

Demande d'autorisation environnementale
Etude de dangers (PJ n°49)
Parc éolien de Lastic

Département : Puy-de-Dôme (63)

Commune : Lastic



Maître d'ouvrage

ABO
WIND

Réalisation de l'étude

ENCIS Environnement

Rédacteur : Matthieu DAILLAND

 **encis**
environnement

Bureau d'études en environnement
énergies renouvelables et aménagement durable

**Tome n°5.1 :
Etude de dangers**

Indice	Etabli par	Corrigé par	Validé par	Commentaires et date
0	Matthieu DAILLAND	Elisabeth GALLET-MILONE	Elisabeth GALLET-MILONE	Première émission 05/03/2020
				
1	Matthieu DAILLAND	Pierre-Alexandre PREBOIS	Pierre-Alexandre PREBOIS	Version reprise suite aux demandes de compléments 02/03/2021
				

AVANT-PROPOS

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 d'autorisation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (rubrique 2980 de la nomenclature ICPE). 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, un dossier de demande d'autorisation environnementale doit être fourni.

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.

La présente étude de dangers fait partie du dossier de demande d'autorisation environnementale. Elle 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 en mai 2012 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	7
Contexte réglementaire.....	9
<i>Application du régime des installations classées aux parcs éoliens</i>	<i>9</i>
<i>Réglementation relative à l'étude de dangers.....</i>	<i>10</i>
1. PREAMBULE.....	13
1.1. Objectif de l'étude de dangers	13
1.2. Nomenclature ICPE du parc éolien de Lastic.....	14
1.3. Redacteur de l'etude	15
2. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION.....	15
2.1. Renseignements administratifs	15
2.2. Localisation du site.....	16
2.3. Définition de l'aire d'étude.....	18
3. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION.....	19
3.1. Environnement humain	19
3.1.1. Zones urbanisées	19
3.1.2. Etablissements recevant du public (ERP).....	20
3.1.3. Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et installations nucléaires de base.....	21
3.1.1. Autres activités.....	22
3.2. Environnement naturel	23
3.2.1. Contexte climatique.....	23
3.2.2. Risques naturels	24
3.3. Environnement matériel	29
3.3.1. Voies de communication	29
3.3.2. Réseaux publics et privés.....	29
3.3.3. Autres ouvrages publics.....	30
3.4. Cartographies de synthèse	32
4. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION.....	34
4.1. Caractéristiques de l'installation.....	34
4.1.1. Caractéristiques générales d'un parc éolien.....	34
4.1.2. Activité de l'installation	38
4.1.3. Composition de l'installation.....	38
4.2. Fonctionnement de l'installation	40
4.2.1. Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur	40
4.2.2. Fonction et caractéristiques du parc éolien de Lastic.....	40
4.2.3. Sécurité de l'installation	42
4.2.4. Opérations de maintenance de l'installation	49
4.2.5. Stockage et flux de produits dangereux	50
4.3. Fonctionnement des réseaux de l'installation	50
4.3.1. Raccordement électrique.....	50
4.3.2. Autres réseaux.....	51
5. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION.....	51

5.1.	Potentiels de dangers liés aux produits.....	52
5.2.	Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation	53
5.3.	Réduction des potentiels de dangers à la source.....	54
5.3.1.	<i>Principales actions préventives.....</i>	<i>54</i>
5.3.2.	<i>Procédures relatives à l'hygiène et la sécurité</i>	<i>55</i>
5.3.3.	<i>Utilisation des meilleures techniques disponibles</i>	<i>57</i>
6.	ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE	58
6.1.	Inventaire des accidents et incidents en France	58
6.1.1.	<i>Methodologie</i>	<i>58</i>
6.1.2.	<i>Analyse du recensement.....</i>	<i>59</i>
6.2.	Inventaire des accidents et incidents à l'international	60
6.3.	Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience	62
6.3.1.	<i>Analyse de l'évolution des accidents en France.....</i>	<i>62</i>
6.3.2.	<i>Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents</i>	<i>63</i>
6.4.	Limites d'utilisation de l'accidentologie.....	63
7.	ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES	64
7.1.	Objectif de l'analyse préliminaire des risques	64
7.2.	Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques	64
7.3.	Recensement des agressions externes potentielles	65
7.3.1.	<i>Agression externes liées aux activités humaines.....</i>	<i>65</i>
7.3.2.	<i>Agressions externes liées aux phénomènes naturels.....</i>	<i>66</i>
7.4.	Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques	66
7.5.	Effets dominos	70
7.6.	Mise en place des mesures de sécurité	70
7.7.	Conclusion de l'analyse préliminaire des risques.....	77
8.	ETUDE DETAILLEE DES RISQUES	78
8.1.	Rappel des définitions.....	78
8.1.1.	<i>Cinétique.....</i>	<i>78</i>
8.1.2.	<i>Intensité.....</i>	<i>78</i>
8.1.3.	<i>Gravité.....</i>	<i>79</i>
8.1.4.	<i>Probabilité</i>	<i>80</i>
8.1.5.	<i>Acceptabilité.....</i>	<i>81</i>
8.2.	Caractérisation des scénarios retenus	81
8.2.1.	<i>Effondrement de l'éolienne</i>	<i>82</i>
8.2.2.	<i>Chute de glace</i>	<i>85</i>
8.2.3.	<i>Chute d'éléments de l'éolienne</i>	<i>88</i>
8.2.4.	<i>Projection de pales ou de fragments de pales.....</i>	<i>91</i>
8.2.5.	<i>Projection de glace</i>	<i>95</i>
8.2.1.	<i>Synthèse par éolienne</i>	<i>99</i>
8.3.	Synthèse de l'étude détaillée des risques	107
8.3.1.	<i>Tableau de synthèse des scénarios étudiés</i>	<i>107</i>
8.3.2.	<i>Synthèse de l'acceptabilité des risques</i>	<i>107</i>
8.3.3.	<i>Cartographie des risques</i>	<i>108</i>

9. CONCLUSION.....	114
Annexe 1 – Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne	116
<i>Terrains non bâtis.....</i>	<i>116</i>
<i>Voies de circulation.....</i>	<i>116</i>
<i>Logements</i>	<i>117</i>
<i>Etablissements recevant du public (ERP).....</i>	<i>117</i>
<i>Zones d'activité.....</i>	<i>118</i>
Annexe 2 – Tableau de l'accidentologie française.....	119
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>	<i>133</i>
<i>Scénarios relatifs aux risques d'incendie (I01 à I07)</i>	<i>133</i>
<i>Scénarios relatifs aux risques de fuites (F01 à F02).....</i>	<i>134</i>
<i>Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments (C01 à C03)</i>	<i>135</i>
<i>Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales (P01 à P06).....</i>	<i>135</i>
<i>Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E01 à E10)</i>	<i>136</i>
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.

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), a confirmé, précisé et élargi les engagements de la France en matière de production d'énergies renouvelables (EnR). Elle prévoyait ainsi de porter la part des EnR à au moins 23 % de sa consommation d'énergie finale d'ici 2020 ; valeur actualisée suite à l'adoption de la loi n°2015-992 du 17 août 2015 relative à la transition énergétique pour la croissance verte qui a porté cette part à 32 % à l'horizon 2030. Les objectifs par filière ont été définis en premier lieu par l'arrêté du 15 décembre 2009 relatif à la Programmation Pluriannuelle des Investissements (PPI) de production électrique modifié par l'arrêté du 24 avril 2016¹, puis par la Programmation Pluriannuelle de l'Énergie (PPE) publiée par décret le 21 avril 2020. Ce texte fixe pour l'éolien terrestre un objectif de puissance totale installée de 24 100 MW au 31 décembre 2023 et compris entre 33 200 (hypothèse basse) et 34 700 MW (hypothèse haute) au 31 décembre 2028.

La publication de ces objectifs, dans un contexte mondial favorable au développement des énergies renouvelables, a donc permis un développement technologique spectaculaire : ainsi, alors que dans les années 1980 une éolienne permettait d'alimenter environ 10 personnes en électricité, une éolienne de nouvelle génération délivrant une puissance de 2 MW fournit en moyenne de l'électricité pour 1 000 foyers².

Le service de l'observation et des statistiques (SOES) du ministère de la Transition écologique et solidaire a publié en novembre 2020 les chiffres du parc éolien raccordé au troisième trimestre 2020. La puissance installée et raccordée pour l'ensemble du parc éolien en métropole et dans les DOM atteint 17,3 GW au 30 septembre 2020, dont 0,7 GW raccordés en 2020. La production d'électricité éolienne s'est élevée à 27,8 TWh au cours des trois premiers trimestres 2020, soit 8,6 % 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.

¹ Arrêté du 24 avril 2016 relatif aux objectifs de développement des énergies renouvelables, JORF n°0098 du 26 avril 2016

² Source : Rapport « L'éolien en 10 questions » édition avril 2019 – ADEME

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, 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 soumises au régime des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

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. Cette rubrique, dont le contenu a été modifié par le décret n°2019-1096 du 28 octobre 2019³, prévoit deux régimes d'installations classées pour les parcs éoliens terrestres :

- le régime d'autorisation pour les installations comprenant au moins une éolienne dont l'ensemble mât + nacelle a une hauteur supérieure ou égale à 50 m et pour les installations comprenant uniquement des éoliennes dont l'ensemble mât + nacelle 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 l'ensemble mât + nacelle a une hauteur comprise entre 12 et 50 m et dont la puissance totale est inférieure à 20 MW.

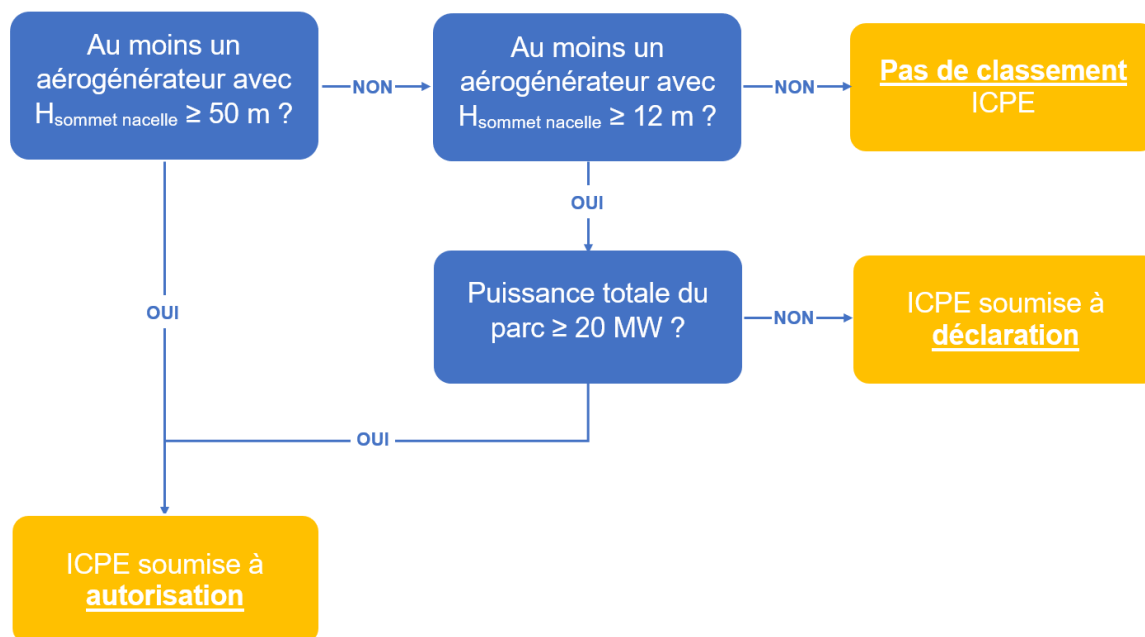


Figure 1 : Détermination du régime ICPE d'un parc éolien (Source : ENCIS Environnement)

La réglementation prévoit que, dans le cadre d'une demande d'autorisation environnementale d'ICPE, 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'environnement⁴ 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.

³ Décret n°2019-1096 du 28 octobre 2019 modifiant la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement

⁴ Modifié par l'arrêté du 22 juin 2020

Réglementation relative à l'étude de dangers

Selon l'article L.181-25 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.181-25 du Code de l'Environnement :

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

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.

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 [9] 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 D.181-15-2 du Code de l'Environnement.

Article D.181-15-2 du Code de l'Environnement :

III. - L'étude de dangers 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 à l'article L.181-3.

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. 512-8⁵, 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.

De même, le **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 :

- 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.

⁵ Les installations soumises à la rubrique 2980 des installations classées (parcs éoliens) ne font pas partie de cette liste.

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 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

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

L'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation 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.

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 ABO Wind pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du parc éolien de Lastic, 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).

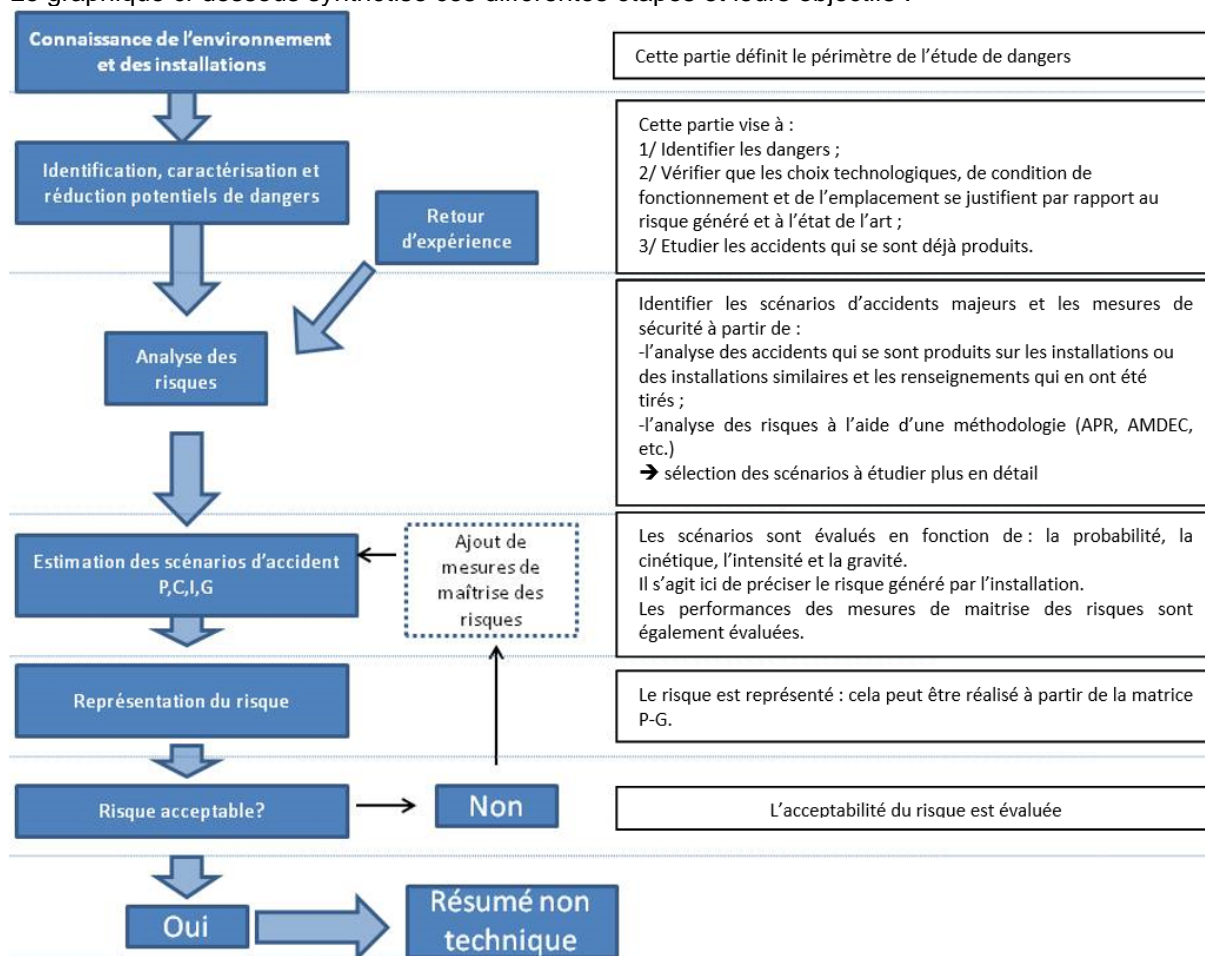
Caractériser et classer les différents phénomènes et accidents en termes de probabilités, cinétique, intensité et gravité. C'est l'étape détaillée des risques, avec mise en œuvre des outils de quantification en probabilité et en intensité / gravité.

