulins	E3	632 m
Veyrinas	E1	654 m
Montbessier	E1	728 m
le Puy la Roche	E1	747 m
Les Biez	E2	797 m
Les Planches	E3	807 m
Maison Neuve	E1	981 m
Les Grillières	E3	999 m

Tableau 1 : Distance des éoliennes par rapport aux premières habitations

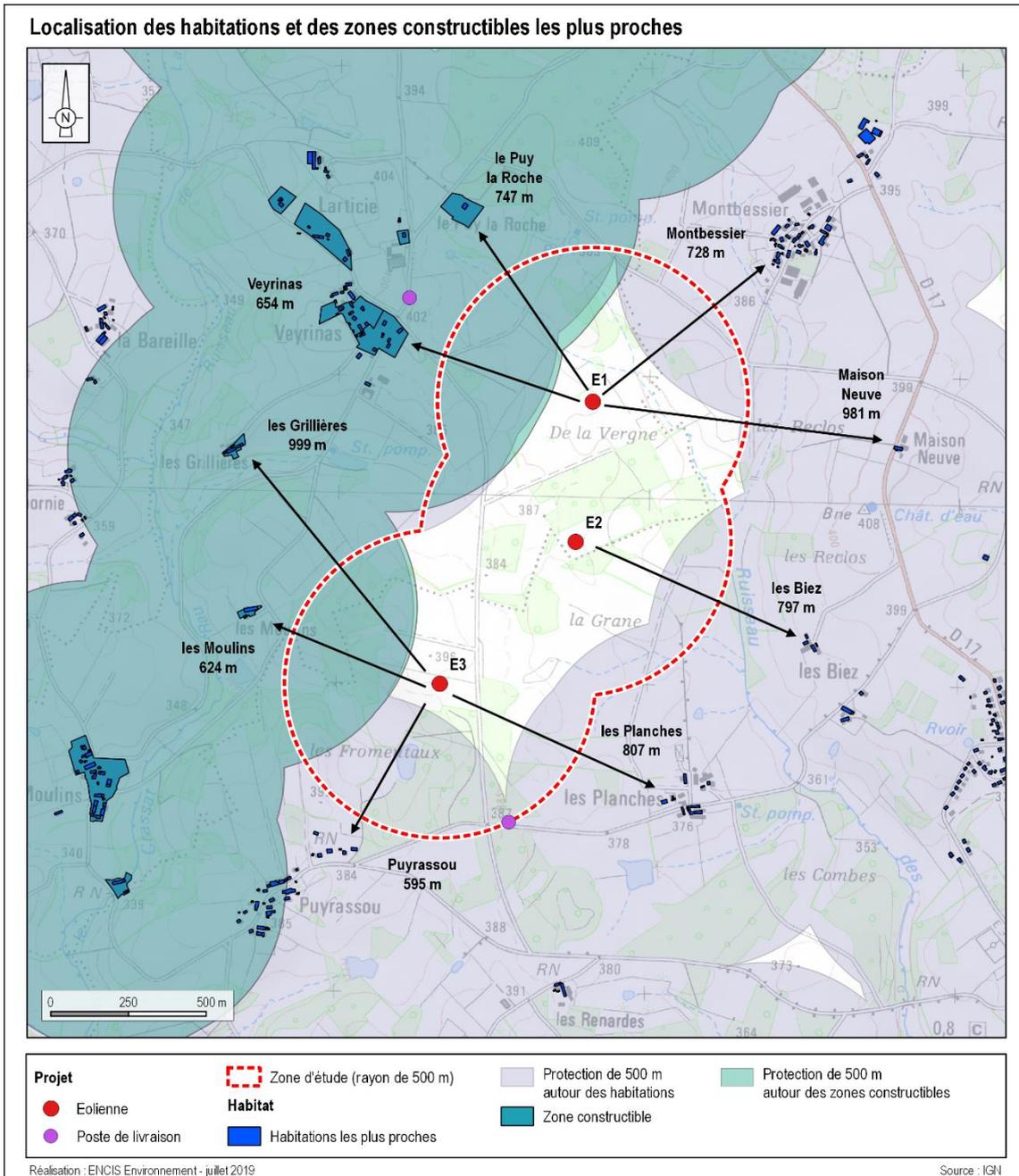
Les habitations les plus proches du projet - Puyrassou - sont localisées à 595 mètres de l'éolienne E3.

La commune de La Meyze n'est pas dotée d'un document d'urbanisme. La commune de Nexon fait l'objet d'un Plan Local d'Urbanisme (PLU) approuvé le 28/02/2007. Un Plan Local d'Urbanisme Intercommunal (PLUi) est en cours de réalisation à l'échelle de la Communauté de Communes Pays de Nexon – Monts de Châlus. Son approbation est prévue pour 2019.

Les zones destinées à l'habitat les plus proches du projet – Les Moulins – sont localisées à 624 mètres de l'éolienne E3.

Zones constructibles	Eolienne la plus proche	Distance à l'éolienne
Les Moulins	E3	624 m
Veyrinas	E1	634 m
Le Puy la Roche	E1	692 m
Les Grillières	E3	980 m

Tableau 2 : Distance des éoliennes par rapport aux premières zones destinées à l'habitat



Carte 4 : Carte des habitations les plus proches de la zone d'étude (Source : ENCIS Environnement)

3.1.1.ÉTABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC (ERP)

Aucun ERP n'est présent dans les limites de la zone d'étude.

3.1.2. INSTALLATIONS CLASSEES POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (ICPE) ET INSTALLATIONS NUCLEAIRES DE BASE

D'après la consultation de la base de données du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, trois Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) sont recensées sur les communes de la zone d'étude.

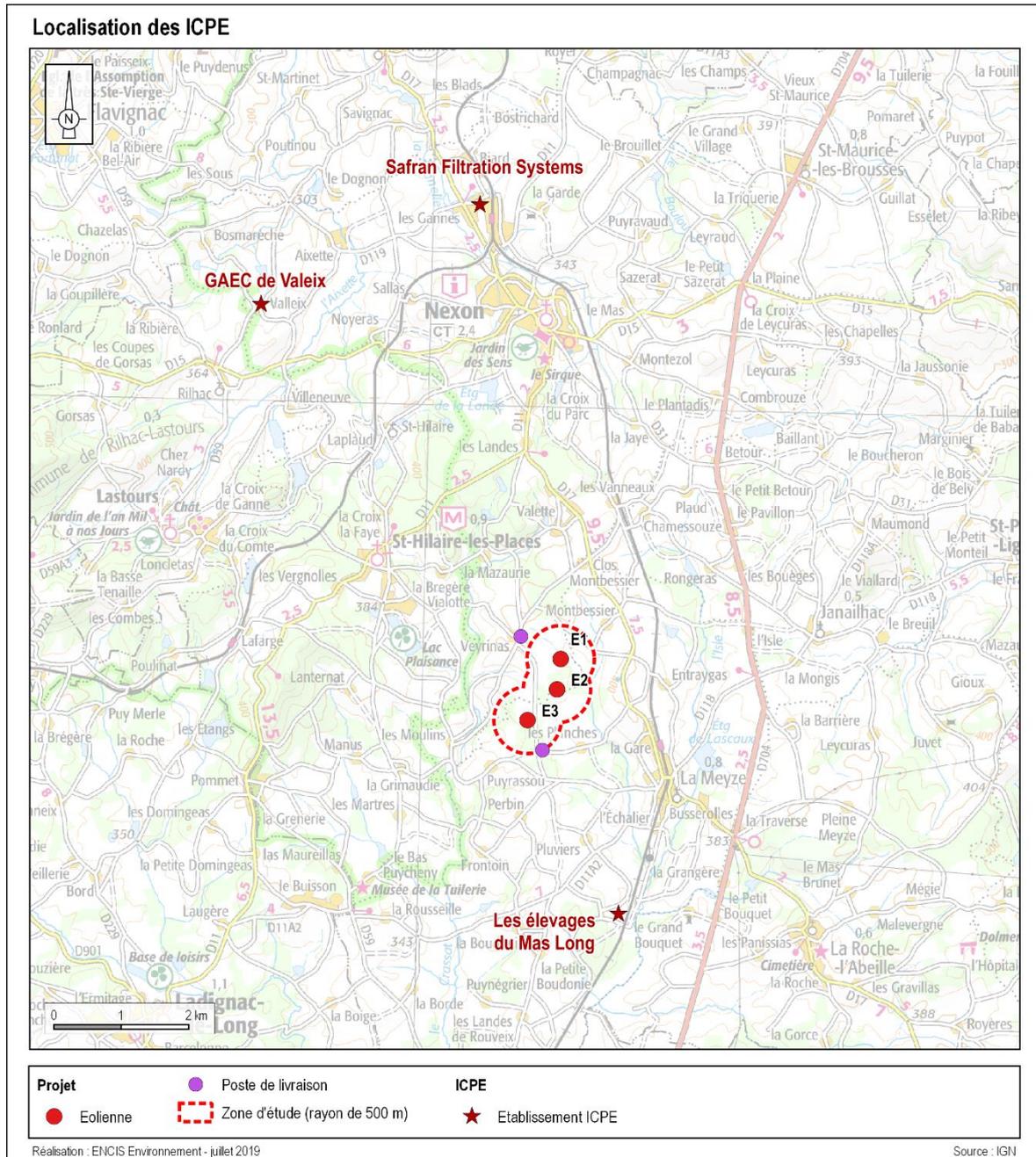
Sites	Type d'activité	Commune	Distance à la première éolienne	Etat d'activité	Régime	Statut Seveso
SAS LES ELEVAGES DU MAS LONG	Culture et production animale, chasse et services annexes	La Meyze	2,7 km	En fonctionnement	Autorisation	Non Seveso
SAFRAN FILTRATION SYSTEMS	Fabrication d'autres matériels de transport	Nexon	6,5 km	Fermé	Autorisation	Non Seveso
GAEC DE VALEIX	Culture et production animale, chasse et services annexes	Nexon	6,6 km	En fonctionnement	Enregistrement	Non Seveso

Tableau 3 : Liste des ICPE présentes sur les communes de la zone d'étude

L'ICPE la plus proche est une exploitation agricole localisée sur la commune de La Meyze, à 3,2 km au sud-est de l'éolienne E3. Le projet de parc éolien n'est pas susceptible d'entrer en interaction de façon significative avec les risques technologiques recensés sur ces Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.

Aucun site « SEVESO » (seuil haut ou bas) ne se situe sur les communes concernées par le projet éolien.

Il n'y a pas d'installation nucléaire dans la zone d'étude ou à proximité, la plus proche se situe à Civaux, à 100 km au nord-ouest du site éolien.



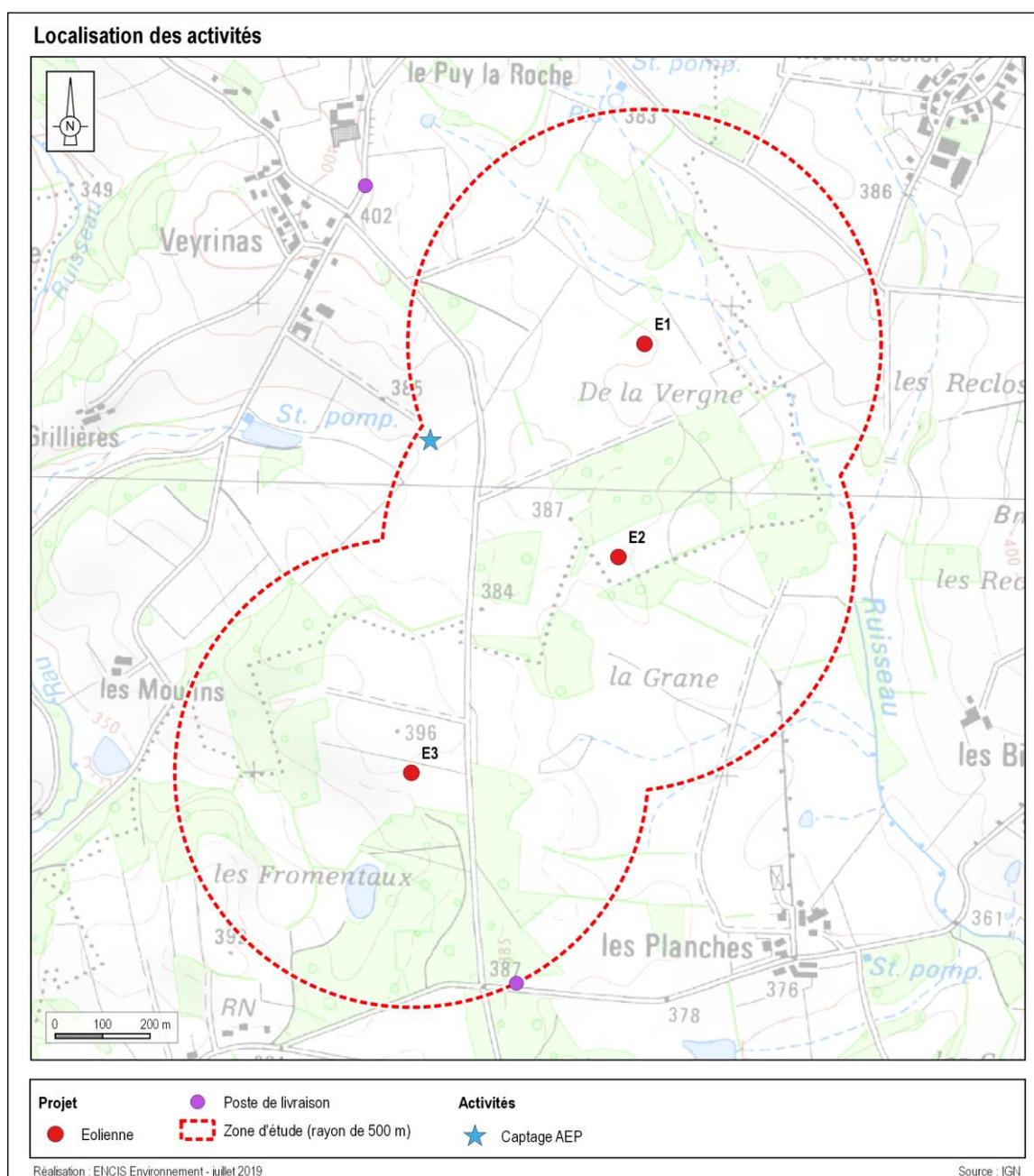
Carte 5 : Carte des ICPE les plus proches de la zone d'étude
 (Sources : Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, ENCIS Environnement)

3.1.1. AUTRES ACTIVITES

Aucun bâtiment agricole n'est référencé au sein de la zone d'étude.

Un captage d'alimentation en eau potable est localisé au sein de la zone d'étude, à 468 m au nord-ouest de l'éolienne E2.

Aucun chemin de randonnée n'est identifié au sein de la zone d'étude. L'itinéraire de randonnée le plus proche se trouve à 1,7 km au sud-est de l'éolienne E3.



Carte 6 : Carte des activités les plus proches de la zone d'étude (Source : ENCIS Environnement)

3.2. ENVIRONNEMENT NATUREL

3.2.1. CONTEXTE CLIMATIQUE

Situé à 200 km du littoral océanique, le Limousin est la première marche du Massif Central. La région offre donc un climat océanique, pluvieux et frais, fortement modulé par le relief. En effet, la pluviométrie moyenne en Limousin atteint 1 000 mm, la moyenne française étant de 800 mm. Mais une observation à une échelle géographique plus fine fait apparaître une nette corrélation entre l'orographie et la pluviosité : seulement 800 mm/an en Basse Marche à 200 m d'altitude contre plus de 1 700 mm sur le plateau de Millevaches à 900 m d'altitude.

Le climat de la Haute-Vienne est plutôt modéré : relativement doux en hiver, peu de chutes de neige, peu de fortes chaleurs en été, des pluies bien réparties sur l'année et un vent moyen.

Notons toutefois quelques contraintes climatiques : l'irrégularité des pluies d'une année sur l'autre (excès d'eau et stress hydrique) et leur fréquence. L'agriculture locale subit ces contraintes climatiques, si bien que, sur les hautes terres, cela a entraîné une reconversion de l'agriculture vers la sylviculture.

La station météorologique la plus proche disposant du plus d'informations est la station automatique de Saint-Yrieix-la-Perche située à environ 14 km au sud du site. Elle nous renseigne sur les caractéristiques climatiques essentielles de la zone d'étude. Non disponibles à cette station, les données de neige, grêle, brouillard, orage et insolation ont été fournies par la station de Limoges-Bellegarde, située à environ 25 km au nord de la zone d'étude.

Les températures

A la station de Saint-Yrieix-la-Perche, la température moyenne annuelle est de 11,6°C. L'amplitude thermique reste modérée, de l'ordre de 14,8 °C. La température record minimale a été enregistrée en février 2012 et était de -12,8°C ; le record maximal a été de 38,2°C (août 2003).

D'après cette même station, en moyenne sur la période 1994 - 2010, il y a eu 41,2 jours de gel par an (jour avec des températures inférieures à 0°C).

Les précipitations

Les précipitations enregistrées à la station de Saint-Yrieix-la-Perche sont de 1 164,2 mm/an. A la station de Limoges Bellegarde, on compte 7 jours en moyenne avec des chutes de neige entre 1981 et 2010.

Le vent

D'après l'analyse de la rose des vents de Saint-Yrieix-la-Perche, les vents dominants suivent principalement un axe sud-ouest / nord-est.

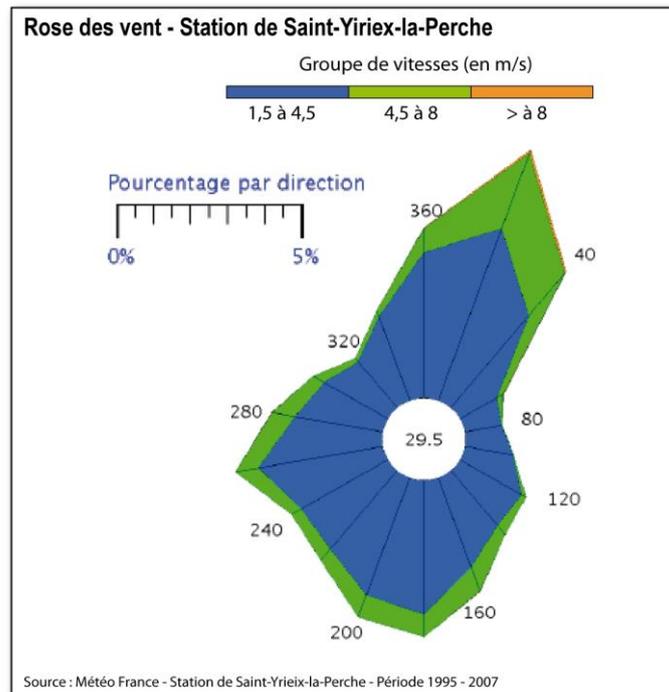


Figure 1 : Rose des vents de la Station de Saint-Yrieix-la-Perche (Source : Météo France)

3.2.2. RISQUES NATURELS

Cette partie de l'étude de dangers a pour but de lister les différents risques naturels identifiés dans la zone d'étude qui sont susceptibles de constituer des agresseurs potentiels pour les éoliennes. Des données plus précises sont mises à disposition dans l'étude d'impact sur l'environnement.

Le risque sismique

Selon le décret n°2010-1255, le territoire national est divisé en cinq zones de sismicité croissante en fonction de la probabilité d'occurrence des séismes :

- Zone de sismicité 1 (très faible) ;
- Zone de sismicité 2 (faible) ;
- Zone de sismicité 3 (modéré) ;
- Zone de sismicité 4 (moyenne) ;
- Zone de sismicité 5 (forte).

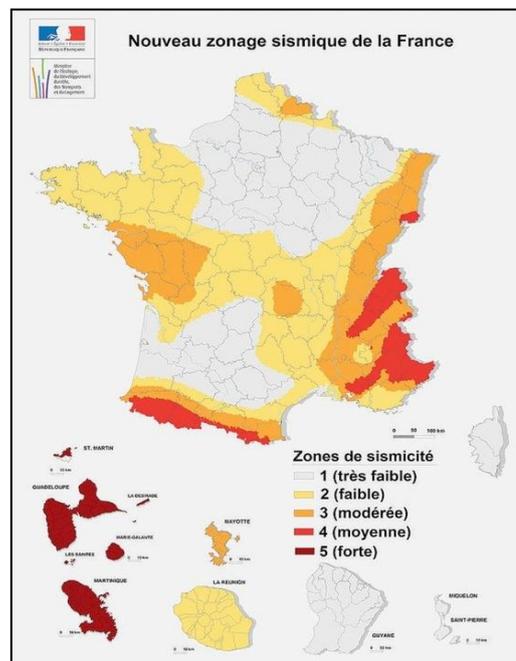


Figure 2 : Carte du zonage sismique en France (source Ministère de l'écologie)

D'après les décrets n°2010-1254 et n°2010-1255, les communes du périmètre des 500 m sont en zone de sismicité 2 soit une probabilité d'occurrence des séismes faible.

D'après la base de données Sis France, plusieurs séismes ont été ressentis sur les communes de la zone d'étude :

Séismes ressentis sur les communes de la zone d'étude				
Commune	Date	Région/pays de l'épicentre	Intensité épicentrale	Intensité communale ressentie
Le Meyze	6 Novembre 1978	PLATEAU DU LIMOUSIN (CHALUS)	5,5	3,5
	8 Septembre 1976	PLATEAU DU LIMOUSIN (S-W. ORADOUR-SUR-VAYRES)	5	4,5
	7 Avril 1968	BASSE-MARCHE (CHATEAUPONSAC)	4,5	3
	26 Septembre 1925	MARCHE-BOISCHAUT (CHATEAUMEILLANT-LA CHATRE)	6,5	0
Nexon	8 Juin 2001	BOCAGE VENDEEN (CHANTONNAY)	5	0
	6 Novembre 1978	PLATEAU DU LIMOUSIN (CHALUS)	5,5	5
	8 Septembre 1976	PLATEAU DU LIMOUSIN (S-W. ORADOUR-SUR-VAYRES)	5	3,5
	7 Septembre 1972	ILE D'OLERON	7	2
	7 Avril 1968	BASSE-MARCHE (CHATEAUPONSAC)	4,5	3,5
	20 Juillet 1958	ILE D'OLERON	6	3
	12 Septembre 1955	HAUTE-MARCHE (ST-SULPICE-LES-FEUILLES)	5	3,5
	28 Septembre 1935	ANGOUMOIS (ROUILLAC)	7	4,5
	3 Décembre 1925	MARCHE-BOISCHAUT (LA CHATRE)	6	0
	26 Septembre 1925	MARCHE-BOISCHAUT (CHATEAUMEILLANT-LA CHATRE)	6,5	3

Tableau 4 : Séismes ressentis sur les communes du parc éolien

L'épicentre le plus proche se trouve à 17,8 km au nord-ouest de l'éolienne E1 et la zone d'étude est en zone de sismicité 2, correspondant à un risque faible. De plus, le risque de séisme ne constitue pas un risque majeur selon le DDRM 87.

Le risque mouvements de terrain

En ce qui concerne les mouvements de terrain, les bases de données du BRGM (Bureau de Recherches Géologiques et Minières) ont été consultées. Le terme de mouvement de terrains regroupe les glissements, éboulements, coulées, effondrements de terrain et érosions de berges. 169 mouvements de terrain ont été recensés en Haute-Vienne. Les communes les plus touchées sont Limoges, Saint-Sylvestre, Compreignac et Razès, avec respectivement 29, 18, 11 et 10 mouvements de terrain recensés.

La zone d'étude n'est pas concernée par des mouvements de terrain recensés dans les bases de données. Le mouvement de terrain le plus est localisé à 6,2 km au sud de l'éolienne E3. Il s'agit d'un cas d'effondrement.

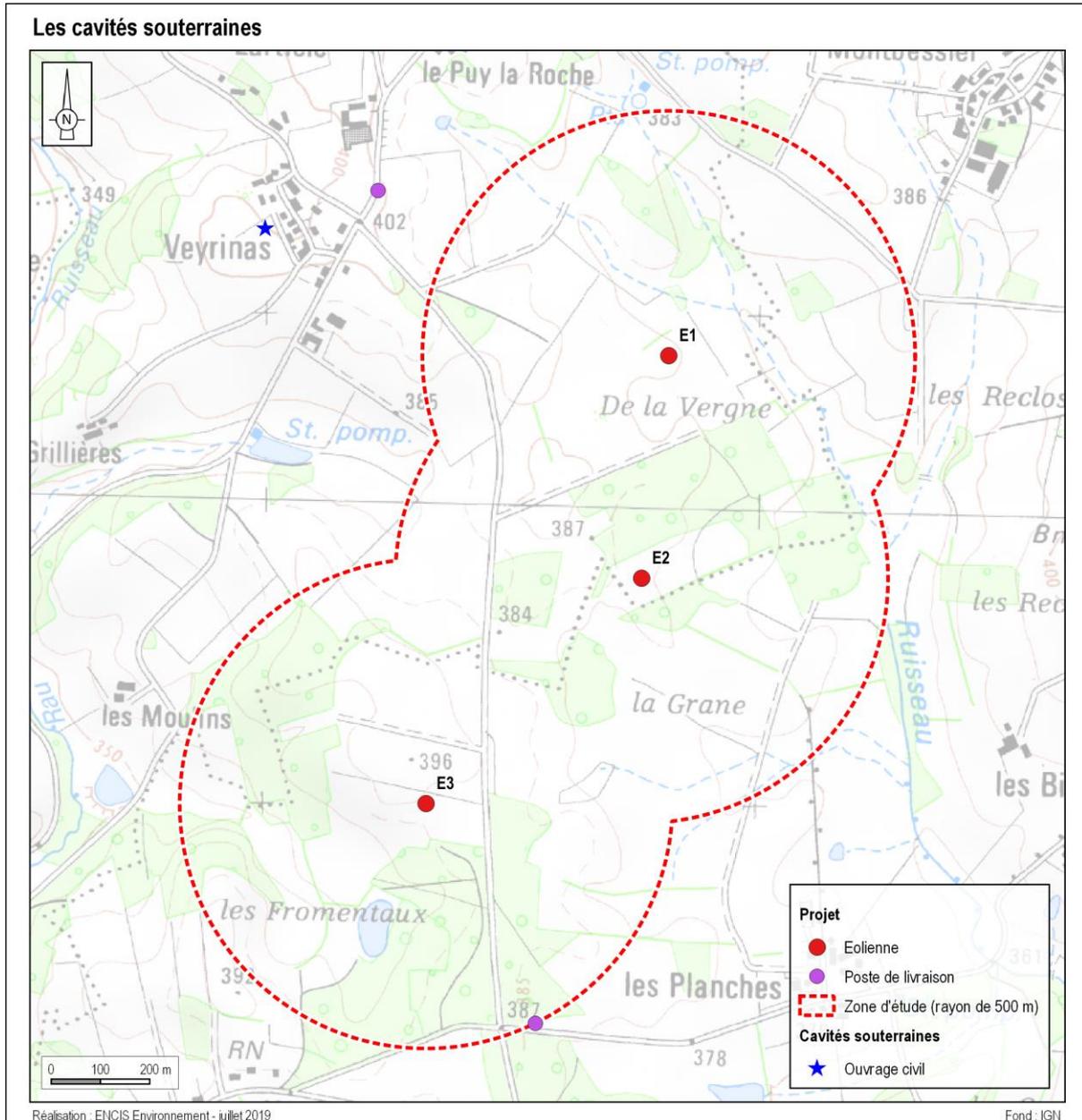
Le risque de mouvement de terrain existe en Haute-Vienne. Les bases de données ne démontrent pas de mouvement de terrain connus sur le secteur. Néanmoins les études géotechniques préalables à la construction du projet permettront de statuer précisément sur ce risque et de dimensionner les fondations en fonction.

Le risque cavités souterraines

Des dommages importants peuvent être liés à l'effondrement de cavités souterraines. La base BDCavité mise en place par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable et gérée par le BRGM permet le recueil, l'analyse et le porter à connaissance des informations relatives à la présence de cavités.

Aucune cavité souterraine n'a été recensée au sein de la zone d'étude. La cavité la plus proche se trouve au lieu-dit de Veyrinas. Il s'agit d'un ouvrage civil localisé à une distance de 859 m au nord-ouest de l'éolienne E1.

D'après la base de données du BRGM, le site à l'étude n'est pas concerné par une cavité à risque. Les études géotechniques préalables à la construction du projet devront permettre de statuer précisément sur ce risque et de dimensionner les fondations en fonction.



Carte 7 : Cavités souterraines proches du site

Aléa retrait-gonflement des argiles

Les sols argileux voient leur consistance se modifier en fonction de leur teneur en eau. Ces modifications se traduisent par une variation de volume. En climat tempéré, les argiles sont souvent proches de leur état de saturation et donc de leur état de gonflement. En revanche, en période sèche, les mouvements de retrait peuvent être importants. Ce phénomène naturel résulte de plusieurs éléments :

- la nature du sol (sols riches en minéraux argileux « gonflants »),
- les variations climatiques (accentuées lors des sécheresses exceptionnelles),
- la végétation à proximité de la construction, des fondations pas assez profondes et/ou l'absence de structures adaptées lors de la construction...

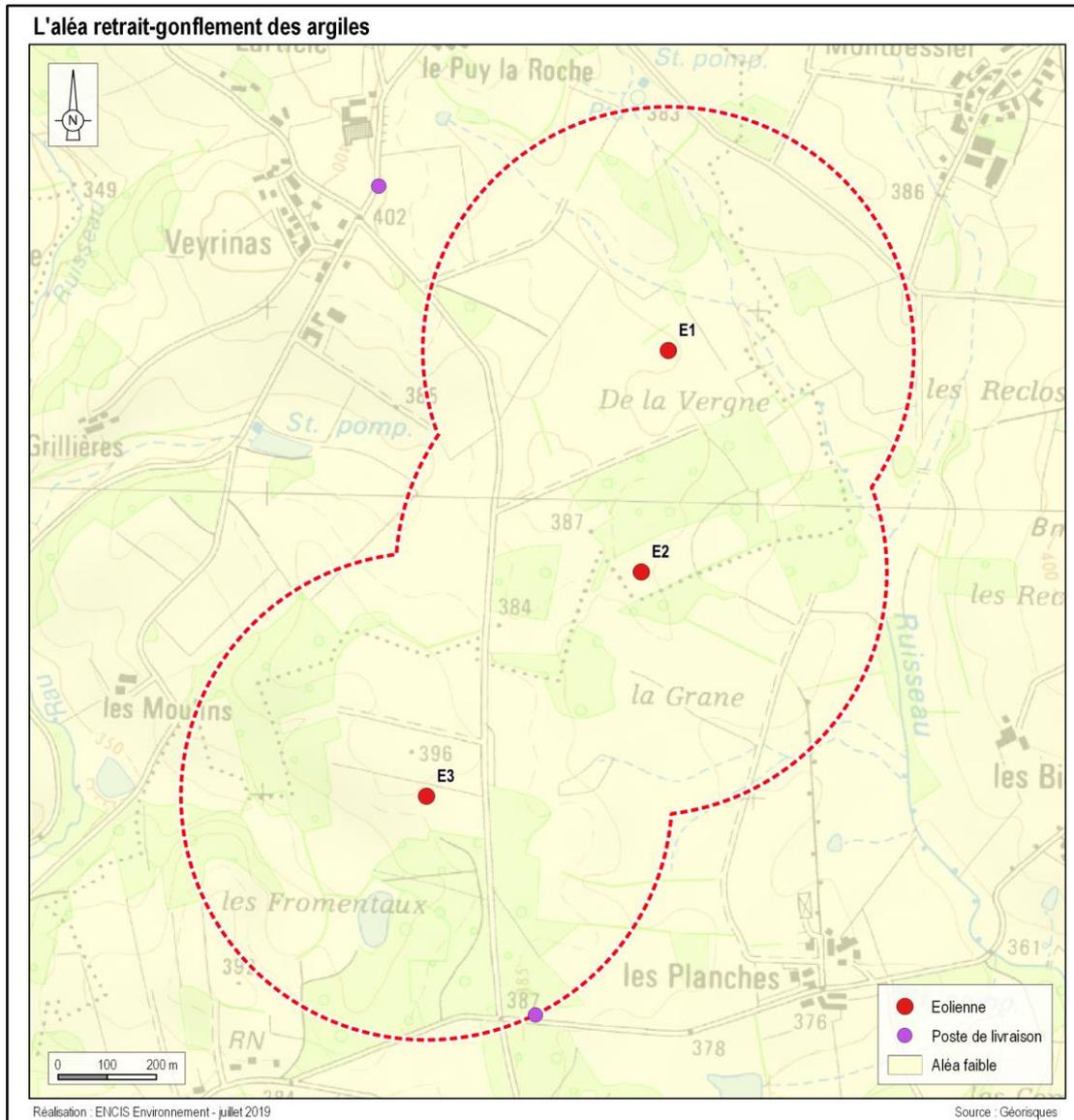
A la demande du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, le BRGM a élaboré des cartes d'aléa retrait-gonflement d'argiles par département ou par commune.