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 LASTIC

Conformément à l'annexe de l'article R. 511-9 du Code de l'Environnement, modifié par le décret n° 2019-1096 du 28 octobre 2019, 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 la hauteur du mât et de la nacelle est supérieure ou égale à 50 m.....	A	6
	2. Comprenant uniquement des aérogénérateurs dont la hauteur du mât et de la nacelle au-dessus du sol est inférieure à 50 m et au moins un aérogénérateur dont la hauteur du mât et de la nacelle au-dessus du sol est supérieure ou égale à 12 m, lorsque la puissance totale installée est :		
	a) supérieure ou égale à 20 MW.....	A	6
	b) inférieure à 20 MW.....	D	

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


Le parc éolien de Lastic 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 2020, les responsables d'études d'ENCIS Environnement ont pour expérience la coordination et/ou réalisation de près de 130 études d'impact sur l'environnement pour des projets d'énergie renouvelable (éolien, solaire) et de plus de 35 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
Version / date	Février 2021

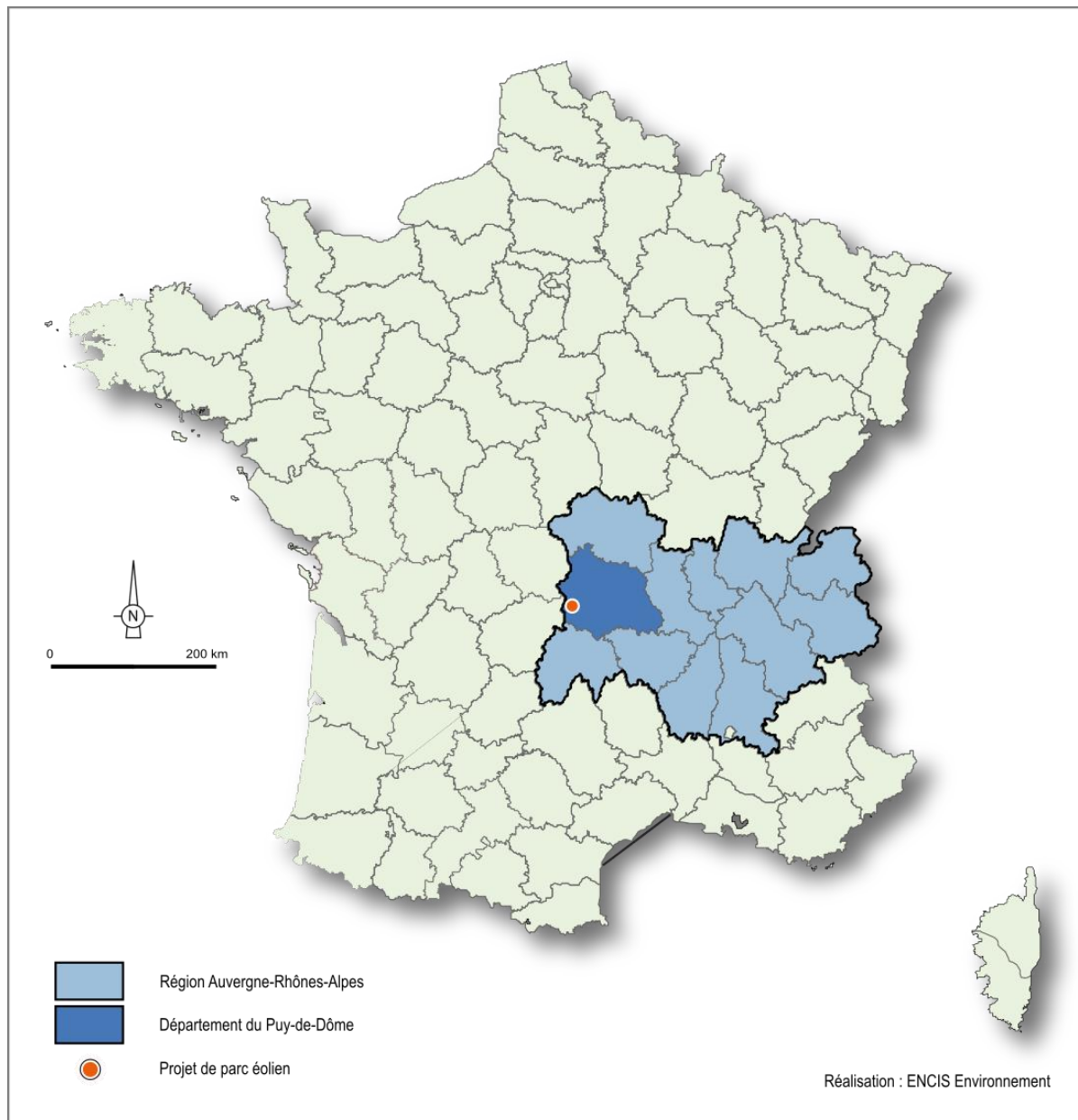
2. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

2.1. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

Le demandeur et exploitant du projet est :
CPENR de Lastic
CS 95893 – 2 Rue du Libre Echange
31506 TOULOUSE CEDEX 5

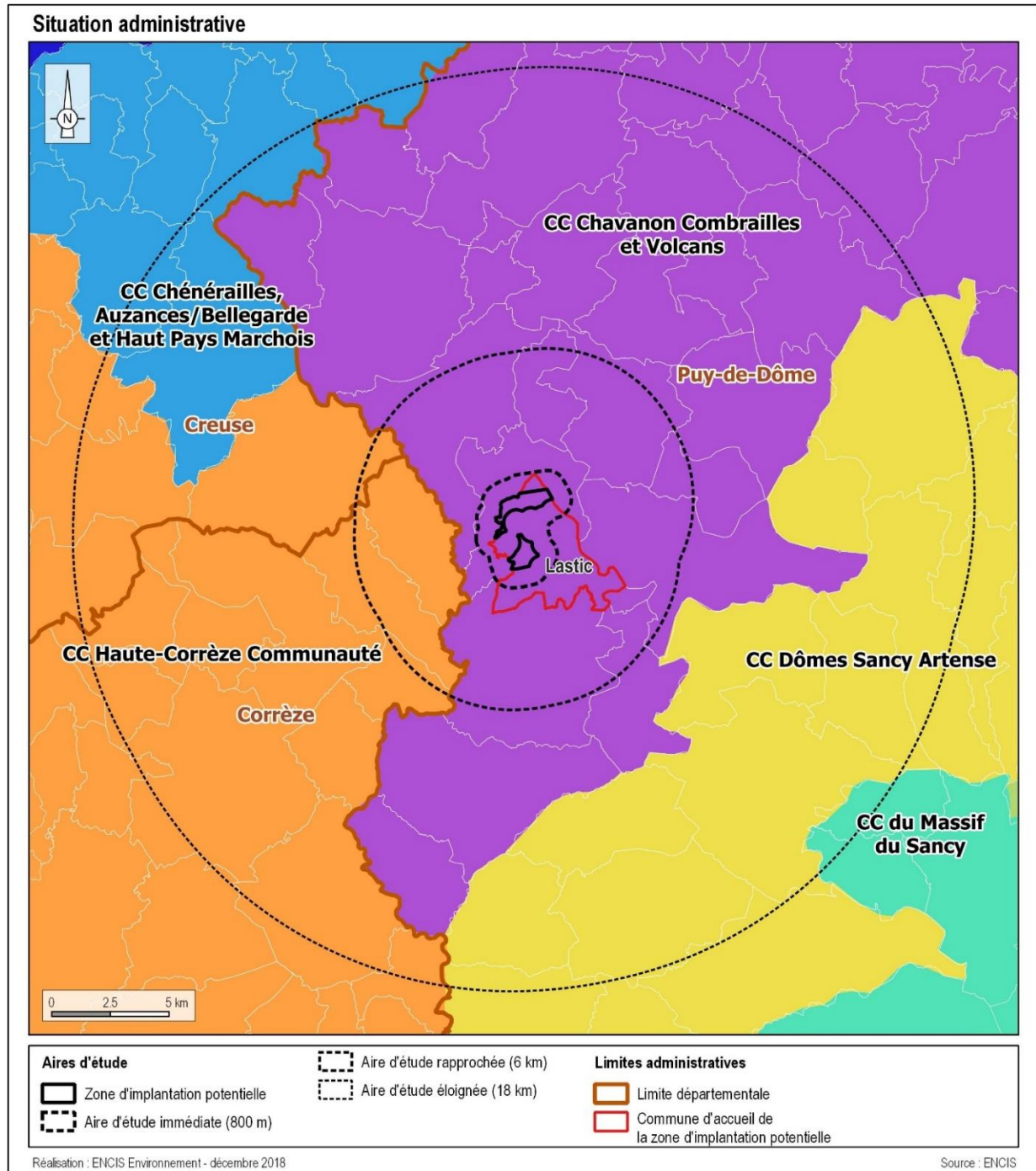
2.2. LOCALISATION DU SITE

Le site d'implantation potentielle du parc éolien est localisé en région Auvergne-Rhône-Alpes, dans le département du Puy-de-Dôme, sur la commune de Lastic.



Carte 1 : Localisation du site d'implantation sur le territoire français métropolitain

La commune de Lastic fait partie de la Communauté de Communes Chavanon-Combrailles et Volcans.



Carte 2 : Localisation du site d'implantation en Puy-de-Dôme et au sein de la Communauté de Communes Chavanon-Combrailles et Volcans

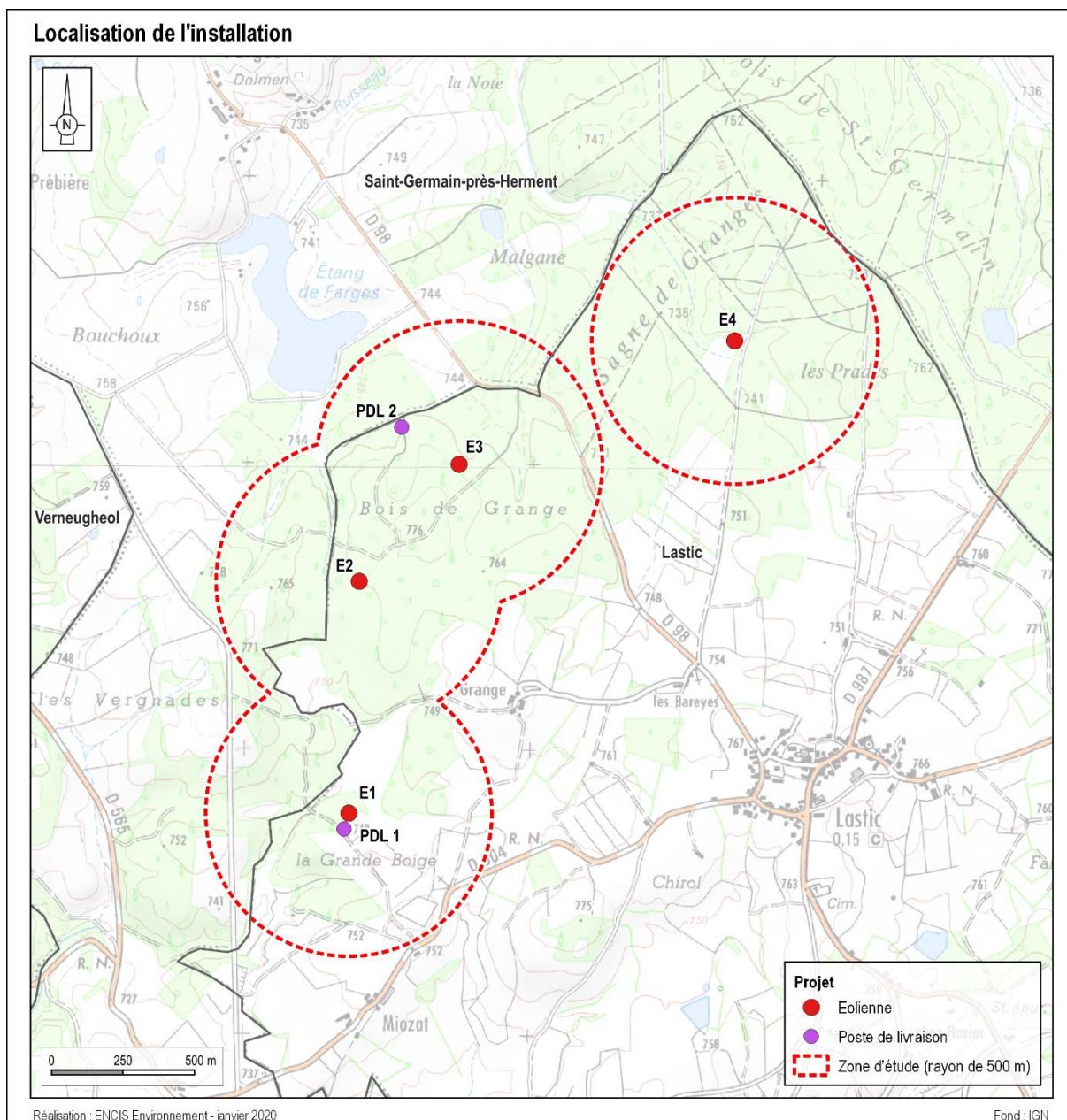
2.3. DEFINITION DE L'AIRE D'ETUDE

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.

La zone d'étude de dangers concerne les communes de Lastic et de Saint-Germain-près-Herment.



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

La population de la commune de Lastic était de 110 habitants en 2015 (source INSEE).

Aucune habitation ni zone destinée à l'habitation ne sont présentes dans la zone d'étude. Plusieurs lieux de vie sont toutefois situés de part et d'autre de cette zone.

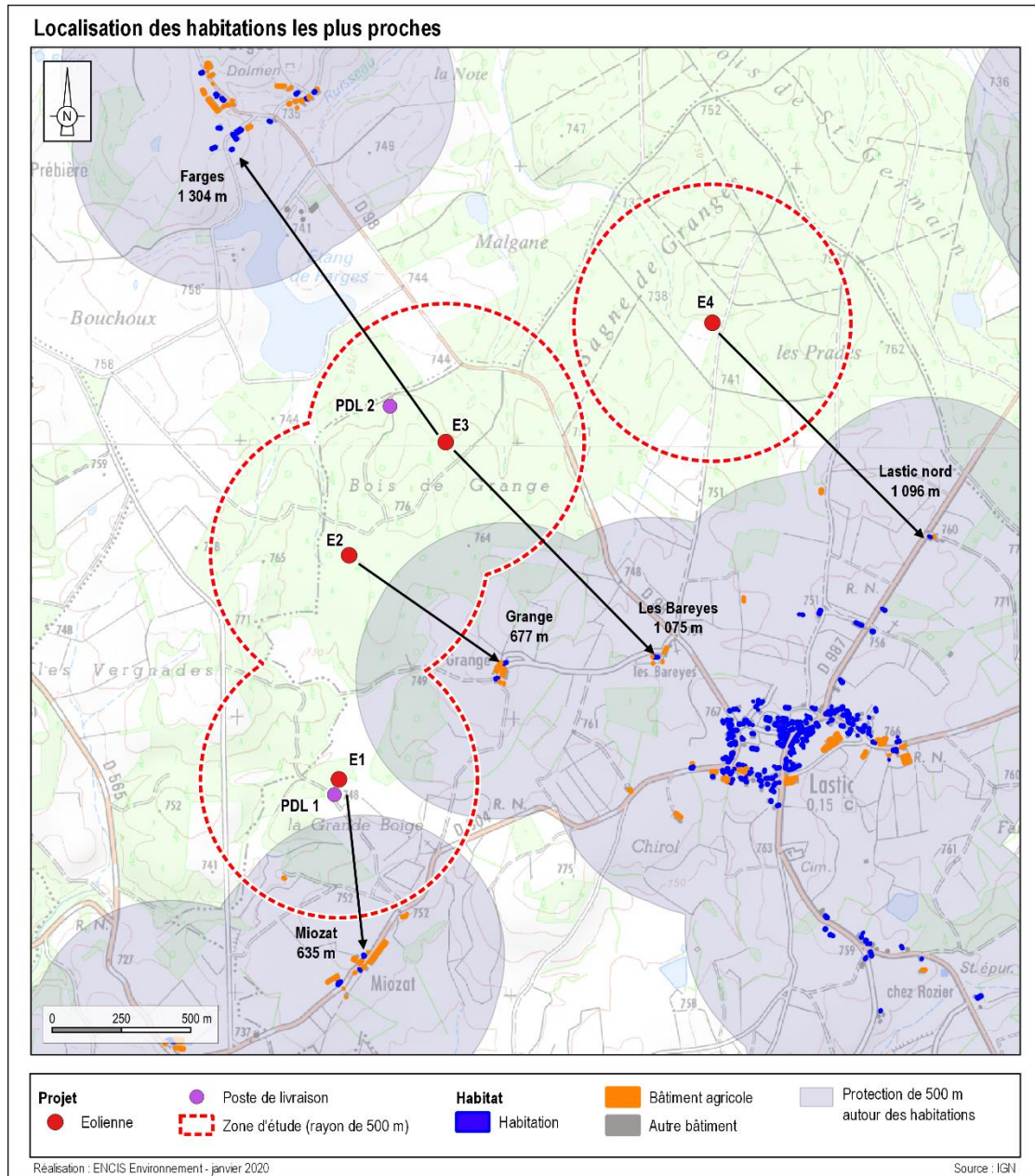
Le tableau suivant précise la distance des éoliennes par rapport aux premières habitations :

Nom des lieux de vie	Eolienne la plus proche	Distance à l'éolienne
Miozat	E1	635 m
Grange	E2	677 m
Les Bareyes	E3	1 075 m
Lastic nord	E4	1 096 m
Farges	E3	1 304 m

Tableau 1 : Distance des éoliennes par rapport aux premières habitations

L'habitation la plus proche est localisée au lieu-dit de Miozat. Elle se trouve à 635 m au sud de l'éolienne E1.

La commune de Lastic ne dispose pas de document d'urbanisme, de même que la commune de Saint-Germain-près-Herment, également concernée par la zone d'étude.



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

3.1.2. ÉTABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC (ERP)

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

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

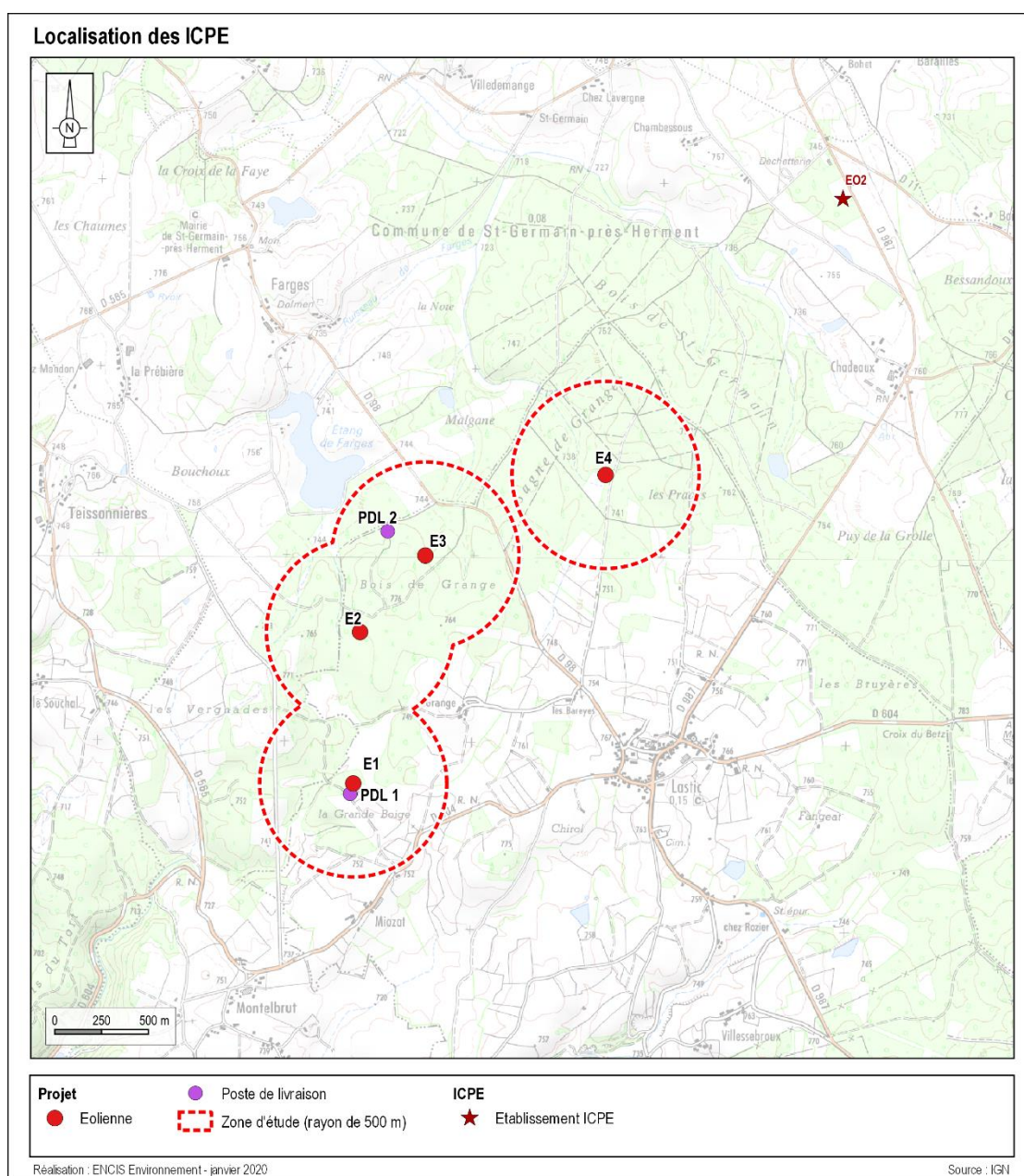
D'après la consultation de la base de données du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, une Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE) est recensée sur la commune de Saint-Germain-près-Herment. Il s'agit d'une fabrique de granulés bois, située à 1,9 km au nord-est de l'éolienne E4.