Ces cartes ont pour but de délimiter toutes les zones qui sont a priori sujettes au phénomène de retrait-gonflement d'argiles et de hiérarchiser ces zones selon un degré d'aléa croissant :

- aléa fort : correspond aux zones où la probabilité de l'aléa est la plus élevée et où l'intensité des phénomènes est la plus forte,
- aléa moyen : correspond aux zones intermédiaires de potentialité d'aléa,
- aléa faible : correspond aux zones où la probabilité de l'aléa est possible en cas de sécheresse importante mais une faible proportion des bâtiments seraient touchés,
- aléa nul : correspond aux zones où les données n'indiquent pas de présence d'argiles.

Le Limousin n'est pas une région concernée par des catastrophes naturelles liées aux retraits-gonflements d'argile. Néanmoins, la totalité de la zone d'étude est concernée par un aléa retrait-gonflement d'argile qualifié de faible par la modélisation du BRGM (cf. carte page suivante).

Le projet de Fromentaux se trouve dans un secteur qualifié par un aléa faible. Des sondages géotechniques permettront, en amont de la construction, de préciser la nature argileuse des sols et le risque associé et devront toutefois être pris en compte pour le dimensionnement des fondations.



Carte 7 : Zones de retrait et de gonflement des argiles (source : Géorisques)

Le risque Foudre

La meilleure représentation actuelle de l'activité orageuse est la densité d'arcs qui est le nombre d'arcs de foudre au sol par km² et par an.

La valeur moyenne de la densité d'arcs, en France, est de 1,57 arcs/km²/an. La zone d'étude présente un nombre d'impacts situé, pour la période 2000-2009, entre 1 et 2 impacts par km² par an. Il s'agit d'une valeur modérée, les valeurs très fortes dépassant les 2 impacts par km² par an.

La foudre ne représente pas de risque majeur sur le site.

Le risque tempêtes

Une tempête correspond à l'évolution d'une perturbation atmosphérique, ou dépression, le long de laquelle s'affrontent deux masses d'eau aux caractéristiques distinctes (température, teneur en eau).

De cette confrontation naissent notamment des vents pouvant être très violents. On parle de tempête lorsque les vents dépassent 89 km/h. Elle peut être accompagnée d'orages donnant des éclairs et du tonnerre, ainsi que de la grêle et des tornades.

Le DDRM 87 indique que « *La Haute-Vienne est essentiellement exposée au risque de tempête l'hiver en raison de sa relative proximité du littoral atlantique et de son relief exposé aux vents dominants d'ouest.*

Les tempêtes hivernales recensées dans le département n'occasionnent généralement que des dégâts matériels limités aux constructions et aux massifs forestiers.

Les dernières tempêtes majeures ont eu lieu, comme dans de nombreuses parties du territoire français :

- *en décembre 1999 (tempête Martin),*
- *en février 2009 (tempête Klaus),*
- *en janvier 2010 (tempête Xynthia).*

Ces épisodes particulièrement violents ont touché une majeure partie des communes du département.»

La station de Saint-Yrieix-la-Perche a enregistré des vitesses de vent maximales de 31,8 m/s en septembre 2011.

Les tempêtes ne représentent pas de risque majeur sur le site.

Les épisodes neigeux

Un épisode neigeux peut être qualifié d'exceptionnel pour une région donnée, lorsque la quantité ou la durée des précipitations est telle qu'elles provoquent une accumulation non habituelle de neige au sol entraînant notamment des perturbations de la vie socio-économique.

La Haute-Vienne est essentiellement exposée au risque d'épisodes neigeux exceptionnels en raison des nombreuses précipitations hivernales qui la concernent (du fait de la proximité du littoral atlantique et de son relief exposé aux vents dominants d'ouest) pouvant aisément devenir neigeuses à l'occasion d'une baisse des températures.

Le risque incendies

D'après le Dossier Départemental des Risques Majeurs (2012), en application de la loi 2001- 602 du 9 juillet 2001 d'orientation sur la forêt et, conformément à l'article L 321.6 du Code Forestier, le département de la Haute-Vienne n'est pas considéré comme un département situé dans une région particulièrement exposée aux risques d'incendie de forêts et n'est donc pas soumis à l'élaboration d'un Plan de Prévention des Incendies de Forêt.

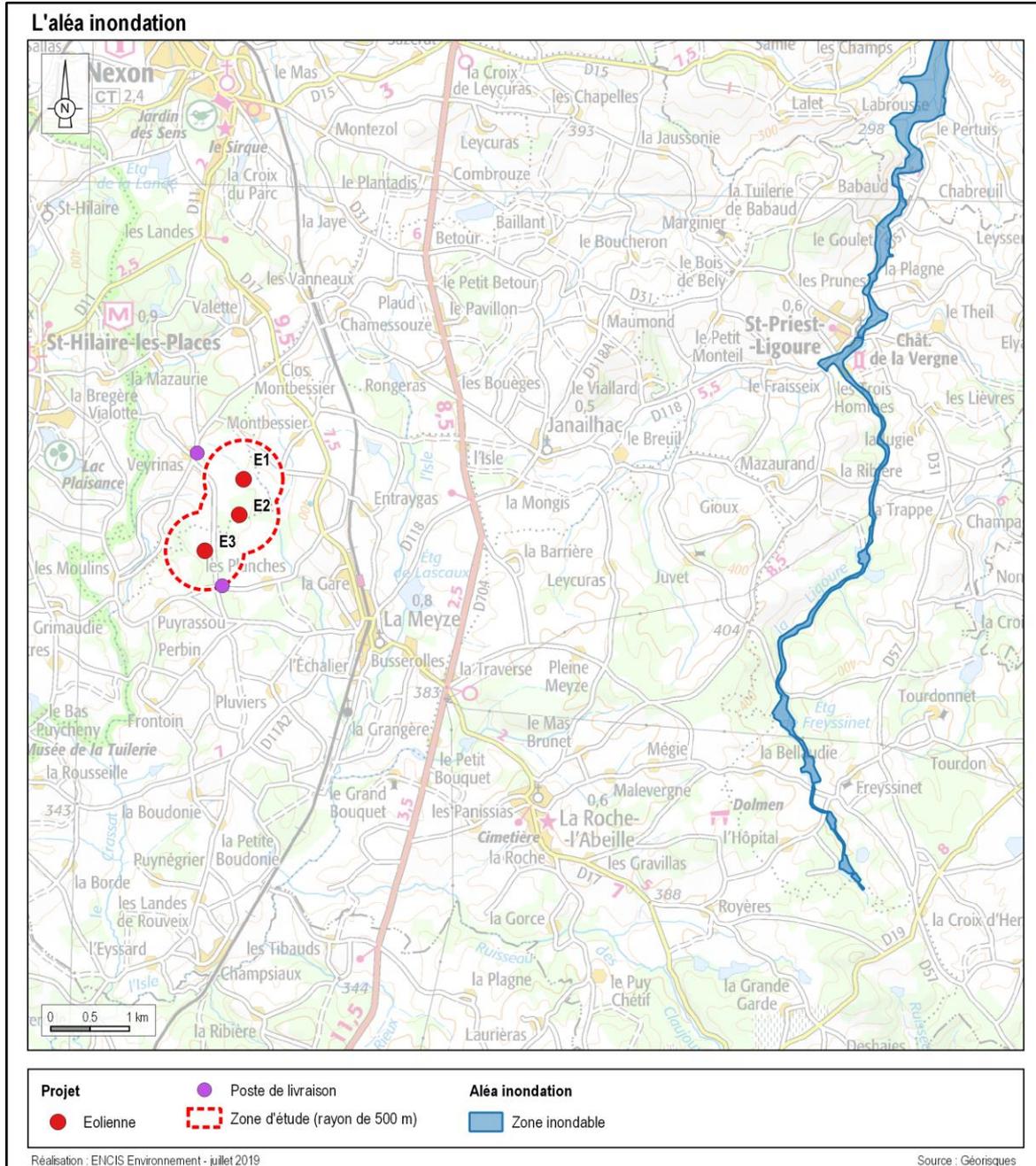
Plusieurs boisements sont présents dans la zone d'étude.

Aucune commune du département n'est répertoriée à risque majeur feux de forêts. La zone d'étude n'est par conséquent pas en risque feu de forêt. Dans sa réponse datée du 25/04/2018, le SDIS de la Haute-Vienne signale qu'elle n'émet aucune observation particulière concernant le projet. Les conditions de sécurité classiques (distance par rapport aux habitations, accessibilité du site, respect de la réglementation en matière de sécurité,...) seront néanmoins respectées.

Le risque inondations

Les risques d'inondation ont été recensés grâce à la base de données du portail de la prévention des risques majeurs et au Dossier Départemental des Risques Majeurs (2012). Les zones à risque les plus proches concernent la rivière de la Ligoure, située à l'est du projet. Ces zones se situent au plus proche à 7 km à l'est de l'éolienne E2 et ont une altitude comprise entre 275 m et 350 m. En comparaison, le projet a une altitude minimale de 384 m.

Le site de Fromentaux n'est donc pas exposé au risque inondation.

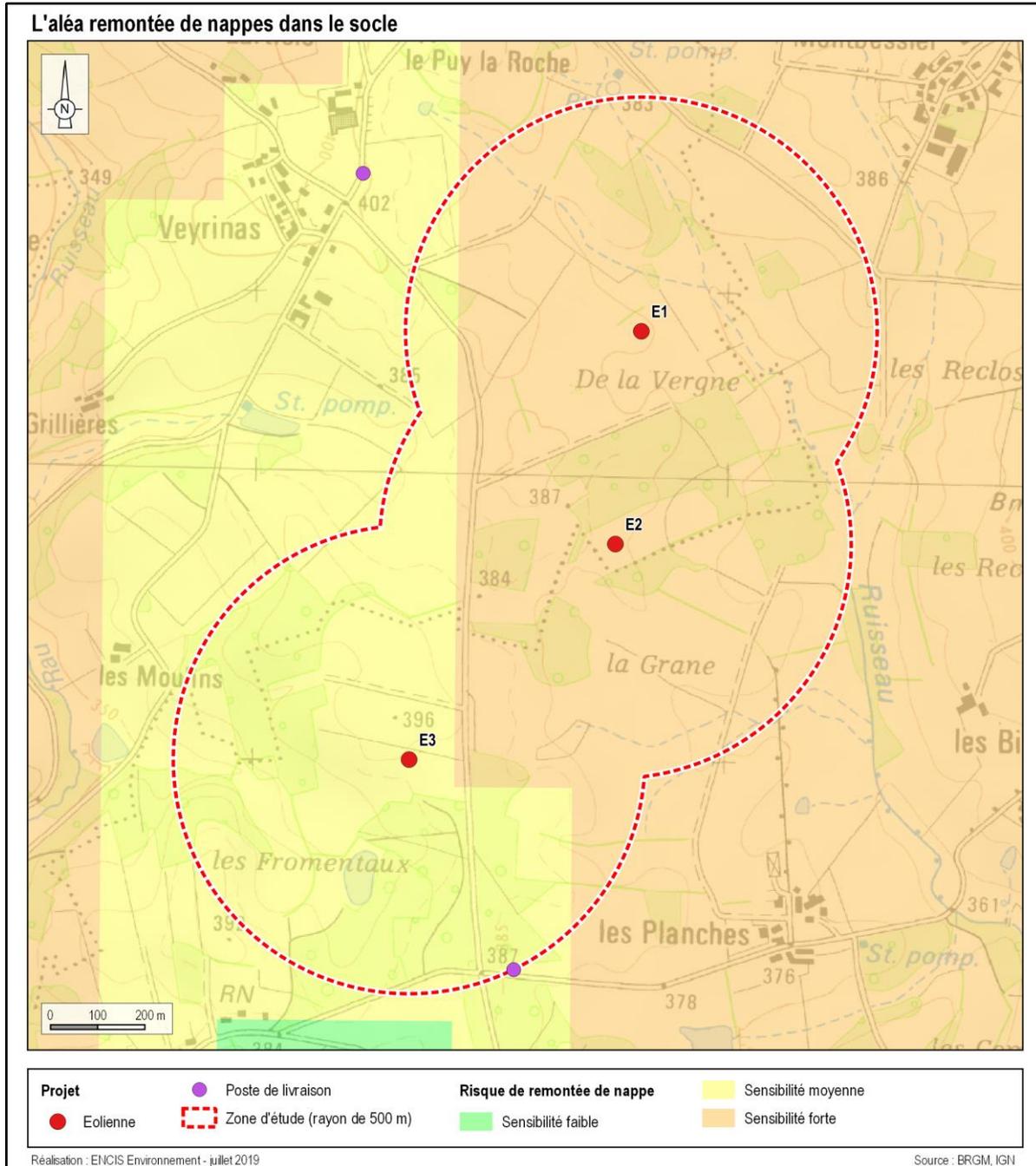


Carte 8 : Zones d'aléa inondation proches du site

Le risque remontée de nappes

D'après le BRGM, le risque de remontée de nappe dans le sédimentaire est nul. Le risque de remontée de nappe dans le socle concerne la totalité de la zone d'étude. La sensibilité est moyenne au niveau de l'éolienne E3 et forte pour les éoliennes E1 et E2.

La zone d'étude est classée en zone de sensibilités « moyenne » à « forte » vis-à-vis des inondations par remontées de nappes dans le socle. Des sondages géotechniques devront être réalisés avant la construction du projet afin d'adapter les modalités de mise en place des fondations. Dans le cas peu probable de fondations renforcées en profondeur, des mesures devront être prévues par un hydrogéologue.



Carte 9 : Zones de sensibilité aux inondations par remontées de nappes de socle

3.3. ENVIRONNEMENT MATERIEL

3.3.1. VOIES DE COMMUNICATION

Dans cette partie de l'étude de dangers sont répertoriés l'ensemble des réseaux de communication présents dans la zone d'étude.

Le transport routier

L'autoroute la plus proche est l'autoroute A20. Elle se trouve à 14,7 km au nord-est de l'éolienne E1. Globalement, aucune des voies de communication principales recensées dans le secteur du projet ne concerne la zone d'étude. La route départementale la plus proche est la D17, à 960 m à l'est de l'éolienne E1. D'après le recensement de la circulation sur les routes de la Haute-Vienne effectué par le Conseil Départemental, le trafic moyen journalier annuel sur le tronçon de la D17 situé à proximité de la zone d'étude est compris entre 1 000 et 3 000 véhicules par jour.

A une échelle plus fine, on note que la zone d'étude est traversée par trois routes communales et par quelques chemins ruraux.

Le transport ferroviaire

La voie ferrée la plus proche est la ligne reliant Limoges au nord et Brive-la-Gaillarde au sud. Elle est au plus proche à 1,4 km à l'est de l'éolienne E1.

Le transport fluvial

Aucun cours d'eau navigable, aucun canal et écluse ne sont présents sur la zone d'étude.

Le transport aérien

Le projet éolien est en dehors des servitudes aéronautiques de dégagements et de couloirs aériens militaires.

Le projet éolien n'est pas concerné par une servitude ou une contrainte aéronautique civile rédhibitoire.

Les éoliennes se situent en dehors de zone de protection de radar.

Aucune zone de vol privée ne se situe dans un périmètre de 2 km autour du site.

L'aérodrome le plus proche est celui de Limoges-Bellegarde, situé à 25 km au nord du projet.

3.3.2. RESEAUX PUBLICS ET PRIVES

Dans cette partie sont recensées les principales installations publiques présentes dans les limites de la zone d'étude.

Le transport d'électricité

Aucune ligne THT ne concerne la zone d'étude. La plus proche se trouve à 3,5 km au sud-est de l'éolienne E2.

Selon la réponse d'ENEDIS datée du 22/05/2018 (cf. annexe 2 de l'étude d'impact), une ligne HTA aérienne traverse la partie centrale de la zone d'étude, selon un axe nord-ouest – sud-est. Elle se trouve au plus proche à 84 m au sud-ouest de l'éolienne E2.

ENEDIS ne préconise pas de disposition particulière à mettre en place en phase exploitation au regard de la distance suffisante d'éloignement des éoliennes. En phase chantier, lors de l'acheminement des différents éléments sur le site, une distance minimale d'approche de 3 m sera respectée par rapport à la ligne HTA. En cas de risque, ENEDIS étudiera la possibilité de mise hors tension de la ligne électrique.

Les réseaux de télécommunication

D'après l'ANFR (Cartoradio), l'ARCEP et les réponses à consultations des opérateurs téléphoniques, la station radioélectrique la plus proche se trouve à 2,8 km à l'est de l'éolienne E1.

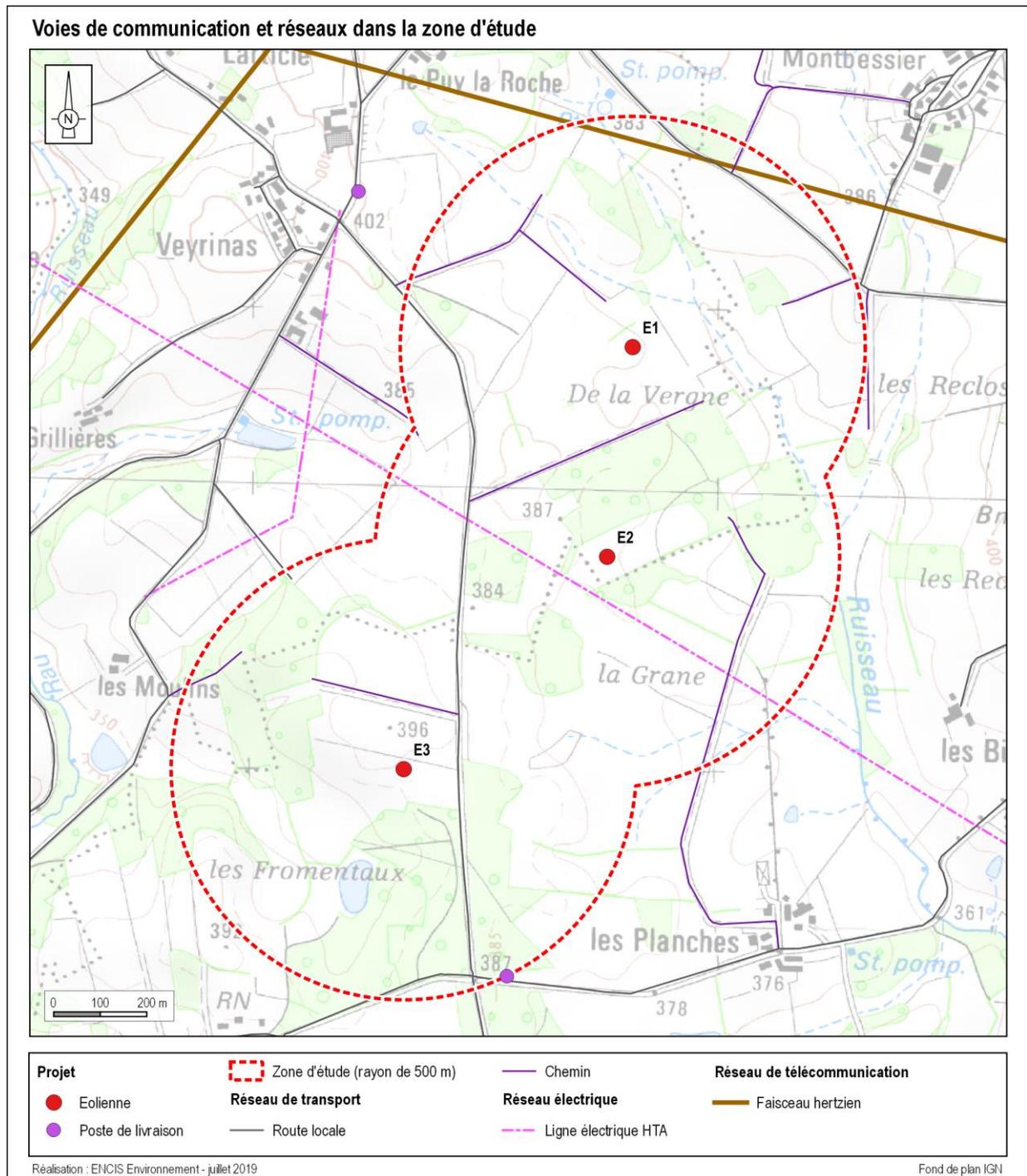
La zone d'étude est traversée en partie nord par un faisceau hertzien géré par Free Mobile au nord. Ce faisceau est à 433 m de l'éolienne E1.

Les canalisations de transport

Aucune canalisation de transport de gaz, d'hydrocarbures liquides ou de produits toxiques n'est présente sur la zone d'étude ou à proximité.

Réseau d'assainissement

Aucune station d'épuration n'est présente sur et aux alentours de la zone d'étude. Aucune canalisation d'eau usée n'est située dans la zone d'étude, d'après une consultation de la base de données de l'INERIS, du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie et de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (www.reseaux-et-canalisation.ineris.fr).

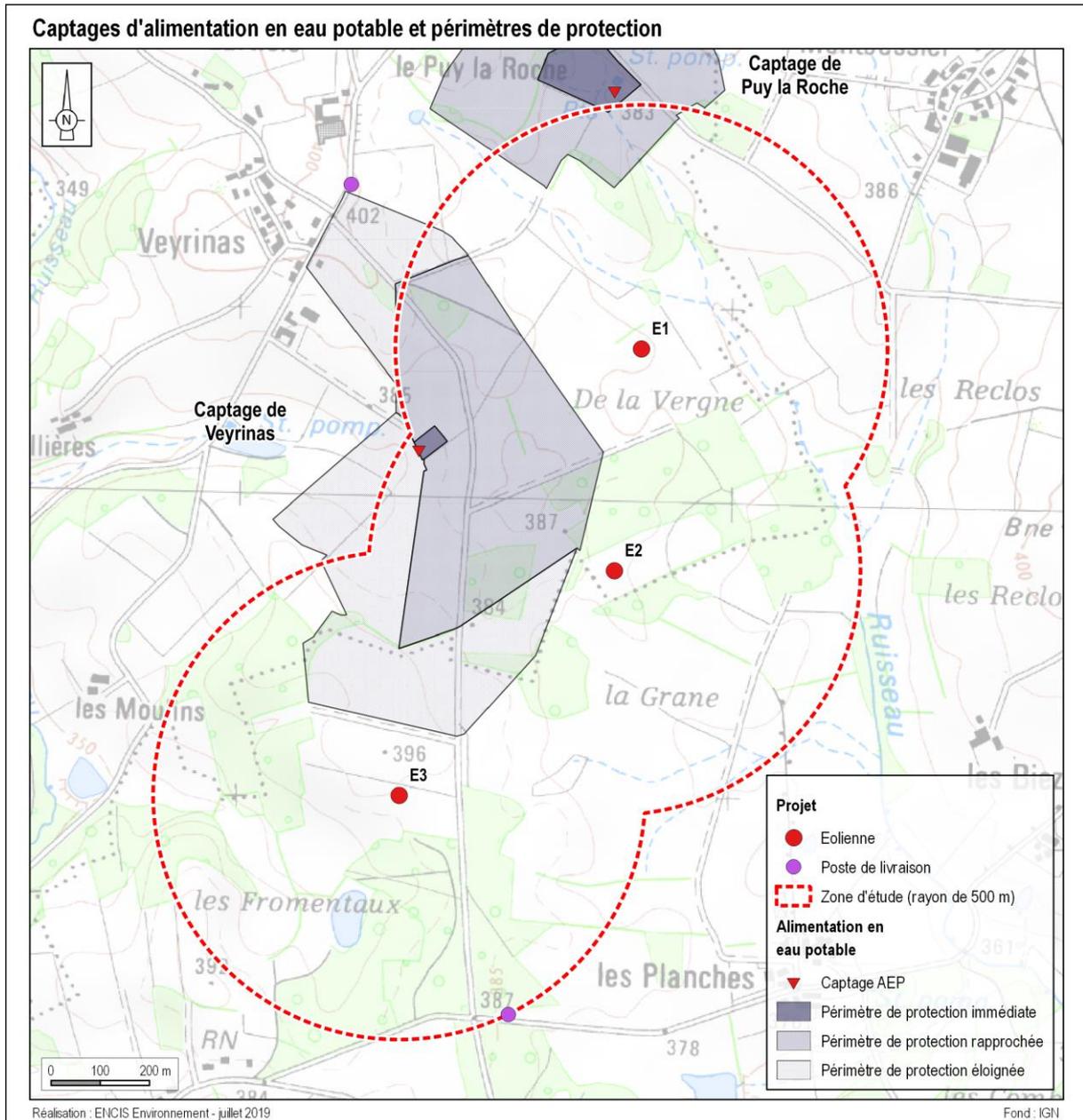


Carte 1 : Voies de communication et réseaux (Sources : IGN, ENCIS Environnement)

Les captages d'eau et périmètres de protection

La réponse de l'ARS datée du 16/11/2015 (cf. annexe 2 de l'étude d'impact) a permis de déterminer qu'un captage d'alimentation en eau potable est situé en partie ouest de la zone d'étude. Il s'agit du captage de Veyrinas, localisé à 469 m à l'ouest de l'éolienne E1.

La zone d'étude est également concernée par les périmètres de protection immédiate, rapprochée et éloignée du captage de Veyrinas et par les périmètres de protection immédiate et rapprochée du captage de Puy la Roche, au nord. Le périmètre de protection le plus proche d'une éolienne est à 81 m au nord-ouest de l'éolienne E2.



Carte 2 : Captages d'alimentation en eau potable, périmètres de protection et servitudes associées

Le réseau d'alimentation en eau potable

D'après une consultation de la base de données de l'INERIS, du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie et de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (www.reseaux-et-canalisation.ineris.fr), aucun réseau d'alimentation en eau potable n'est recensé au sein de la zone d'étude.

3.3.1. AUTRES OUVRAGES PUBLICS

Aucun autre ouvrage public n'est situé dans la zone d'étude.

3.4. CARTOGRAPHIES DE SYNTHESE

En conclusion de ce chapitre de l'étude de dangers, les cartographies suivantes permettent d'identifier **dans la zone d'étude globale (500 m) puis dans les autres zones d'études²** les enjeux humains exposés ainsi que la localisation des biens, infrastructures et autres établissements.

Biens, infrastructures et autres établissements

Dans la zone d'étude, nous avons recensé en tant qu'infrastructures :

- les chemins d'exploitation (existants ou à créer) et plateformes du parc éolien ;
- les chemins agricoles ;
- la voie communale traversant la zone d'étude du nord au sud ;
- la ligne électrique HTA située à 84 m de l'éolienne E2 ;
- le captage d'alimentation en potable de Veyrinas.

Enjeux humains

La méthode de comptage des enjeux humains est basée sur la fiche n°1 de la Circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers. Elle permet d'estimer le nombre de personnes susceptibles d'être rencontrées suivants les ensembles homogènes (terrains non bâtis, voies de circulation, zones habitées, ERP, zones industrielles, commerces...) présents dans la zone d'étude. Elle permettra ensuite de déterminer la gravité associée à chaque phénomène dangereux retenu dans l'étude détaillée des risques.

La route communale traversant la zone d'étude ne fait pas partie du réseau routier départemental. Cette route est donc considérée comme non structurante (fréquentation < à 2 000 / jour).

La fiche n°1 de la Circulaire du 10 mai 2010 précise que les voies de circulation non structurantes (< 2000 véhicule/jour) sont comptées dans la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés.

Dans la zone d'étude, nous recensons des terrains non bâtis de deux types :

- terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts, bois), où l'on comptera 1 personne exposée par tranche de 100 ha,
- terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de circulation non structurantes telles que la route communale, chemins agricoles, plateformes de stockage), où l'on comptera 1 personne par tranche de 10 ha.