Site	Type d'activité	Commune	Distance	Etat d'activité	Régime	Statut Seveso
EO ₂	Fabrique de granulés	Saint-Germain-près-Herment	1,9 km	En fonctionnement	Autorisation	Non Seveso

Tableau 2 : Liste des ICPE

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 localise à Civaux, à 167 km au nord-ouest de l'éolienne E3.

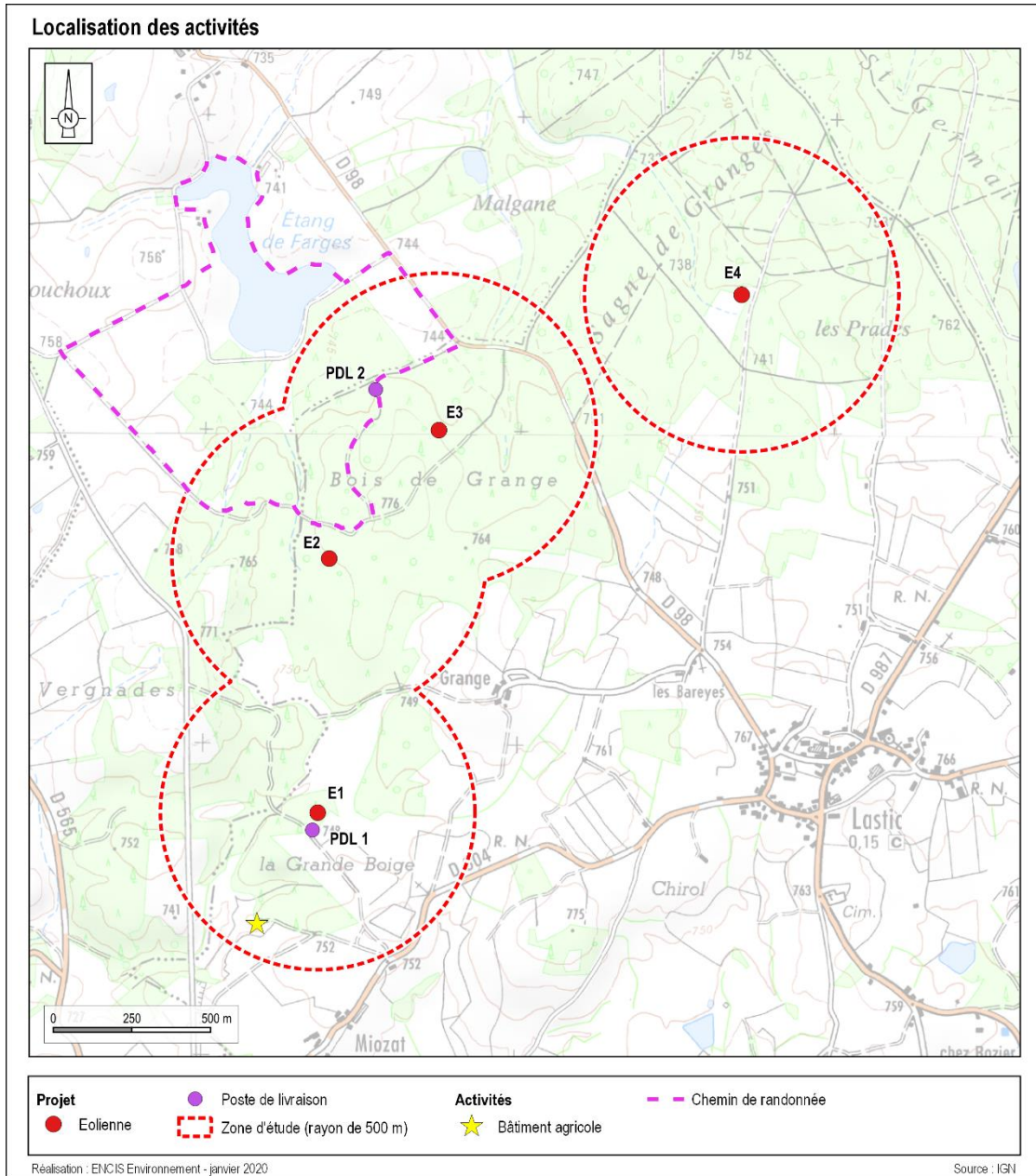


Carte 5 : Carte des ICPE les plus proches de la zone d'étude (Sources : Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie, ENCIS Environnement)

3.1.1. AUTRES ACTIVITES

Un bâtiment agricole est localisé au lieu-dit de la Grande Boige, à 404 m au sud-ouest de l'éolienne E1.

Un chemin de randonnée fait le tour de l'étang de Farge, situé 555 m au nord-ouest de l'éolienne E3, et emprunte les chemins forestiers situés au nord de l'éolienne E2 et au nord-ouest de E3. Ce chemin est concerné par la zone d'étude et se trouve au plus proche à 104 m au nord de l'éolienne E2.



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

En raison de son relief très variable et de différentes influences climatiques, l'ancienne région de l'Auvergne est caractérisée par une pluviométrie très hétérogène. Globalement, les précipitations sont abondantes, avec une moyenne de 920 mm par an. Cependant, de grandes différences sont observées avec moins de 600 mm/an en moyenne à Clermont-Ferrand, contre plus de 2 000 mm/an sur les monts du Cantal. Les plateaux de l'ouest sont soumis à l'influence océanique. Les précipitations y sont élevées et étagées selon l'altitude. Les versants ouest sont beaucoup plus arrosés que les versants est. L'influence continentale est plus visible sur les plateaux de l'est et du centre de la région, avec des précipitations plus faibles. Enfin, une petite partie du sud de l'Auvergne est soumise à l'influence méditerranéenne, caractérisée par des anticyclones en été, des précipitations en automne et un hiver sec.

La station météorologique la plus proche est la station de Saint-Sulpice (63), située à 6,3 km au sud-est du site. Elle nous renseigne sur les caractéristiques climatiques essentielles de la zone d'étude. Toutefois, cette station ne dispose pas de l'ensemble des données climatiques. Les données provenant de la station de Clermont-Ferrand (à 46 km à l'est) ont été utilisées en complément.

Les températures

A la station de Saint-Sulpice, la température moyenne annuelle est de 8,8°C. L'amplitude thermique reste modérée, de l'ordre de 15,1 °C. La température record minimale a été enregistrée en mars 2005 et était de -17,7°C ; le record maximal a été de 36,8°C (en juillet 2015).

D'après la station de Saint-Sulpice (données de 1981 à 2010), en moyenne, il y a eu 89,9 jours de gel par an (jour avec des températures inférieures à 0°C).

Un mât de mesures du vent a été installé par le porteur de projet sur le site du 20/09/2017 au 30/12/2018. Les données météorologiques du mât sont les suivantes.

Températures relevées sur le mât de mesures sur site	
Température moyenne à 10 m	9,3°C
Température minimale à 10 m	-16,1°C
Température maximale à 10 m	32,2°C

Tableau 3 : Données de températures issues du mât de mesures installé sur site (Source : ABO Wind)

Les précipitations

Les précipitations enregistrées à la station de Saint-Sulpice sont de 1 116,1 mm/an. On compte 19,5 jours avec des chutes de neige à la station Météo France de Clermont-Ferrand (1981 - 2010).

Le vent

Le mât de mesures de vent a été installé par le porteur de projet sur une période d'un an. Les données de vitesse et d'orientation du vent ont été recueillies. Elles démontrent des conditions favorables à l'implantation d'un parc éolien. L'orientation des vents mesurés entre le 20/09/2017 et le 30/12/2018 sur le mât de mesures installé sur le site met en évidence une dominance des vents selon un axe sud-sud-ouest / nord-nord-est.

Données météorologiques du mât de mesures sur site	
Vitesse mesurée à 80 m (entre le 20/09/2017 et le 30/12/2018)	4 m/s à 6 m/s
Orientation des vents dominants	Sud-sud-ouest / Nord-nord-est

Tableau 4 : Données de vent du mât de mesures (Source : ABO Wind)

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).

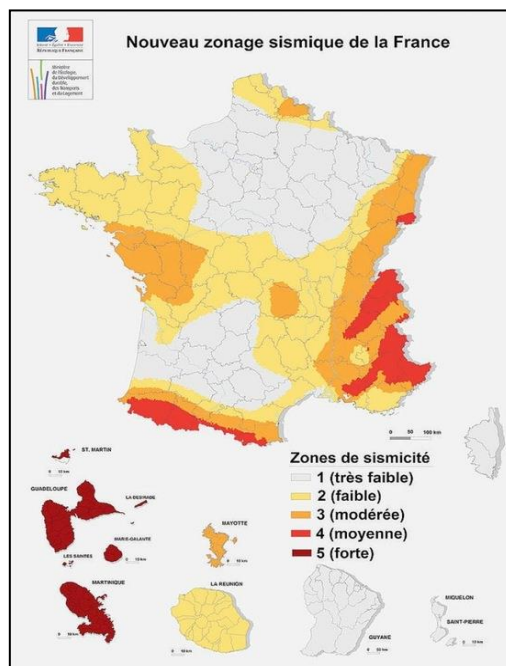


Figure 2 : Carte du zonage sismique en France (source Ministère de l'écologie)

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

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.

La zone d'étude n'est pas concernée par des mouvements de terrain recensés dans les bases de données. Le plus proche se situe à 2,6 km au sud-est de l'éolienne E4. Il s'agit d'un cas d'effondrement.

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. Le serveur Géorisques mis en place par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable et géré par le BRGM permet le recueil, l'analyse et le porter à connaissance des informations relatives à la présence de cavités.

La cavité souterraine la plus proche du projet est un ouvrage civil situé à 2,9 km au nord-est de l'éolienne E4.

Les bases de données ne démontrent pas d'aléa effondrement connus à proximité immédiate des éoliennes, néanmoins, les études géotechniques préalables à la construction du projet permettront de statuer précisément sur ce risque et de dimensionner les fondations en fonction.

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...

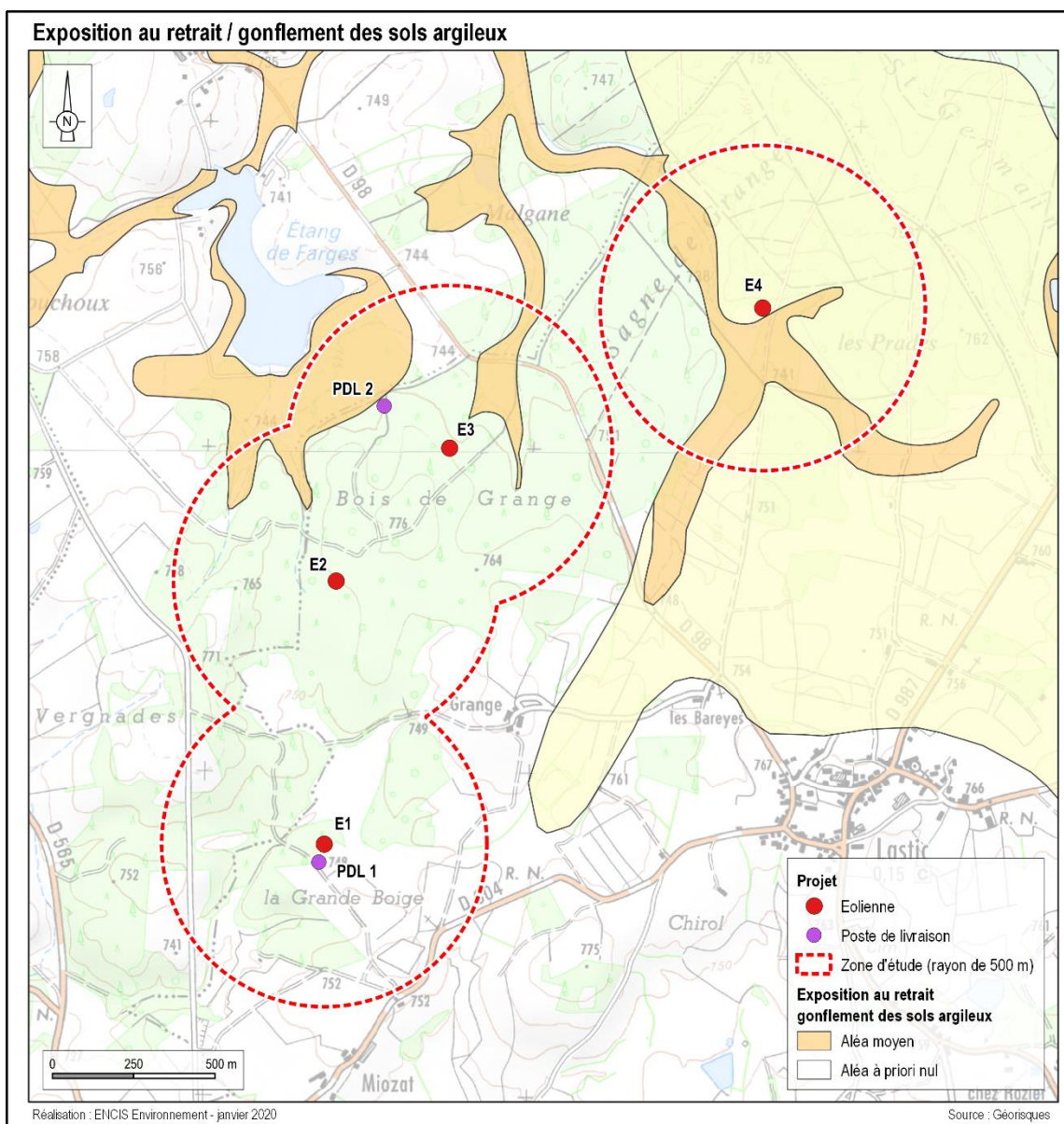
A la demande du Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, le BRGM a élaboré des cartes d'aléa retrait-gonflement d'argiles par département ou par commune.

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.

La majorité de la zone d'étude est caractérisée par un aléa retrait / gonflement des sols argileux. L'éolienne E4 se trouve en zone d'aléa faible. Le poste de livraison 2 et l'éolienne E4 sont par ailleurs situés à proximité de secteurs où l'aléa est qualifié de moyen.

Des sondages géotechniques permettront, en amont de la construction, de préciser la nature argileuse des sols et le risque associé et devront être pris en compte pour le dimensionnement des fondations.



Carte 7 : Zones de retrait et gonflement des argiles

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.

Le nombre moyen d'impacts de foudre au sol par km² et par an est compris entre 1 et 2 pour la zone d'étude. La valeur moyenne de la densité d'arcs, en France, est de 1,53 arcs/km²/an.

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

Le risque tempêtes :

La station de Saint-Sulpice a enregistré des vitesses de vent maximales de 33,5 m/s en février 2016.

Le risque incendies :

D'après le Dossier Départemental des Risques Majeurs du Puy-de-Dôme (2012), la commune d'accueil du projet, Lastic, est concernée par le risque de feu de forêt, au même titre que la majorité des communes du département.

Plusieurs boisements sont présents dans la zone d'étude, cette dernière concernant le bois de Grange et le bois de Saint-Germain.

Le Service Départemental d'Incendie et de Secours du Puy-de-Dôme a été consulté dans le cadre de cette étude. Dans sa réponse du 28/12/2016 (cf. annexe 2 de l'étude d'impact), il indique que la commune de Lastic présente un aléa feu de forêt très faible au titre du DDRM. Il signale que des prescriptions particulières concernant la sécurité contre les risques incendie seront précisés ultérieurement, lors de l'instruction de la demande d'autorisation environnementale du parc éolien.

Le SDIS du Puy-de-Dôme précisera des prescriptions particulières concernant la sécurité pendant l'instruction de la demande d'autorisation environnementale du parc éolien.

Le risque inondations :

Les risques d'inondation ont été recensés grâce à la base de données du portail de la prévention des risques majeurs⁶, au Dossier Départemental des Risques Majeurs et aux données de la DDT. Selon ces sources de données, le projet ne se situe pas en zone inondable.

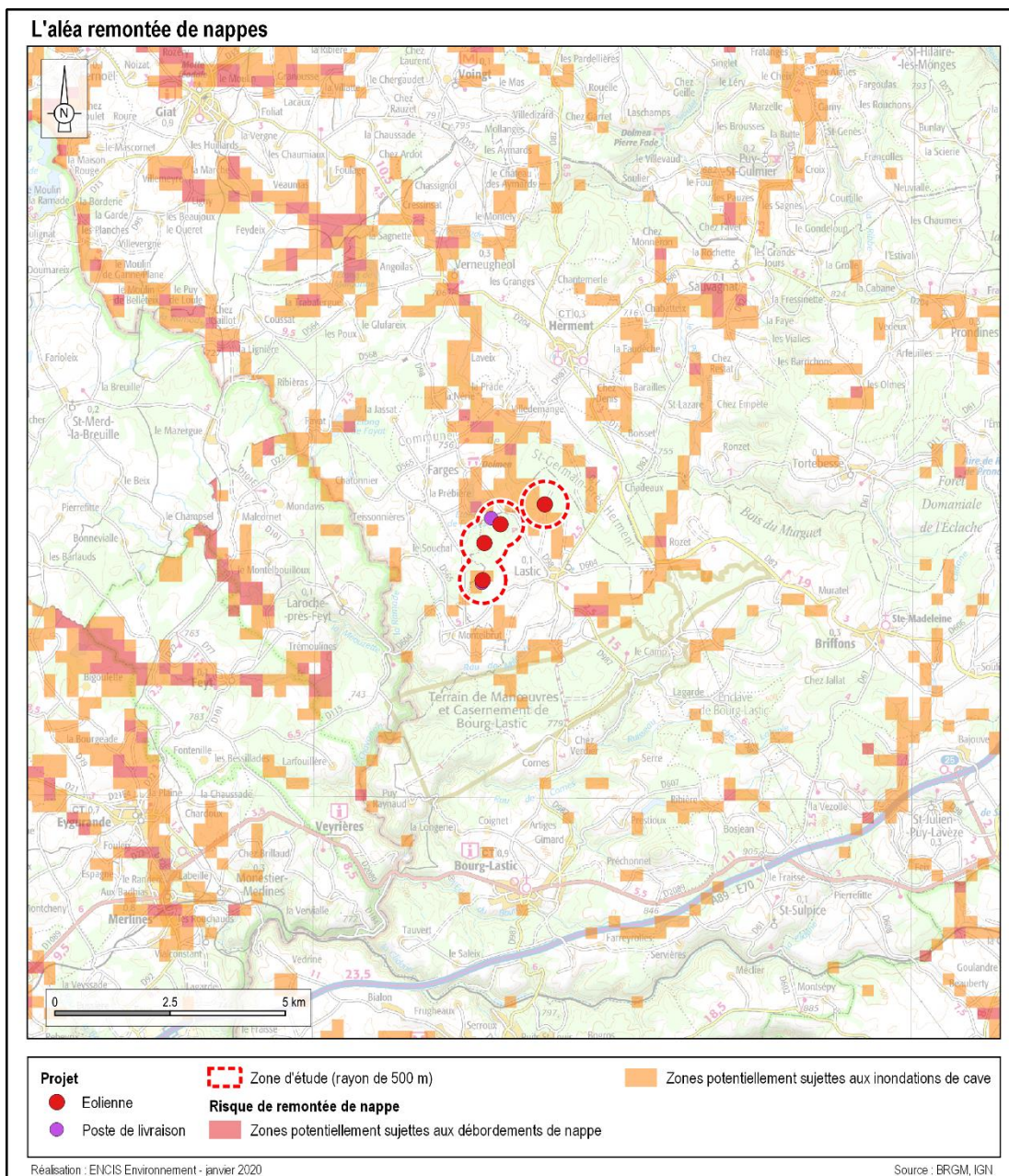
Les zones à risque les plus proches concernent la rivière de la Dordogne, située au sud du site. Ces zones se situent au plus proche à 11 km au sud de l'éolienne E1 et ont une altitude comprise entre 600 m et 700 m. En comparaison, les éoliennes du projet de Lastic se trouvent à une altitude comprise entre 738,73 m et 760,72 m.