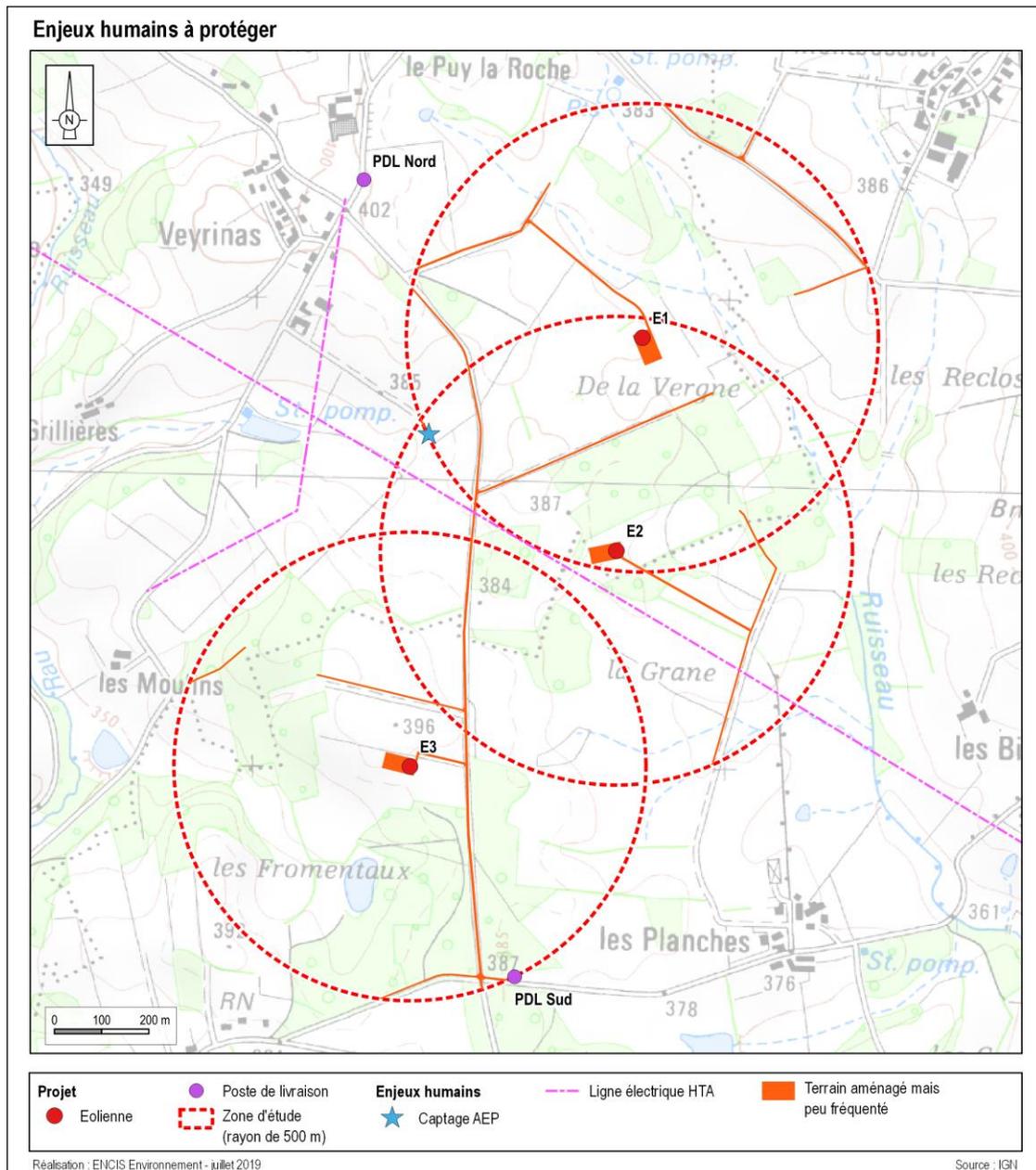
Les enjeux pour la ligne HTA située à proximité de l'éolienne E2 ont été estimés à deux personnes d'après le porteur de projet. Il est à noter que le porteur de projet envisage d'enfouir cette ligne électrique avant le commencement des travaux, sous réserve d'acceptation de la part d'ENEDIS.

D'après une consultation de la SAUR, les opérations d'entretien de la parcelle correspondant au périmètre de protection immédiate sont effectuées trois à quatre fois dans l'année et nécessitent l'intervention de 2 personnes. Ponctuellement, des opérations sur le captage peuvent nécessiter la présence de 4 personnes maximum. Les enjeux humains pour cette station de captage ont donc été estimés à 4 personnes au maximum.

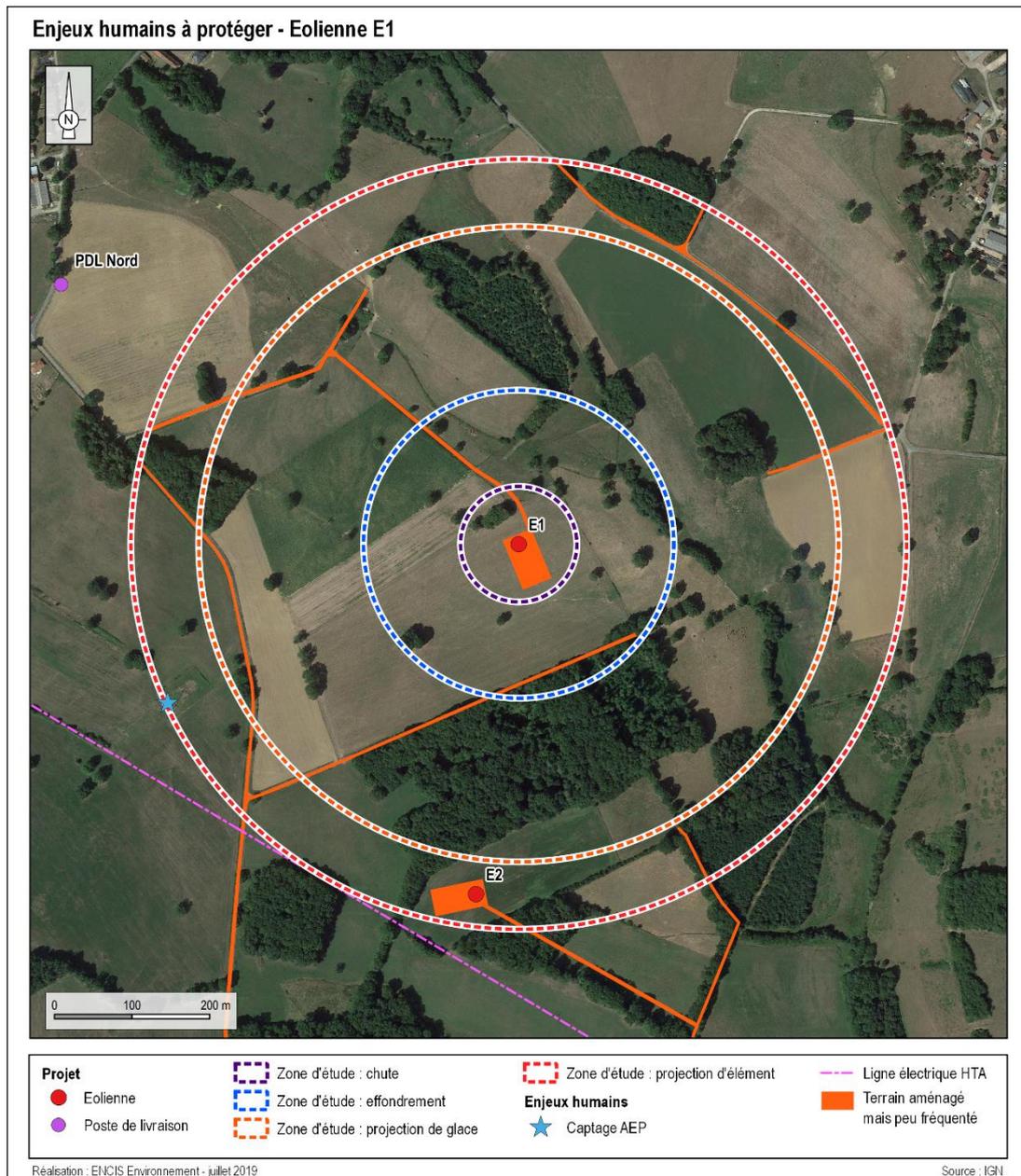
Les surfaces ont été calculées en utilisant un logiciel de SIG³, tout en s'appuyant sur la cartographie au 1 : 25 000, le site géoportail pour les photos aériennes et le plan de masse fourni par le client. Ces données ont permis de calculer à un instant t les différentes répartitions des terrains non bâtis (dont les chemins empruntés par les véhicules agricoles). Des évolutions dans le futur peuvent avoir lieu et ne sont donc pas prises en compte.

² Voir parties 7 et 8 pour la définition des scénarios et des zones d'étude

³ SIG : Système d'Information Géographique / logiciel utilisé : Qgis



Carte 10 : Enjeux à protéger (Source : ENCIS Environnement)

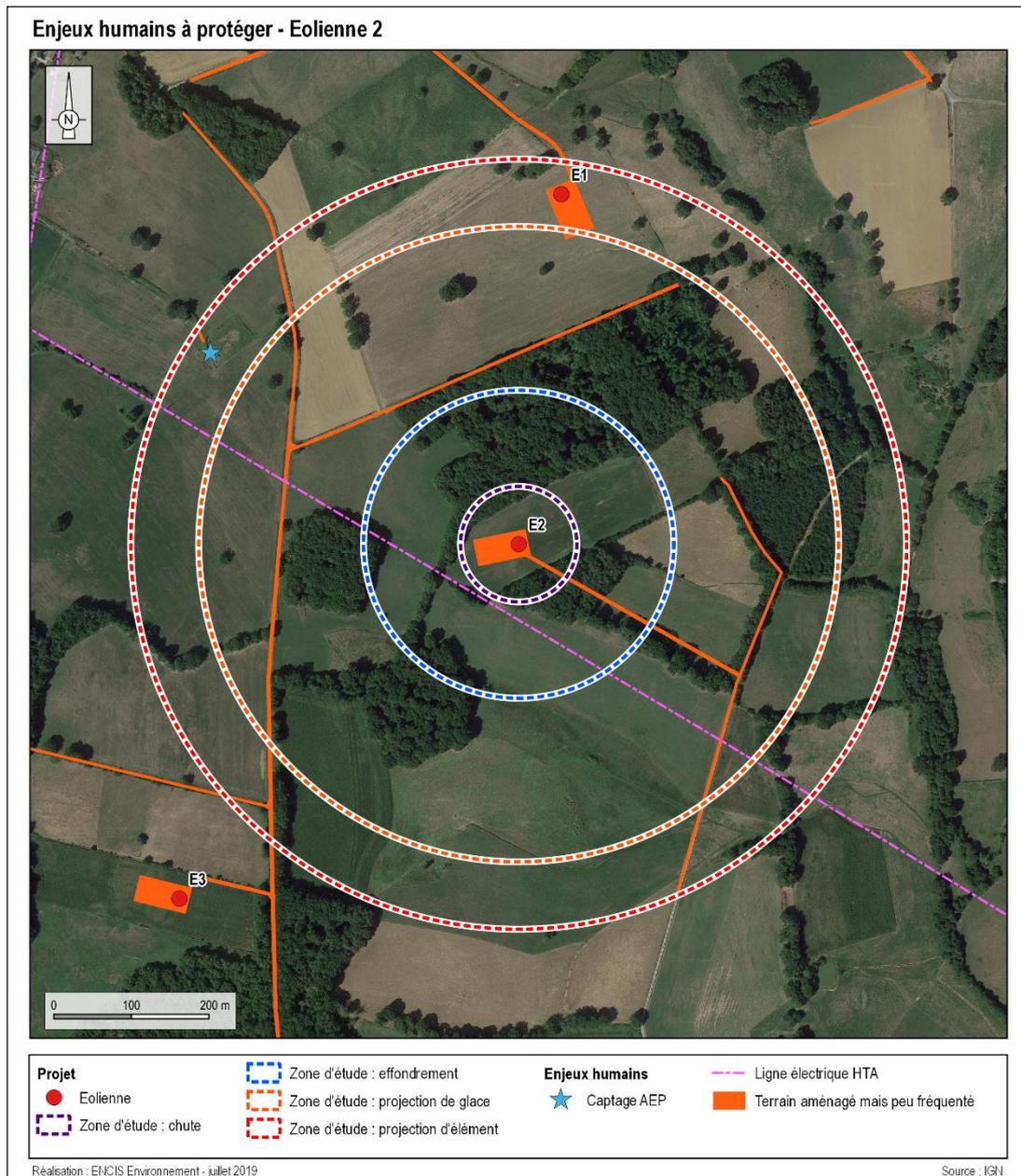


Carte 11 : Enjeux à protéger – E1 (Source : ENCIS Environnement)

Scenario⁴	Ensemble homogène	Surface (ha) ou Linéaire (km)	Règle de calcul	Enjeux humains (EH)	Enjeux humains totaux
Chute d'élément, chute de glace (rayon : 75 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,4579	1 pers/100 ha	0,014579	0,045489
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,3091	1 pers/10 ha	0,03091	
Effondrement (rayon : 200 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	12,0849	1 pers/100 ha	0,120849	0,168104
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,4811	1 pers/10 ha	0,04811	
Projection de glace (rayon : 412,5 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	52,3813	1 pers/100 ha	0,523813	0,616449
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,0727	1 pers/10 ha	0,10727	
Projection d'élément (rayon : 500 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	76,7739	1 pers/100 ha	0,767739	6,93989
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,8701	1 pers/10 ha	0,18701	
	Captage d'alimentation en eau potable	-	Nombre de personnes max	4	
	Ligne électrique HTA	-	Nombre de personnes max	2	

Tableau 5 : Enjeux humains par éolienne – E1

⁴ Voir parties 7 et 8 pour la définition des scénarios et des zones d'étude

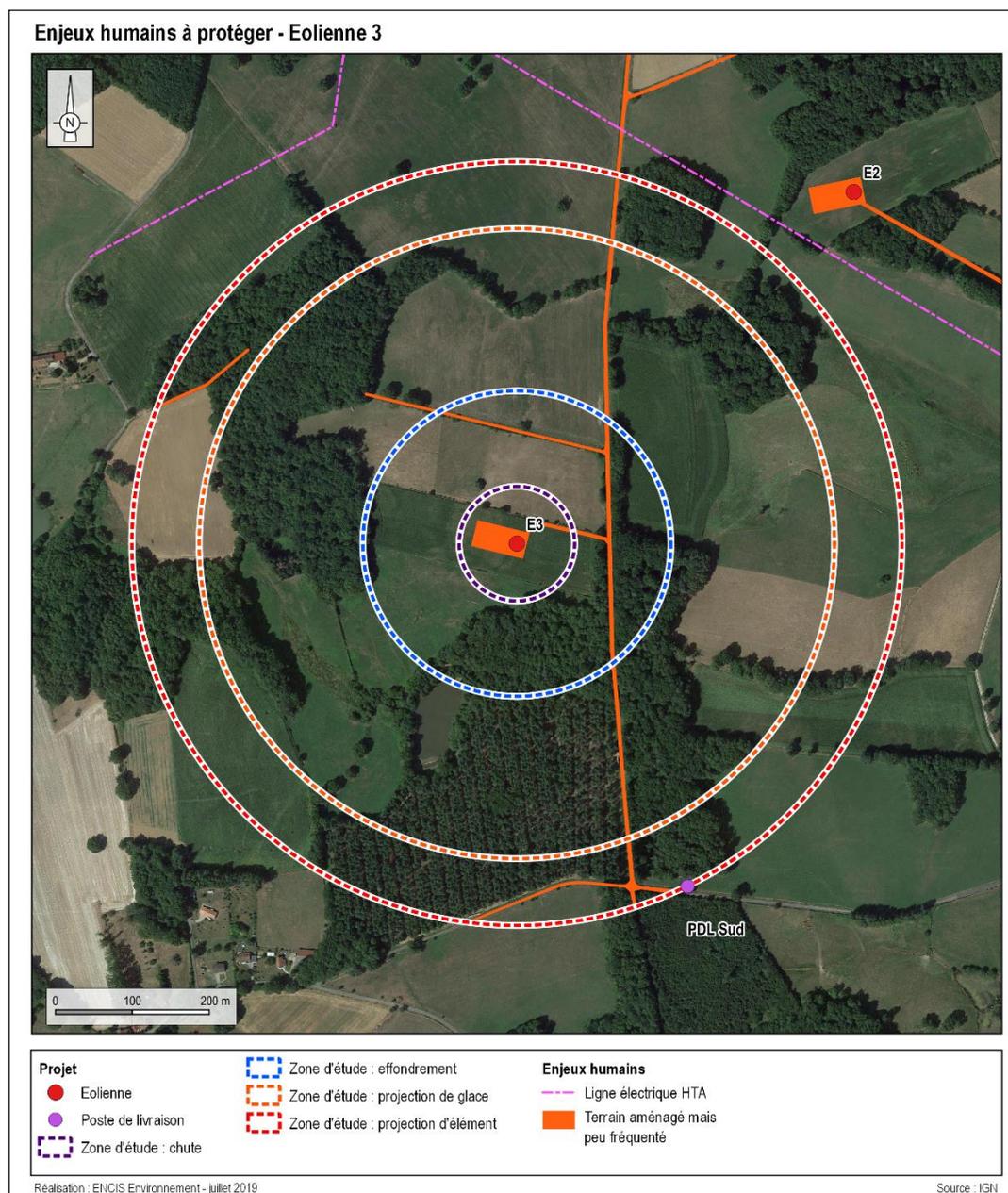


Carte 12 : Enjeux à protéger – E2 (Source : ENCIS Environnement)

Scenario⁵	Ensemble homogène	Surface (ha) ou Linéaire (km)	Règle de calcul	Enjeux humains (EH)	Enjeux humains totaux
Chute d'élément, chute de glace (rayon : 75 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,4957	1 pers/100 ha	0,014957	0,042087
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,2713	1 pers/10 ha	0,02713	
Effondrement (rayon : 200 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	12,2301	1 pers/100 ha	0,122301	2,155891
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,3359	1 pers/10 ha	0,03359	
	Ligne électrique HTA	-	Nombre de personnes max	2	
Projection de glace (rayon : 412,5 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	52,337	1 pers/100 ha	0,52337	2,63507
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,117	1 pers/10 ha	0,1117	
	Ligne électrique HTA	-	Nombre de personnes max	2	
Projection d'élément (rayon : 500 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	77,064	1 pers/100 ha	0,77064	6,92864
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,58	1 pers/10 ha	0,158	
	Captage d'alimentation en eau potable	-	Nombre de personnes max	4	
	Ligne électrique HTA	-	Nombre de personnes max	2	

Tableau 6 : Enjeux humains par éolienne – E2

⁵ Voir parties 7 et 8 pour la définition des scénarios et des zones d'étude



Carte 13 : Enjeux à protéger – E3 (Source : ENCIS Environnement)

Scenario⁶	Ensemble homogène	Surface (ha)	Règle de calcul	Enjeux humains (EH)	Enjeux humains totaux
Chute d'élément, chute de glace (rayon : 75 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,4881	1 pers/100 ha	0,014881	0,042771
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,2789	1 pers/10 ha	0,02789	
Effondrement (rayon : 200 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	11,9972	1 pers/100 ha	0,119972	0,176852
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,5688	1 pers/10 ha	0,05688	
Projection de glace (rayon : 412,5 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	52,6027	1 pers/100 ha	0,526027	0,611157
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,8513	1 pers/10 ha	0,08513	
Projection d'élément (rayon : 500 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	77,531	1 pers/100 ha	0,77531	0,88661
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,113	1 pers/10 ha	0,1113	

Tableau 7 : Enjeux humains par éolienne – E3

⁶ Voir parties 7 et 8 pour la définition des scénarios et des zones d'étude

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. CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION

4.1.1. CARACTERISTIQUES GENERALES D'UN PARC EOLIEN

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 4.3.1) :

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

❖ Éléments constitutifs d'un aérogénérateur

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

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

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

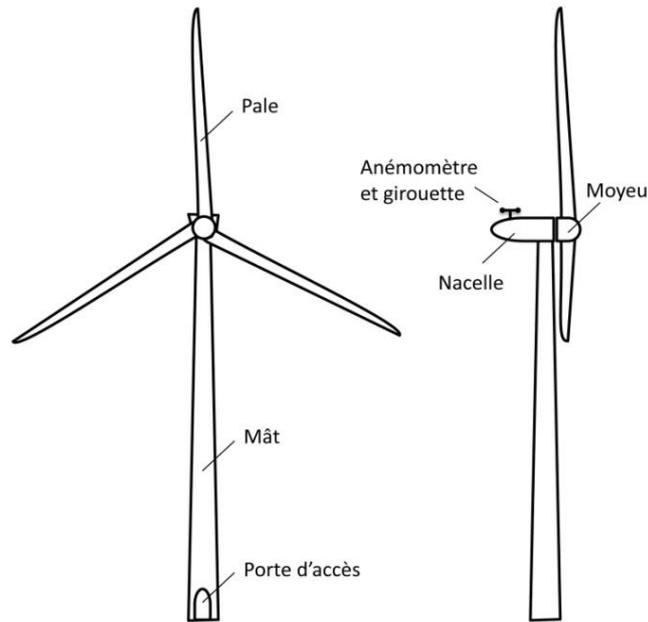


Figure 3 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

❖ Emprise au sol

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

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

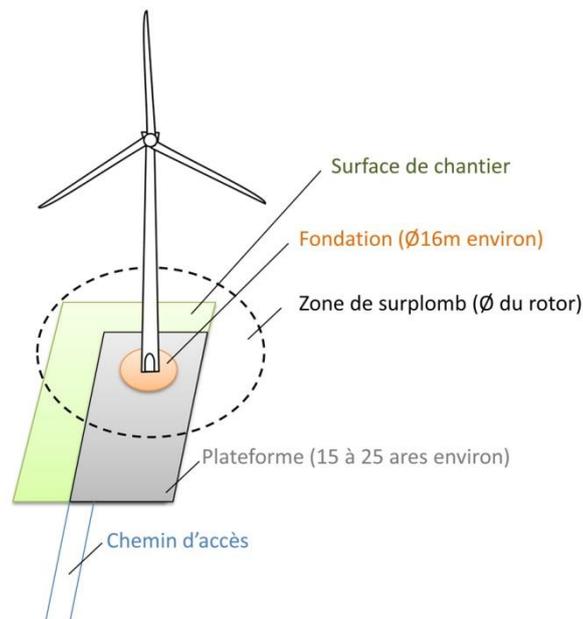


Figure 4 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne

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

❖ Chemins d'accès

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

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

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

❖ Autres installations

Certains parcs éoliens peuvent aussi être constitués d'aires d'accueil pour informer le public, de parkings d'accès, de parcours pédagogiques, etc.

4.1.2. ACTIVITE DE L'INSTALLATION

L'activité principale du parc éolien de Fromentaux est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur (mât + pales) de 199,1 à 200 m. Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.

4.1.3. COMPOSITION DE L'INSTALLATION

Trois modèles d'éolienne différents sont envisagés pour le projet : des V150 de 4 MW du fabricant Vestas, des N149 de 4 MW du fabricant Nordex ou des SG145 de 4,5 MW du fabricant Siemens Gamesa. Les caractéristiques de ces modèles d'éolienne sont présentées ci-après :

Caractéristiques	Vestas V150 4 MW	Nordex N149 4 MW	Siemens Gamesa SG145 4,5 MW
Hauteur de moyeu	125 m	125 m	127,5 m
Diamètre du rotor	150 m	149,1 m	145 m
Hauteur en bout de pale	200 m	199,1 m	200 m

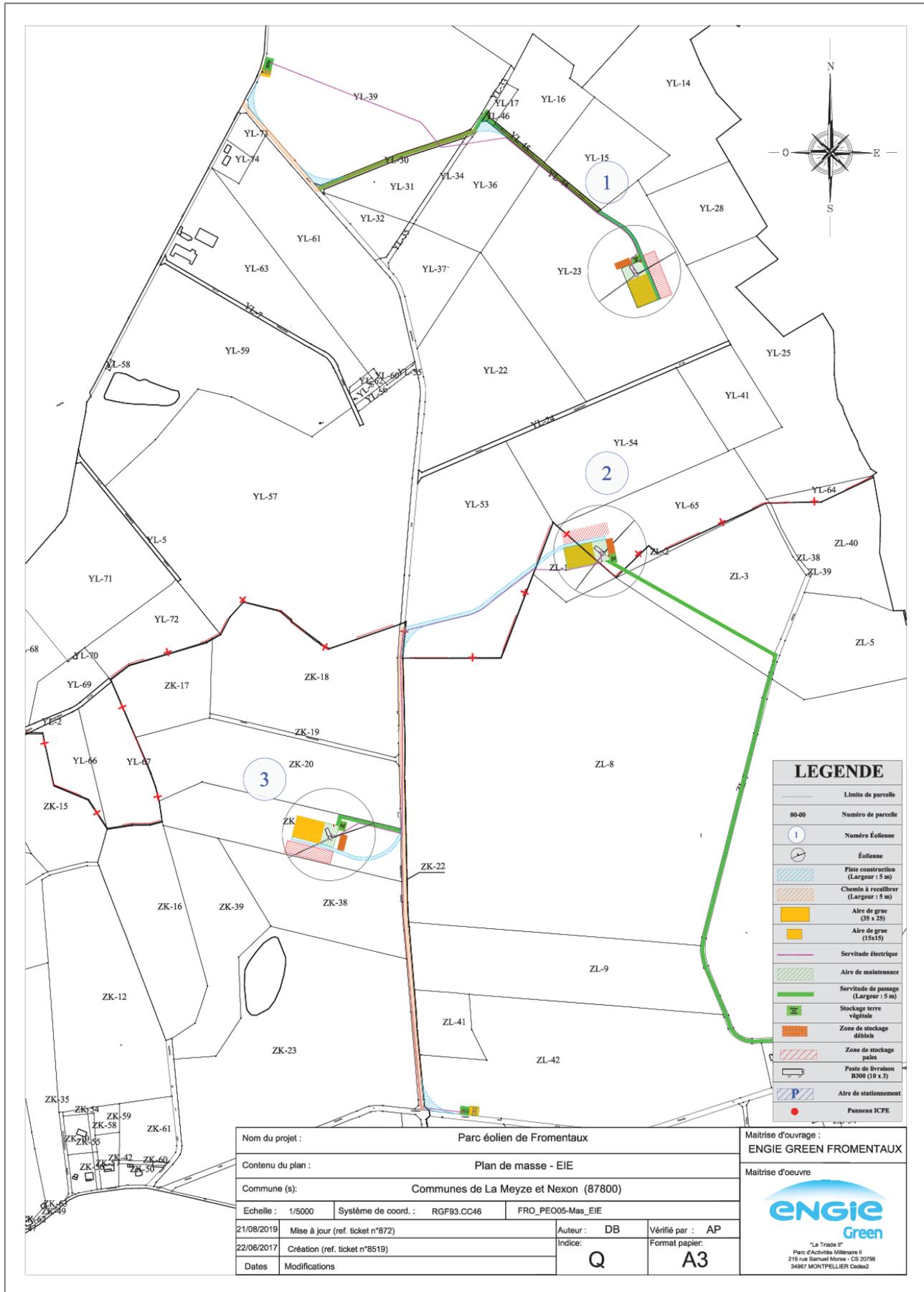
Tableau 8 : Caractéristiques des éoliennes envisagées

Le projet est un parc d'une puissance totale comprise entre 12 MW et 13,5 MW.

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs et des postes de livraison :

EOLIENNE	Type	Commune	Section	N° parcelle	Altitude au sol	Hauteur	Altitude NGF en bout de pale	Lambert 93	
								X	Y
E1	V150 / N149 / SG145	Nexon	YL	23	384 m	199,1 à 200 m	583,1 à 584 m	559221	6505304
E2	V150 / N149 / SG145	Nexon	YL	65	385 m	199,1 à 200 m	584,1 à 585 m	559166	6504849
E3	V150 / N149 / SG145	La Meyze	ZK	37	392 m	199,1 à 200 m	591,1 à 592 m	558729	6504390
PDL Nord	-	Nexon	YL	39	400 m	2,8 m	402,8 m	558632	6505641
PDL Sud	-	La Meyze	ZL	42	387 m	2,8 m	389,8 m	558951	6503941

Tableau 9 : Coordonnées des éoliennes et des postes de livraison



Carte 14 : Plan détaillé du parc éolien de Fromentaux (source : ENGIE Green)

4.2. FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

4.2.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN AEROGENERATEUR

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 comprise entre 2 et 3 m/s en général, et c'est seulement à partir de la vitesse de couplage au réseau que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. 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 la vitesse minimale nécessaire à la production maximale, on parle de production nominale.

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

Lorsque la mesure de vent, indiquée par l'anémomètre, dépasse la vitesse maximale de fonctionnement, 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 rapide de transmission à l'intérieur de la nacelle.

Pour le projet de Fromentaux, les caractéristiques maximales sont de l'ordre de :

- Vitesse de couplage au réseau : 3 m/s ;
- Vitesse minimale nécessaire à la production maximale : 11,5 m/s ;
- Vitesse de mise en drapeau : 26 m/s

4.2.2.FONCTION ET CARACTERISTIQUES DU PARC EOLIEN DE FROMENTAUX

Le tableau suivant reprend les fonctions et caractéristiques de chaque élément du parc étudié.

Elément de l'installation	Fonction	Caractéristiques
Fondations	Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol	Composition : béton armé Epaisseur : 3 m Diamètre : 27 m Conçues pour répondre à l'Eurocode 2 et aux calculs de dimensionnement des massifs
Mât	Supporter la nacelle et le rotor	Tour : acier tubulaire pour la V150 et la SG145 ; béton et acier pour a N149 Hauteur du mât : V150 : 122,8 m / N149 : 123 m / SG145 : 125,5 m Hauteur du moyeu : V150 : 125 m / N149 : 125 m / SG145 : 127,5 m Base : 5 m Accès : porte verrouillable au pied du mât
Nacelle	Supporter le rotor Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice et multiplicatrice) ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité	Composition : structure métallique habillée de panneaux de fibre de verre
Rotor / pales	Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice	Diamètre : V150 : 150 m / N149 : 149,1 m / SG145 : 145 m Surface balayée : de 16 506 à 17 671 m ² Vitesse de rotation théorique : 4,9 à 12 tours par minute pour la V150 et la SG145 ; 6,43 à 12,25 tours par minute pour la N149 Longueur pale : V150 : 73,66 m / N149 : 72,4 m / SG145 : 71 m Largeur la plus importante : 4,2 m Matériau : Fibre de verre renforcée avec époxy et fibre de carbone
Transformateur	Elever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau	Tension élevée : 20 000 V Régulation du courant de sortie (pour compatibilité avec réseau public) : dispositifs électroniques Localisation : pièce fermée à l'arrière de la nacelle
Postes de livraison	Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public	Emprise au sol : 30 m ² x 2 = 60 m ²

Tableau 10 : découpage fonctionnel de l'installation (Source : ENGIE Green)

4.2.3.SECURITE DE L'INSTALLATION

Conformité à la réglementation en vigueur :

L'installation respecte la réglementation en vigueur en matière de sécurité décrite par l'arrêté du 26/08/2011 relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

Le tableau suivant présente les articles de cet arrêté, les données du constructeur ainsi que les autres données disponibles issues de l'étude d'impact sur l'environnement (notée « EIE ») en vue d'établir la conformité du projet avec la réglementation en vigueur.

Article de l'arrêté du 26/08/2011	Disposition	Données Constructeurs (quand disponible)	Autres données	Conformité
3	Distance > 500 m des habitations Distance > 300 m d'une installation nucléaire ou d'une ICPE	N/A	Cf. EIE 4.4 choix du projet 3.2.9 risques technologiques	Oui Oui
4	Distance d'éloignement des radars Aucune gêne du fonctionnement des équipements militaires	Distance éloignement des radars : - Météo France : Grèzes à 59,5 km - Civil : Monts de Blond à 45,4 km - VOR : Cognac-la-Forêt à 24,1 km - Militaire : Audouze à 70,8 km	Cf. EIE 3.2.7 Servitudes, règles et contraintes 3.2.9 risques technologiques	Oui Oui
5	Etude stroboscopique dans le cadre de bureaux à moins de 250 m	N/A	Pas de bureau à moins de 250 m	Oui
6	Limitation du champ magnétique (100 microteslas à 50-60 Hz)	Seuil correspondant aux recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé.	Cf. EIE 6.3.4.3 impacts sanitaires de l'exploitation liée aux champs magnétiques	Oui
7	Voie carrossable pour permettre l'intervention des services d'incendie et de secours	Entretien et maintien en bon état des voies d'accès (contrats de maintenance) Mise en place d'une voie d'accès carrossable permettant l'intervention des services d'incendie et de secours (contrats de fourniture)	Cf. EIE 9.3.1 mesure E1 sécurité incendie	Oui
8	Conformité aux dispositions de la norme NF EN 61 400-1 dans sa version de juin 2006 ou CEI 61 400-1 dans sa version de 2005 ou toute norme équivalente en vigueur dans l'Union européenne	Certification selon le référentiel IEC 61400-1 de tous les aérogénérateurs.	Cf. 8.2.1 effondrement de l'éolienne	Oui
9	Mise à la terre de l'installation Conformité à la norme IEC 61 400-24 (version de juin 2010) Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre lors de la maintenance	Respect du standard IEC 61400-24 Protection parafoudre intégrée	Cf. 7.6 Mise en place de mesures de sécurité	Oui Oui Oui
10	Conformité de la directive du 17 mai 2006 Conformités aux normes NFC 15-100 (2008), NFC 13-100 (2001) et NFC 13-200 (2009) Contrôle des installations électriques avant la mise en service puis annuellement	Conformité à ces directives	Cf. 4.3 : Fonctionnement des réseaux de l'installation	Oui Oui Oui
11	Balisage approprié	Respect de la réglementation en vigueur en France par le balisage aéronautique	Cf. EIE 6.3.4.2 impacts sanitaires de l'exploitation liés aux feux de balisage	Oui
12	Suivi environnementale sur l'avifaune et les chiroptères	-	Cf. EIE partie 9 : mesures	Oui

Article de l'arrêté du 26/08/2011	Disposition	Données Constructeurs (quand disponible)	Autres données	Conformité
13	Accès à l'intérieur fermés à clef	Portes verrouillables par clef	Cf. 4.2.2 : Fonction et caractéristiques du parc éolien	Oui
14	Affichage des consignes de sécurité, d'interdiction de pénétrer dans l'aérogénérateur, de la mise en garde des risques d'électrocution et de risque de chute de glace	Ensemble de pictogrammes et textes à destination des exploitants.	Cf. partie 5.3.2.1 : Affichages du site	Oui
15	Essais d'avant mise en service et contrôle périodique (arrêt, arrêt d'urgence et arrêt survitesse)	Tests des fonctions de sécurité réalisés lors de mise en service de l'aérogénérateur ainsi que lors des opérations de maintenance préventive	Cf. 7.6 Mise en place de mesures de sécurité	Oui
16	Interdiction d'entreposer des matériaux combustibles ou inflammables à l'intérieur des éoliennes	Respect de ces exigences	Cf. 4.2.5 Stockage et flux de produits dangereux	Oui
17	Formation du personnel sur les risques, les moyens pour les éviter, les procédures d'urgence et mise en place d'exercice d'entraînement	Lorsque sous contrat de maintenance, intervention du constructeur en tant qu'entreprise de maintenance, utilisant du personnel qualifié, formé et habilité	Cf. partie 5.3.2.2 : formation du personnel	Oui
18	Contrôle des brides de fixation, des brides de mât, des fixations des pales et du mât contrôle des systèmes instrumentés de sécurité	Respect du contenu et de la périodicité des opérations mentionnées dans l'article Contrôles correspondants, faisant partie des opérations de maintenance préventive de l'aérogénérateur, consignés et répertoriés dans les protocoles de maintenance, mis à disposition des exploitants.	Cf. 7.6 Mise en place de mesures de sécurité	Oui
19	Tenu d'un manuel d'entretien et d'un registre sur les opérations de maintenance	Mise à disposition du manuel de maintenance avec consigne de la nature et de la fréquence des opérations d'entretien. Mise à disposition de l'ensemble des protocoles de maintenance renseignés ainsi que les fiches d'intervention des équipes de maintenance.	Cf. 7.6 Mise en place de mesures de sécurité	Oui
20	Gestion des déchets	Respect des exigences des textes liés à l'élimination des déchets.	Cf. EIE 6.2.2.9 Création de déchets lors du chantier 6.3.2.9 Création de déchets durant l'exploitation	Oui
21	Elimination des déchets non dangereux	Respect des exigences des textes liés à l'élimination des déchets.	Cf. EIE 6.2.2.9 Création de déchets lors du chantier	Oui

Article de l'arrêté du 26/08/2011	Disposition	Données Constructeurs (quand disponible)	Autres données	Conformité
			6.3.2.9 Création de déchets durant l'exploitation	
22	Etablissement de consignes de sécurité	Consignes de sécurité établies et mises à disposition des exploitants dans les manuels d'exploitation.	Cf. partie 5.3.2.3 : consigne de sécurité	Oui
23	Mise en place d'un système de détection d'incendie ou de survitesse Transmission de l'alerte dans un délai de 15 min Opération de maintenance de ce système de détection	Systèmes de détection de survitesse et d'incendie pouvant arrêter la machine et envoyer une alarme en cas de phénomène anormal.***	Cf. 7.6 Mise en place de mesures de sécurité	Oui Oui Oui
24	Moyens de lutte contre l'incendie à disposition dans chaque aérogénérateur (système d'alarme et deux extincteurs)	Systèmes de détection et d'alarme incendie provoquant : - une alarme sonore à l'intérieur de l'éolienne - une alarme à distance envoyée immédiatement via le système SCADA. Par ailleurs, équipement d'extincteurs dans tous les aérogénérateurs (nacelle et pied du mât).	Cf. EIE 9.3.1 mesure E1 sécurité incendie	Oui
25	Mise en place d'un système de détection de formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur et mise à l'arrêt sous 60 minutes	Système de gestion qui identifie toute anomalie de fonctionnement (pour 30 mesures hors tolérance, arrêt et alerte SCADA).	Cf. 7.6 Mise en place de mesures de sécurité	Oui
26-27-28	Emergence contrôlée du bruit, limitation sonore des engins de chantier et suivi des mesures	-	Cf. EIE 6.2.2.11 impacts du chantier sur l'environnement acoustique 6.3.3 impacts de l'exploitation sur l'environnement acoustique	oui

Note : les articles 1 et 2 n'apparaissent pas dans le tableau. En effet, l'article 1 pose le champ d'application, l'article 2, les définitions employées.

Tableau 11 : Conformité à l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux ICPE

**** Conformité aux principales normes :**

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

Les équipements projetés répondront aux normes internationales de la Commission électrotechnique internationale (CEI) et Normes françaises (NF) homologuées relatives à la sécurité des éoliennes, et notamment :

- la norme IEC61400-1 / NF EN 61400-1 Juin 2006 intitulée « Exigence de conception », qui spécifie les exigences de conception essentielles pour assurer l'intégrité technique des éoliennes. Elle a pour objet de fournir un niveau de protection approprié contre les dommages causés par tous les risques pendant la durée de vie prévue. Elle concerne tous les sous-systèmes des éoliennes tels que les mécanismes de commande et de protection, les systèmes électriques internes, les systèmes mécaniques et les structures de soutien ; La

norme IEC 61400-1 spécifie les exigences de conception essentielles pour assurer l'intégrité technique des éoliennes.

- la norme IEC61400-22 / NF EN 61400-22 Avril 2011 intitulée « essais de conformité et certification », qui définit les règles et procédures d'un système de certification des éoliennes comprenant la certification de type et la certification des projets d'éoliennes installées sur terre ou en mer. Ce système spécifie les règles relatives aux procédures et à la gestion de mise en œuvre de l'évaluation de la conformité d'une éolienne et des parcs éoliens, avec les normes spécifiques et autres exigences techniques en matière de sécurité, de fiabilité, de performance, d'essais et d'interaction avec les réseaux électriques.
- la norme CEI/TS 61400-23:2001 Avril 2001 intitulée « essais en vraie grandeur des structures des pales » relative aux essais mécaniques et essais de fatigue.

D'autres normes de sécurité sont applicables :

- la génératrice est construite suivant le standard IEC60034 et les équipements mécaniques répondent aux règles fixées par la norme ISO81400-4.
- La conception du multiplicateur répond aux règles fixées par la norme ISO81400-4.
- la protection foudre de l'éolienne répond au standard IEC61400-24 et aux standards non spécifiques aux éoliennes comme IEC62305-1, IEC62305-3 et IEC62305-4.
- la Directive 2004/108/EC du 15 décembre 2004 relative aux réglementations qui concernent les ondes électromagnétiques.
- le traitement anticorrosion des éoliennes répond à la norme ISO 12944.

Les divers types de éoliennes font l'objet d'évaluations de conformité (tant lors de la conception que lors de la construction), de certifications de type (certifications CE) par un organisme agréé et de déclarations de conformité aux standards et directives applicables.

***** Organisation des secours en cas d'accident :**

Information des services d'incendie et de secours :

Le parc éolien est équipé d'un système de télégestion spécifique, Le SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), qui permet de surveiller, contrôler et piloter à distance les éoliennes.

Les données récoltées par le SCADA sont envoyées dans un centre de télégestion, disponible 24h/24. En cas de déclenchement d'une alarme ou d'une alerte, l'opérateur transmet les informations à l'exploitant et si nécessaire aux services de secours pouvant intervenir sur le site éolien.

Ces données se conforment à **l'article 23 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 :

- Chaque aérogénérateur est doté d'un système de détection qui permet d'alerter, à tout moment, l'exploitant ou un opérateur qu'il aura désigné, en cas d'incendie ou d'entrée en survitesse de l'aérogénérateur ;
- L'exploitant ou un opérateur qu'il aura désigné est en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de quinze minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur ;
- L'exploitant dresse la liste de ces détecteurs avec leur fonctionnalité et détermine les opérations d'entretien destinées à maintenir leur efficacité dans le temps.

Coordonnées des moyens de secours à l'attention du personnel intervenant sur le parc :

Sur le parc éolien, un affichage comprenant un Plan de Secours ainsi que les coordonnées des moyens de secours en cas d'accident ou d'incident est prévu.

Le Plan de sécurité et de santé, document à suivre dans le cadre des maintenances, stipule, dans sa procédure en cas d'accident ou de sinistre, les coordonnées des moyens de secours, la procédure à suivre ainsi que les consignes de premiers secours.

L'affichage apposé sur les tableaux prévus à cet effet est constitué entre autre :

- de l'adresse de l'inspection du travail et du nom de l'inspecteur ;
- des coordonnées des services d'urgence et du Médecin du travail ;
- du rappel de l'interdiction de fumer ;
- des consignes en cas d'incendie.

Moyens :

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.

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

Le personnel est formé à l'utilisation des extincteurs.

4.2.4. OPERATIONS DE MAINTENANCE DE L'INSTALLATION

Les opérations de maintenance, qu'elles soient préventives ou curatives, sont exposées en annexe 2 de ce document.

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

L'inspection et l'entretien du matériel sont effectués par des opérateurs du constructeur, formés pour ces interventions.

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

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

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

4.2.5. STOCKAGE ET FLUX DE PRODUITS DANGEREUX

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

4.3. FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE L'INSTALLATION

4.3.1. RACCORDEMENT ELECTRIQUE

Généralités :

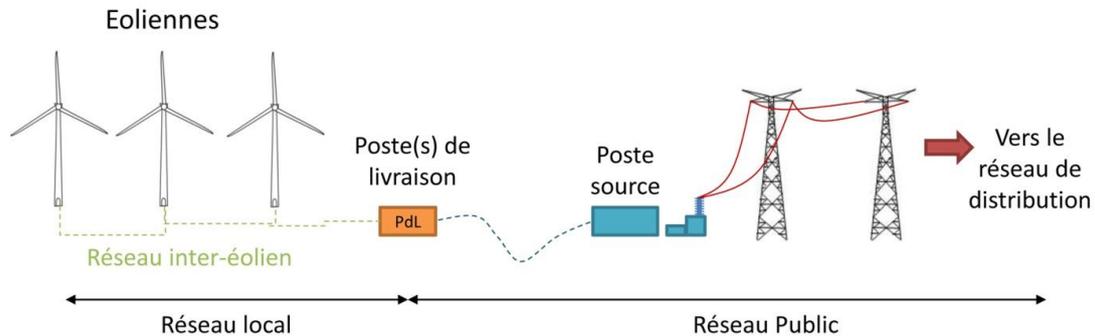


Figure 5 : Raccordement électrique des installations

❖ Réseau inter-éolien

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

❖ Postes 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 poste de livraison avec le poste source (réseau public de transport d'électricité). Ce réseau est réalisé par le gestionnaire du réseau de distribution (généralement ERDF- Électricité Réseau Distribution France). Il est lui aussi entièrement enterré.

Cas du site étudié :

Deux postes de livraison sont envisagés dans le cadre du projet de Fromentaux. Le poste de livraison Nord est situé en bordure de la route locale reliant les lieux-dits de Veyrinas et du Puy la Roche. Le poste de livraison Sud est implanté à le long du chemin rural des Planches.

Le parc éolien sera relié au poste source de la Traverse, à 4 km au sud-est du poste de livraison Sud.

Les caractéristiques des liaisons souterraines de l'installation sont détaillées dans le tableau suivant.

<i>Type de liaison</i>	<i>Profondeur d'enfouissement</i>	<i>Tension</i>
Inter-éoliennes	0,80 m	20 kV
Eoliennes/poste de livraison	0,80 m	20 kV

Tableau 12 : Caractéristiques des liaisons souterraines

Le tracé des câbles de liaison inter-éoliennes est consultable sur le plan de masse dans le paragraphe « 4.1.3. Composition de l'installation ».

Conformité des liaisons électriques :

Les liaisons électriques intérieures seront réalisées en conformité avec la réglementation technique en vigueur. En effet :

- Les travaux seront réalisés par des entreprises spécialisées dans le domaine (exemples d'entreprises : COFELY INEO Réseau, Santerne, etc.),
- Ces entreprises seront sélectionnées par Appel d'Offres,
- Ces entreprises seront responsables des études de détail et de l'application des normes et réglementation en vigueur (cf. extrait du Cahiers des Clauses Administratives des Contrats du lot Réseaux et Raccordements ci-dessous) :
« Respect des dispositions contractuelles, législatives et réglementaires L'Entrepreneur doit, lors de la réalisation des Travaux, se conformer en tous points aux dispositions du Contrat, aux dispositions législatives et réglementaires en vigueur ayant trait à l'exécution des Travaux et à la reprise des malfaçons. A ce titre, l'Entrepreneur doit se conformer aux éventuelles demandes de mises en conformité, avec une norme ou un règlement en vigueur lors de la réalisation des Travaux, exigées par les Bureaux de Contrôle et/ou le Bureau de Coordination Sécurité et Protection de la Santé. »
- Un bureau de Contrôle Technique sera mandaté par le maître d'ouvrage pour vérifier les études de détails et suivre la conformité de réalisation des travaux dont ceux concernant les liaisons électriques intérieures.

4.3.2. AUTRES RESEAUX

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

5. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION

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

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

5.1. POTENTIELS DE DANGERS LIES 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 étudié sont utilisés pour le bon fonctionnement des éoliennes, leur maintenance et leur entretien :

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

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

Inventaire des produits

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

- L'huile hydraulique (circuit haute pression);
- L'huile de lubrification du multiplicateur ;
- L'eau glycolée (mélange d'eau et d'éthylène glycol), qui est utilisée comme liquide de refroidissement ;
- Les graisses pour les roulements et systèmes d'entraînements ;
- L'hexafluorure de soufre (SF₆), qui est le gaz utilisé comme milieu isolant pour les cellules de protection électrique. La quantité présente varie entre 1.5 kg et 2.15 kg suivant le nombre de caissons composant la cellule.

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

Dangers des produits

❖ Inflammabilité et comportement vis à vis de l'incendie

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

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

Le SF₆ est pour sa part ininflammable.

❖ Toxicité pour l'homme

Ces divers produits ne présentent pas de caractère de toxicité pour l'homme. Ils ne sont pas non plus considérés comme corrosifs (à causticité marquée).

❖ Dangérosité pour l'environnement

Vis-à-vis de l'environnement, le SF₆ possède un potentiel de réchauffement global (gaz à effet de serre) très important, mais les quantités présentes sont très limitées (seulement 1 à 2 kg de gaz dans les cellules de protection).

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

En conclusion, il ressort que les produits ne présentent pas de réel danger, si ce n'est lorsqu'ils sont soumis à un incendie, où ils vont entretenir cet incendie, ou s'ils sont déversés dans l'environnement générant un risque de pollution des sols ou des eaux.

5.2. POTENTIELS DE DANGERS LIES AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien de Fromentaux 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 postes de livraison).

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant :

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

Tableau 13 : Eléments et dangers potentiels

5.3. REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS A LA SOURCE

5.3.1. PRINCIPALES ACTIONS PREVENTIVES

Réduction des dangers liés aux produits

Comme précédemment indiqué, les produits présents dans une éolienne sont des lubrifiants. 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.

Réduction des dangers liés aux installations

Il a été choisi par le porteur de projet de respecter un éloignement d'au minimum 500 m autour des habitations, par rapport aux exigences issues de la Loi Grenelle II ; de plus, l'analyse des servitudes qui grèvent le terrain et les réponses transmises par les différents services administratifs consultés ont participé au choix de localisation, de définition de l'aire d'étude et de l'implantation des éoliennes.

Le contexte essentiellement sylvicole et agricole de l'environnement du projet et l'absence d'autres sources de dangers à proximité (ICPE SEVESO, ...) réduit les possibilités de mise en œuvre d'autres actions préventives.

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

- Les fournisseurs des éoliennes, assurant leur maintenance, disposent d'un système de management HSE respecté par tous leurs 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.

Pour ce projet, la réduction des potentiels de danger à la source est donc principalement intervenue par le choix d'aérogénérateurs fiables, disposant de systèmes de sécurité performants et conformes à la réglementation en vigueur.

5.3.2. PROCEDURES RELATIVES A L'HYGIENE ET LA SECURITE

Outre les exigences réglementaires liées au Code du Travail qui seront appliquées sur site par les entreprises de travaux, les dispositions réglementaires suivantes en matière d'hygiène et de sécurité issues de l'arrêté du 26 août 2011 seront également appliquées aux phases de chantier et d'exploitation de ce parc éolien.

5.3.2.1. AFFICHAGES SUR SITE

Affichage à l'attention des tiers

Phase chantier (construction et démantèlement)

Seront affichés sur le chantier :

- La déclaration préalable des travaux (conformément à l'article L. 4532-1 du Code du Travail).
- Un panneau de chantier faisant apparaître : la nature des travaux, le bénéficiaire, le maître d'œuvre, les entreprises intervenantes, les organismes de contrôle, la surface de plancher de la construction, la date du début et de la fin des travaux.

A chaque accès du chantier seront placés des panneaux réglementant les conditions d'accès (du type « Chantier interdit au public »).

Phase exploitation

Conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011, « les prescriptions à observer par les tiers sont affichées soit en caractères lisibles, soit au moyen de pictogrammes sur un panneau sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, sur le poste de livraison et, le cas échéant, sur le poste de raccordement. Elles concernent notamment :

- les consignes de sécurité à suivre en cas de situation anormale ;
- l'interdiction de pénétrer dans l'aérogénérateur ;
- la mise en garde face aux risques d'électrocution ;
- la mise en garde, le cas échéant, face au risque de chute de glace. »

Affichage à l'attention des intervenants sur site

Phase chantier (construction et démantèlement)

Dans la base de vie, devront être affichés :

- l'adresse et le numéro d'appel du médecin du travail, des services de secours d'urgence, de l'inspection du travail ;
- les horaires de travail ;
- le règlement intérieur le cas échéant.

Les panneaux réglementant les conditions d'accès au chantier (du type « Port du casque obligatoire ») doivent être placés à chaque accès du chantier.

Phase exploitation

Le personnel intervenant chargé de réaliser chaque tâche doit avoir lu et connaître le contenu des différents documents applicables (Plan de Prévention, Plan de Sécurité et de Santé, Règlement de Coordination des Activités) avant de commencer le travail et doit pouvoir évaluer les risques des travaux à réaliser. Il devra en outre connaître les équipements de sécurité et de protection de l'éolienne.

Eolienne :

A l'intérieur des éoliennes, des pictogrammes indiquent les lieux de dangers potentiels :

- A côté de l'armoire électrique apparaît le symbole risque haute-tension ;
- A côté de l'échelle et dans la nacelle : apparaissent les symboles concernant le port des Equipements de Protection Individuels.

Poste de livraisons :

L'affichage sur le poste électrique est soumis à la norme C13-100 :

« Article 621 Généralités :

Le poste doit être équipé :

- des matériels qui permettent d'assurer l'exposition et les manœuvres nécessaires dans les conditions de sécurité.
- des matériaux d'extinction appropriés
- des signaux, affiches et pancartes de sécurité.

Article 624 Identification et marquage :

624.1 Généralités :

Des moyens d'identification clairs et ne prêtant pas à confusion, sont imposés pour éviter des interventions incorrectes, une erreur humaine, des accidents, etc. pendant les opérations d'entretien et d'exploitation.

- Les pancartes, panneaux et notices doivent être constitués d'un matériau durable, insensible à la corrosion et imprimés avec des caractères indélébiles.
- L'état de fonctionnement de l'appareillage doit être clairement indiqué, sauf si les contacts principaux peuvent être clairement vus par l'opérateur.
- Les extrémités de câbles et les accessoires doivent être identifiés. Un marquage approprié doit être fourni, rendant possible l'identification sur une liste ou un diagramme de câblage.

624.2 Plaques d'identification et plaques de mise en garde:

- Dans les locaux de service électrique fermés et dans les bâtiments industriels, tout local contenant du matériel électrique doit être muni, à l'extérieur et sur chaque porte d'accès, des informations nécessaires identifiant le local et indiquant les risques possibles.

624.8 Secours aux électrisés :

Dans tout local réservé à la production, à la conversion ou à la distribution de l'électricité contenant des installations électriques du domaine haute tension et, par conséquent dans les postes, doit être apposée de façon apparente et facilement lisible, une affiche résumant les consignes sur les premiers soins à donner aux victimes d'accidents électriques, conformément au décret n°92.141 du 14 février 1992 et à son arrêté d'application de la même date ».

Un affichage adapté à la tension est disposé sur la porte.

Sur la porte extérieure, une affiche indique le nom du poste de livraison donné par le gestionnaire du réseau de distribution.

Sont par ailleurs affichées les fiches de manœuvre sur les cellules, ainsi qu'un unifilaire général de l'installation et des autocollants où figurent les coordonnées.

5.3.2.2. FORMATION DU PERSONNEL

D'après l'article 17 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 : « le fonctionnement de l'installation est assuré par un personnel compétent disposant d'une formation portant sur les risques présentés par l'installation, ainsi que sur les moyens mis en œuvre pour les éviter. Il connaît les procédures à suivre en cas d'urgence et procède à des exercices d'entraînement, le cas échéant, en lien avec les services de secours. »

L'ensemble du personnel intervenant devra avoir reçu les formations suivantes et être à jour des recyclages nécessaires conformément aux procédures du fabricant des éoliennes :

- Formation sur le risque du travail en hauteur comprenant l'utilisation des EPI (Equipements de Protection Individuel), de l'évacuateur d'urgence et des ascenseurs ;
- Formation sur l'évaluation des risques du poste de travail occupé ;
- Formation aux premiers secours ;
- Formation sur le risque électrique correspondant à l'habilitation électrique qui lui a été attribuée ;
- Formation adéquate incluant un entraînement au port de l'EPI. Cette formation doit être renouvelée aussi souvent qu'il est nécessaire pour que l'équipement soit utilisé conformément à la consigne d'utilisation prévue au dernier alinéa de l'article R4323-104 et R4323-105 dans le code du travail.

Le responsable de l'entreprise du personnel intervenant doit au préalable de toute intervention fournir à l'exploitant les documents suivants :

- Attestation d'aptitude médicale ;
- Attestation de formation au travail en hauteur ;
- Attestation de formation à l'évacuation d'urgence ;
- Attestation de formation aux premiers secours ;
- Certificat de réception/contrôle des équipements de protection individuelle ;
- Habilitation électrique adaptée au travail réalisé avec un niveau minimal H0B0.

Les intervenants disposent d'une copie des documents suivants :

- Habilitation électrique en fonction des travaux à réaliser ;
- Attestation de formation aux travaux en hauteur et sauvetage en hauteur et être en mesure de la présenter sur simple demande de l'Entreprise Utilisatrice, du chargé d'intervention/de travaux ou de tout inspecteur assermenté.

Par ailleurs, la société réalisera avec l'ensemble des intervenants, un exercice annuel d'urgence.

5.3.2.3. CONSIGNES DE SECURITE

Selon l'article 22 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 : « des consignes de sécurité sont établies et portées à la connaissance du personnel en charge de l'exploitation et de la maintenance. Ces consignes indiquent :

- *les procédures d'arrêt d'urgence et de mise en sécurité de l'installation ;*
- *les limites de sécurité de fonctionnement et d'arrêt ;*
- *les précautions à prendre avec l'emploi et le stockage de produits incompatibles ;*
- *les procédures d'alertes avec les numéros de téléphone du responsable d'intervention de l'établissement, des services d'incendie et de secours.*

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

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

L'analyse des retours d'expérience vise donc ici à faire émerger des typologies d'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 Fromentaux. 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 (mai 2012), ainsi qu'une actualisation de l'accidentologie menée en septembre 2019.

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

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

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

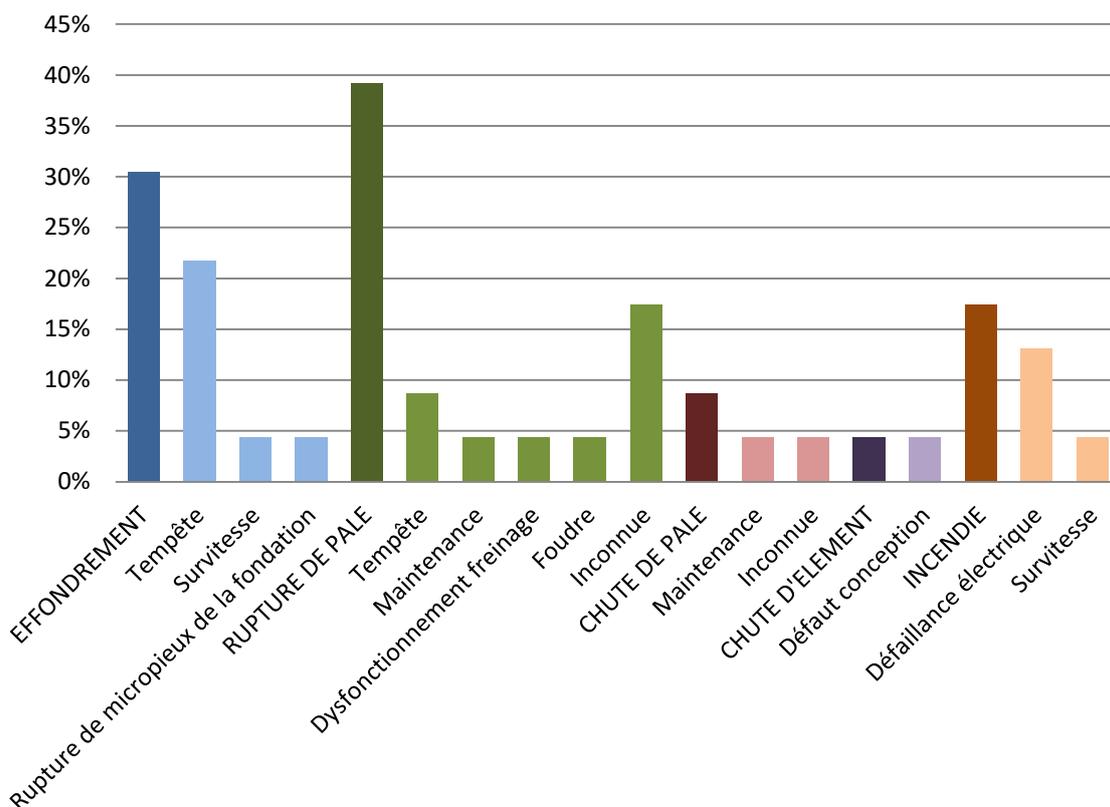
Dans l'état actuel, la base de données élaborée par le groupe de travail de SER/FEE ayant élaboré le guide technique d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis l'année 2000. L'ensemble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

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

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

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

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.

A noter qu'une nouvelle consultation de la base de données ARIA (la base de données ARIA rassemble les informations sur les accidents technologiques survenus en France, notamment au niveau des ICPE), a été menée en septembre 2018 afin de compléter les informations présentées précédemment. Celle-ci a permis de recenser de nouveaux événements ne figurant pas jusqu'alors dans l'accidentologie établie par l'INERIS sans pour autant remettre en cause les conclusions de l'analyse menée par cet organisme :

- **06/02/2012 – LEHAUCOURT (02)** : Blessure par arc électrique (690 V) de deux techniciens de maintenance intervenant dans la nacelle d'une éolienne.

- **18/05/2012 – FRESNAY-L'EVEQUE (28)** : Chute d'une pale entière d'une éolienne de 2 MW mise en service en 2008. La pale (9 tonnes, 46 m) a chuté au pied de l'installation suite à la rupture du roulement qui raccordait la pale au hub. L'analyse des relevés des capteurs et des comptes rendus d'entretien ne révèle aucune anomalie ni signe précurseur (contraintes anormales qui auraient pu endommager le roulement, vibration suspecte avant la rupture, différence d'orientation des pales, défaut d'aspect visuel lors des contrôles...). Des traces de corrosion sont détectées dans les trous d'alésages traversant une des bagues du roulement reliant pale et hub. Selon le fabricant, cette corrosion proviendrait des conditions de production et de stockage des pièces constitutives du roulement. L'installation est remise en service fin octobre après remplacement de la pale endommagée et mise en place de nouveaux roulements possédant une protection contre la corrosion. L'exploitant met en place une détection visuelle de la corrosion dans les alésages, qu'il prévoit de remplacer à terme par un procédé instrumenté conçu spécifiquement.

- **30/05/2012 – PORT-LA-NOUVELLE (11)** : Les rafales de vent à 130 km/h observées durant la nuit ont provoqué l'effondrement de la tour en treillis de 30 m de haut et la chute d'une éolienne. Construit

en 1991, l'aérogénérateur de 200 kW faisait partie des premières installations de ce type en France. Il était à l'arrêt pour réparations au moment des faits. Le site, ouvert au public, est sécurisé.

- **01/11/2012 – VIEILLESPESSÉ (15)** : Un élément de 400 g constitutif d'une pale d'éolienne est projeté à 70 m du mât, à l'intérieur de la parcelle clôturée du parc de 4 aérogénérateurs de 2,5 MW mis en service en 2011.

- **05/11/2012 – SIGEAN (11)** : Un feu se déclare vers 17 h sur une éolienne de 660 kW au sein d'un parc éolien ; un voisin donne l'alerte à 17h30. Des projections incandescentes enflamment 80 m² de garrigue environnante. Les pompiers éteignent l'incendie vers 21h30. L'exploitant met en place un balisage de sécurité à l'aube le lendemain. A la suite de la chute d'une pale à 15h20, un gardiennage 24 h / 24 est mis en place. Le 08/11, la municipalité interdit par arrêté l'accès au chemin menant à l'éolienne. Le feu s'est déclaré en partie basse de l'éolienne (transformateur ou armoire basse tension). Les flammes ont ensuite atteint la nacelle, sans doute en se propageant le long des câbles électriques (non résistants au feu) à l'intérieur du mât. Un dysfonctionnement du frein de l'éolienne à la suite de la perte des dispositifs de pilotage résultant de l'incendie en pied pourrait avoir agi comme circonstance aggravante. Cet accident met en lumière la nécessaire tenue au feu des câbles, les possibilités de sur accident (propagation de l'incendie à la végétation environnante, chute de pale) et des pistes d'amélioration dans la détection et la localisation des incendies d'éoliennes, ainsi que dans la réduction des délais d'intervention.