Le risque remontée de nappes :

D'après le BRGM, les éoliennes E2 et E3 sont situées sur des zones présentant un risque de remontée de nappe nul alors que les éoliennes E1 et E4 se trouvent sur des zones potentiellement sujettes aux inondations de cave.

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.

⁶ <http://www.georisques.gouv.fr/dossiers/inondations/>



Carte 8 : Zones de sensibilité aux inondations par remontées de nappes⁷

⁷ Cette carte ne doit pas être exploitée à une échelle supérieure au 1/100 000^e, conformément à la notice Géorisques

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 A89 est située à 8 km au sud de l'éolienne E1. A une échelle plus fine, on note à l'intérieur de la zone d'étude le passage de deux routes départementales considérées comme des dessertes locales : la route D604 au sud-est de l'éolienne E1 et la route D98 au nord-est de l'éolienne E3. Une voie communale et plusieurs chemins forestiers sont également présents.

Dans son courrier du 22/07/2016 (cf. annexe 2 de l'étude d'impact), le Conseil Départemental du Puy-de-Dôme communique le trafic journalier moyen des principaux axes de circulation à proximité du projet :

Route	Catégorie	Trafic moyen journalier annuel
D98	Catégorie D – desserte locale	80 véhicules/jour
D604	Catégorie D – desserte locale	110 véhicules/jour
D987	Catégorie C – desserte départementale	1450 véhicules/jour

Tableau 5 : Comptage routier des routes départementales proches de la zone d'implantation potentielle (Source : Conseil Départemental du Puy-de-Dôme)

Le transport ferroviaire

Le site n'est pas concerné par une voie ferrée. La voie ferrée exploitée la plus proche est recensée à Saint-Sauves-d'Auvergne, soit à 8,2 km au sud-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

Du point de vue de l'aviation militaire, le projet est situé dans la zone réglementée R 68 B, dédiée à l'entraînement de combat pouvant nécessiter un contournement pendant l'activité, avec une hauteur plancher de vol de 4 500 ft (1 371 m). La zone d'étude se trouve dans le couloir TMA Clermont 5.1, pour lequel la hauteur plancher est définie à 8 500 pieds soit 2,5 km.

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

L'aérodrome le plus proche est celui d'Ussel-Thalamy, à 21,5 km au sud-ouest de l'éolienne E1.

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

La zone d'étude n'est pas concernée par les lignes Haute Tension (la plus proche est à 1,9 km au nord-est de l'éolienne E4). Une ligne HTA aérienne est également localisée à 506 m au sud-est 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

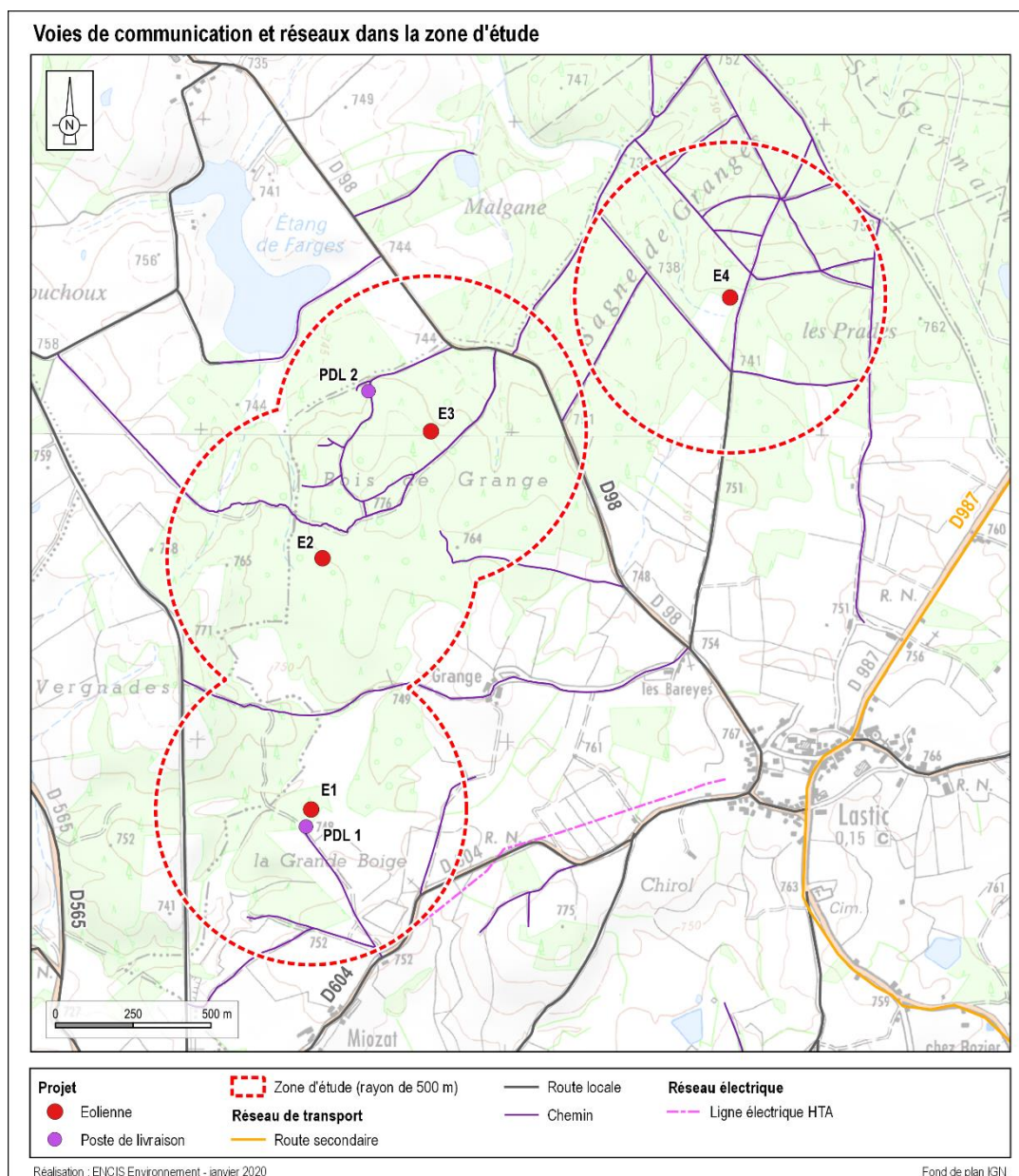
Aucune station d'épuration n'est présente sur et aux alentours de la zone d'étude.

Le réseau d'alimentation en eau potable

La réponse de l'ARS datée du 31/08/2016 (voir annexe 2 de l'étude d'impact) a permis de déterminer qu'aucun captage public utilisé pour l'alimentation humaine, n'est présent dans la zone d'étude. Cependant, deux captages sont identifiés à proximité, au lieu-dit Le Camp, à 3,5 km au sud-est de l'éolienne E1.

3.3.3. AUTRES OUVRAGES PUBLICS

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



Carte 9 : Voies de communication et réseaux (sources : IGN ; ENCIS Environnement)

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'études**⁸ 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 routes départementales D98 et D604 ;
- une voie communale et plusieurs chemins sylvicoles ;
- le chemin de randonnée faisant le tour de l'étang de Farge et empruntant les chemins forestiers proches des éoliennes E2 et E3 ;
- le bâtiment agricole situé au lieu-dit la Grande Boige.

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 (voir annexe 1 du présent document). 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.

Les enjeux pris en compte pour les routes départementales D98 et D604 traversant la zone d'étude ont été estimés en fonction des données de comptage routier du Conseil Départemental du Puy-de-Dôme. La fréquentation de ces routes est de 80 véhicules/jour pour la D98 et de 110 véhicules/jour pour la D604. Ces routes sont donc considérées comme non structurantes (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 (forêts, prairies, etc....), 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 voie communale et les chemins sylvicoles, chemins permanents et plateformes créés dans le cadre du projet éolien), où l'on comptera 1 personne par tranche de 10 ha.

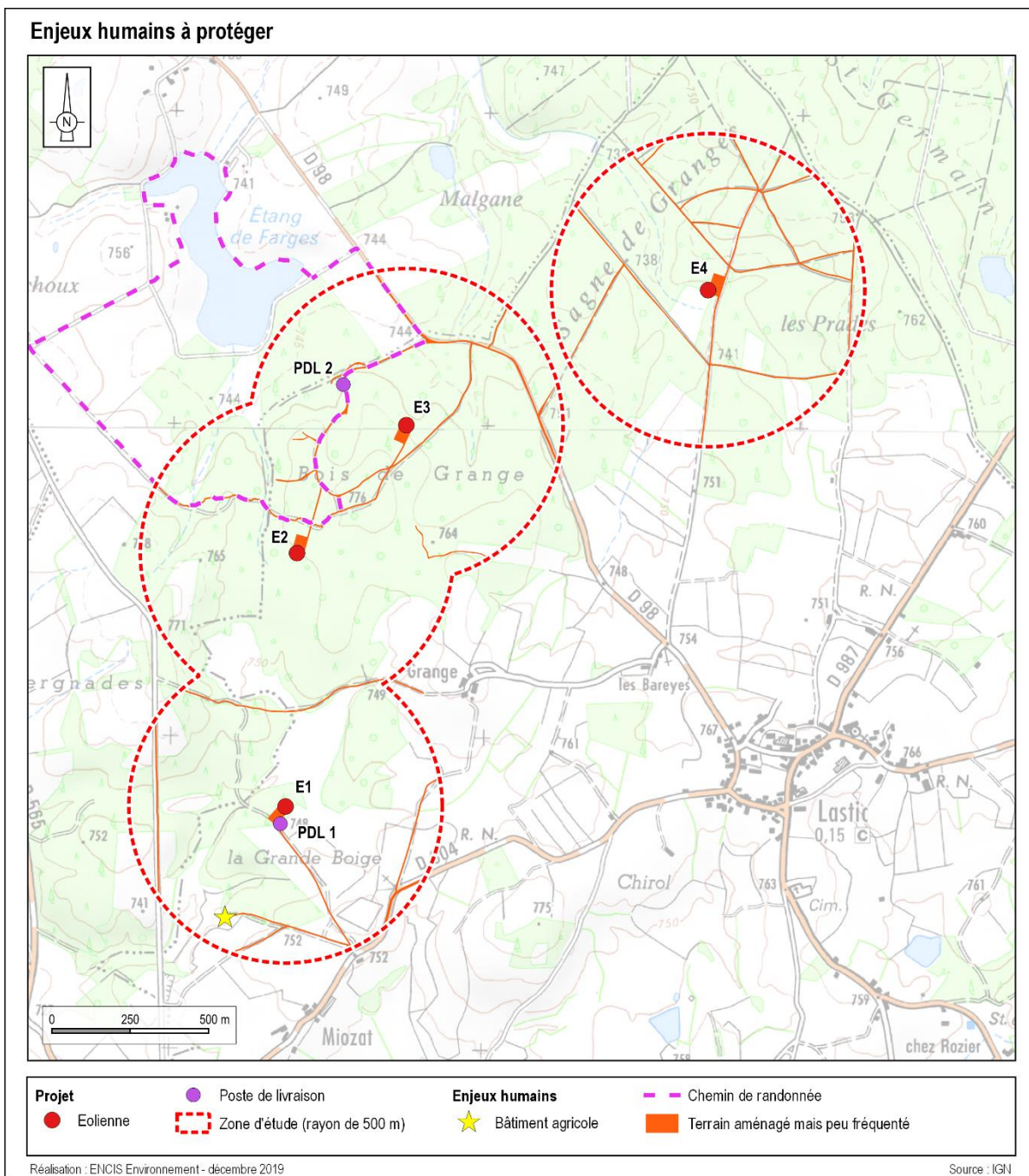
Pour les chemins de promenade de randonnée, nous compterons 2 personnes pour 1 km, en considérant que ces chemins sont peu fréquentés (moins de 100 promeneurs/jour en moyenne).

D'après le porteur de projet, les enjeux humains correspondant au bâtiment agricole ont été estimés à 2 personnes maximum.

Les surfaces ont été calculées en utilisant un logiciel de SIG⁹, 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 porteur de projet. 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.

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

⁹ SIG : Système d'Information Géographique / logiciel utilisé : Qgis



Carte 10 : Enjeux à protéger (sources : IGN ; ENCIS Environnement)

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 moyeu auquel sont fixées les pales, ainsi que, le cas échéant, un transformateur.

Toutes les éoliennes qui composent le parc sont de même type, de hauteur égale (219,6 m en bout de pales) et de matériau et couleur sobres. L'éolienne Nordex N149 – 4,5 MW – 145 HH est une éolienne d'une puissance nominale de 4,5 MW. La puissance disponible du projet de Lastic est par conséquent de 18 MW.

L'éolienne Nordex N149 – 4,5 MW – 145 HH est essentiellement composée des éléments suivants :

- **Le rotor** de 149,1 m 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** tubulaire en acier recouvert d'un revêtement époxy (protection anti-corrosion) et de peinture acrylique, d'une hauteur totale de 142,89 m, équipée à son sommet d'une nacelle qui s'oriente en permanence en direction du vent. Le mât comporte des plates-formes intermédiaires et est équipé d'une échelle, pourvue d'un système antichute (rail), de plates-formes de repos, et d'un élévateur de personnel.
- **La nacelle** composée d'un châssis en fonte et d'une coquille fabriquée en matière plastique renforcée de fibres de verre, dimensionnés suivant le standard IEC classe S. Elle est composée d'un train d'entraînement, d'une génératrice, d'un système d'orientation, du convertisseur ainsi que du transformateur.

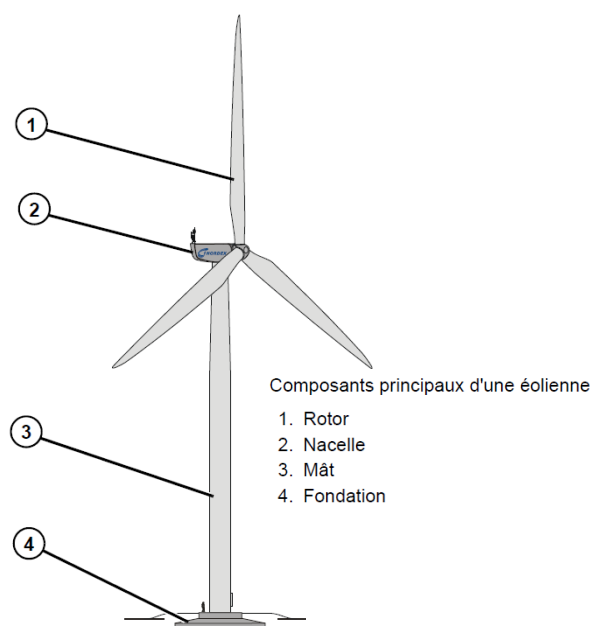


Figure 3 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

❖ Le rotor

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

- **Moyeu du rotor**, construction en fonte modulaire et rigide. Le roulement d'orientation de pale et la pale sont montés dessus.
- **Pales** d'une longueur de 72,4 mètres. Les pales sont constituées de deux moitiés collées ensemble. Le matériau du noyau de cette construction à plusieurs couches est en balsa et mousse de PVC. Le profil aérodynamique des pales résiste bien aux salissures et à la glace, ce qui permet une réduction des pertes de puissance. Chaque pale est pourvue d'une pointe en aluminium qui dévie le courant de foudre par un câble en acier vers le moyeu du rotor. Les pales sont fixées au roulement d'orientation du système Pitch (système d'orientation des pales décrit ci-dessous) à l'aide de boulons en T.
- **Système à pas variable** (pales du rotor dans les positions définies par la commande). Chaque pale est commandée et entraînée séparément par un entraînement électromagnétique avec moteur triphasé, un engrenage planétaire, et une unité de commande avec convertisseur de fréquence et alimentation électrique de secours. Le système à pas variable est le frein principal de l'éolienne. Les pales se tournent ainsi de 90° pour le freinage, ce qui interrompt la portance et crée une grande résistance de l'air provoquant ainsi le freinage du rotor (frein aérodynamique).

❖ La nacelle

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

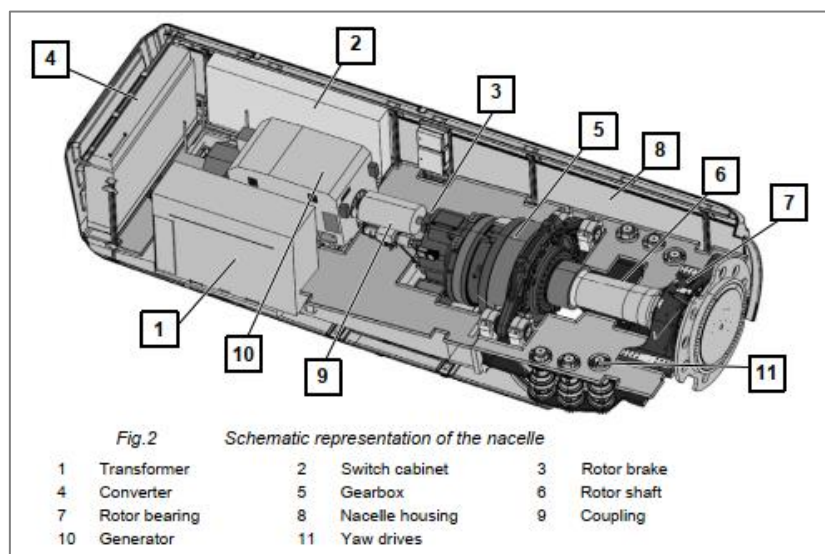


Figure 4 : Composants de la nacelle (Source : Nordex)

- **La couronne d'orientation** : La direction du vent est mesurée de manière continue à hauteur de moyeu par deux appareils indépendants. L'un d'entre eux est un appareil ultrasonique. Tous les anémomètres sont chauffés. Si la direction du vent relevée diffère du positionnement de la nacelle d'une valeur supérieure à la valeur limite, la nacelle est réorientée via quatre entraînements constitués d'un moteur électrique, d'un engrenage planétaire à plusieurs niveaux et de pignons d'entraînement. Les freins d'orientation sont activés.
- **Le train d'entraînement** transmet le mouvement de rotation du rotor à la génératrice. Il est constitué des composants principaux suivants :
 - L'arbre du rotor transmet les forces radiales et axiales du rotor au châssis machine. Le roulement du rotor contient un dispositif de verrouillage mécanique du rotor.
 - Un multiplicateur : il augmente la vitesse de rotation au niveau nécessaire pour la génératrice. L'huile du multiplicateur assure non seulement la lubrification mais aussi le refroidissement du multiplicateur. La température des roulements du multiplicateur et de l'huile est surveillée en permanence
 - Une frette de serrage qui relie entre eux l'arbre de rotor et le multiplicateur
 - Un coupleur : il compense les décalages entre multiplicateur et génératrice. Une protection contre les surcharges (limitation prédéfinie de couple) est montée sur l'arbre de la génératrice. Elle empêche la transmission de pics de couple qui peuvent avoir lieu dans la génératrice en cas de panne de réseau. Le coupleur est isolé électriquement.
- **La génératrice** : La transformation de l'énergie éolienne en énergie électrique s'effectue grâce à une génératrice asynchrone à double alimentation de 4500 kW à 50 Hz. Elle est maintenue à une température de fonctionnement optimale grâce au circuit de refroidissement. Son stator est directement relié au réseau du parc éolien, son rotor l'est via un convertisseur de fréquence à commande spéciale.
- **Le transformateur électrique sec** (permettant d'élever la tension de 660 Volts en sortie de la génératrice à 20 000 Volts dans le réseau inter-éolien) est installé à l'arrière sur le flanc droit de la nacelle. Il remplit les conditions de classe de protection incendie F1.
- **Convertisseur de fréquence** : est situé à l'arrière de la nacelle. Grâce à un système générateur-convertisseur à régime variable, les pics de charge et pointes de surtension sont limités.
- **Circuit de refroidissement** : multiplicateur, génératrice, convertisseur sont refroidis via un échangeur air/eau couplé avec un échangeur eau/huile pour le multiplicateur.
- Tous les systèmes sont conçus de manière à garantir des températures de fonctionnement optimales même en cas de températures extérieures élevées. La température de chaque roulement de multiplicateur, de l'huile du multiplicateur, des bobinages et des roulements de la génératrice ainsi que du réfrigérant est contrôlée en permanence et en partie de manière redondante par le système contrôle-commande.