- **06/03/2013 - CONILHAC-DE-LA-MONTAGNE (11)** : A la suite d'un défaut de vibration détecté à 19h05, une éolienne se met automatiquement à l'arrêt. Sur place le lendemain à 9 h, des techniciens du constructeur trouvent au sol l'une des 3 pales qui s'est décrochée avant de percuter le mât. L'éolienne est mise en sécurité (2 pales restantes mises en drapeau, blocage du rotor, inspection du moyeu). Un périmètre de sécurité de 30 m est établi au pied de l'éolienne et la municipalité interdit l'accès à la zone. L'accident est déclaré à l'inspection des installations classées 48 h plus tard. L'une des pales de cette éolienne avait déjà connu un problème de fixation en novembre 2011. Les fixations de cette pale au moyeu avaient été remplacées et le serrage des vis des 2 autres avait été contrôlé en avril 2012. La veille du défaut de vibration, la machine s'était arrêtée après la détection d'un échauffement du frein et d'une vitesse de rotation excessive de la génératrice. Un technicien l'avait remise en service le matin même de l'accident sans avoir constaté de défaut.

- **17/03/2013 – EUVY (51)** : Des usagers de la N4 signalent vers 15h30 un feu dans la nacelle d'une éolienne. L'exploitant arrête 7 des 18 aérogénérateurs du parc. Un périmètre de sécurité de 150 m est mis en place. Le sinistre émet une importante fumée. Une des pales tombe au sol, une autre menace de tomber. Des pompiers spécialisés dans l'intervention en milieux périlleux éteignent le feu en 1 h. 450 l d'huile de boîte de vitesse s'écoulent, conduisant l'exploitant à faire réaliser une étude de pollution des sols. Les maires des communes voisines se sont rendus sur place. Au moment du départ de feu, le vent soufflait à 11 m/s. La puissance de l'éolienne était proche de sa puissance nominale. La gendarmerie évoque une défaillance électrique après avoir écarté la malveillance. Le parc, mis en service en 2011, avait déjà connu un incendie quelques mois plus tôt selon la presse. Les 18 machines sont inspectées. A la suite de l'accident, l'exploitant et la société chargée de la maintenance étudient la possibilité d'installer des détecteurs de fumées dans les éoliennes.

- **01/07/2013 - CAMBON-ET-SALVERGUES (34)** : Un opérateur remplissant un réservoir d'azote sous pression dans une éolienne est blessé par la projection d'un équipement. Alors qu'il vient de faire l'appoint en gaz d'un cylindre sous pression faisant partie du dispositif d'arrêt d'urgence des pâles d'une éolienne, un technicien de maintenance démonte l'embout d'alimentation vissable. Une partie de la visserie de la vanne de fermeture reste solidaire de l'embout et se dévisse avec lui. L'ensemble démonté est projeté au visage de l'opérateur et lui brise le nez et plusieurs dents. Le jet de gaz affecte ses voies respiratoires. Descendue de la nacelle de l'éolienne avec l'assistance de son collègue, la victime est hospitalisée. La gendarmerie place l'accumulateur de gaz sous scellé pour être expertisé.

Afin d'éviter de tels accidents, la visserie de la vanne présentait une petite perforation destinée à alerter l'opérateur : un sifflement et une formation de glace liée à la détente du gaz se produisent 4 tours et demi avant le dévissage total. La survenue de l'accident malgré ce dispositif amène l'exploitant à repenser la procédure d'alimentation de l'accumulateur de gaz dans la configuration exigüe de la nacelle d'éolienne : 8 000 machines sont potentiellement concernées. Dans l'attente des résultats d'expertise, les accumulateurs seront remplis en usine après démontage.

- **03/08/2013 – MOREAC (56)** : Une nacelle élévatrice utilisée pour une intervention de maintenance sur une éolienne perd 270 l d'huile hydraulique. Le produit pollue le sol sur 80 m². 25 t de terres polluées sont excavées et envoyées en filière spécialisée.

- **09/01/2014 – ANTHONY (08)** : Un feu se déclare vers 18 h au niveau de la partie moteur d'une éolienne de 2,5 MW. Le parc éolien est isolé électriquement. Un périmètre de sécurité de 300 m est instauré. Le feu s'éteint de lui-même vers 20 h. La nacelle est détruite, le rotor est intact. Le balisage aéronautique de la machine étant hors-service, les services de l'aviation civile sont alertés. La presse évoque un incident électrique pour expliquer le départ de feu. L'éolienne sinistrée est démantelée le 17/06 par basculement à l'explosif. Cette opération nécessite la mise en place d'un périmètre de sécurité d'un kilomètre.

- **20/01/2014 – SIGEAN (11)** : Une des éoliennes d'un parc s'arrête automatiquement à 3h09 à la suite d'un défaut « vibration ». Sur place à 9h30, les techniciens de maintenance (assurée par le fabricant des éoliennes) retrouvent une pale de 20 m au pied du mât. Les 2 autres pales sont toujours en place. Un périmètre de sécurité de 100 m est établi autour de l'éolienne et surveillé par une société de gardiennage pour éviter l'intrusion de tiers. L'ensemble des machines du parc est mis à l'arrêt pour inspection puis redémarré, à l'exception de l'éolienne endommagée dont la pale sera remplacée. L'exploitant informe l'inspection des installations classées ainsi que la mairie et déclare le sinistre auprès de ses assureurs dans l'après-midi. Le morceau de pale détaché est évacué du site en vue d'une expertise. Lors de l'accident le vent soufflait entre 18 m/s et 22 m/s.

- **14/11/2014 - SAINT-CIRGUES-EN-MONTAGNE (07)** : La pale d'une éolienne chute vers 15h10 lors d'un orage. Des rafales de vent atteignent les 130 km/h. L'élément principal chute au pied de l'éolienne, mais certains débris sont projetés à 150 m. Les secours établissent un périmètre de sécurité et ferment la voie d'accès. L'exploitant sécurise la pale endommagée et bloque la rotation de la nacelle. L'installation est expertisée et les 8 autres éoliennes du parc sont inspectées.

- **05/12/2014 – FITOU (11)** : A leur arrivée dans un parc éolien, des techniciens de maintenance constatent que l'extrémité d'une pale d'une éolienne est au sol. Il s'agit d'une des 2 parties de l'aérofrein de la pale. Cette partie, en fibre de verre, mesure 3 m de long. Elle est retrouvée à 80 m du mât. La seconde partie de l'aérofrein constitue sa partie mécanique interne. Ces éléments-là sont encore en place sur la pale. L'éolienne est arrêtée et mise en sécurité, la pale endommagée vers le bas. L'exploitant effectue une inspection visuelle des pales des 8 autres éoliennes du parc. En première approche, l'exploitant attribue l'incident à une défaillance matérielle ou à un décollement sur les plaques en fibre de verre. Les morceaux récupérés au sol sont envoyés au centre de maintenance de l'exploitant pour expertise.

29/01/2015 – REMIGNY (02) : A 6h25 un feu se déclare dans une éolienne. Celle-ci est automatiquement mise à l'arrêt sur alarme du détecteur de fumée. Sur place à 7h30, des employés constatent la présence de flammes et de fumée. Ils alertent les pompiers. A cause des fumées, ces derniers ne parviennent pas à approcher de la source de l'incendie. Ils doivent attendre leur dissipation. A 9h20 ils réussissent à progresser dans l'éolienne et éteignent l'incendie. Les dommages matériels sont estimés à 150 k€. Les 1 500 l d'eau utilisés pour le nettoyage sont pompés. Un défaut d'isolation au niveau des connexions des conducteurs de puissance serait à l'origine du sinistre. Le câble mis en cause assure la jonction entre la base et le haut de la tour. Ce défaut aurait provoqué un arc électrique entre 2 phases ce qui aurait initié l'incendie. L'éolienne n'était pas encore en exploitation, mais en phase de test. L'exploitant prévoit de tester la qualité de l'isolation de tous les câbles de puissance avant la mise en service. Il prévoit également de réaliser des mesures thermiques sur tous les câbles de puissance à 80% de leur charge nominale.

06/02/2015 – LUSSERAY (79) : Vers 15h30, un feu se déclare dans une éolienne, au niveau d'une armoire électrique où interviennent 2 techniciens. Ces derniers éteignent l'incendie avec 2 extincteurs. L'éolienne est hors service le temps des réparations.

24/08/2015 – SANTILLY (28) : Un feu se déclare vers 13h30 sur le moteur d'une éolienne situé à 90 m de hauteur. La nacelle étant trop haute pour la grande échelle des pompiers, ces derniers décident de laisser brûler le foyer sous surveillance. Les chemins menant à l'éolienne sont interdits à la circulation.

10/11/2015 – MENIL-LA-HORGNE (55) : Vers 22h30, les 3 pales et le rotor d'une éolienne, dont la nacelle se situe à 85 m de haut, chutent au sol. Le transformateur électrique, à son pied, est endommagé. De l'huile s'en écoule mais reste confinée dans la rétention. Le centre de supervision à distance du parc constate la perte de communication avec l'éolienne. Il la découple du réseau. Le lendemain, les agents de maintenance constatent sur place la rupture du rotor. Ils sécurisent la zone. Les 6 autres éoliennes du parc sont mises à l'arrêt. Les débris, disséminés sur 4 000 m², sont ramassés.

Selon l'exploitant, les premières constatations indiqueraient une défaillance de l'arbre lent, qui assure la jonction entre le rotor et la multiplicatrice. Elle trouverait son origine dans un défaut de fabrication de la pièce. Une non-conformité dans le processus de moulage de cette pièce de fonderie en acier est suspectée. Un défaut métallurgique, de type inclusion de laitier, aurait fragilisé la pièce et conduit à sa rupture par fatigue. Les contrôles réalisés sur les autres éoliennes du parc ont mis en évidence que ce type de défaut était présent sur un des autres arbres lents, au même niveau que celui accidenté.

Au total 54 éoliennes du même modèle sont installées en France. Les services du ministère du développement durable demandent au fabricant d'établir un programme de contrôle adapté. A la suite des contrôles effectués sur les autres arbres lents du même parc d'éolienne, 2 d'entre eux sont remplacés.

07/02/2016 – CONILHAC-CORBIERES (11) : Vers 11h30, l'aérofrein d'une des 3 pales d'une éolienne se rompt et chute au sol. L'exploitant procède à l'arrêt de l'ensemble du parc éolien à distance. Les secours sécurisent les lieux. Les premières investigations indiqueraient qu'un point d'attache du système mécanique de commande de l'aérofrein (système à câble) se serait rompu, ce qui aurait actionné l'ouverture de l'aérofrein. Du fait des fortes charges présentes sur le rotor, l'axe en carbone qui maintient l'aérofrein à la pale et/ou le point d'ancrage de cet axe, se serait alors rompu. Une campagne de contrôle des pales, aérofreins et de la chaîne de sécurité de chaque éolienne est réalisée.

08/02/2016 – DINEAULT (29) : Lors d'une tempête, des vents à 160 km/h endommagent une éolienne : une pale chute au sol, une autre se déchire. La pale rompue est retrouvée à 40 m du pied du mat. Dans les 2 cas, les manchons des pales sont restés arrimés au moyeu. L'exploitant met en sécurité les 4 éoliennes du parc. Les secours établissent un périmètre de sécurité de 350 m. L'éolienne, de 29 m de hauteur, datait de 1999 (puissance unitaire de 300 kW).

07/03/2016 – CALANHEL (22) : Vers 18 h, une des pales d'une éolienne se rompt et chute à 5 m du pied du mât. La turbine s'arrête automatiquement. L'exploitant est alerté par un agriculteur. Un intervenant se rend sur place et constate les dégâts. Le mât est endommagé dans sa partie haute, causé par un choc avec la pale, sans présenter de risque de chute. Il balise la zone pour prévenir des chutes possibles d'éléments du rotor. 8 autres turbines du parc sont mises à l'arrêt. Les 2 dernières, ayant fait l'objet d'une révision intégrale récente, sont maintenues en fonctionnement.

28/05/2016 – JANVILLE (28) : À 15h15, un employé constate un écoulement d'huile sous la nacelle d'une éolienne. Il arrête celle-ci et contacte l'équipe de maintenance. Arrivés à 17 h, les agents mettent en place des absorbants. L'écoulement d'huile est récupéré avant d'avoir atteint le sol. La défaillance d'un raccord sur le circuit de refroidissement de l'huile de la boîte de vitesse de l'éolienne est à l'origine de la fuite. L'installation est réparée 2 jours plus tard. L'exploitant engage une campagne de remplacement des raccords identiques du parc.

10/08/2016 – HESCAMPS (80) : Vers 15 h, un feu se déclare dans la partie haute d'une éolienne, au niveau du rotor. Un technicien maîtrise l'incendie avant l'arrivée des pompiers. Il redescend seul les 70 m de l'échelle intérieure de l'éolienne. Il est légèrement intoxiqué par les fumées. Les pompiers contrôlent l'extinction complète et procèdent à la ventilation. Une défaillance électrique serait à l'origine du départ de feu.

18/08/2016 – DARGIES (60) : Un technicien de maintenance d'un parc éolien constate vers 9 h qu'une éolienne ne tourne plus. Il découvre que de la fumée s'échappe de la tête de l'éolienne, à 80 m de haut. Des pompiers spécialisés dans les interventions en milieux périlleux effectuent une reconnaissance en partie haute de l'éolienne. Ils ouvrent une trappe de ventilation. Une défaillance électrique serait à l'origine de l'incendie. L'armoire électrique ou le pupitre de commande en serait le point de départ.

14/09/2016 – LES GRANDES-CHAPELLES (10) : Vers 15 h, un employé est électrisé alors qu'il intervient dans le nez d'une éolienne. Les pompiers spécialisés dans les interventions en hauteur évacuent la victime consciente.

11/01/2017 – LE QUESNOY (59) : Une fissure est constatée sur une pale d'une éolienne. L'exploitant arrête l'installation dans l'attente de sa réparation.

12/01/2017 – TUCHAN (11) : Vers 4 h, au cours d'un épisode de vents violents, les 3 pales d'une éolienne chutent au sol. L'exploitant collecte les morceaux de fibre de carbone répartis autour du mat de 40 m de l'éolienne. Des impacts sur le mat sont visibles. Il met en place des barrières et un gardiennage pour en sécuriser l'accès. L'éolienne, de 600 kW mise en service en 2002, était à l'arrêt pour maintenance suite à la casse totale de son arbre lent quelques jours auparavant. Cette rupture a eu pour conséquence le désaccouplement du rotor avec le multiplicateur, donc de rendre inopérant le frein mécanique. Bien que mise en position de sécurité (parallèle au vent et aérofrein des pales activé), les vents à 25 m/s ont provoqué la rupture des pales à cause d'une vitesse de rotation excessive.

18/01/2017 – NURLU (80) : Un particulier constate qu'une pale d'éolienne est tombée au sol et s'est brisée en plusieurs morceaux. Il informe l'exploitant qui arrête toutes les machines du parc en activité. Des agents arrivent sur site à 11h30. Ils demandent la mise en sécurité de l'éolienne et mettent en place un périmètre de sécurité autour de la zone. Selon la presse, la tempête survenue quelques jours auparavant pourrait être à l'origine de la chute. L'essentiel des débris se situe à moins de 90 m du mât. Les débris les plus lourds sont à moins de 27 m.

27/02/2017 – LA VALLEE (55) : Lors d'un orage, la pointe d'une pale d'éolienne se rompt. L'extrémité, de 7 à 10 m, est retrouvée au sol, en 3 morceaux, à 200 m de l'éolienne. L'ensemble du parc éolien, qui compte 4 éoliennes de 2 MW et 80 m de haut, est mis à l'arrêt. Un orage violent s'est abattu sur la zone de 18 h à 18h30. À 18h07, l'alarme "vent fort" de l'éolienne voisine s'est déclenchée. L'alarme "capteur de vibration" de l'éolienne endommagée s'est déclenchée à la même heure. À 18h10, le réseau électrique a été coupé, provoquant la perte de liaison avec le parc éolien. L'exploitant a découvert la casse le lendemain en se rendant sur place pour remettre le parc en service.

27/02/2017 – TRAYES (79) : Vers 22 h, le système d'exploitation d'un parc éolien émet des alarmes portant sur l'éolienne n°4 : mise à l'arrêt de l'éolienne et incohérence entre les vitesses de rotation du rotor et de l'arbre de la génératrice électrique. Le lendemain matin, l'exploitant constate sur place que les 7 derniers mètres d'une pale de 44 m, se sont désolidarisés. Plusieurs fragments de la pale sont projetés jusqu'à 150 m du mât, haut lui-même de 78 m. L'exploitant place les 5 éoliennes en position de sécurité et initie des expertises. L'exploitant envisage les facteurs suivants, seuls ou combinés, comme cause du bris de pale : défaut au niveau du bord d'attaque de la pale ; impact de la foudre ; fortes rafales de vent. À l'issue des contrôles sur les 4 autres éoliennes du parc, 2 d'entre elles sont remises en service. Des défauts sont découverts sur les 2 autres. L'exploitant s'engage à réaliser les réparations nécessaires avant la remise en service de ces 2 éoliennes.

27/02/2017 – LAVALLEE (55) : Lors d'un orage, la pointe d'une pale d'éolienne se rompt. L'extrémité, de 7 à 10 m, est retrouvée au sol, en 3 morceaux, à 200 m de l'éolienne. L'ensemble du parc éolien, qui compte 4 éoliennes de 2 MW et 80 m de haut, est mis à l'arrêt. Les débris sont ramassés et traités par une société spécialisée, pour expertise. L'exploitant a découvert la casse le lendemain en se rendant sur place pour remettre le parc en service. Le parc avait été mis en service en février 2011. Une rafale de vent extrême ayant été mesurée dans les secondes précédant la rupture, cette origine est privilégiée pour expliquer la casse de la pale. Le contrôle de 2 autres éoliennes du parc ne révèlent pas de défaut.

06/06/2017 – ALLONNES (28) : Vers 18 h, un feu se déclare dans la nacelle d'une éolienne. L'exploitant met en sécurité les 17 machines du parc éolien. Les secours coupent la circulation sur la N154. L'incendie s'éteint seul, à la fin de la combustion de la nacelle, vers 19h30. La nacelle et le rotor sont totalement calcinés. Une partie des pales ainsi que le haut du mât ont été touchés par l'incendie. Des éléments sont tombés au sol. L'exploitant met en place un gardiennage. En première hypothèse, l'exploitant indique qu'un défaut des condensateurs du boîtier électrique, situé dans la nacelle, pourrait être à l'origine du sinistre. Il exclut la piste d'un impact de foudre. Un arrêté préfectoral d'urgence demande à l'exploitant : la mise en sécurité de l'éolienne avec démontage des éléments risquant de

chuter et matérialisation d'un périmètre de sécurité de 300 m ; une surveillance de l'environnement avec analyse de la pollution des sols et évacuations des déchets. L'éolienne est démantelée le 17/06/17.

08/06/2017 – AUSSAC-VADALLE (16) : Durant la nuit lors d'un orage, une partie d'une pale d'une éolienne chute au sol. Le lendemain matin, l'exploitant arrête les 4 éoliennes de son parc. Il collecte les débris tombés dans une zone de 50 à 100 m du mât et met en place un balisage. Il avertit l'exploitant agricole propriétaire du champ où est installée l'éolienne. L'expertise réalisée par le fabricant de la pale conclut qu'un impact de foudre est à l'origine de sa rupture.

24/06/2017 – CONCHY-SUR-CHANCHE (62) : Vers 23h30, une pale d'une éolienne se brise au niveau de sa jonction avec le rotor dans un parc éolien. La pale chute à la verticale, au pied du mât. Les quelques débris projetés sont présents dans un rayon de 20 m. L'exploitant arrête l'installation ainsi que les 4 autres aérogénérateurs du site, du même modèle. Il met en place un périmètre de sécurité et condamne l'accès au site. Le vent était faible au moment de l'événement.

17/07/2017 – FECAMP (76) : Vers 23h30, un aérofrein se détache d'une pale d'éolienne dans un parc éolien. Le lendemain matin, un agent de maintenance découvre l'équipement au pied du mât de 49 m. La clôture du site est endommagée. L'éolienne est arrêtée. L'installation redémarre le 16/08/17. L'exploitant conclut que le desserrage d'une vis anti-rotation a provoqué la chute de l'aérofrein. Un problème de montage, ou des vibrations en fonctionnement, en serait à l'origine.

24/07/2017 – MAURON (56) : Une fuite d'huile est détectée vers 17 h sur une éolienne. La rupture d'un flexible du circuit hydraulique de l'aérogénérateur en est à l'origine. Le rejet, estimé à 5 l, s'est écoulé le long du mât et quelques gouttes sont tombées au sol. L'éolienne est arrêtée et des absorbants sont disposés au sol. Le flexible est remplacé. L'éolienne redémarre le lendemain. Une société spécialisée réalise un diagnostic de l'état des milieux sur 3 500 m² en réalisant 7 sondages du sol. Seule une zone de pollution de 2 m² sur 10 cm de profondeur est identifiée au pied du mât. Une société de traitement évacue ces graviers impactés. La vétusté du flexible serait à l'origine de la fuite.

05/08/2017 – PRIEZ (2) : Vers 3 h une pale d'éolienne se brise en son milieu et tombe au sol. Les débris sont retrouvés par l'exploitant au pied du mât le matin. Il en sécurise l'accès et fait surveiller la zone. L'inspection des installations classées demande la mise à l'arrêt de tous les aérogénérateurs du parc dans l'attente de la compréhension de l'événement.

08/11/2017 – ROMAN (27) : En fin d'après-midi, le carénage de la pointe de la nacelle d'une éolienne tombe au sol dans un parc éolien. Les agents de maintenance, avertis par une alarme "arrêt automatique turbine" à 17h30, se rendent sur place le lendemain matin. Ils sécurisent l'accès à la zone et préviennent l'exploitant agricole de la parcelle. L'ensemble du parc éolien est mis à l'arrêt. L'exploitant conclut que la chute du carénage est due à un défaut d'assemblage de ses boulonnages. L'exploitant procède au contrôle des carénages des autres aérogénérateurs du parc. Aucun défaut n'est découvert.

01/01/2018 – BOUIN (85) : En début de matinée lors d'une tempête, le mât d'une éolienne de 60 m de haut se brise en 2. Les 55 m supérieurs de l'éolienne chutent au sol. Des débris s'éparpillent sur une surface assez importante. Le rotor est enfoncé dans le sol. Les pompiers mettent en place un périmètre de sécurité. L'exploitant arrête les 7 autres éoliennes du parc. Il met en place un gardiennage. À la suite d'une erreur d'interprétation des données, un opérateur place l'éolienne dans une position qui entraîne une augmentation rapide de la vitesse du rotor, dépassant la limite de sécurité. Les dispositifs de protection contre la survitesse s'activent, mais la machine ne s'arrête pas à cause d'une usure anormale des blocs de frein du système d'orientation des pales. Les charges mécaniques exercées sur le mât excèdent alors largement les limites de conception de l'éolienne, qui s'effondre. Les investigations de l'exploitant lui permettent de découvrir que le protocole des inspections de maintenance ne couvrait pas la liaison mécanique entre le moteur et les freins. L'usure de cet équipement n'a pas été détectée lors des contrôles annuels.

04/01/2018 – NIXEVILLE-BLERCOURT (55) : Dans un parc éolien, l'extrémité d'une pale d'une éolienne de 2 MW se rompt, lors d'un épisode venteux. Un morceau de 20 m chute au sol. L'exploitant sécurise la zone. Les morceaux les plus éloignés sont ramassés à 200 m. Un gardiennage est mis en place 24 h/24.

06/02/2018 – CONILHAC-CORBIERES (11) : Vers 11h30, l'aérovein d'une pale d'éolienne chute au sol dans un parc éolien. L'équipe technique présente sur site arrête l'aéogénérateur. La zone est sécurisée, les débris ramassés. À la suite d'un défaut sur l'électronique de puissance, l'éolienne est passée en arrêt automatique par sollicitation du freinage aérodynamique. Lors de l'ouverture de l'aérovein en bout de pale, son axe de fixation en carbone s'est rompu provoquant sa chute. Un accident similaire est survenu sur ce parc 2 ans auparavant (ARIA 47675).

01/06/2018 – MARSANNE (26) : Vers 2h30, un feu se déclare au pied d'une éolienne dans un parc composé de 8 aéogénérateurs. L'incendie se propage jusqu'à sa nacelle. Les pompiers placent des lances en prévention de l'extension du sinistre à la végétation car des morceaux incandescents chutent au sol. Ils maîtrisent l'incendie. La nacelle est entièrement brûlée ainsi que la base des pales mais celles-ci restent en place. Une deuxième éolienne fait également l'objet d'un départ de feu, mais celui-ci est resté confiné à sa base. Des barrières sont posées sur les accès et un gardiennage est effectué.

05/06/2018 – AUMELAS (34) : Un feu se déclare vers 18h45 dans la nacelle d'une éolienne de 70 m de haut. 10 minutes plus tard, l'exploitant découple à distance le parc éolien du réseau électrique. Des éléments de l'éolienne en feu chutent au sol. Les flammes se propagent en partie basse de l'aéogénérateur. Les pompiers laissent l'incendie se terminer sous surveillance mais placent des lances en prévention d'une propagation du sinistre à la végétation. La nacelle de l'aéogénérateur est presque totalement détruite. 50m² de végétation ont brûlé. L'accès à la zone est interdit et surveillé. Les débris sont ramassés.

04/07/2018 – PORT-LA-NOUVELLE (11) : Vers 18 h, une avarie est constatée sur 2 des pales d'une éolienne : leurs extrémités se sont disloquées. Des éléments ont été projetés à 150 m du mât après s'être décrochées. L'exploitant met en place un périmètre de sécurité. L'aéogénérateur est mis en position de sécurité. Un gardiennage permanent est mis en œuvre le temps de l'évacuation de tous les débris (jusqu'au 08/07 20 h).

28/09/2018 – SAUVETERRE (81) : Vers 2h, un feu se déclare au niveau de la nacelle d'une éolienne dans un parc éolien. Un riverain donne l'alerte. L'exploitant arrête les 4 aéogénérateurs du site. Les pompiers interviennent. Ils rencontrent des difficultés d'accès à la zone sinistrée. Des éléments enflammés chutent au sol. Le feu se propage à la végétation voisine. Les pompiers maîtrisent le sinistre à 6h30. Ils maintiennent une surveillance en raison des risques de reprise de feu. L'exploitant met en place un balisage et un gardiennage de la zone. La nacelle, les pales et des armoires de commande en pied de mât sont détruits. La machine est démantelée début novembre. 2,5 ha de végétation, essentiellement une plantation de résineux, ont brûlé. La gendarmerie effectue une enquête. La présence de 2 foyers et de traces d'effraction sur la porte d'accès les amènent à conclure à un acte de malveillance.

17/10/2018 – FLERS-SUR-NOYE (80) : Vers midi, un technicien de maintenance détecte une fuite d'huile hydraulique depuis la nacelle d'une éolienne. L'aéogénérateur est arrêté. Environ 150 l d'huiles sont récupérés. L'exploitant du parc éolien estime que 50 l ont été perdus. Sous l'effet du vent, la zone impactée au pied de l'éolienne, ainsi que des terrains cultivés adjacents, est d'environ 2 000 m². Une partie des cultures est perdue. Les terres polluées sont décapées sur une dizaine de cm. Elles sont stockées sur une bâche étanche, avant leur retraitement. De la terre végétale est mise en œuvre pour permettre la reprise de l'activité agricole. Un contrôle des prochaines récoltes est planifié. La mauvaise réalisation d'une activité de maintenance annuelle préventive, la veille de l'événement, en est à l'origine.

06/11/2018 – GUIGNEVILLE (45) : Vers 6 h, une éolienne, d'une hauteur en bout de pale de 140 m, s'effondre dans un parc éolien composé de 2 aéogénérateurs (3 MW). Des riverains donnent l'alerte. L'exploitant arrête les autres éoliennes de même type, dans 5 parcs éoliens. Un balisage et une surveillance sont mis en place. L'inspection des installations classées constate sur site que le mât s'est arraché de sa base en béton. Les filetages des boulons de fixation du mât sont arasés et les écrous sont arrachés. Des fissures circulaires sont présentes au niveau de la base en béton. L'équipement est expertisé. L'expertise conclut qu'une sur-vitesse de rotation des pales de l'éolienne a conduit à une surcharge de contraintes sur la structure, provoquant son effondrement. Cet emballement est consécutif au déclenchement d'un arrêt d'urgence alors que l'alimentation (par batterie) des 3 pales était en défaut, sachant que le passage d'une seule pale en position d'arrêt aurait permis d'arrêter l'éolienne. Les causes de la défaillance simultanée des alimentations électriques des

3 pales de l'éolienne relèvent de : la conception de l'éolienne : chaque pale est alimentée par 24 batteries montées en série : la défaillance d'une seule met en défaut l'alimentation électrique de l'arrêt d'urgence de la pale ; le déclenchement de l'arrêt d'urgence désactive la boucle de régulation, rendant indisponible le contrôle de la vitesse de l'éolienne ; la fiabilité des batteries : leur durée de vie est inférieure à celle annoncée par le fournisseur ; le paramétrage et la gestion des alarmes : acquittements automatiques avec tentatives de redémarrage et insuffisance de la détection des alarmes ; la gestion de la maintenance et de l'usure des batteries : les procédures n'ont pas été appliquées de manière correcte et les multiples alarmes sur l'aérogénérateur impliqué n'ont pas donné lieu à une analyse particulière des batteries. L'exploitant prend les mesures suivantes : remplacement des batteries ; installation de diodes de by-pass sur les batteries afin de palier un ou plusieurs défauts sur un rack ; modification de la procédure de redémarrage après une alarme ; vérification mensuelle de l'arrêt d'urgence par test sur site.

18/11/2018 – CONILHAC-CORBIERES (11) : Les 3 aérofrees en extrémité des pales d'une éolienne chutent au sol, au pied du mât. L'équipe technique constate l'incident en se rendant sur site le lendemain en raison de l'arrêt de l'aérogénérateur. L'installation est mise en sécurité. Les débris, contenus dans un rayon de 150 m au pied du mât, sont ramassés et stockés avant traitement et recyclage en filaire agréée. L'éolienne s'est arrêtée à la suite de l'ouverture de la chaîne de sécurité. La rupture des parties en fibre de verre ainsi que de l'axe en carbone de fixation de l'aérofrein est constatée. Un accident similaire est survenu sur ce parc au début 2018 (ARIA 51122).

19/11/2018 – OLLEZY (02) : À 11h30, un agent de surveillance d'un parc éolien constate la rupture d'une pale d'une éolienne. Des 40 m de l'équipement, les 30 derniers sont tombés au sol. L'exploitant arrête les 9 aérogénérateurs du site. Les communes environnantes sont prévenues. La zone est sécurisée et un balisage du pied de la turbine et de la pale au sol est mis en place. Le site est placé sous surveillance. Les 8 autres éoliennes du parc, mis en exploitation l'année précédente, redémarrent un mois et demi plus tard.