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

❖ Le pied du mât

Le mât est un mât tubulaire cylindrique en acier. La hauteur totale au moyeu est de 145 mètres. L'échelle d'ascension avec son système de protection antichute et les plateformes de repos et de travail à l'intérieur du mât permettent un accès à la nacelle à l'abri de la météo.

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

❖ 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.

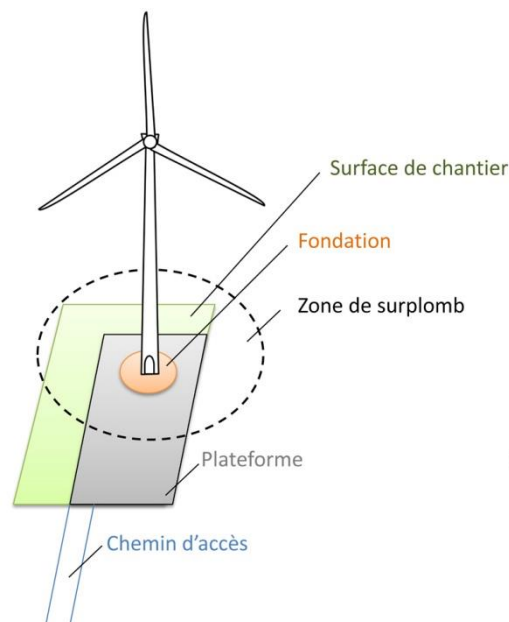


Figure 5 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne

❖ Chemins d'accès

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

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

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

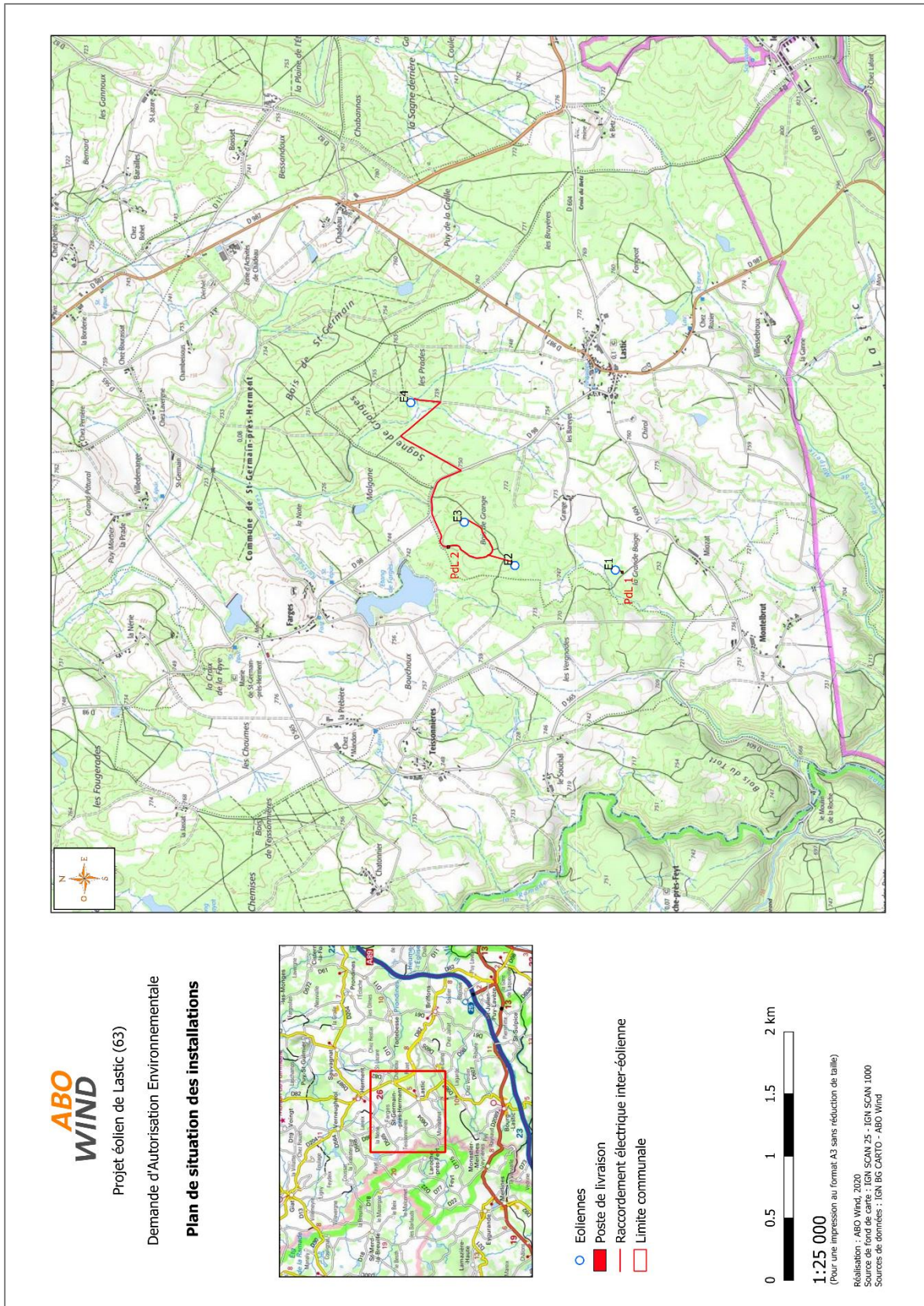
L'activité principale du parc éolien de Lastic est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur (mât + nacelle) de 147 m (hauteur de moyeu de 145 m + 2 m pour atteindre le toit de la nacelle, Nordex indiquant une hauteur de nacelle de 4 m et le moyeu se trouvant à mi-hauteur de la nacelle). 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

Le parc éolien est composé de 4 éoliennes de type Nordex N149 d'une puissance nominale maximale de 4,5 MW et de deux postes de livraison. Les éoliennes ont une hauteur de moyeu de 145 mètres et un diamètre de rotor de 149,1 m, soit une hauteur totale de 219,6 m. Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs et des postes de livraison :

EOLIENNE	Type	Commune	Section	N° parcelle	Altitude au sol	Hauteur totale	Altitude NGF en bout de pale	Lambert 93	
								X	Y
E1	N149	Lastic	A	212	748,57 m	219,6 m	968,17 m	664735,37	6512274,08
E2	N149	Lastic	A	178	759,3 m	219,6 m	978,9 m	664772,12	6513083,72
E3	N149	Lastic	A	176	752,37 m	219,6 m	971,97 m	665120,77	6513491,73
E4	N149	Lastic	A	157	737,61 m	219,6 m	957,21 m	666083,51	6513922,45
PDL 1	-	Lastic	A	212	749,54 m	2,64 m	752,18 m	664718,84	6512218,91
PDL 2	-	Lastic	A	771	749,3 m	2,64 m	751,94 m	664918,95	6513621,06

Tableau 6 : Coordonnées des éoliennes et des postes de livraison



Carte 11 : Plan détaillé du parc éolien de Lastic (Source : ABO Wind)

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, utilisé uniquement en cas d'urgence ou de maintenance.

Caractéristiques de la N149 :

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

4.2.2. FONCTION ET CARACTERISTIQUES DU PARC EOLIEN DE LASTIC

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

Eolienne Nordex N149 – 4,5 MW – 145 HH		
Conditions climatiques	Température ambiante de survie	-40 °C à +50 °C
	Puissance nominale	-20 °C à +40 °C
	Arrêter	-20 °C, redémarrage à -18 °C
	Certificat	Classe S selon IEC 61400-1
Conception technique	Puissance nominale	4.5 MW
	Régulation de puissance	Variation active de pale individuelle
	Diamètre du rotor	149,1 m
	Hauteur du moyeu	145 m
	Concept de l'installation	Boite de vitesse, vitesse de rotation variable
	Plage de vitesse de rotation du rotor	6.4 à 12.3 tours par min
Rotor	Type	Orientation active des pales face au vent
	Sens de rotation	Sens horaire

Eolienne Nordex N149 – 4,5 MW – 145 HH		
<i>Capte l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice</i>	Nombre de pales	3
	Surface balayée	17460m ²
	Contrôle de vitesse	Variable via microprocesseur
	Contrôle de survitesse	Pitch électro motorisé indépendant sur chaque pale
	Matériau des pales	Plastique renforcé à la fibre de verre (GFK), protection contre la foudre intégrée en accord complet avec la norme IEC 61 - 400-24 (Juin 2010)
Nacelle <i>Supporte le rotor et abrite le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice, etc.) ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité</i>	Arbre de rotor <i>Transmet le mouvement de rotation des pales</i>	Entraîné par les pales
	Multiplicateur <i>Augmente le nombre de rotation de l'arbre</i>	Engrenage planétaire à plusieurs étages + étage à roue dentée droite ou entraînement différentiel
	Génératrice <i>Produit l'électricité</i>	Asynchrone à double alimentation Tension de 660 V
Système de freinage	Frein principal aérodynamique	Orientation individuelle des pales par activation électromécanique avec alimentation de secours
	Frein auxiliaire mécanique	Frein à disque à actionnement actif sur l'arbre rapide
Mât <i>Supporte le rotor et la nacelle</i>	Type	Tubulaire en acier
	Nombre de sections	5
	Protection contre la corrosion	Revêtement multicouche résine époxy
	Fixation du pied du mât	Cage d'ancrage noyée dans le béton de fondation
Transformateur <i>Elève la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau</i>	Caractéristiques	Situé en nacelle Tension de 20kV à la sortie
Fondation <i>Ancre et stabilise le mât dans le sol</i>	Type	En béton armé, de forme octogonale
	Dimensions	Design adapté en fonction des études géotechnique et hydrogéologique réalisées avant la construction
Contrôle commande	Type matériel logiciel	Remote Field Controller/PLC, Nordex Control 2
	Démarrage automatique après coupure de réseau	Oui
	Démarrage automatique après vent de coupure	Oui
Périodes de fonctionnement	1,1 à 3 m/s	Un automate, informé par une girouette, commande aux moteurs d'orientation de placer l'éolienne face au vent

Eolienne Nordex N149 – 4,5 MW – 145 HH		
	Environ 3 m/s	Le vent est suffisant pour générer de l'électricité. L'éolienne peut être couplée au réseau électrique
	> 3 m/s	La génératrice délivre un courant électrique alternatif, dont l'intensité varie en fonction de la vitesse du vent
	13 à 20 m/s	L'éolienne fournit sa puissance nominale. Cette dernière est maintenue constante grâce à une réduction progressive de la portance des pales. La plage de fonctionnement est dépendante de la puissance nominale de la turbine.
Postes de livraison <i>Adapte les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public</i>	Caractéristiques	Equipés de différentes cellules électriques et automates qui permettent la connexion et la déconnexion du parc éolien au réseau 20 kV, ainsi que le comptage de l'électricité produite.

Tableau 7 : Découpage fonctionnel de l'installation (Source : Nordex)

4.2.3.SECURITE DE L'INSTALLATION

Règles de conception et système qualité

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

Les aérogénérateurs de type N149 – 4,5 MW – 145 HH font l'objet d'évaluations de conformité (tant lors de la conception que lors de la construction), de certifications de type (certifications CE) par un organisme agréé et de déclarations de conformité aux standards et directives applicables. Les équipements projetés répondront aux normes internationales de la Commission électrotechnique internationale (CEI) et Normes françaises (NF) homologuées relatives à la sécurité des éoliennes, et notamment :

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

D'autres normes de sécurité sont applicables :

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

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

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

Conformité aux prescriptions de l'arrêté ministériel

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 reprend l'ensemble des articles de l'arrêté du 26 août 2011 modifié¹⁰ portant sur la sécurité de l'installation et s'appuie sur les données du constructeur / des constructeurs ainsi que sur l'étude d'impact sur l'environnement (notée « EIE ») afin de justifier de cette conformité.

Les articles de l'arrêté ne traitant pas de la sécurité ou des risques sanitaires liés au projet (définitions des termes employés, organisation du suivi environnemental post-implantation, dispositions relatives au démantèlement, constitution des garanties financières, etc.) n'apparaissent pas dans ce tableau.

¹⁰ Modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 portant modification des prescriptions relatives 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

Article de l'arrêté du 26/08/2011 modifié	Disposition	Commentaire	Conformité
2	Déclaration des données techniques de l'installation aux étapes clés du cycle de vie du parc	Le pétitionnaire et l'exploitant du parc éolien s'engagent à déclarer ces données conformément aux modalités définies par avis au Bulletin officiel du Ministère en charge de l'environnement	OUI
	Mise à disposition de l'inspection ICPE des rapports, registres, manuels, consignes et justificatifs visés par le présent arrêté	L'exploitant s'engage à respecter ces dispositions dans les conditions fixées par l'arrêté du 26 août 2011 modifié.	OUI
3	Distance \geq 500 m des habitations/zones d'habitation	Entité la plus proche à 635 m	OUI
	Distance \geq 300 m d'une installation nucléaire ou d'une ICPE SEVESO	Aucune ICPE SEVESO ou INB dans un rayon de 500 m des mâts éoliens	OUI
4	Distances minimales d'éloignement aux radars météorologiques et aux radars de navigation maritime et fluviale	Respect des distances fixées (cf. chapitre 3.2.6 de l'EIE)	OUI
	Non remise en cause du fonctionnement des radars et aides à la navigation utilisés dans le cadre des missions de sécurité à la navigation aérienne civile et les missions de sécurité militaire	Aucune contrainte selon les services de la DGAC (cf. chapitre 3.2.6 de l'EIE) Absence d'incidence du projet sur les servitudes de dégagement aéronautiques militaires (cf. annexe 3 de l'EIE)	OUI
5	Étude des ombres portées si bureau à moins de 250 m des éoliennes	Pas de bureau à moins de 250 m des machines	OUI
6	Champ magnétique des aérogénérateurs ressenti au niveau des habitations \leq 100 microteslas à 50 – 60 Hz	cf. chapitre 6.2.4.3 de l'EIE	OUI
7	Existence d'une voie carrossable entretenue pour permettre l'intervention des services d'incendie et de secours	Les voies d'accès aux éoliennes seront dimensionnées et entretenues tout au long de l'exploitation de façon à permettre l'intervention des véhicules du SDIS. cf. chapitre 9.3.1 de l'EIE, Mesure E1	OUI
8	Conformité aux dispositions de la norme NF EN 61 400-1 ou CEI 61 400-1 dans leur version en vigueur lors du dépôt du DDAE ou toute norme équivalente en vigueur dans l'UE	Certification selon le référentiel IEC 61 400-1 (ou norme équivalente) de tous les aérogénérateurs	OUI
	Production d'un rapport de contrôle attestant de la conformité de chaque éolienne à la norme visée	Ce rapport sera produit et mis à disposition avant la mise en service de l'installation.	OUI
9	Mise à la terre de l'installation (risque de foudre)	Les éoliennes sont équipées de dispositifs de mise à la terre.	OUI
	Conformité à la norme IEC 61 400-24 (version en vigueur à la date de dépôt du DDAE)	Respect du standard IEC 61 400-24	OUI

Article de l'arrêté du 26/08/2011 modifié	Disposition	Commentaire	Conformité
	Production d'un rapport de contrôle attestant de la mise à la terre de l'installation	Ce rapport sera produit et mis à disposition avant la mise en service de l'installation	OUI
10	Conformité des installations électriques internes aux éoliennes avec les dispositions de la directive du 17 mai 2006	Directive transposée au droit français par le décret n°2008-1156 du 07/11/2008 Les installations électriques à l'intérieur des aérogénérateurs respectent ce décret.	OUI
	Conformité des installations électriques externes aux éoliennes avec les normes NFC 15-100, 13-100 et 13-200 (versions en vigueur à la date de dépôt du DDAE)	Les installations électriques haute et basse tension extérieures aux aérogénérateurs respecteront ces normes.	OUI
	Production d'un rapport de contrôle attestant de la conformité vis-à-vis des risques électriques	Ce rapport sera produit et mis à disposition avant la mise en service de l'installation	OUI
11	Balisage des éoliennes conforme au Code des transports et au Code de l'aviation civile	Respect de la réglementation en vigueur en France pour le balisage aéronautique (cf. chapitre 6.2.4.2 de l'EIE)	OUI
13	Accès à l'intérieur des éoliennes et des postes de livraison maintenus fermés à clé	Respect de cette disposition pour tous les aérogénérateurs (portes verrouillables à clés)	OUI
14	Consignes de sécurité, mises en garde face aux risques et prescriptions pour le public visibles sur les chemins d'accès aux éoliennes et sur les postes de livraison	cf. chapitre 5.3.2.1 du présent rapport Ensemble de pictogrammes et textes à destination des exploitants	OUI
15	Formation du personnel intervenant sur les risques, les moyens pour les éviter, les procédures d'urgence et mise en place d'exercices d'entraînement consignés dans un registre	Le personnel de maintenance, qu'il dépende directement de l'exploitant ou du constructeur des éoliennes (via contrat de maintenance), est qualifié, formé et habilité. (cf. chapitre 5.3.2.2 du présent rapport)	OUI
16	Interdiction d'entreposer des matériaux combustibles ou inflammables dans les éoliennes	Respect de ces exigences (cf. chapitre 4.2.5 du présent rapport)	OUI
17	Essais d'avant mise en service et contrôle périodique (1 fois/an max.) des équipements de mise à l'arrêt (arrêt simple, d'urgence et en cas de survitesse). Résultats des tests consignés.	Tests des fonctions de sécurité effectués selon le planning fixé par l'arrêté (cf. chapitre 7.6 du présent rapport)	OUI
	Contrôle des installations électriques avant la mise en service puis annuellement	Respect de cette disposition dès la phase de construction ainsi que dans les protocoles de maintenance	OUI

Article de l'arrêté du 26/08/2011 modifié	Disposition	Commentaire	Conformité
18	Contrôle régulier des brides de fixation, des brides de mât, de la fixation des pales et du mât + contrôle des systèmes instrumentés de sécurité avec production d'un rapport de suivi	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. chapitre 7.6 du présent rapport)	OUI
	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être endommagés au minimum 1 fois tous les 6 mois	Inclus dans le programme de maintenance des machines. Pales équipées de systèmes de captage de la foudre avec transfert à la terre.	OUI
	Systèmes instrumentés de sécurité, de détecteurs et de systèmes de détection destinés à identifier tout fonctionnement anormal (incendie, perte d'intégrité d'un aérogénérateur, entrée en survitesse)	Les éoliennes sont toutes équipées de tels systèmes dont la liste, les fonctionnalités, les fréquences de tests et les opérations de maintenance assurant leur pérennité sont consignées. Ces équipements sont contrôlés au moins une fois par an et un registre de maintenance est mis à disposition.	OUI
19	Tenue d'un manuel d'entretien et d'un registre sur les opérations de maintenance, les défaillances et les opérations préventives et correctives réalisées	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. chapitre 7.6 du présent rapport)	OUI
20	Conditions d'élimination des déchets produits et interdiction de les brûler à l'air libre	Respect des exigences fixées par les textes relatifs à l'élimination des déchets. cf. chapitres 6.1.2.8 et 6.2.2.8 de l'EIE	OUI
21	Récupération, valorisation ou élimination des déchets non dangereux	Respect des exigences fixées par les textes relatifs à l'élimination et à la valorisation des déchets cf. chapitres 6.1.2.8 et 6.2.2.8 de l'EIE	OUI
	Valorisation des déchets d'emballage obligatoire si volume $\geq 1\ 100$ L/semaine		OUI
22	Établissement de consignes de sécurité	Consignes de sécurité établies et mises à disposition des exploitants dans les manuels d'exploitation (cf. chapitre 5.3.2.3 du présent rapport)	OUI
23	Présence d'un système de détection et d'alerte en cas d'incendie ou de survitesse sur les éoliennes	Ces dispositifs de détection et d'alerte équiperont chaque éolienne* 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	OUI
	Transmission de l'alerte aux services d'urgence dans un délai de 15 min	Les systèmes d'alerte réagissent dès la détection d'un incendie / fonctionnement anormal*. (cf. chapitre 7.6 du présent rapport)	OUI

Article de l'arrêté du 26/08/2011 modifié	Disposition	Commentaire	Conformité
	Opération de maintenance de ce système de détection et d'alerte	Inclus dans le protocole de maintenance des éoliennes	OUI
24	Système de lutte contre l'incendie (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. (Wind Farm Portal®) Par ailleurs, présence d'extincteurs dans tous les aérogénérateurs. (cf. chapitre 9.3.1 de l'EIE)	OUI
25	Mise en place d'un système de détection ou de déduction 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. (cf. chapitre 7.6 du présent rapport)	OUI
26 - 27 - 28	Émergence contrôlée du bruit, limitation sonore des engins de chantier et suivi des mesures	cf. chapitres 6.1.4.4 et 6.2.3 de l'EIE	OUI

Tableau 8 : Conformité à l'arrêté du 26 août 2011 modifié relatif aux ICPE

Sécurité positive de l'éolienne - redondance des capteurs

L'éolienne est équipée d'un grand nombre de capteurs, par mesure de sécurité, la totalité de ceux pouvant avoir un impact sur l'intégrité structurelle de la turbine sont redondants. Les capteurs concernés sont par exemple les capteurs de température, de vitesse de vent, de vitesse de rotation...

Ainsi, si l'un d'eux est défaillant, le second prendra le relais et relayera l'information par le biais du système de supervision (SCADA) monitoré 24h sur 24 et 7 jours sur 7.

Gestion à distance du fonctionnement des éoliennes

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

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

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

De plus, les éoliennes N149/4.0-4.5 sont équipées d'un système de contrôle à distance des données. La supervision peut s'effectuer à distance depuis un PC équipé d'un navigateur Internet et d'une connexion ADSL ou RNIS. Le logiciel de supervision (SCADA – Supervising Control And Data Acquisition) utilisé est le Nordex Control 2.

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

Dans le cas où le système SCADA est défectueux

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

- De regrouper et permettre la visualisation du parc éolien dans sa globalité
- De permettre l'envoi de commande au parc éolien. L'automate SCADA se chargera de relayer la commande aux éoliennes concernées

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

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

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

Dans le cas d'une rupture du réseau de fibre optique

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

Méthodes et moyens d'intervention

En cas de sinistre, les pompiers seront prévenus par le personnel du site 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.

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.

Ce protocole se conforme à l'article 23 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié 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 de moyens de lutte et de prévention contre les conséquences d'un incendie appropriés aux risques et conformes aux normes en vigueur, composé à minima de deux extincteurs placés à l'intérieur de l'aérogénérateur, au sommet et au pied de celui-ci. Ils sont positionnés de façon visible et facilement accessibles. Les agents d'extinction sont appropriés aux risques à combattre. Cette disposition ne s'applique pas aux aérogénérateurs ne disposant pas d'accès à l'intérieur du mât.

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

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.

Moyens :

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

L'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 impose, pour tout aérogénérateur en fonctionnement, le protocole de maintenance suivant :

« I. - Trois mois, puis un an après leur mise en service industrielle, puis suivant une périodicité qui ne peut excéder trois ans, l'exploitant procède à un contrôle des brides de fixations, des brides de mât, de la fixation des pales et un contrôle visuel du mât de chaque aérogénérateur. Le contrôle de l'ensemble des brides et des fixations de chaque aérogénérateur peut être lissé sur trois ans tant que chaque bride respecte la périodicité de trois ans.

II. - Selon une périodicité définie en fonction des conditions météorologiques et qui ne peut excéder 6 mois, l'exploitant procède à un contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être endommagés, notamment par des impacts de foudre, au regard des limites de sécurité de fonctionnement et d'arrêt spécifiées dans les consignes établies en application de l'article 22 du présent arrêté.

III. - L'installation est équipée de systèmes instrumentés de sécurité, de détecteurs et de systèmes de détection destinés à identifier tout fonctionnement anormal de l'installation, notamment en cas d'incendie, de perte d'intégrité d'un aérogénérateur ou d'entrée en survitesse.

L'exploitant tient à jour la liste de ces équipements de sécurité, précisant leurs fonctionnalités, leurs fréquences de tests et les opérations de maintenance destinées à garantir leur efficacité dans le temps.

Selon une fréquence qui ne peut excéder un an, l'exploitant procède au contrôle de ces équipements de sécurité afin de s'assurer de leur bon fonctionnement.

IV. - La liste des équipements de sécurité ainsi que les résultats de l'ensemble des contrôles prévus par le présent article sont consignés dans le registre de maintenance visé à l'article 19. ».

Par ailleurs, et conformément à l'article 19, chaque éolienne dispose d'un carnet de maintenance dans lequel sont consignées les différentes opérations d'entretien réalisées : « L'exploitant tient à jour, pour son installation, un registre dans lequel sont consignées les opérations de maintenance qui ont été effectuées, leur nature, les défaillances constatées et les opérations préventives et correctives engagées. ».

De plus, une inspection visuelle de l'état général de l'éolienne est effectuée lors de chaque opération de maintenance réalisée. 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 agréé.

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 modifié, aucun matériel inflammable ou combustible ne sera stocké dans les éoliennes du parc de Lastic.

4.3. FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE L'INSTALLATION

4.3.1. RACCORDEMENT ELECTRIQUE

Généralités :

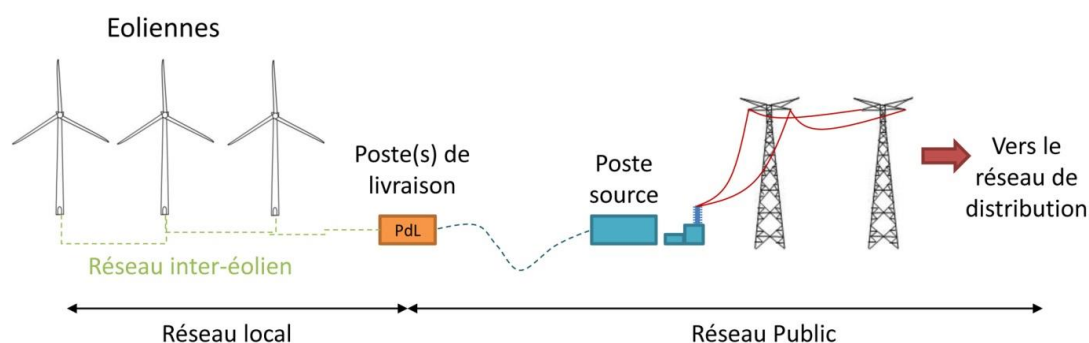


Figure 6 : Raccordement électrique des installations

❖ 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 les postes de livraison avec le poste source (réseau public de transport d'électricité). Ce réseau est réalisé par le gestionnaire du réseau de distribution (généralement ENEDIS). Il est lui aussi entièrement enterré.

Cas du site étudié :

Deux postes de livraison (PDL) sont prévus dans le cadre du projet de Lastic. Le PDL 1 est implanté à proximité de l'éolienne E1, le long d'une piste qui sera créée pour accéder à la plateforme de l'éolienne. Le PDL 2 est localisé entre l'éolienne E3 et l'étang de Farges, le long d'un chemin forestier connecté à la route départementale D98.

Le poste source qui sera probablement proposé par Enedis pour le raccordement est celui de Voingt. Il se situe à 8,4 km au nord de l'éolienne E4.

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

Type de liaison	Profondeur d'enfouissement (variable selon les caractéristiques du sol)	Tension
Inter-éoliennes	1,20 m	20 kV
Eoliennes / postes de livraison	1,20 m	20 kV
Postes de livraison / poste source	1,20 m	20 kV

Tableau 9 : 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 Lastic 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

Inventaire des produits

L'activité de production d'électricité par les éoliennes ne consomme pas de matières premières et ne génère pas d'émission atmosphérique, ni d'effluent potentiellement dangereux pour l'environnement.

Le bon fonctionnement de l'éolienne nécessite néanmoins la présence de produits dans l'éolienne, tels que graisses et huiles de transmission, huiles hydrauliques pour systèmes de freinage, etc. Une fois usagés, ces produits sont traités en tant que déchets industriels spéciaux.

Les activités de maintenance utilisent également des produits : solvants, dégraissants, nettoyant et produisent des déchets industriels spéciaux (chiffons souillés, ...) ou banals (pièces usagées non souillées, cartons d'emballage...).

La liste des produits utilisés est fournie dans le tableau suivant :

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

Tableau 10 : Liste des produits utilisés

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié 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.

Dangers des produits

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

- L'incendie : des produits combustibles sont présents le site. Ainsi, la présence d'une charge calorifique peut alimenter un incendie en cas de départ de feu.
- La toxicité : Ce risque peut survenir suite à un incendie créant certains produits de décomposition nocifs, entraînés dans les fumées de l'incendie.
- La pollution : En cas de fuite sur une capacité de stockage, la migration des produits liquides dans le sol peut entraîner une pollution, également en cas d'entraînement dans les eaux d'extinction incendie.

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 Lastic 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
Postes de livraison, intérieur de l'aérogénérateur	Réseau électrique	Court-circuit interne	Arc électrique
Nacelle	Protection des équipements destinés à la production électrique	Chute d'éléments 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 11 : 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. La quantité est estimée à environ 1250 L par éolienne, et les lubrifiants doivent être contrôlés et partiellement renouvelés tous les 6 mois à 5 ans selon le type.

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

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

On note que la nacelle et la plateforme supérieure du mât font office de bac de récupération en cas de fuite. Le transformateur 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

Le porteur de projet respecte un éloignement d'au minimum 500 m autour des habitations, en accord avec les 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 :

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

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 modifié 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 modifié, « 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.

Postes de livraison :

L'affichage sur les postes électriques 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 des postes de livraison donnés 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 15 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 modifiée par l'arrêté du 22 juin 2020 : « le fonctionnement de l'installation est assuré par un personnel compétent disposant d'une formation portant sur les risques accidentels visés à la section 5 du présent arrêté, 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 élévateurs ;
- 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.

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 modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 : « 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 (notamment pour les défauts de structures des pales et du mât, pour les limites de fonctionnement des dispositifs de secours notamment les batteries, pour les défauts de serrages des brides) ;*
- *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 ;*
- *le cas échéant, les informations à transmettre aux services de secours externes (procédures à suivre par les personnels afin d'assurer l'accès à l'installation aux services d'incendie et de secours et de faciliter leur intervention).*

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

La directive n°2010/75 du 24 novembre 2010 relative aux émissions industrielles (dite "directive IED") définit au niveau européen une approche intégrée de la prévention et de la réduction des pollutions émises par les installations industrielles et agricoles entrant dans son champ d'application.

Un de ses principes directeurs est le recours aux meilleures techniques disponibles (MTD) afin de prévenir les pollutions de toutes natures. Elle impose aux États membres de fonder les conditions d'autorisation des installations concernées sur les performances des MTD.

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

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

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

6.1.1. METHODOLOGIE

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 Lastic. 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 régulièrement jusqu'en mars 2021.

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.

En l'état, la base de données actuelle 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 106 incidents a pu être recensé entre 2000 et mars 2021 (voir tableau détaillé en Annexe 2). Ce tableau de travail s'appuie sur l'inventaire réalisé dans le cadre de l'élaboration du Guide de l'INERIS (événements recensés entre 2000 et 2011 – inventaire validé par les membres du groupe de travail SER/FEE), complété par le bureau d'études ENCIS Environnement pour les événements recensés entre 2011 et mars 2021.

6.1.2. ANALYSE DU RECENSEMENT

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

Le graphique en page suivante montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et mars 2021. **Cette synthèse exclut les accidents du travail (chantiers, opérations de maintenance, 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 recensés :
 - o effondrement d'éolienne ;
 - o rupture de pale, qui correspond à la dislocation ou à la perte, par chute et/ou projection, de morceaux de pale ;
 - o chute de pale, qui correspond à la chute complète ou quasi-complète d'une pale ;
 - o chute de rotor ;
 - o chute d'éléments de nacelle ;
 - o incendie ;
 - o fuite d'huile.

Ces événements sont représentés par des histogrammes de couleur foncée ;

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

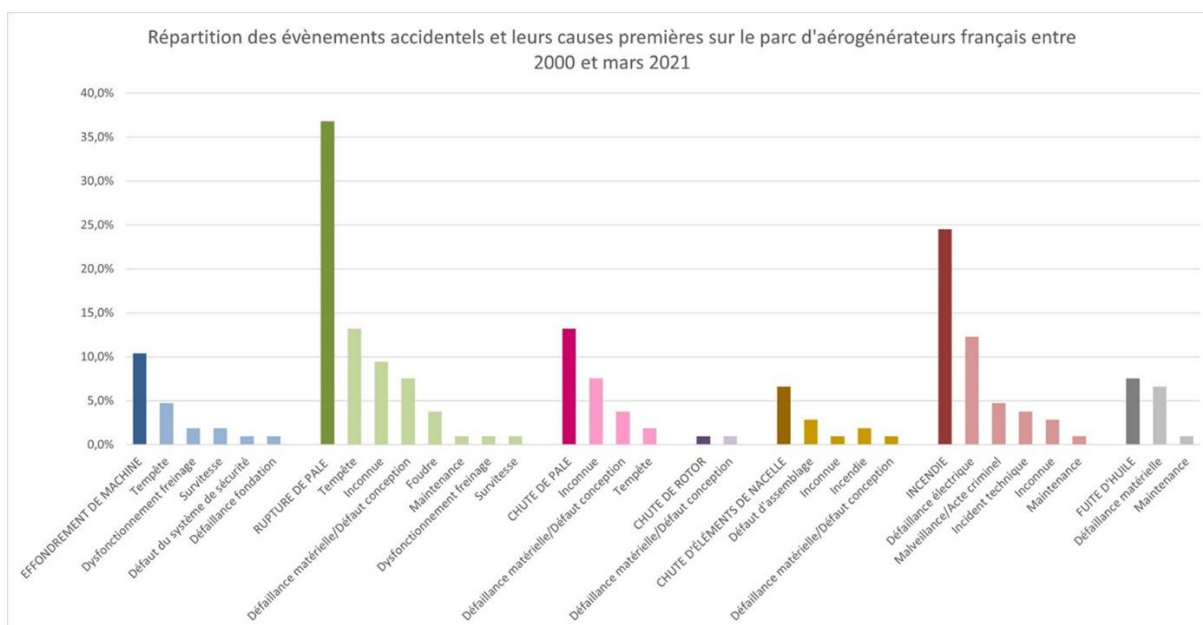


Figure 7 : Répartition des accidents et de leurs causes premières sur le parc éolien français entre 2000 et mars 2021 (Source : ENCIS Environnement, d'après le Guide technique, mai 2012)

Par ordre d'importance, les accidents les plus recensés sont :

- les **ruptures de pales** (pertes de fragments de pales) à 36,8 %. Les principales causes de ces accidents sont les tempêtes et les défaillances matérielles ou défauts de conception. À noter également que les données bibliographiques consultées ne précisait pas l'origine de l'accident pour près de 25 % des événements identifiés ;
- les **incendies** à 24,5 %. La moitié sont liés à des défaillances électriques ;
- les **chutes de pales** à 13,2 %. À l'instar du phénomène de rupture de pale, les chutes sont principalement liées aux tempêtes et aux défaillances matérielles ou défauts de conception. Plus de la moitié de ces événements est inexplicable (cause non précisée) ;
- les **effondrements d'éoliennes** à 10,4 %, principalement en lien avec les tempêtes ;
- les **fuites d'huiles** à 7,5 %. Elles sont consécutives à des défaillances matérielles (défauts de jointure, etc.) ou à des erreurs de maintenance ;
- les **chutes d'éléments de nacelles** (6,6 %). Seuls huit événements ont été recensés en 20 ans ;
- les **chutes de rotors** (1 %) avec un seul événement connu sur la période 2000 – mars 2021.