03/01/2019 – LA LIMOUZINIÈRE (44) : Vers minuit, un feu se déclare au niveau de la nacelle d'une éolienne de 78 m de haut. Des riverains donnent l'alerte. L'exploitant arrête les 4 autres éoliennes du parc à 2h05. De nombreux débris enflammés tombent au sol. Un feu se déclare au pied de l'aérogénérateur. Les pompiers mettent en place un périmètre de sécurité de 150 m. Ils quittent le site à l'arrivée des équipes de l'exploitant vers 3h30. Celles-ci mettent en place un kit anti-pollution, des coulures d'huile étant visibles le long du mât. La nacelle de l'éolienne est détruite ainsi que la base des 3 pales. Une incertitude majeure plane sur leur tenue mécanique. Des traces d'huile hydraulique sont présentes jusqu'à 100 m du pied du mât. L'exploitant met en place un balisage et un gardiennage. Le périmètre de sécurité est porté à 200 m. L'exploitant envisage de démanteler la machine mais l'opération s'avère compliquée en raison du risque de chute d'éléments. Début février, l'essentiel des déchets de fibre de verre sont ramassés. Selon les premiers éléments de l'enquête, une avarie sur la génératrice de l'éolienne semble à l'origine de l'incendie. Celle-ci avait été bridée à 50 % de sa puissance depuis une quinzaine de jours à la suite de la détection d'une usure de roulement par le système de surveillance vibratoire. Une intervention de maintenance, effectuée le 28/12, avait mis fin à ces vibrations caractéristiques d'un défaut de roulement. Cependant, des signes de délignage avaient fait leur apparition. Selon l'exploitant, l'analyse du système de surveillance mettrait en évidence un phénomène harmonique à la fréquence de rotation de la génératrice.

17/01/2019 – BAMBIDERSTROFF (57) : Vers 15 h dans un parc éolien, une pale d'éolienne se rompt. 2 morceaux chutent au sol, l'un de 5 m (coque) et l'autre de 28 m (fibre de verre). Ce dernier est projeté à 100 m de l'éolienne. L'exploitant arrête les 5 autres aérogénérateurs du parc à 15h17. Il met en place un périmètre de sécurité et ramasse la totalité des débris. Selon les premiers éléments d'analyse, un défaut d'adhérence (manque de matière) entre la coque en fibre de verre et le cœur de la pale serait à l'origine de cette rupture.

20/01/2019 – ROUSSAS (26) : Dans la nuit, un feu se déclare sur 2 éoliennes d'un parc composé de 12 aérogénérateurs. Les éoliennes sont lourdement endommagées. D'après la presse, il s'agit d'un acte criminel. Un accident similaire était survenu en juin 2018, dans un parc éolien proche appartenant au même exploitant (ARIA 51675).

23/01/2019 – BOUTAVENT (60) : Vers 14h40, le mât de 66 m d'une éolienne se plie en 2 en son milieu. Des débris sont projetés dans un rayon de 300 m. Les pompiers mettent en place un périmètre de sécurité de 500 m. Une coupure de courant impacte vers 13h30 le parc éolien, comptant 2

aérogénérateurs. Les pales de l'éolienne accidentée ne se sont pas mises en drapeau et sont restées en position de production, alors que le générateur était à l'arrêt. La machine est entrée en survitesse jusqu'à la dislocation d'une pale. Le balourd en résultant aurait conduit au pliage du mât. Le fabricant met les 21 autres éoliennes du même modèle à l'arrêt. Selon l'exploitant, l'absence de passage en position de sécurité des pales est dû à une chute de tension au niveau des batteries pilotant la rotation des pales en cas de coupure de l'alimentation électrique. Il effectue des tests sur toutes les batteries des éoliennes du même constructeur et effectue les remplacements nécessaires. Il modifie également son plan de maintenance : tous les 2 ans, une des 3 pales sera équipée de batteries neuves. Il fixe l'âge maximal d'une batterie en exploitation à 6 ans.

Analyse du recensement

Sur les 43 nouveaux accidents et incidents dans des parcs éoliens recensés en France entre février 2012 et décembre 2018 :

- 3 accidents concernent des accidents sur le personnel de maintenance, et ne concernent pas directement l'étude de dangers ;
- 2 accidents concernent un bris de pale, mais non utilisables dans les accidents de type chute ou projection dans la mesure où la pale est restée accrochée ;
- 3 incidents concernent le déversement d'huile hydraulique en raison d'une perte de confinement ;
- 35 accidents concernent un effondrement, une rupture de pale, une chute de pale ou d'élément et un incendie.

Pour cette dernière catégorie, la répartition des événements accidentés et de leurs causes premières est fournie dans le graphique ci-après, selon le même modèle que le graphique précédent.

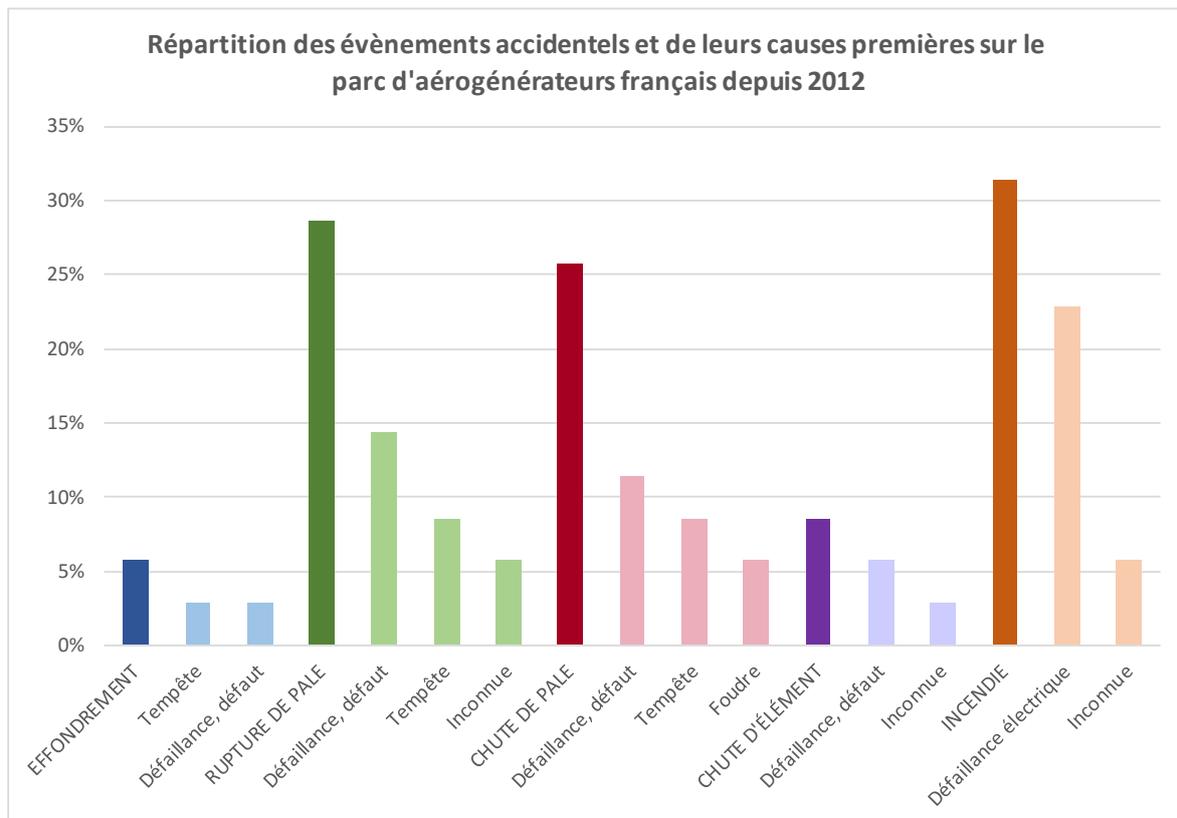


Figure 6 : Répartition des accidents et de leurs causes premières sur le parc éolien français depuis 2012 (Source : ARIA)

Globalement, sur les 7 dernières années, l'ordre d'importance des accidents les plus recensés a évolué : incendie, rupture de pale, chute de pale, chute d'élément et effondrement. La principale cause de ces accidents est une défaillance électrique ou technique, un dysfonctionnement ou un défaut matériel.

Les technologies plus récentes ont permis de diminuer drastiquement l'effondrement d'éoliennes (30% des accidents entre 2000 et 2011, contre 6% depuis 2012).

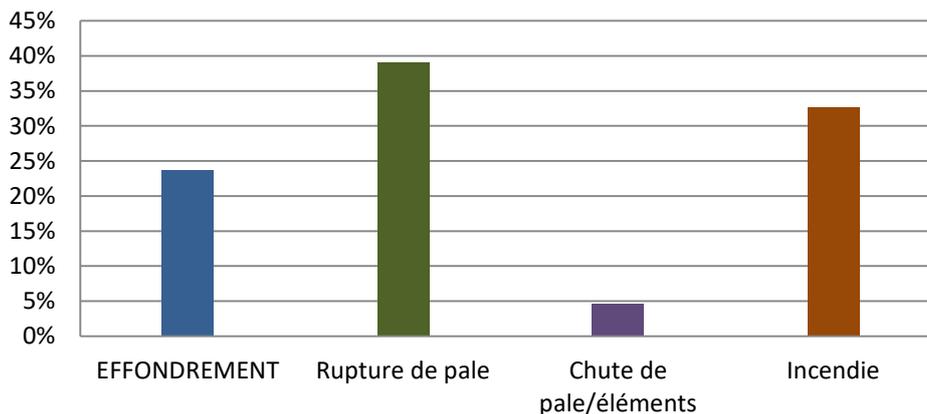
6.2. INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS A L'INTERNATIONAL

Un inventaire des incidents et accidents à l'international a également été réalisé. Il se base 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.

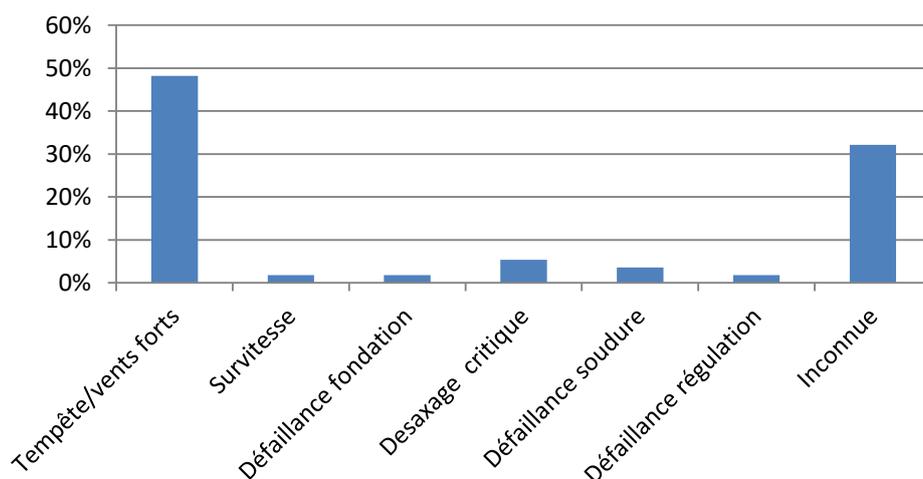
Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels par rapport à la totalité des accidents analysés.

**Répartition des événements accidentels dans le monde
entre 2000 et 2011**

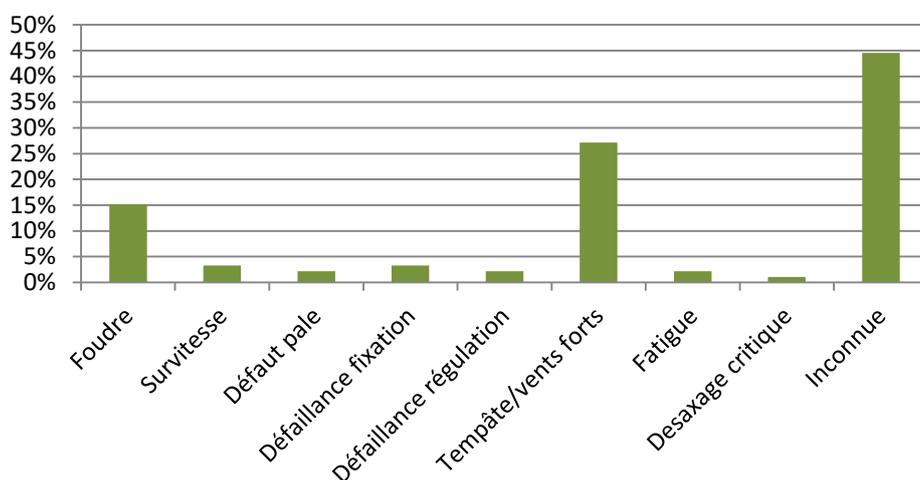


Ci-après, est présenté le recensement des causes premières pour chacun des événements accidentels recensés (données en répartition par rapport à la totalité des accidents analysés).

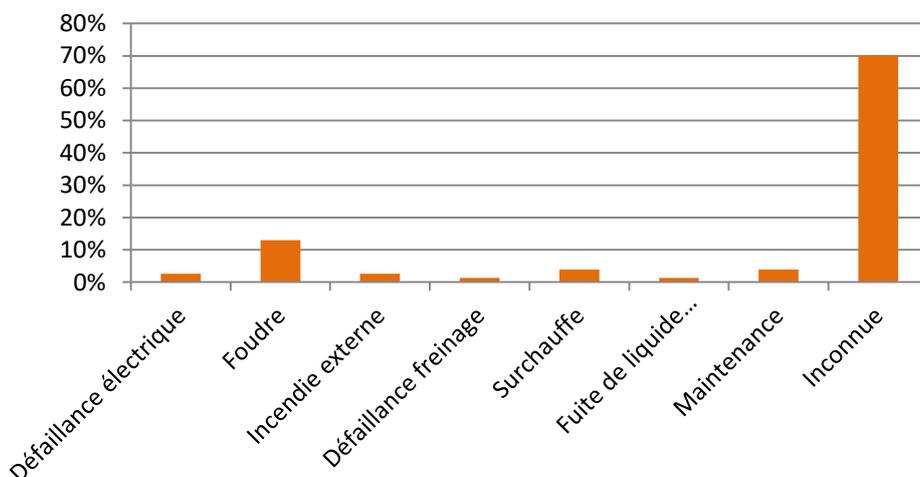
Répartition des causes premières d'effondrement



Répartition des causes premières de rupture de pale



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. Malheureusement, des causes restent inconnues.

6.3. SYNTHESE DES PHENOMENES DANGEREUX REDOUTES ISSUS DU RETOUR D'EXPERIENCE

6.3.1. ANALYSE DE L'EVOLUTION DES ACCIDENTS EN FRANCE

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

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

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

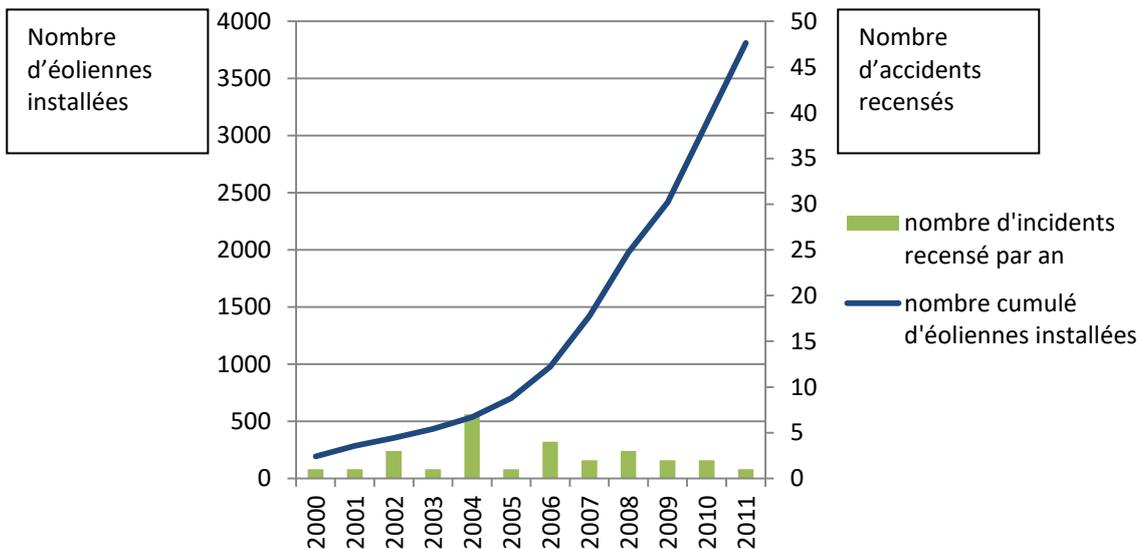


Figure 7 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées
On note bien l'essor de la filière française à partir de 2005, alors que le nombre d'accident reste relativement constant

6.3.2. ANALYSE DES TYPOLOGIES D'ACCIDENTS LES PLUS FREQUENTS

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

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

6.4. LIMITES D'UTILISATION DE L'ACCIDENTOLOGIE

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

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

- La non-homogénéité des aérogénérateurs inclus dans ce retour d'expérience : les aérogénérateurs observés n'ont pas été construits aux mêmes époques et ne mettent pas en œuvre les mêmes technologies. Les informations sont très souvent manquantes pour distinguer les différents types d'aérogénérateurs (en particulier concernant le retour d'expérience mondial) ;
- Les importantes incertitudes sur les causes et sur la séquence qui a mené à un accident : de nombreuses informations sont manquantes ou incertaines sur la séquence exacte des accidents ;

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

7. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

7.1. OBJECTIF DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

L'analyse des risques a pour objectif principal d'identifier les scénarios d'accident majeur 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 potentiel 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 majeur – ces derniers pouvant avoir des conséquences sur les personnes.

7.2. RECENSEMENT DES EVENEMENTS INITIATEURS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES

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

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

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

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

7.3. RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES

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

Traditionnellement, deux types d'agressions externes sont identifiés :

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

7.3.1. AGRESSION EXTERNES LIEES AUX ACTIVITES HUMAINES

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

Infrastructure	Fonction	Evénement redouté	Danger potentiel	Périmètre ⁷	Distance par rapport au mât des éoliennes (en m)		
					E1	E2	E3
Voies de circulation	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	374*	308 *	117*
Voies de circulation trains	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un train	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	> 200		
Autres éoliennes	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	458	458	635
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	> 200		
Ligne HTA				200 m	500	84	533
Gazoduc	Transport de gaz	Rupture du gazoduc	Libération de gaz	200 m	> 200		
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2000 m	Non Concerné > 2000		

Tableau 14 : Infrastructures et distances aux éoliennes

* distance éolienne – route communale

7.3.2. AGRESSIONS EXTERNES LIEES AUX PHENOMENES NATURELS

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

Agression externe	Intensité
Vents et tempête	Cyclones tropicaux : non concerné Risque : non concerné par le risque tempête et grains
Foudre	nombre de jours moyen d'orage : 25 entre 1 et 2 impacts par km ² et par an

⁷ Distance à partir de laquelle l'activité considérée ne constitue plus un agresseur potentiel

Glissement de sols/ affaissement miniers	Non concerné
--	--------------

Tableau 15 : Agressions externes et intensité

Comme il a été expliqué précédemment, nous ne tenons pas compte des inondations, incendies de forêts et de cultures et des séismes car les dangers qu'ils entraînent sont largement supérieurs aux dommages entraînés par les éoliennes.

Note : 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. En effet, on considère que le respect des normes rend le risque d'effet direct de la foudre négligeable (risque électrique, risque d'incendie, etc.) par le système de mise à la terre, qui 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. Toutes les éoliennes installées sur ce site sont équipées d'un système de protection contre la foudre conçu pour répondre à la classe de protection I de la norme internationale IEC 61400.

7.4. SCENARIOS ETUDIES DANS L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

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

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

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

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

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

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.

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

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur Fuite transformateur	Ecoulement hors de la nacelle et le long du mât, puis sur le sol avec infiltration	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Ecoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
C01	Défaut de fixation	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	1
C02	Défaillance fixation anémomètre	Chute anémomètre	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
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
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°14)	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

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
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) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°14)	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 16 : Analyse des différents scénarios (Source : INERIS/SER)

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 ».

En ce qui concerne les accidents sur des aérogénérateurs qui conduiraient à des effets dominos sur d'autres installations, le paragraphe 1.2.2 de la circulaire du 10 mai 2010 précise : « [...] seuls les effets dominos générés par les fragments sur des installations et équipements proches ont vocation à être pris en compte dans les études de dangers [...]. Pour les effets de projection à une distance plus lointaine, l'état des connaissances scientifiques ne permet pas de disposer de prédictions suffisamment précises et crédibles de la description des phénomènes pour déterminer l'action publique ». D'après ce paragraphe de la circulaire, il a été choisi de prendre en considération uniquement les infrastructures présentes dans un périmètre de 100 m autour des aérogénérateurs.

L'ICPE la plus proche est une exploitation agricole localisée sur la commune de La Meyze, à 3,2 km au sud-est de l'éolienne E3.

Note : Les effets dominos susceptibles d'impacter les éoliennes sont décrits dans le tableau d'analyse des risques générique présenté ci-dessus (Scenario E01).

7.6. MISE EN PLACE DES MESURES DE SECURITE

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

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

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

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
Mesures de sécurité	Capteurs de température des pièces mécaniques Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement Systèmes de refroidissement indépendants pour le multiplicateur et la génératrice		
Description	/		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		

Tests	A préciser si possible
Maintenance	Maintenance préventive semestrielle de la génératrice et de son système de refroidissement, ainsi que du multiplicateur (y compris le système de refroidissement de l'huile du multiplicateur). Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.

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

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

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur.		
Description	Respect de la norme IEC 61 400 – 24 (juin 2010) Parafoudres sur la nacelle + récepteurs de foudre sur les 2 faces des pales Mise à la terre (nacelle/mât, sections de mât, mât/fondation) Parasurtenseurs sur les circuits électriques		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	Mesure de terre lors des vérifications réglementaires des installations électriques		
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011. Contrôle de l'état de l'installation de mise à la terre dans le mât à chaque maintenance préventive.		

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

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	Détecteurs de niveau d'huiles Systèmes d'étanchéité et dispositifs de collecte / récupération Procédure d'urgence Kit antipollution		
Description	<p>Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence.</p> <p>Présence de plusieurs bacs collecteurs au niveau des principaux composants.</p> <p>Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange.</p> <p>Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; - d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...) - de récupérer les déchets absorbés. <p>Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, une société spécialisée récupérera et traitera le gravier ou la terre végétale souillés via les filières adéquates, puis le remplacera par un nouveau revêtement.</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Dépendant du débit de fuite		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Inspection des niveaux d'huile plusieurs fois par an		

Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	N° de la fonction de sécurité	9
Mesures de sécurité	<p>Surveillance des vibrations Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.) Procédures qualités Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)</p>		
Description	<p>La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne.</p> <p>Ainsi la nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23.</p> <p>Les éoliennes sont équipées de capteurs de vibration, qui entraînent l'arrêt en cas de dépassement des seuils définis.</p> <p>Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223 (peinture et revêtement anti-corrosion).</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	15 à 60s (arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage adapté)		
Efficacité	100 %		
Tests	Déclenchement manuel des capteurs de vibration et vérification de la réponse du système		
Maintenance	<p>Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du pitch system, couronne du Yam Gear, boulons de fixation de la nacelle...) sont vérifiés au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Inspection visuelle du mât et, si besoin, nettoyage lors des maintenances préventives annuelles.</p>		

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

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pâles) par le système de conduite		
Description	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale pour laquelle elle a été conçue.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	15 à 60 s suivant le programme de freinage		
Efficacité	100 %. NB : En fonction de l'intensité attendue des vents, d'autres dispositifs de diminution de la prise au vent de l'éolienne peuvent être envisagés.		
Tests	Test des programmes de freinage lors de la mise en service de l'éolienne. Test automatique du système de freinage mécanique et du fonctionnement de chaque système pitch (freinage aérodynamique) lors de la séquence de démarrage de l'éolienne.		
Maintenance	Maintenance préventive du système pitch (les points contrôlés varient suivant le type de maintenance – T1 / T2 / T3 / T4), notamment vérification du câblage et du système de lubrification automatique, graissage des roulements de pitch. Maintenance préventive du frein mécanique (les points contrôlés varient suivant le type de maintenance – T1 / T2 / T3 / T4), notamment inspection visuelle, vérification de l'épaisseur des plaquettes de frein et des capteurs du frein mécanique.		

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

Maintenance	Remplacement des batteries du système pitch au cours de la maintenance quinquennal. Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.
--------------------	--

Fonction de sécurité	Prévenir les risques liés aux opérations de chantier	N° de la fonction de sécurité	13
Mesures de sécurité	Mise en place d'une procédure de sécurité / rédaction d'un plan de prévention / Plan particulier de sécurité et de protection de la santé (PPSPS) Mise en place d'une restriction d'accès au chantier		
Description	-		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	N/A		
Efficacité	100 %		
Tests	N/A		
Maintenance	N/A		

Fonction de sécurité	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	N° de la fonction de sécurité	14
Mesures de sécurité	Inspection des équipements lors des maintenances planifiées Suivi de données mesurées par les capteurs et sondes présentes dans les éoliennes		
Description	Des contrôles visuels sont prévus lors des opérations de maintenance. Un système de revêtement spécial respectant les exigences de la norme ISO 12944 permet une protection des pièces de l'éolienne contre la corrosion et les autres événements de l'environnement. Les données mesurées par les capteurs et sondes présentes dans l'éolienne sont suivies et enregistrées. Ces données sont traitées afin de détecter les dégradations potentielles des équipements. Lorsqu'elle est nécessaire, une inspection de l'équipement soupçonné de se dégrader est planifiée.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	NA		
Tests	/		
Maintenance	NA		

Tableau 17 : Mesures de sécurité mises en place par Vestas

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

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

7.7. CONCLUSION DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE 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)	<p>En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m² n'est pas atteinte. Dans le cas d'un incendie au niveau du mât les effets sont également mineurs et l'arrêté du 26 Août 2011 encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques.</p> <p>Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.</p>
Incendie du poste de livraison ou du transformateur	En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 août 2011 [9] et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200)
Chute et projection de glace dans les cas particuliers où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C	<p>Lorsqu'un aérogénérateur est implanté sur un site où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C, il peut être considéré que le risque de chute ou de projection de glace est nul.</p> <p>Des éléments de preuves doivent être apportés pour identifier les implantations où de telles conditions climatiques sont applicables.</p>
Infiltration d'huile dans le sol	En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs. De plus, le site éolien n'est pas concerné par un périmètre de protection rapproché.

Tableau 18 : Scénario exclu

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.

8.1. RAPPEL DES DEFINITIONS

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 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. CINETIQUE

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

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

Dans le cadre d'une étude de dangers pour des aérogénérateurs, il est supposé, de manière prudente, que tous les accidents considérés ont une cinétique rapide. Ce paramètre ne sera donc pas détaillé à nouveau dans chacun des phénomènes redoutés étudiés par la suite.

8.1.2. INTENSITE

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

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

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

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

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

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

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

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

Tableau 19 : Intensité et degré d'exposition

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

8.1.3.GRAVITE

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

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

Tableau 20 : Intensité et gravité

8.1.4.PROBABILITE

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 Evénement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité.	$10^{-4} < P \leq 10^{-3}$
D	Rare S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité.	$10^{-5} < P \leq 10^{-4}$
E	Extrêmement rare Possible mais non rencontré au niveau mondial. N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles.	$\leq 10^{-5}$

Tableau 21 : Niveau 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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

8.1.5.ACCEPTABILITE

Le risque est défini acceptable ou inacceptable selon la classe de probabilité.

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 dans la suite de l'analyse.

GRAVITÉ des Conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux	Jaune	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
Catastrophique	Jaune	Jaune	Rouge	Rouge	Rouge
Important	Jaune	Jaune	Jaune	Rouge	Rouge
Sérieux	Vert	Vert	Jaune	Jaune	Rouge
Moderé	Vert	Vert	Vert	Vert	Jaune

Légende de la matrice :

Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible	Vert	acceptable
Risque faible	Jaune	acceptable
Risque important	Rouge	non acceptable

Tableau 22 : Matrice de criticité

Les scénarios représentés en vert et jaune conduisent à un risque acceptable tandis que le rouge montre un scénario inacceptable.

8.2. CARACTERISATION DES SCENARIOS RETENUS

Afin de caractériser les différents scénarios retenus, nous utiliserons les données suivantes :

Elément		Sigle	Dimensions de la Vestas V150 4 MW (m)	Dimensions de la Nordex N149 4 MW (m)	Dimensions de la Siemens Gamesa SG145 4,5 MW (m)
Mât	Hauteur de moyeu	H	125	125	127,5
	Base	L	5	5	5
Pale	Longueur	R	73,66	72,4	71
	Largeur la plus importante	LB	4,2	4,2	4,2
Rotor	Diamètre	D	150	149,1	145

Tableau 23 : Caractéristiques des éoliennes (Source : Vestas, Nordex, Siemens Gamesa)

Considérant ces dimensions, le calcul des zones d'effets par modèle d'éolienne est le suivant :

Zone d'effet	Effondrement (m)	Chute de glace (m)	Chute d'éléments (m)	Projection éléments (m)	Projection de glace (m)
Vestas V150 4 MW	200	75	75	500	412,5
Nordex N149 4 MW	199,55	74,55	74,55	500	411,15
Siemens Gamesa SG145 4,5 MW	200	72,5	72,5	500	408,75

Tableau 24 : Calcul des zones d'effet en fonction des caractéristiques des éoliennes

Le calcul du degré d'exposition et de l'intensité par modèle est le suivant :

Modèle		Effondrement	Chute de glace	Chute d'éléments	Projection éléments	Projection de glace
Vestas V150 4 MW	Degré d'exposition	0,87	0,01	0,88	0,02	0,00019
	Intensité	modérée	modérée	modérée	modérée	modérée
Nordex N149 4 MW	Degré d'exposition	0,86	0,01	0,87	0,02	0,00019
	Intensité	modérée	modérée	modérée	modérée	modérée
Siemens Gamesa SG145 4,5 MW	Degré d'exposition	0,86	0,01	0,90	0,02	0,00019
	Intensité	modérée	modérée	modérée	modérée	modérée

Tableau 25 : Calcul des zones d'effet en fonction des caractéristiques des éoliennes

Le porteur de projet a choisi d'analyser les scénarii en prenant en compte les zones d'effet les plus étendues et les intensités majorantes. Conformément aux tableaux ci-dessus, l'étendue maximale des zones d'effet et les niveaux d'intensité majorants sont :

Scenario	Zone d'effet (V150)	Intensité (V150)
Effondrement	200 m	modérée
Chute de glace	75 m	modérée
Chute d'éléments de l'éolienne	75 m	modérée
Projection de pales ou de fragments de pales	500 m	modérée
Projection de glace	412,5 m	modérée

Tableau 26 : Caractéristiques retenues pour l'analyse des scénarii

Ainsi, les zones d'effet, les enjeux humains et les calculs d'intensité sont réalisés à partir des caractéristiques de la V150.