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

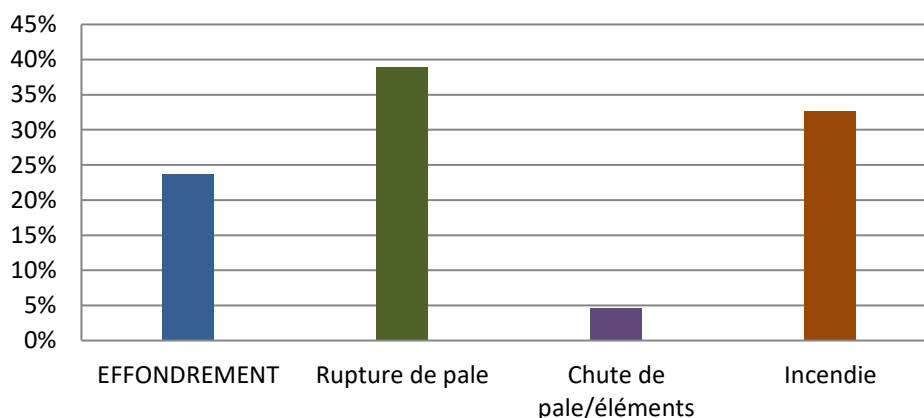


Figure 8 : Répartition des accidents à l'international entre 2000 et 2011
(Source : Guide technique, mai 2012)

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

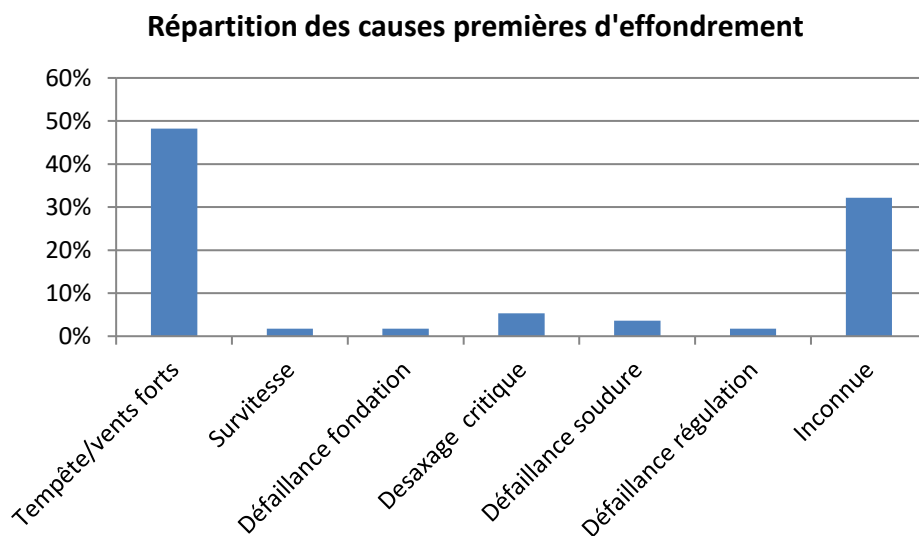


Figure 9 : Répartition Répartition des causes premières d'effondrement dans les accidents à l'international entre 2000 et 2011 (Source : Guide technique, mai 2012)

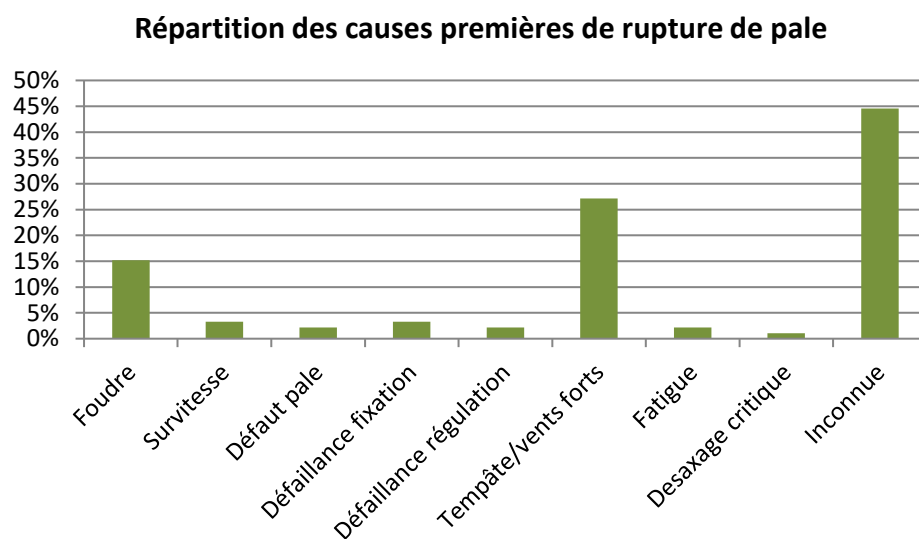


Figure 10 : Répartition des causes premières de rupture de pale dans les accidents à l'international entre 2000 et 2011 (Source : Guide technique, mai 2012)

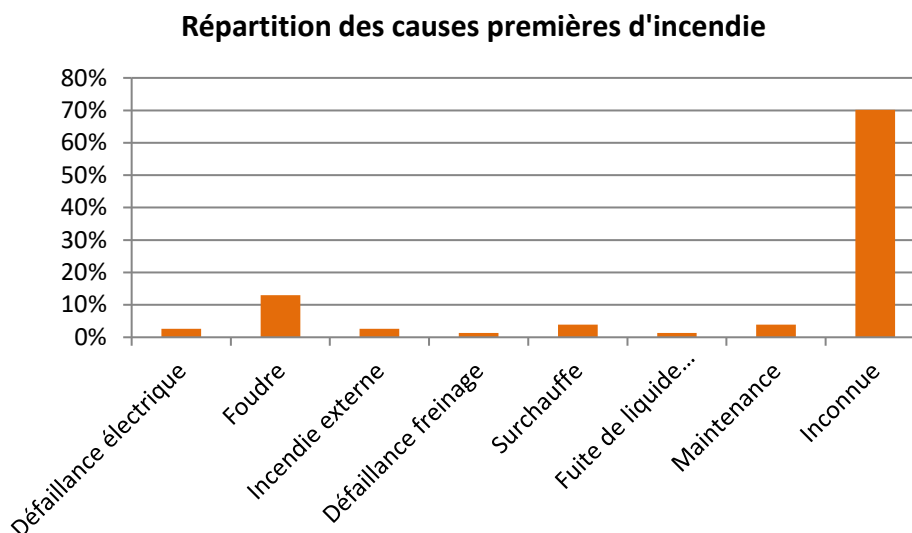


Figure 11 : Répartition des causes premières d'incendie dans les accidents à l'international entre 2000 et 2011 (Source : Guide technique, mai 2012)

Ce retour d'expérience montre l'importance des causes « tempêtes et vents forts » dans les accidents survenus à l'échelle mondiale entre 2000 et 2011. Il montre également le rôle de la foudre. Pour autant, il est à souligner que la majorité des causes d'accidents reste inconnue.

Une mise à jour de ces graphiques sur la période 2011 à nos jours est complexe compte tenu de la difficulté de collecter des données exhaustives et issues de sources fiables à l'échelle mondiale.

6.3. SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTES ISSUS DU RETOUR D'EXPÉRIENCE

6.3.1. ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DES ACCIDENTS EN FRANCE

À partir de l'ensemble des phénomènes dangereux qui ont été recensés en France (cf. chapitre 6.1.2 et tableau en Annexe 2), il est intéressant d'étudier leur évolution quantitative au regard du nombre d'éoliennes installées dans le pays. Malheureusement, aucune base de données officielle ne recense le nombre d'aérogénérateurs installés chaque année en France. Ainsi, il a été décidé de remplacer ce paramètre par la puissance éolienne installée chaque année¹¹. Ce paramètre permet en effet d'appréhender la dynamique de développement des installations éoliennes en France.

La figure suivante montre cette évolution et **il apparaît clairement que le nombre d'incidents n'augmente pas proportionnellement au développement des installations éoliennes**. En effet, depuis 2005, l'énergie éolienne s'est fortement développée en France (cf. courbe : passage de 873 MW à 17 610 MW installés en 15 ans), mais le nombre d'incidents par an s'inscrit dans une fourchette comprise entre 1 et 14 selon les années.

Cette tendance s'explique principalement par un parc éolien français qui utilise majoritairement des éoliennes de nouvelle génération, équipées de technologies plus fiables et plus sûres ainsi que par l'évolution et le renforcement des protocoles de maintenance et de sécurité.

¹¹ SOURCE : TABLEAU DE BORD DE L'ÉOLIEN - SERVICE DE LA DONNÉE ET DES ÉTUDES STATISTIQUES (SDÉS)

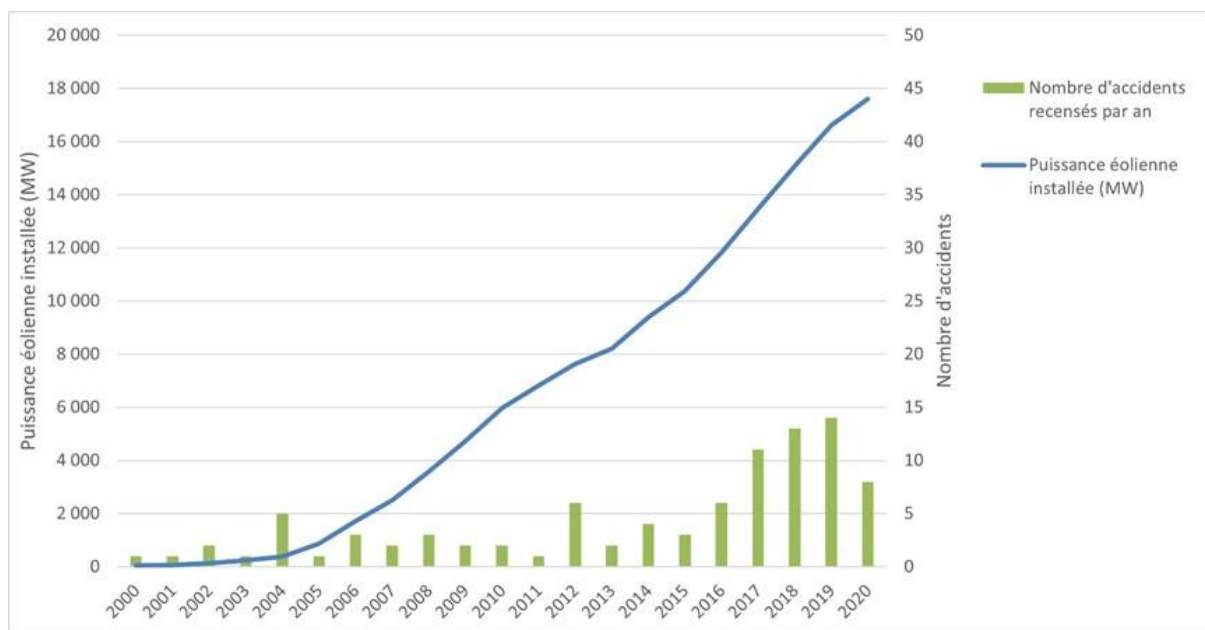


Figure 12 : Evolution du nombre d'accidents annuels en France et puissance éolienne installée depuis 2000

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. 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 ¹²	Distance par rapport au mât des éoliennes			
					E1	E2	E3	E4
Voies de circulation*	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	409 m	522 m	280 m	236 m
Voies de circulation trains	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un train	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	> 200 m			
Autres éoliennes	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	705 m	603 m	603 m	1 055 m
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	> 200 m			
Ligne HTA aérienne					> 200 m			
Gazoduc	Transport de gaz	Rupture du gazoduc	Libération de gaz	200 m	> 200 m			
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2000 m	Non Concerné > 2 000 m			

Tableau 12 : Infrastructures et distances aux éoliennes

* distance éolienne – route communale

¹² Distance à partir de laquelle l'activité considérée ne constitue plus un agresseur potentiel

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	<u>Cyclones tropicaux</u> : non concerné <u>Risque</u> : non concerné par le risque tempête et grains Vitesse de vent mesurée sur site à une hauteur de 80 m (entre le 20/09/2017 et le 30/12/2018) : 4 à 6 m/s La station Météo France de Saint-Sulpice a enregistré des vitesses de vent maximales de 33,5 m/s en février 2016.
Foudre	nombre de jours moyen d'orage : 28,7 entre 1 et 2 impact par km ² et par an
Glissement de sols/ affaissement miniers	Non concerné

Tableau 13 : 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°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
G01	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales, le mât et la nacelle	Chute de glace lorsque les éoliennes sont arrêtées	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace (N°2)	Impact de glace sur les enjeux	1
G02	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	Projection de glace lorsque les éoliennes sont en mouvement	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de la glace (N°1)	Impact de glace sur les enjeux	2
I01	Humidité / Gel	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I02	Dysfonctionnement électrique	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I03	Survitesse	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3) Prévenir la survitesse (N°4)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I04	Désaxage de la génératrice / Pièce défectueuse / Défaut de lubrification	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I05	Conditions climatiques humides	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie postes 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 postes 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 14 : 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.

Aucune ICPE n'est présente dans un rayon de 100 m autour des éoliennes, nous considérons donc qu'il n'y a pas de risque de conséquences par effets dominos dans le cadre de ce projet éolien. L'ICPE la plus proche en exploitation est localisée à 1,9 km au nord-est de l'éolienne E4.

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 ou de détection redondant du givre permettant, en cas de détection de glace, une mise à l'arrêt de l'aérogénérateur. Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site.		
Indépendance	Non. Les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. En cas de danger particulièrement élevé sur site (survol d'une zone fréquentée sur site soumis à des conditions de gel importantes), des systèmes additionnels peuvent être envisagés.		
Temps de réponse	Quelques minutes (<60 min.) conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié.		
Efficacité	100 %		
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne		
Maintenance	Vérification du système lors des maintenances préventives annuelles. Remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité	2
Mesures de sécurité	Panneautage sur le chemin d'accès à l'éolienne (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011). Eloignement des zones habitées et fréquentées		
Description	Mise en place de panneaux informant de la possible formation de glace sur le chemin d'accès à l'éolienne (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié).		
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	/
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié. 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. Éléments du système de protection contre la survitesse conformes aux normes IEC 61508 (SIL 2) et EN 954-1		
Description	Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande. NB : Le système de freinage est 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 modifié.		
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 17 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié.		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément aux articles 17 et 18 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié (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 aux articles 10 et 17 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié.		

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 selon une périodicité ne pouvant excéder 6 mois, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié. 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 modifié. 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	Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. Présence de plusieurs bacs collecteurs au niveau des principaux composants.		

	<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	Surveillance des vibrations Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.) Procédures qualités		
Description	La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi la nacelle, le moyeu, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23. Les éoliennes sont équipées de capteurs de vibration, qui entraînent l'arrêt en cas de dépassement des seuils définis. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223 (peinture et revêtement anti-corrosion).		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	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	Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du pitch system, couronne du Yaw Gear, boulons de fixation de la nacelle...) sont vérifiés au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié. Inspection visuelle du mât et, si besoin, nettoyage lors des maintenances préventives annuelles.		

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 pales) 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 %.		
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 / 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 / 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 quinquennale. 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. Toutes les pièces de l'éolienne sont protégées contre la corrosion et les autres influences néfastes de l'environnement au moyen d'un revêtement adapté. 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 15 : Mesures de sécurité mises en place

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

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 modifié 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 des postes de livraison ou du transformateur	<p>En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (postes de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 août 2011 modifié [9] et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200)</p>
Infiltration d'huile dans le sol	<p>En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs. De plus, le site éolien n'est pas concerné par un périmètre de protection rapprochée.</p>

Tableau 16 : 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. CINÉTIQUE

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

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

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

8.1.2. 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 17 : 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 18 : 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 19 : 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 (voir Annexe 4) :

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

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
Modéré	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 20 : 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 (Source : Nordex) :

Elément		Sigle	Dimension N149 145 m au moyeu
Mât	Hauteur de moyeu	H	145 m
	Diamètre de la base	L	5 m
Pale	Longueur	R	72,4 m
	Largeur la plus importante	LB	4,2 m
Rotor	Diamètre	D	149,1 m

Tableau 21 : Caractéristiques des éoliennes (Source : Nordex)

8.2.1.EFFONDREMENT DE L'EOLIENNE

❖ 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 219,6 m dans le cas des éoliennes du parc de Lastic.

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.

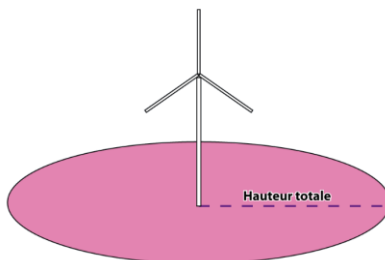
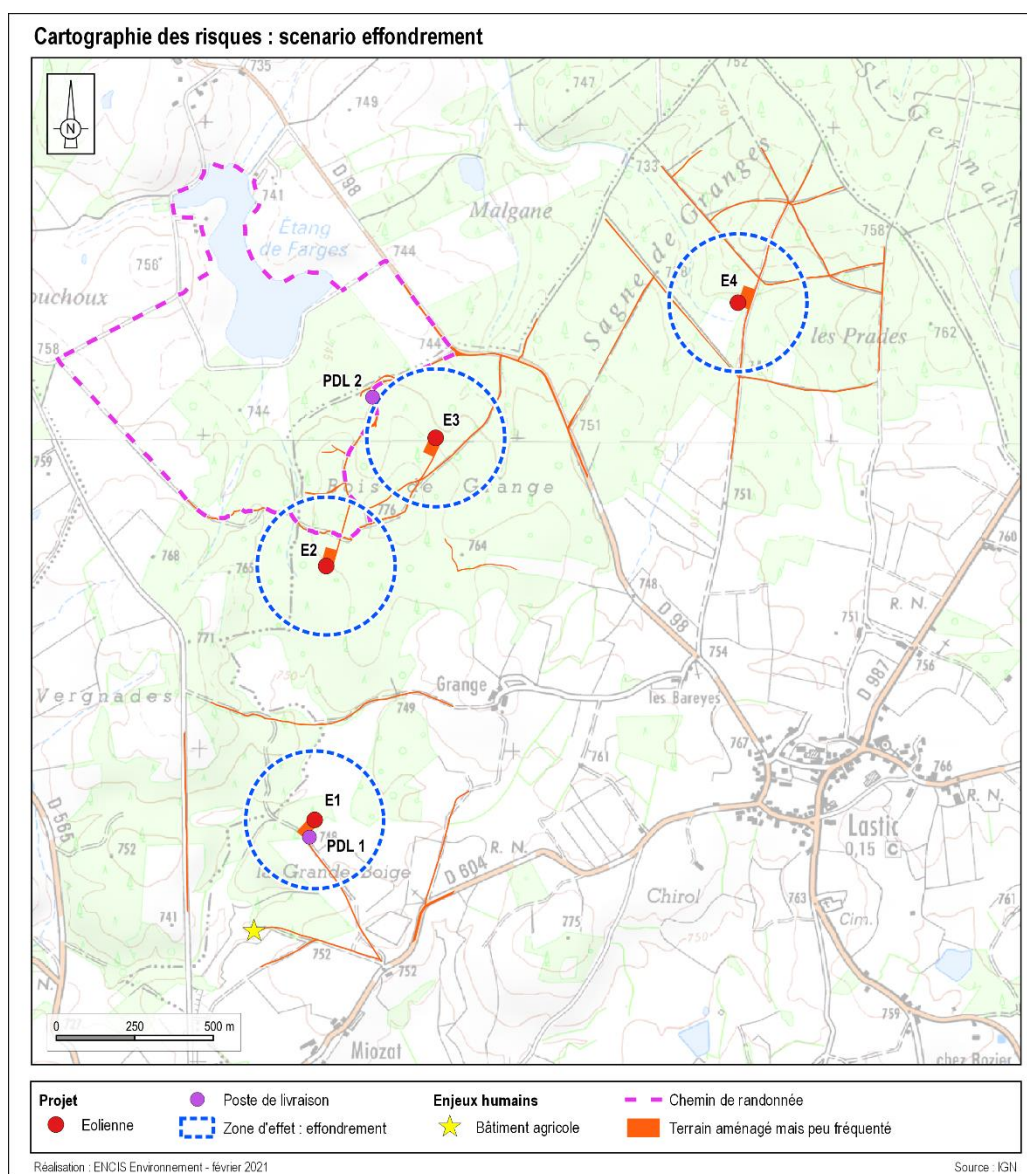


Figure 13 : zone d'effet / Effondrement de l'éolienne



Carte 12 : Cartographie des risques – scenario : effondrement (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	14,8586	1 pers/100 ha	0,148586	0,177046
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,2846	1 pers/10 ha	0,02846	
E2	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	14,6831	1 pers/100 ha	0,146831	0,986841
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,4601	1 pers/10 ha	0,04601	
	Chemin de randonnée	0,397	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	0,794	
E3	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	14,5959	1 pers/100 ha	0,145959	0,454689
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,5473	1 pers/10 ha	0,05473	
	Chemin de randonnée	0,127	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	0,254	
E4	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	14,3973	1 pers/100 ha	0,143973	0,218563
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,7459	1 pers/10 ha	0,07459	

Tableau 22 : 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. $D/2$ est la longueur du demi-rotor ($D/2 = 74,6$ m), LB la largeur de la pale ($LB = 4,2$ m) H la hauteur du moyeu ($H = 145$ 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	%	
$H \times L + 3 \times D/2 \times LB/2$	$\pi \times (H + D/2)^2$	$d = Z_I / Z_E$	
1194,98	151432	0,78	Exposition modérée

Tableau 23 : 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 100 personnes exposées → « Désastreux »
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Catastrophique »
- Entre 1 et 10 personnes exposées → « Important »

- Au plus 1 personne exposée → « Sérieux »
- Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement → « Modéré »

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

Effondrement de l'éolienne		
Eolienne	Enjeux humains	Gravité
1	0,177046	Modéré
2	0,986841	Modéré
3	0,454689	Modéré
4	0,218563	Modéré

Tableau 24 : 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.