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 200 m dans le cas des éoliennes du parc de Fromentaux.

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.

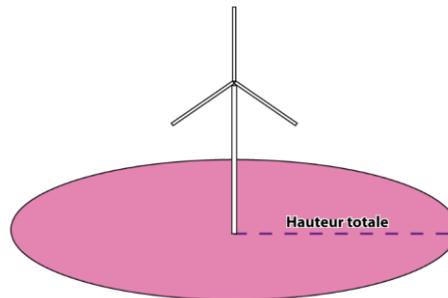
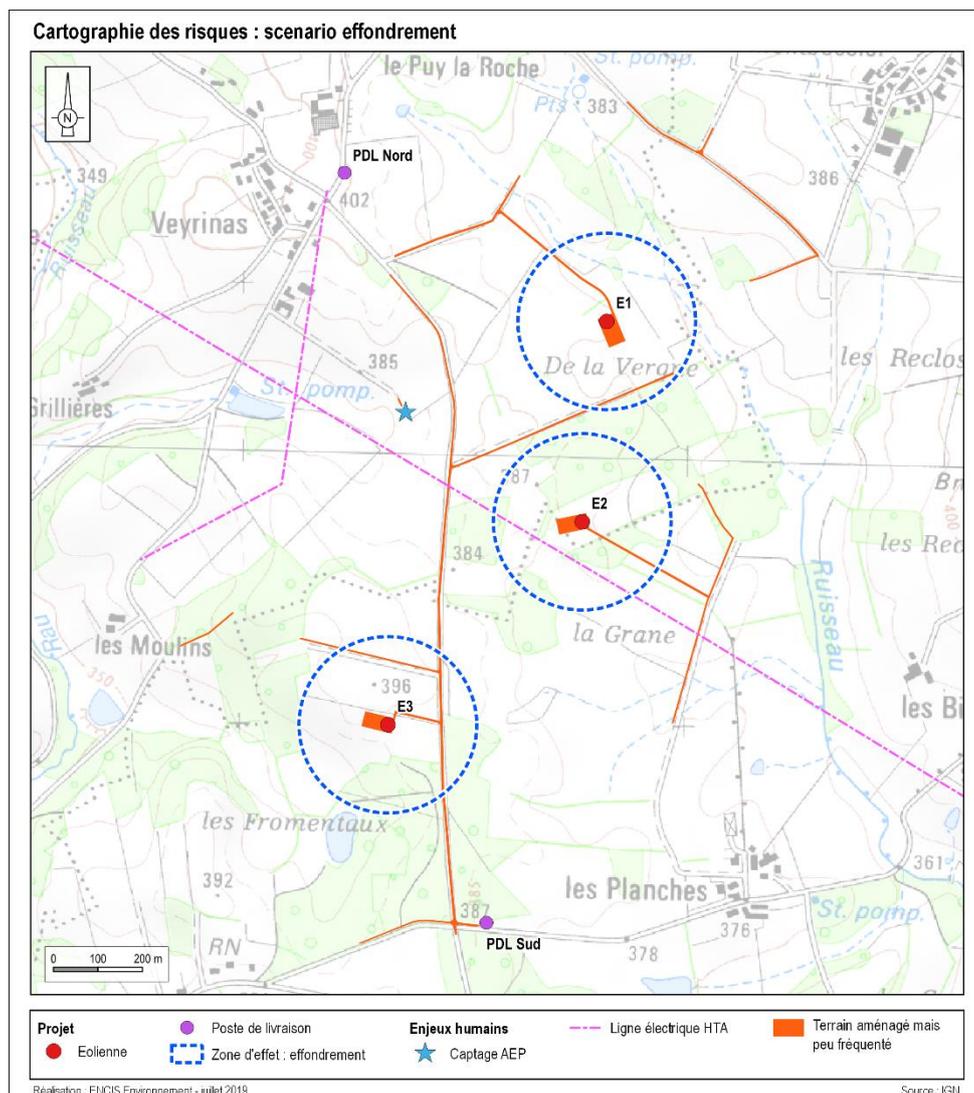


Figure 8 : zone d'effet / Effondrement de l'éolienne



Carte 15 : Cartographie des risques – scenario : effondrement (Source : ENCIS Environnement)

<i>Eolienne</i>	<i>Ensemble homogène</i>	<i>Surface (ha) ou Linéaire (km)</i>	<i>Règle de calcul</i>	<i>Enjeux humains (EH)</i>	<i>Enjeux humains totaux</i>
E1	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	12,0944	1 pers/100 ha	0,120944	0,168104
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,4716	1 pers/10 ha	0,04716	
E2	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	12,2301	1 pers/100 ha	0,122301	2,155891
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,3359	1 pers/10 ha	0,03359	
	Ligne électrique HTA	-	Nombre de personnes max	2	
E3	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	11,9972	1 pers/100 ha	0,119972	0,176852
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,5688	1 pers/10 ha	0,05688	

Tableau 27 : Enjeux humains - effondrement (Source : ENCIS Environnement)

❖ 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 étudié. R est la longueur de pale (R= 73,66 m), LB la largeur de la pale (LB= 4,2 m) H la hauteur du moyeu (H= 125 m) et L la largeur du mât (L=5 m).

Effondrement de l'éolienne			
zone d'impact (Z _I)	zone d'effet (Z _E)	degré d'exposition	intensité
m ²	m ²	%	
$H \times L + 3 \times R \times LB / 2$	$\pi \times (H + D / 2)^2$	$d = Z_I / Z_E$	
1089,058	125660	0,87	Exposition modérée

Tableau 28 : Intensité du scénario

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 (voir paragraphe 8.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène d'effondrement, dans le rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne :

- Plus de 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		
Eolienne	Enjeux humains	Gravité
1	0,168104	Modéré
2	2,155891	Sérieux
3	0,176852	Modéré

Tableau 29 : Gravité du scénario

❖ 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

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

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C ». En effet, il a été recensé seulement 7 événements pour 15 667 années d'expérience⁸, soit une probabilité de $4,47 \times 10^{-4}$ par éolienne et par an.

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

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

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

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

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

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

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

❖ Acceptabilité

⁸ 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.

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

Effondrement de l'éolienne			
Eolienne	Enjeux humains	Gravité	Niveau de risque
1	0,168104	Modéré	Acceptable
2	2,155891	Sérieux	Acceptable
3	0,176852	Modéré	Acceptable

Tableau 30 : Niveau de risque du scénario

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

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

❖ Zone d'effet

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne. Pour le parc éolien étudié, la zone d'effet a donc un rayon de 75 mètres. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

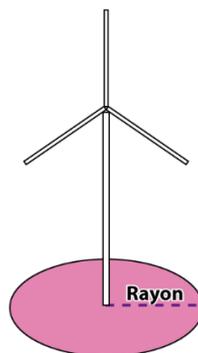
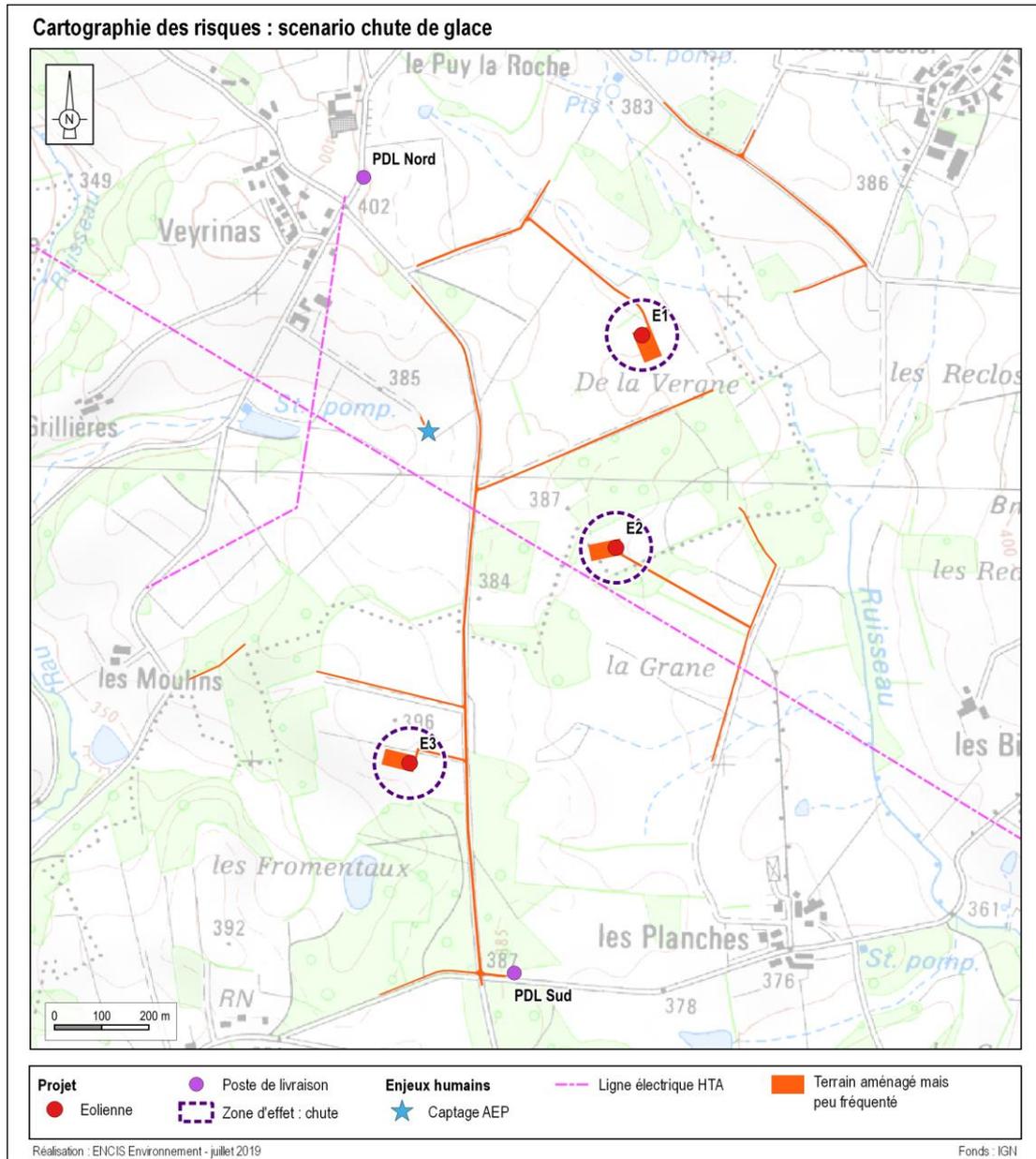


Figure 9 : zone d'effet / Chute de glace



Carte 16 : Cartographie des risques – scenario : chute de glace (Source : ENCIS Environnement)

Eolienne	Ensemble homogène	Surface (ha) ou Linéaire (km)	Règle de calcul	Enjeux humains (EH)	Enjeux humains totaux
E1	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,4579	1 pers/100 ha	0,014579	0,045489
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,3091	1 pers/10 ha	0,03091	
E2	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,4957	1 pers/100 ha	0,014957	0,042087
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,2713	1 pers/10 ha	0,02713	
E3	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,4881	1 pers/100 ha	0,014881	0,042771
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,2789	1 pers/10 ha	0,02789	

Tableau 31 : Enjeux humains – chute de glace (Source : ENCIS Environnement)

❖ Intensité

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, c'est-à-dire une zone d'effet correspondant à un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor, soit 75 m. 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 étudié. Z_I est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, 75 m est la longueur d'un demi rotor (r ou $D/2$), SG est la surface du morceau de glace majorant ($SG= 1 \text{ m}^2$). Les paramètres sont identiques pour toutes les éoliennes.

Chute de glace			
zone d'impact (Z_I)	zone d'effet (Z_E)	degré d'exposition	intensité
m^2	m^2	%	
$Z_I = SG$	$Z_E = \pi \times r^2$	$d = Z_I / Z_E$	
1	17670	0,01	Exposition modérée

Tableau 32 : Intensité du scénario

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 (voir paragraphe 8.1.3), 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		
Eolienne	Enjeux humains	Gravité
1	0,045489	Modéré
2	0,042087	Modéré
3	0,042771	Modéré

Tableau 33 : Gravité du scénario

❖ 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 étudié, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Chute de glace			
Eolienne	Enjeux humains	Gravité	Niveau de risque
1	0,045489	Modéré	Acceptable
2	0,042087	Modéré	Acceptable
3	0,042771	Modéré	Acceptable

Tableau 34 : Niveau de risque du scénario

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

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

8.2.3. CHUTE D'ÉLÉMENTS DE L'ÉOLIENNE

❖ **Zone d'effet**

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

Le risque de chute d'élément est cantonné à la zone de survol des pales, c'est-à-dire une zone d'effet correspondant à un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor, soit 75 m.

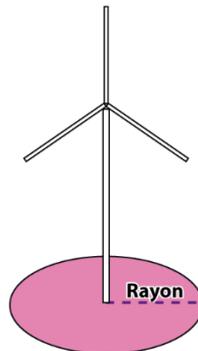
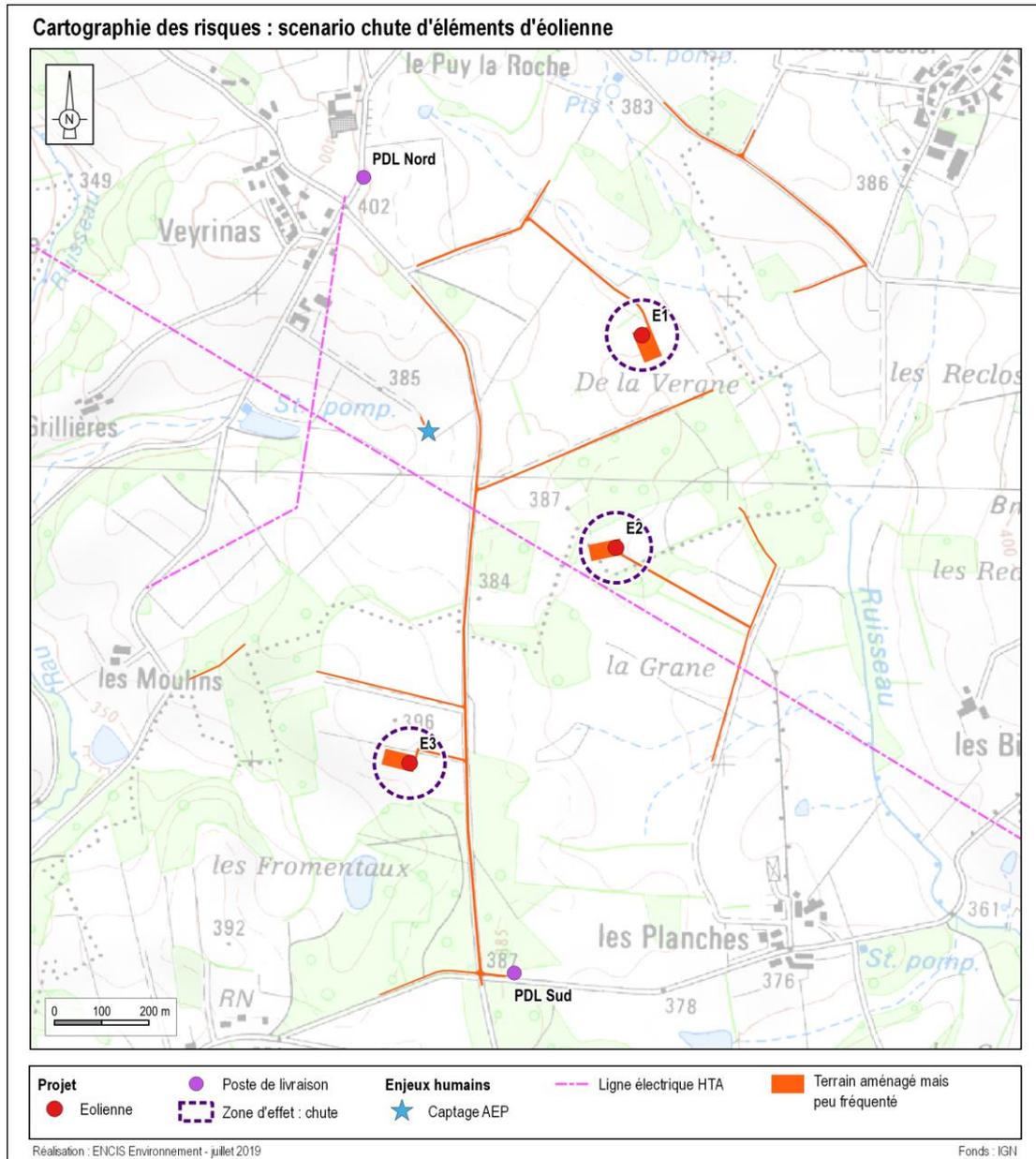


Figure 10 : zone d'effet / Chute d'éléments de l'éolienne



Carte 17 : Cartographie des risques – scenario : chute d'éléments (Source : ENCIS Environnement)

Eolienne	Ensemble homogène	Surface (ha) ou Linéaire (km)	Règle de calcul	Enjeux humains (EH)	Enjeux humains totaux
E1	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,4579	1 pers/100 ha	0,014579	0,045489
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,3091	1 pers/10 ha	0,03091	
E2	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,4957	1 pers/100 ha	0,014957	0,042087
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,2713	1 pers/10 ha	0,02713	
E3	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,4881	1 pers/100 ha	0,014881	0,042771
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,2789	1 pers/10 ha	0,02789	

Tableau 35 : Enjeux humains – chute d'éléments (Source : ENCIS Environnement)

❖ Intensité

Le risque de chute d'élément est cantonné à la zone de survol des pales, c'est-à-dire une zone d'effet correspondant à un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor, soit 75 m.

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 étudié. d est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet et LB la largeur de la base de la pale ($LB= 4,2$ m) et 150 m le diamètre du rotor (D). Les paramètres sont identiques pour toutes les éoliennes.

Chute d'éléments de l'éolienne			
zone d'impact (Z_I)	zone d'effet (Z_E)	degré d'exposition	intensité
m ²	m ²	%	
$Z_I = R * LB / 2$	$Z_E = \pi * D^2 / 4$	$d = Z_I / Z_E$	
154,686	17670	0,88	Exposition modérée

Tableau 36 : Intensité du scenario

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 (voir paragraphe 8.1.3.), 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 d'éléments de l'éolienne		
Eolienne	Enjeux humains	Gravité
1	0,045489	Modéré
2	0,042087	Modéré
3	0,042771	Modéré

Tableau 37 : Gravité du scenario

❖ Probabilité

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

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

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 Septembre 2005 d'une probabilité « C » : « *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 étudié, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Chute d'éléments de l'éolienne			
Eolienne	Enjeux humains	Gravité	Niveau de risque
1	0,045489	Modéré	Acceptable
2	0,042087	Modéré	Acceptable
3	0,042771	Modéré	Acceptable

Tableau 38 : Niveau de risque du scénario

Ainsi, pour le parc éolien étudié, le phénomène de chute d'éléments 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 380 mètres par rapport au mât de l'éolienne. On constate que les autres données disponibles dans cette accidentologie montrent des distances d'effet inférieures.

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

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

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

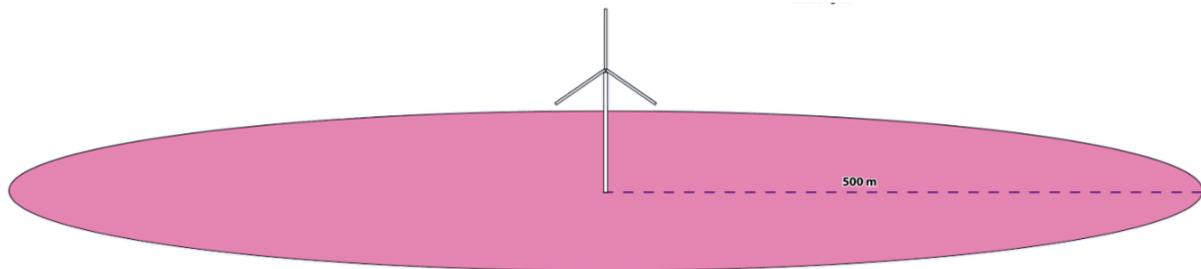
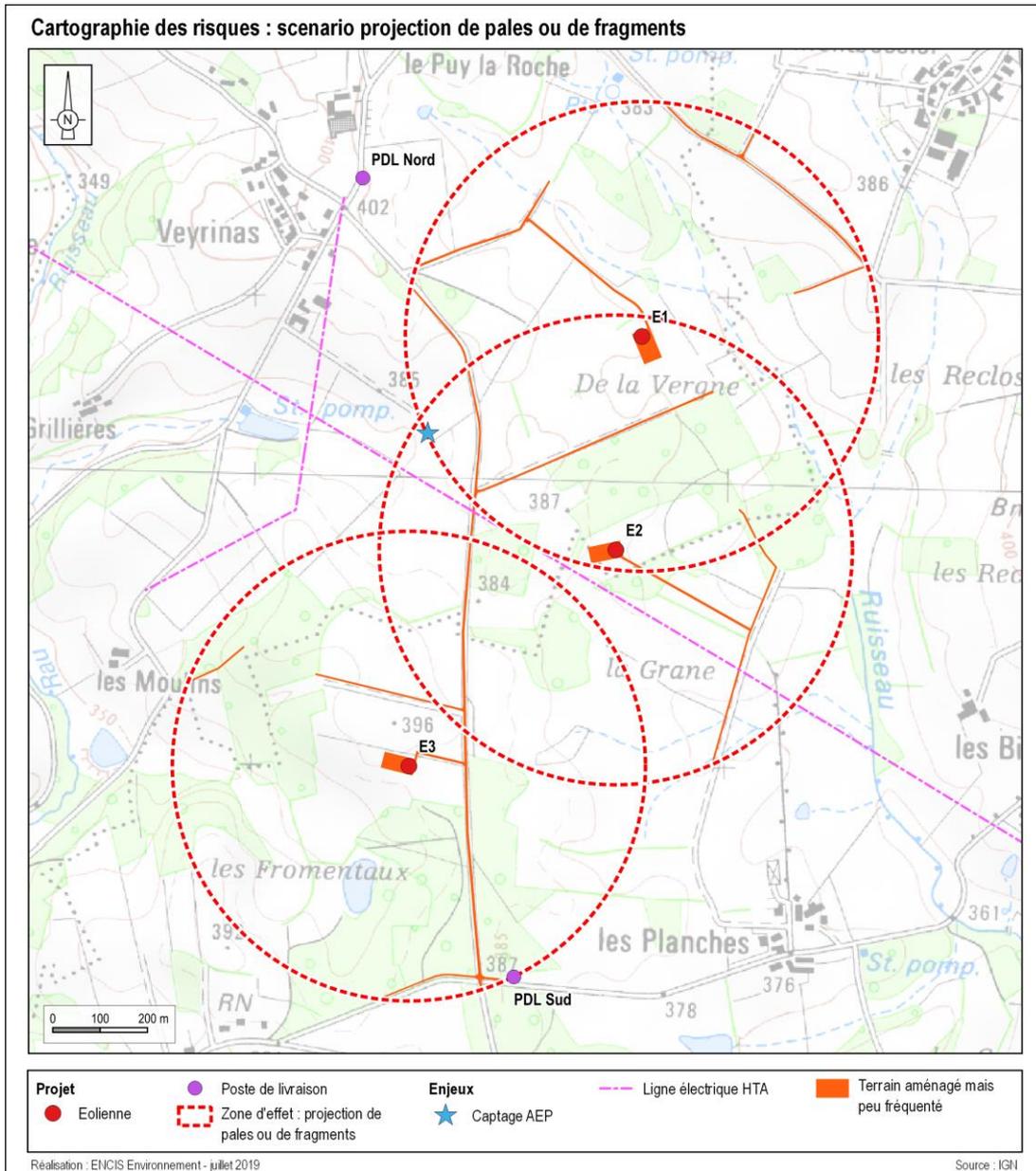


Figure 11 : zone d'effet / projection de pales ou de fragments de pale



Carte 18 : Cartographie des risques – scénario : projection de pales ou de fragments de pale (Source : ENCIS Environnement)

<i>Eolienne</i>	<i>Ensemble homogène</i>	<i>Surface (ha) ou Linéaire (km)</i>	<i>Règle de calcul</i>	<i>Enjeux humains (EH)</i>	<i>Enjeux humains totaux</i>
E1	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	76,939	1 pers/100 ha	0,76939	6,93989
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,705	1 pers/10 ha	0,1705	
	Captage d'alimentation en eau potable	-	Nombre de personnes max	4	
	Ligne électrique HTA	-	Nombre de personnes max	2	
E2	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	77,064	1 pers/100 ha	0,77064	6,92864
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,58	1 pers/10 ha	0,158	
	Captage d'alimentation en eau potable	-	Nombre de personnes max	4	
	Ligne électrique HTA	-	Nombre de personnes max	2	
E3	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	77,531	1 pers/100 ha	0,77531	0,88661
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,113	1 pers/10 ha	0,1113	

Tableau 39 : Enjeux humains - projection de pales ou de fragments de pale
(Source : ENCIS Environnement)

❖ 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 (de rayon $r=500$ m).

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de pale de l'éolienne dans le cas du parc éolien étudié. d est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R la longueur de pale ($R=73,66$ m) et LB la largeur de la base de la pale ($LB=4,2$ m). Les paramètres sont identiques pour toutes les éoliennes.

Projection de pale ou de fragment de pale			
zone d'impact (Z_I)	zone d'effet (Z_E)	degré d'exposition	intensité
m^2	m^2	%	
$Z_I=R*LB/2$	$Z_E=\pi \times r^2$	$d=Z_I/Z_E$	
154,686	786440	0,02	Exposition modérée

Tableau 40 : Intensité du scénario

❖ Gravité

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

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

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

Projection de pale ou de fragment de pale		
Eolienne	Enjeux humains	Gravité
1	6,93989	Sérieux
2	6,92864	Sérieux
3	0,88661	Modéré

Tableau 41 : Gravité du scénario

❖ Probabilité

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

❖ Acceptabilité

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

Projection de pale ou de fragment de pale			
Eolienne	Enjeux humains	Gravité	Niveau de risque
1	6,93989	Sérieux	Acceptable
2	6,92864	Sérieux	Acceptable
3	0,88661	Modéré	Acceptable

Tableau 42 : Niveau de risque du scénario

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

8.2.5. PROJECTION DE GLACE

❖ Zone d'effet

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

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

$$\begin{aligned} \text{Distance d'effet} &= 1,5 \times (\text{hauteur de moyeu} + \text{diamètre de rotor}) \\ &= 1,5 \times (125 + 150) = 412,5 \text{ m} \end{aligned}$$

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

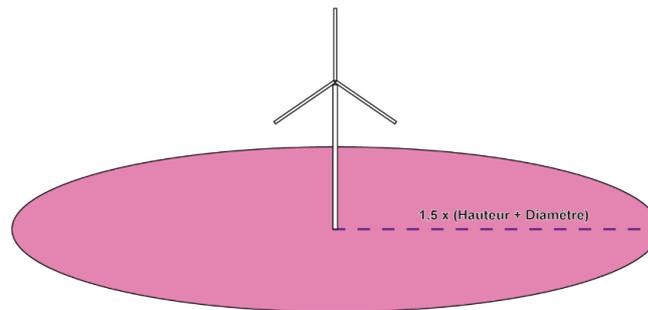
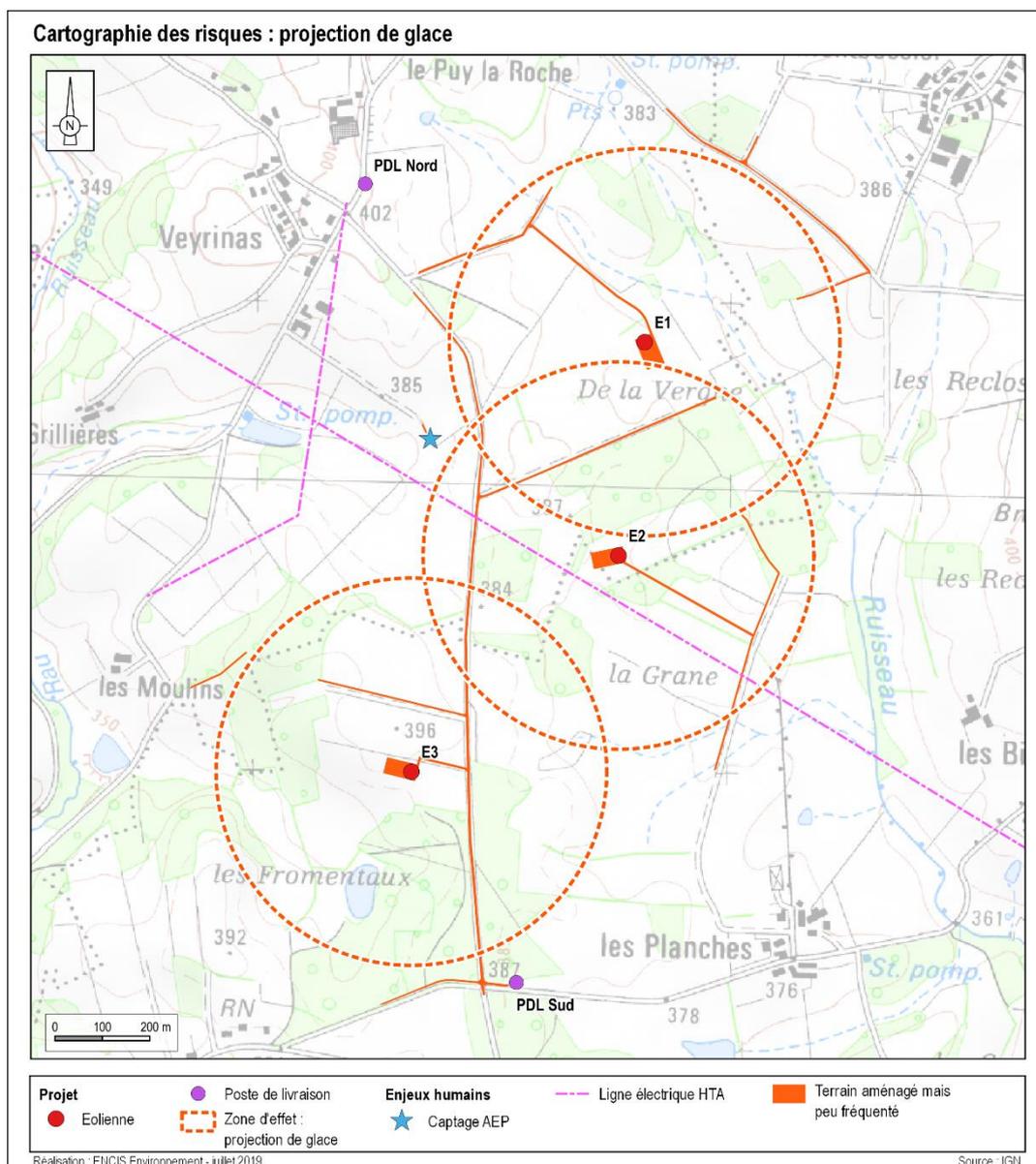


Figure 12 : zone d'effet / Projection de glace



Carte 19 : Cartographie des risques – scénario : projection de glace (Source : ENCIS Environnement)

Eolienne	Ensemble homogène	Surface (ha) ou Linéaire (km)	Règle de calcul	Enjeux humains (EH)	Enjeux humains totaux
E1	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	52,5439	1 pers/100 ha	0,525439	0,616449
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,9101	1 pers/10 ha	0,09101	
E2	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	52,337	1 pers/100 ha	0,52337	2,63507
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,117	1 pers/10 ha	0,1117	
	Ligne électrique HTA	-	Nombre de personnes max	2	
E3	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	52,6027	1 pers/100 ha	0,526027	0,611157
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,8513	1 pers/10 ha	0,08513	

Tableau 43 : Enjeux humains - projection de glace (Source : ENCIS Environnement)

❖ 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 (d'un rayon R = 412,5 m).

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du parc éolien étudié. d est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R la longueur de pale (R= 73,66 m), H la hauteur au moyeu (H= 125 m), et SG la surface majorante d'un morceau de glace.

Projection de morceaux de glace			
zone d'impact (Z _I)	zone d'effet (Z _E)	degré d'exposition	intensité
m ²	m ²	%	
$Z_I = SG$	$Z_E = \pi \times R_{PG}^2$	$d = Z_I / Z_E$	
1	534540	0,00019	Exposition modérée

Tableau 44 : Intensité du scenario

❖ Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe 8.1.3, il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection de glace, dans la zone d'effet de ce phénomène :

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

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

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

Projection de morceaux de glace		
Eolienne	Enjeux humains	Gravité
1	0,616449	Modéré
2	2,63507	Sérieux
3	0,611157	Modéré

Tableau 45 : Gravité du scenario

❖ Probabilité

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

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

Une probabilité forfaitaire « B – événement probable » est proposée 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 inférieur à 10 dans la zone d'effet.

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

Projection de morceaux de glace			
Eolienne	Enjeux humains	Gravité	Niveau de risque
1	0,616449	Modéré	Acceptable
2	2,63507	Sérieux	Acceptable
3	0,611157	Modéré	Acceptable

Tableau 46 : Niveau de risque du scénario

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

8.3. SYNTHESE DE L'ETUDE DETAILLEE DES RISQUES

8.3.1. TABLEAU DE SYNTHESE DES SCENARIOS ETUDIES

Le tableau suivant récapitule, 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 200 m	Rapide	exposition modérée	D	Modéré pour E1 et E3 Sérieux pour E2
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol 75 m	Rapide	exposition modérée	C	Modéré
Chute de glace	Zone de survol 75 m	Rapide	exposition modérée	A	Modéré
Projection de pale ou de morceau de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	exposition modérée	D	Modéré pour E3 Sérieux pour E1 et E2
Projection de glace	1,5 x (H + 2R) autour de l'éolienne 412,5 m	Rapide	exposition modérée	B	Modéré pour E1 et E3 Sérieux pour E2

Tableau 47 : Paramètres de risques

8.3.2. SYNTHÈSE DE L'ACCEPTABILITÉ DES RISQUES

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

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

GRAVITÉ des Conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		Projection de pale ou de fragment de pale pour E1 et E2 Effondrement de l'éolienne pour E2		Projection de glace pour E2	
Modéré		Effondrement de l'éolienne pour E1 et E3 Projection de pale ou de fragment de pale pour E3	Chute d'élément de l'éolienne	Projection de glace pour E1 et E3	Chute de glace

Légende de la matrice :

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

Tableau 48 : Matrice de criticité

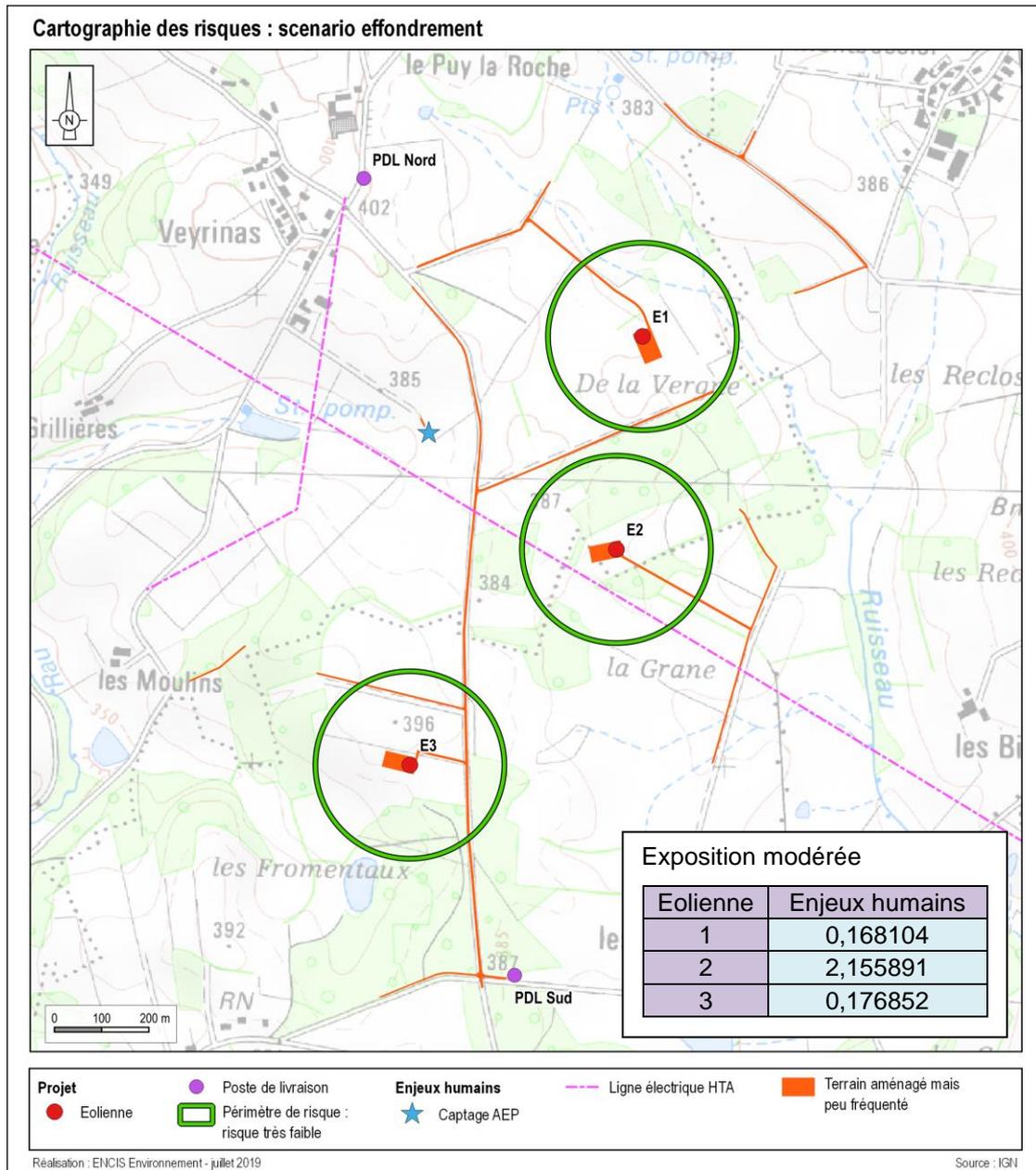
Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice
- deux types d'accident (chute de glace ; projection de glace pour E2) figurent en case jaune. Il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 sont mises en place.

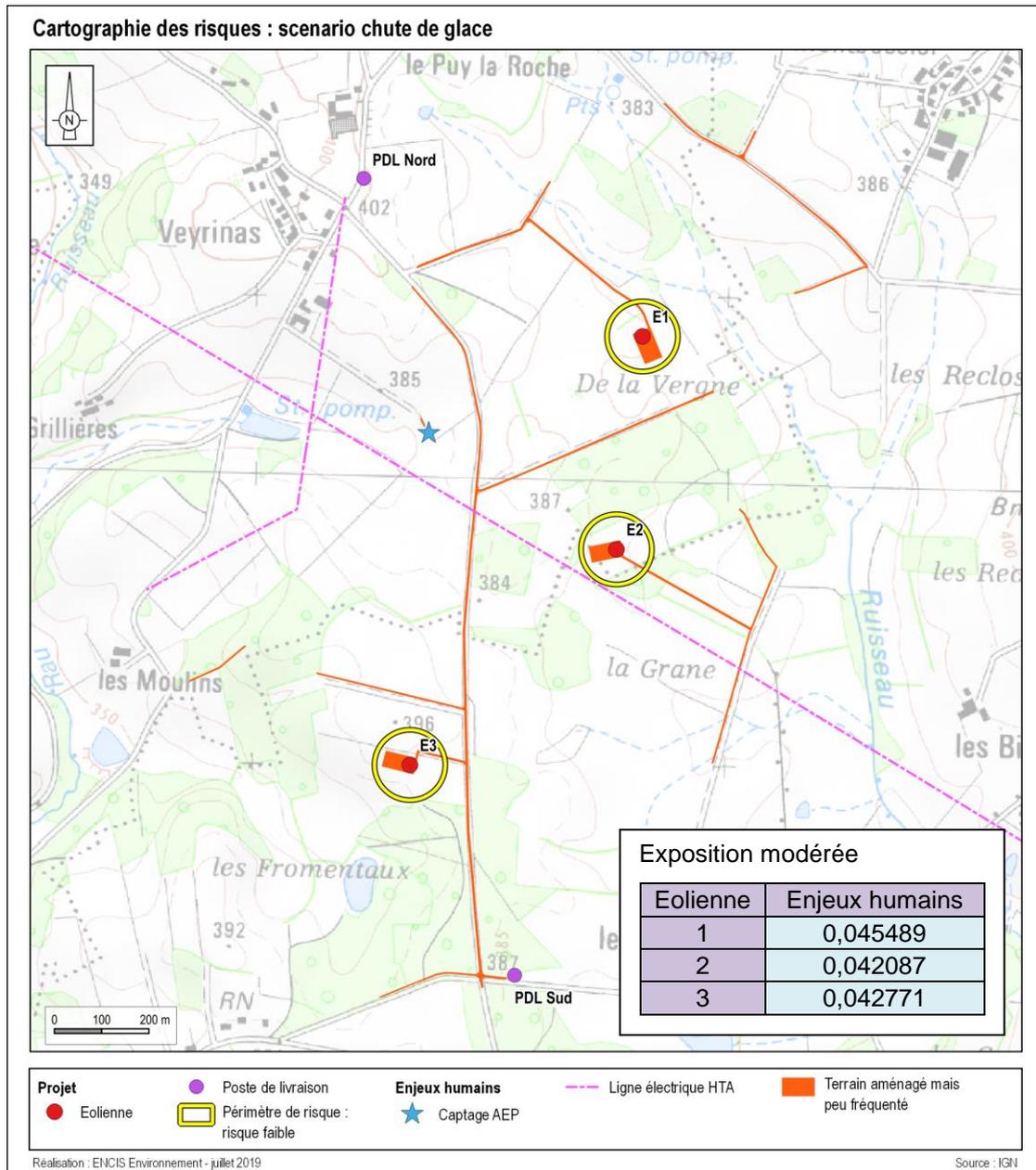
Le niveau de risque pour chaque scénario et pour chaque éolienne est jugé comme acceptable.

8.3.3. CARTOGRAPHIE DES RISQUES

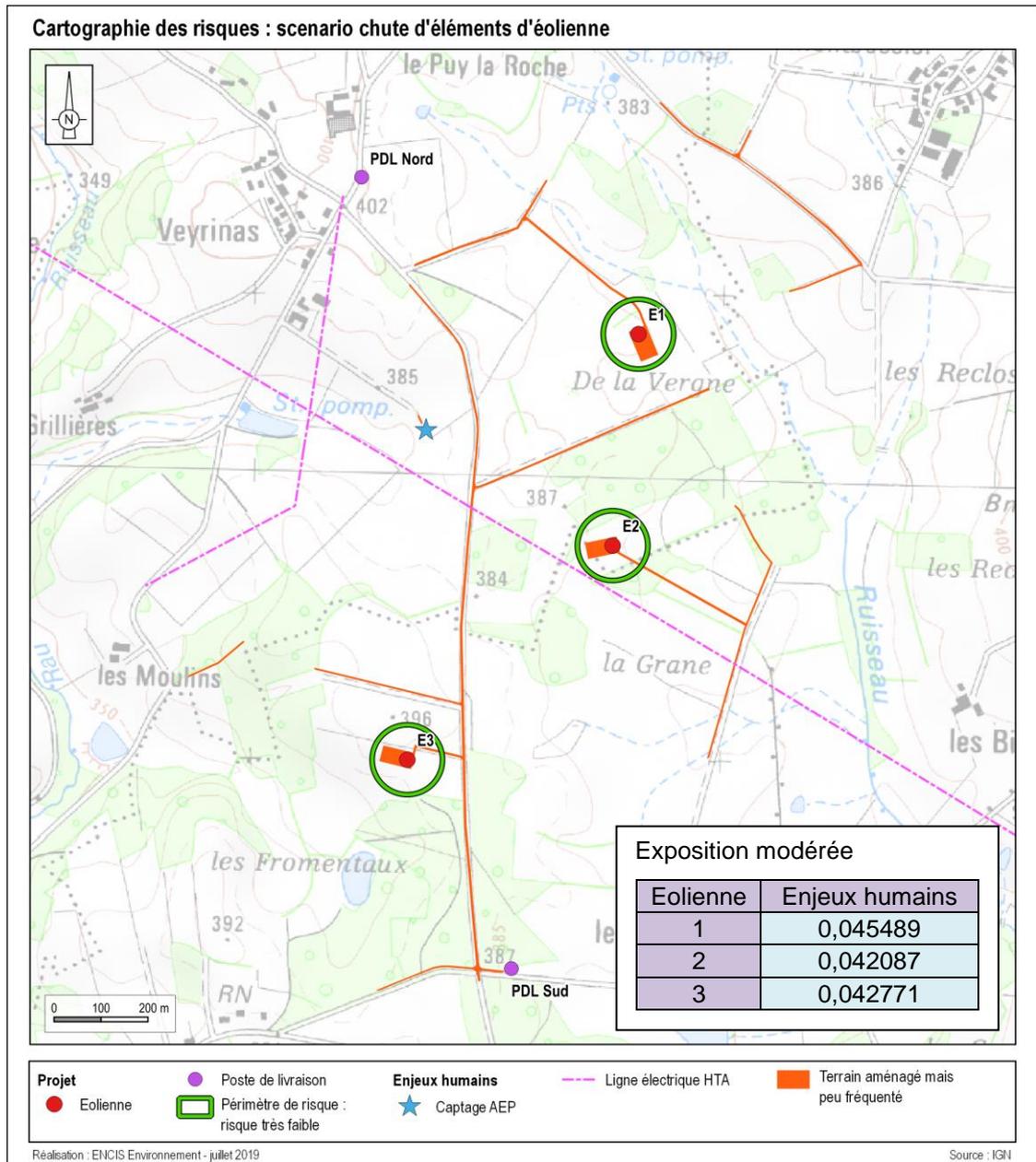
Les cartographies pages suivantes présentent pour chaque scénario et chaque éolienne la zone d'effet, les enjeux identifiés, l'intensité des phénomènes dangereux et le nombre de personnes exposées.



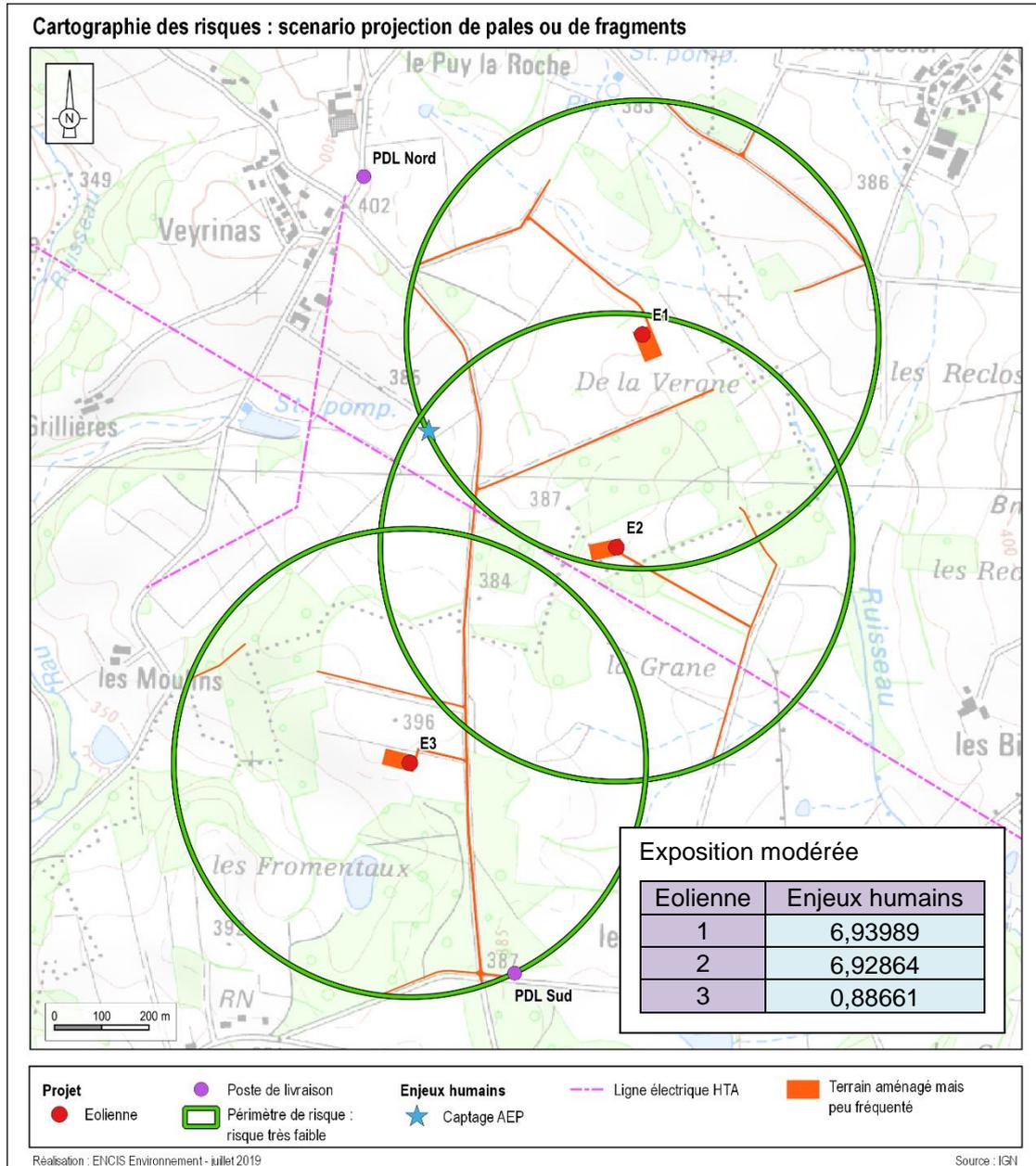
Carte 20 : Cartographie des risques – scenario : effondrement (Source : ENCIS Environnement)



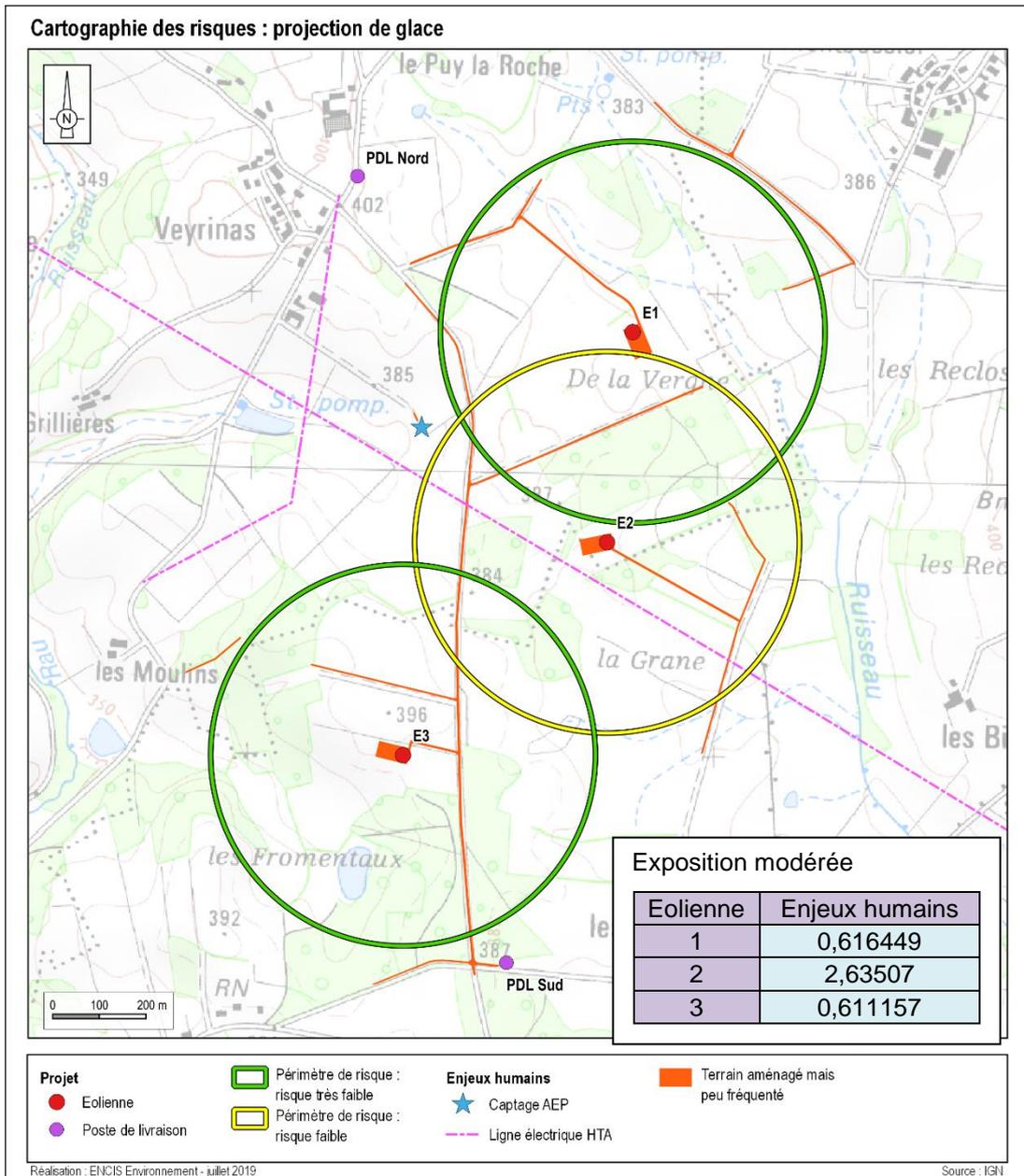
Carte 21 : Cartographie des risques – scenario : chute de glace (Source : ENCIS Environnement)



Carte 22 : Cartographie des risques – scenario : chute d'élément (Source : ENCIS Environnement)



Carte 23 : Cartographie des risques – scenario : projection d'élément (Source : ENCIS Environnement)



Carte 24 : Cartographie des risques – scénario : projection de glace (Source : ENCIS Environnement)

9. CONCLUSION

Suite à l'analyse menée dans cette étude de dangers, il ressort cinq accidents majeurs identifiés :

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

Pour chaque scénario, une probabilité a été calculée et une gravité donnée. Il en ressort que les risques sont très faibles (effondrement de l'éolienne, chute d'élément, projection de pale ou de morceau de pale, projection de glace pour E1 et E3) et faibles (chute de glace, projection de glace pour E2), mais dans tous les cas acceptables.

Scénario	Probabilité	Gravité	Acceptabilité
Effondrement de l'éolienne	D	Modérée pour E1 et E3 Sérieuse pour E2	Acceptable
Chute d'élément de l'éolienne	C	Modérée	Acceptable
Chute de glace	A	Modérée	Acceptable
Projection d'éléments	D	Modérée pour E3 Sérieux pour E1 et E2	Acceptable
Projection de glace	B	Modérée pour E1 et E3 Sérieuse pour E2	Acceptable

Tableau 49 : Synthèse des scénarios et des risques

L'exploitant, de par sa démarche en amont, a réussi à limiter les risques. En effet, il a choisi de s'éloigner des habitations et les distances aux différentes infrastructures (ERP, routes) sont suffisantes pour avoir un risque acceptable.

De plus, son installation est conforme à la réglementation en vigueur (arrêté du 26/08/2011 relatif aux ICPE) et aux normes de construction.

Afin de garantir un risque acceptable sur l'installation, l'exploitant a mis en place des mesures de sécurité (voir tableau suivant) et a organisé une maintenance périodique (trois mois après le début de l'exploitation, puis tous les six mois).

Numéro de la fonction de sécurité	Fonction de sécurité	Mesures de sécurité
1	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage.
2	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	Panneautage en pied d'éolienne Eloignement des zones habitées et fréquentées
3	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	Capteurs de température des pièces mécaniques Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement Systèmes de refroidissement indépendants pour le multiplicateur et la génératrice
4	Prévenir la survitesse	Détection de survitesse et système de freinage Eléments du système de protection contre la survitesse conformes aux normes IEC 61508 (SIL 2) et EN 954-1
5	Prévenir les courts-circuits	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.
6	Prévenir les effets de la foudre	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur
7	Protection et intervention incendie	Capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne pouvant permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de l'éolienne Système de détection incendie relié à une alarme transmise à un poste de contrôle Intervention des services de secours
8	Prévention et rétention des fuites	Détecteurs de niveau d'huiles Systèmes d'étanchéité et dispositifs de collecte / récupération Procédure d'urgence Kit antipollution
9	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	Surveillance des vibrations Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.) Procédures qualités Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)
10	Prévenir les erreurs de maintenance	Procédure maintenance
11	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	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 pales) par le système de conduite
12	Empêcher la perte de contrôle de l'éolienne en cas de défaillance réseau	Détection des défaillances du réseau électrique Batteries pour chaque système pitch Système d'alimentation sans coupure (UPS)
13	Prévenir les risques liés aux opérations de chantier	Mise en place d'une procédure de sécurité / rédaction d'un plan de prévention / Plan particulier de sécurité et de protection de la santé (PPSPS) Mise en place d'une restriction d'accès au chantier
14	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	Inspection des équipements lors des maintenances planifiées Suivi de données mesurées par les capteurs et sondes présentes dans les éoliennes

Tableau 50 : Mesure de sécurité

ANNEXE 1 – METHODE DE COMPTAGE DES PERSONNES POUR LA DETERMINATION DE LA GRAVITE POTENTIELLE D'UN ACCIDENT A PROXIMITE D'UNE EOLIENNE

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

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

D'autre part, cette méthode permet ensuite de déterminer la gravité associée à chaque phénomène dangereux retenu dans l'étude détaillée des risques (partie 8).

Terrains non bâtis

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

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

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

Voies de circulation

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

Voies de circulation automobiles

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

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

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

Voies ferroviaires

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

Voies navigables

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

Chemins et voies piétonnes

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

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

Logements

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

Etablissements recevant du public (ERP)

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

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

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

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

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

Zones d'activité

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

ANNEXE 2 – TABLEAU DE L'ACCIDENTOLOGIE FRANÇAISE

Le tableau ci-dessous a été établi par le groupe de travail constitué pour la réalisation du guide sur l'élaboration de l'étude de dangers. Il recense l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne entre 2000 et fin 2011. L'analyse de ces données est présentée dans la partie VI. de 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 courante prolongée pendant 4 jours suite à la tempête)	Tempête avec foudre répétée	Rapport du CGM Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2001	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts)	?	Site Vent de Colère	Information peu précise
Effondrement	01/02/2002	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris d'hélice et mât plié	Tempête	Rapport du CGM Site Vent du Bocage	-
Maintenance	01/07/2002	Port la Nouvelle – Sigean	Aude	0,66	2000	Oui	Grave électrisation avec brûlures d'un technicien	Lors de mesures pour cartériser la partie haute d'un transformateur 690V/20kV en tension. Le mètre utilisé par la victime, déroulé sur 1,46m, s'est soudainement plié et est entré dans la zone du transformateur, créant un arc électrique.	Rapport du CGM	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	28/12/2002	Névian - Grande Garrigue	Aude	0,85	2002	Oui	Effondrement d'une éolienne suite au dysfonctionnement du système de freinage	Tempête + dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Site Vent de Colère Article de presse (Midi Libre)	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	25/02/2002	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)	-
Rupture de pale	22/06/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50 m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	-
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5m à 50m, mat intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	Incident identique à celui s'étant produit 15 jours auparavant
Rupture de pale	2004	Escales-Conilhac	Aude	0,75	2003	Non	Bris de trois pales		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale + incendie	22/12/2004	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne (survitesse de plus de 60 tr/min)	Survitesse due à une maintenance en cours, problème de régulation, et dysfonctionnement du système de freinage	Base de données ARIA Article de presse (La Tribune du 30/12/2004) Site Vent de Colère	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	2005	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris de pale		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)

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Incendie	21/10/2009	Froidfond - Espinassière	Vendée	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit dans transformateur sec embarqué en nacelle ?	Article de presse (Ouest-France) Communiqué de presse exploitant Site FED	-
Incendie	30/10/2009	Freyssenet	Ardèche	2	2005	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit faisant suite à une opération de maintenance (problème sur une armoire électrique)	Base de données ARIA Site FED Article de presse (Le Dauphiné)	-
Maintenance	20/04/2010	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)
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	-

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

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	05/01/2012	Widehem	Pas-de-Calais	0,75	2000	Non	Bris de pales, dont des fragments ont été projetés jusqu'à 380 m. Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne).	Tempête + panne d'électricité	Article de presse (La Voix du Nord 06/01/2012) Vidéo DailyMotion Interne exploitant	-

ANNEXE 3 – SCENARIOS GENERIQUES ISSUS DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

Cette partie apporte un certain nombre de précisions par rapport à chacun des scénarios étudiés 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.. 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'emballement du rotor (survitesse). Plusieurs moyens sont mis en place en matière de prévention :

- Concernant le défaut de conception et fabrication : Contrôle qualité

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

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

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

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

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

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

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

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

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 dispersera 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 – PROBABILITE D'ATTEINTE ET RISQUE INDIVIDUEL

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Le tableau ci-dessous récapitule les probabilités d'accident 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'accident
Effondrement	10^{-4}	0,86549948	$8,65499 \cdot 10^{-7}$
Chute de glace	1	0,00565291	$5,65291 \cdot 10^{-5}$
Chute d'éléments	10^{-3}	0,87442623	$8,74426 \cdot 10^{-6}$
Projection de tout ou partie de pale	10^{-4}	0,01966914	$1,96691 \cdot 10^{-8}$
Projection de morceaux de glace	10^{-2}	0,00018682	$1,86822 \cdot 10^{-8}$

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

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

ANNEXE 5 – GLOSSAIRE

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

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

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

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

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

Événement initiateur : Événement, 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Attention aux confusions possibles :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

SER : Syndicat des Energies Renouvelables

FEE : France Energie Eolienne (branche éolienne du SER)

INERIS : Institut National de l'EnviRonnement Industriel et des RisqueS

EDD : Etude de dangers

APR : Analyse Préliminaire des Risques

ERP : Etablissement Recevant du Public

ANNEXE 6 – BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES UTILISEES

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