D'après l'inventaire des accidents recensés entre janvier 2000 et décembre 2019 (cf. tableau de l'accidentologie française en annexe 2 de l'étude de dangers), le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C ». En effet, il a été recensé seulement 11 événements pour 63 174 années d'expérience¹³, soit une probabilité de $1,741 \times 10^{-4}$ par éolienne et par an.

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

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

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

¹³ 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 nombre d'années d'expérience est issu d'une estimation basée sur la puissance éolienne installée chaque année au regard de la puissance moyenne des éoliennes implantées.

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011 modifié 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

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	0,177046	Modéré	Acceptable
2	0,986841	Modéré	Acceptable
3	0,454689	Modéré	Acceptable
4	0,218563	Modéré	Acceptable

Tableau 25 : Niveau de risque du scenario

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 74,6 mètres. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

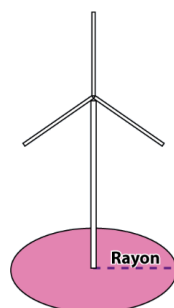
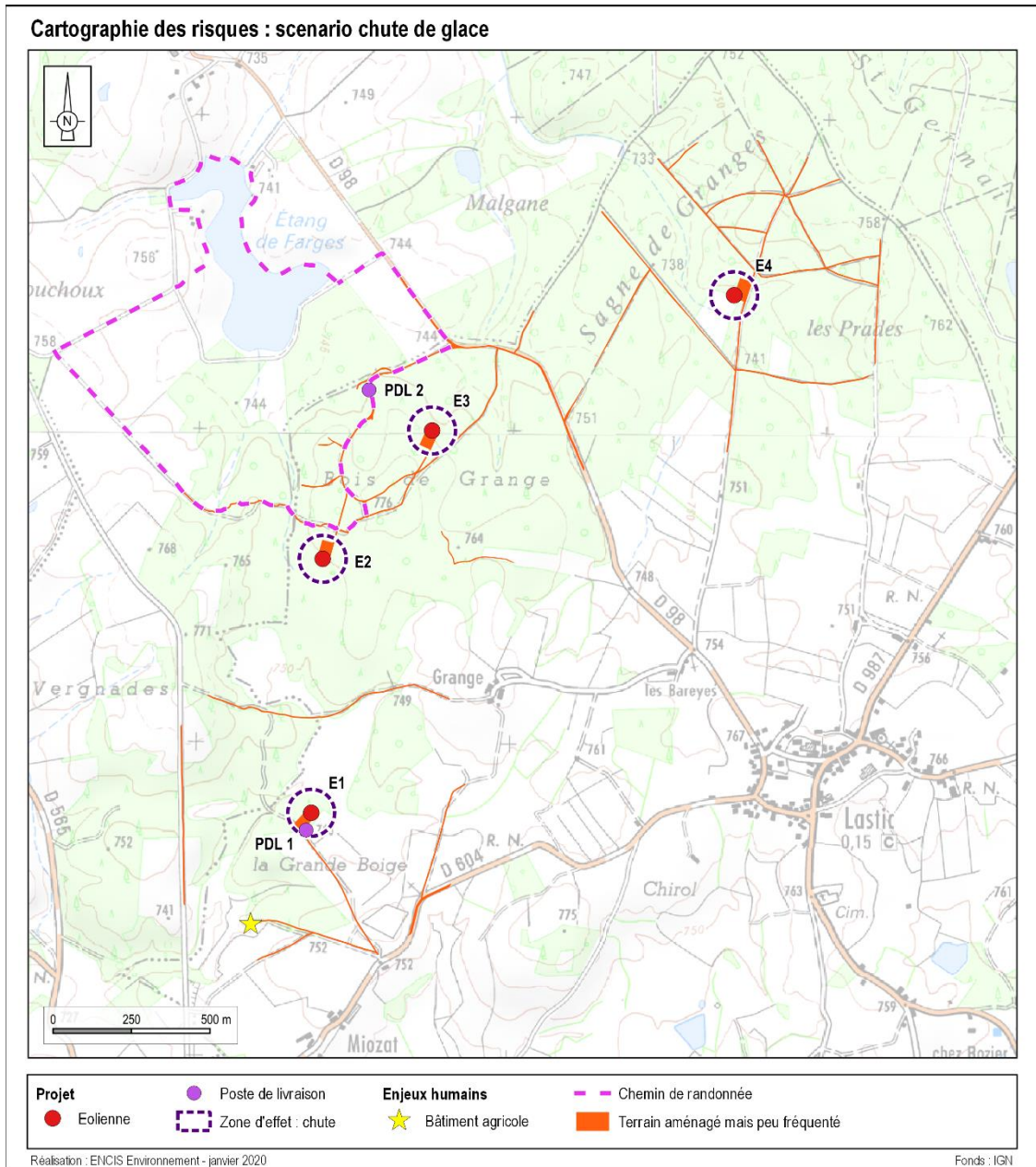


Figure 14 : zone d'effet / Chute de glace



Carte 13 : Cartographie des risques – scenario : chute de glace (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	1,5363	1 pers/100 ha	0,015363	0,036333
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,2097	1 pers/10 ha	0,02097	
E2	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,5453	1 pers/100 ha	0,015453	0,035523
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,2007	1 pers/10 ha	0,02007	
E3	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,5445	1 pers/100 ha	0,015445	0,035595
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,2015	1 pers/10 ha	0,02015	
E4	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,4497	1 pers/100 ha	0,014497	0,044127
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,2963	1 pers/10 ha	0,02963	

Tableau 26 : 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 74,6 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, r la longueur d'un demi rotor (r ou $D/2 = 74,6$ m), SG est la surface du morceau de glace majorant ($SG = 1$ m²). 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	17483	0,01	Exposition modérée

Tableau 27 : 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	0,036333	Modéré
2	0,035523	Modéré
3	0,035595	Modéré
4	0,044127	Modéré

Tableau 28 : 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	0,036333	Modéré	Acceptable
2	0,035523	Modéré	Acceptable
3	0,035595	Modéré	Acceptable
4	0,044127	Modéré	Acceptable

Tableau 29 : 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 74,6 m.

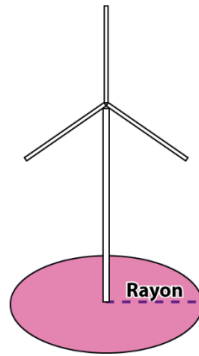
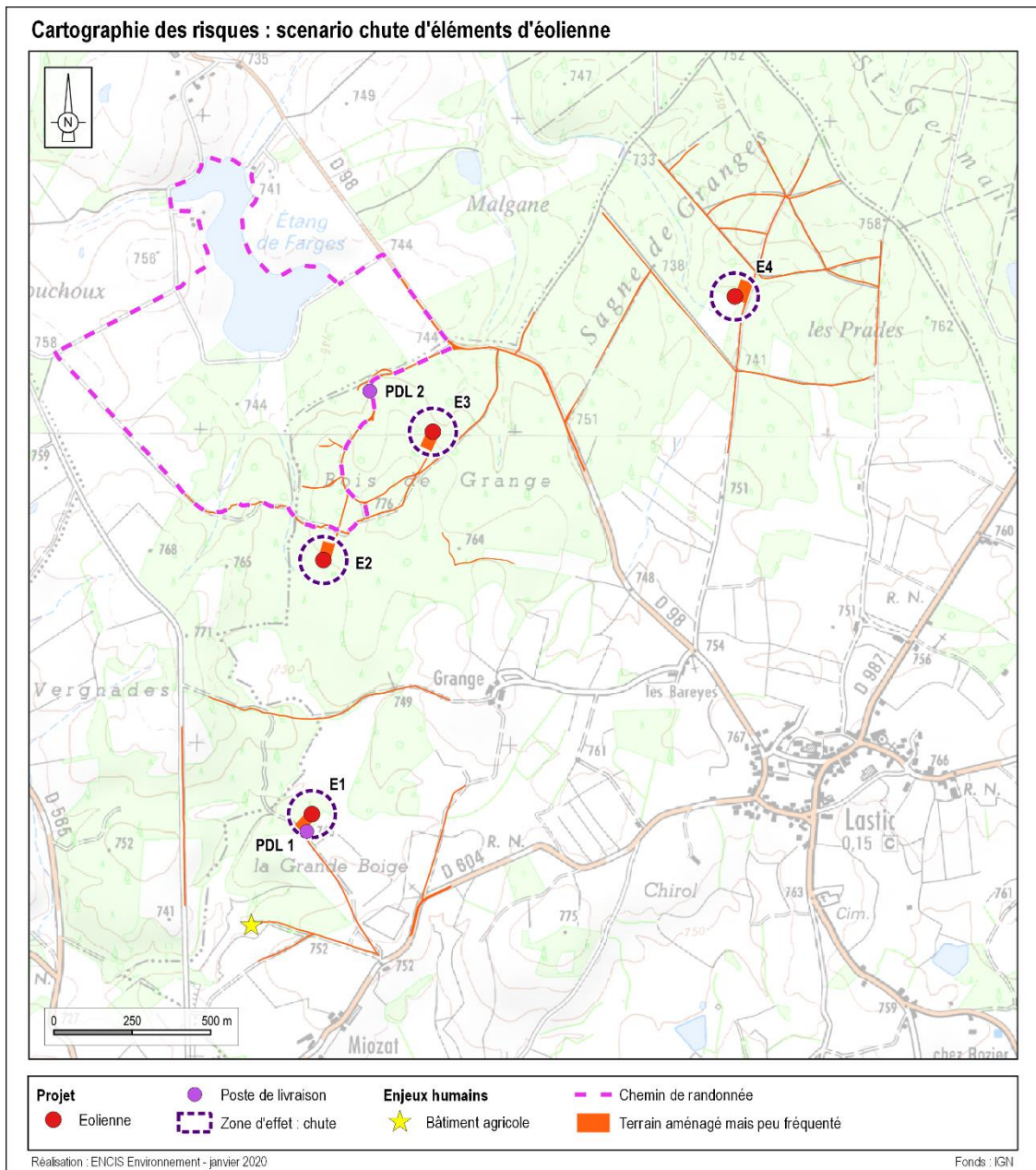


Figure 15 : zone d'effet / Chute d'éléments de l'éolienne



Carte 14 : Cartographie des risques – scénario : 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	1,5363	1 pers/100 ha	0,015363	0,036333
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,2097	1 pers/10 ha	0,02097	
E2	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,5453	1 pers/100 ha	0,015453	0,035523
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,2007	1 pers/10 ha	0,02007	
E3	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,5445	1 pers/100 ha	0,015445	0,035595
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,2015	1 pers/10 ha	0,02015	
E4	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,4497	1 pers/100 ha	0,014497	0,044127
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,2963	1 pers/10 ha	0,02963	

Tableau 30 : 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 74,6 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 R la longueur d'une pale ($R = 72,4$ m) la longueur d'un demi rotor (r ou $D/2 = 74,6$ m). 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	%	
$Z_I = R \cdot LB / 2$	$Z_E = \pi \times r^2$	$d = Z_I / Z_E$	
152,04	17483	0,87	Exposition modérée

Tableau 31 : Intensité du scénario

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	0,036333	Modéré
2	0,035523	Modéré
3	0,035595	Modéré
4	0,044127	Modéré

Tableau 32 : Gravité du scénario

❖ Probabilité

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

D'après l'inventaire des accidents recensés entre janvier 2000 et décembre 2019 (cf. tableau de l'accidentologie française en annexe 2 de l'étude de dangers), le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C ». En effet, il a été recensé seulement 30 événements pour 63 174 années d'expérience¹⁴, soit une probabilité de $4,749 \times 10^{-4}$ par éolienne et par an.

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

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

❖ Acceptabilité

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	0,036333	Modéré	Acceptable
2	0,035523	Modéré	Acceptable
3	0,035595	Modéré	Acceptable
4	0,044127	Modéré	Acceptable

Tableau 33 : 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.

¹⁴ 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 nombre d'années d'expérience est issu d'une estimation basée sur la puissance éolienne installée chaque année au regard de la puissance moyenne des éoliennes implantées.

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.

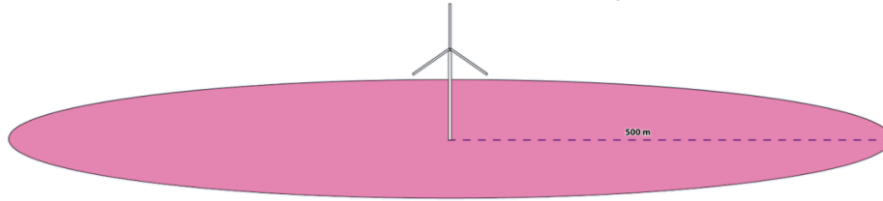
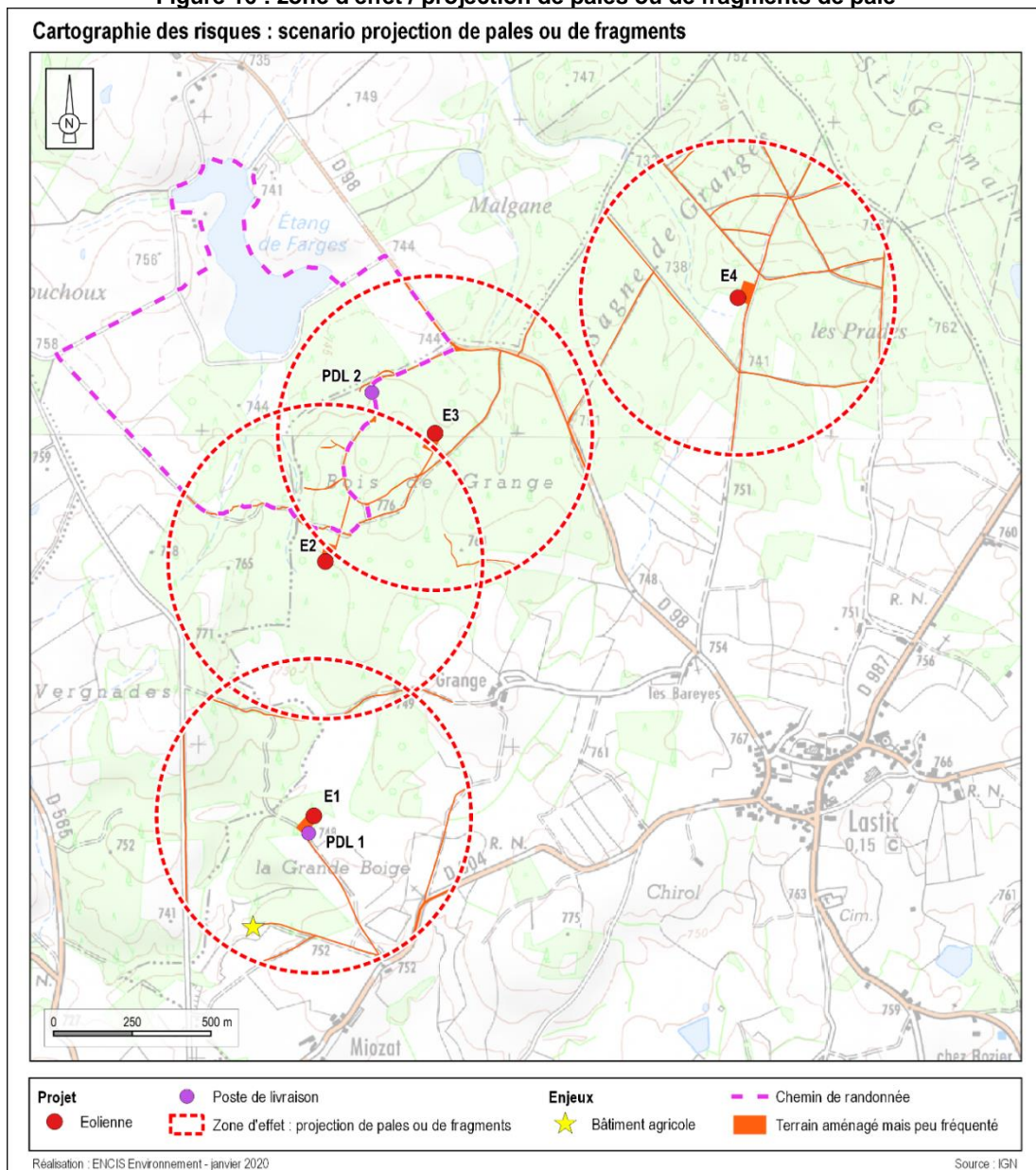


Figure 16 : zone d'effet / projection de pales ou de fragments de pale



Carte 15 : Cartographie des risques – scenario : projection de pales ou de fragments de pale (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	76,9038	1 pers/100 ha	0,769038	2,932638
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,636	1 pers/10 ha	0,1636	
	Bâtiment agricole	-	Nombre de personnes max	2	
E2	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	77,0814	1 pers/100 ha	0,770814	3,154654
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,4584	1 pers/10 ha	0,14584	
	Chemin de randonnée	1,119	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	2,238	
E3	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	76,2398	1 pers/100 ha	0,762398	3,620398
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	2,3	1 pers/10 ha	0,23	
	Chemin de randonnée	1,314	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	2,628	
E4	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	76,0578	1 pers/100 ha	0,760578	1,008778
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	2,482	1 pers/10 ha	0,2482	

Tableau 34 : 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 $r_{500m} = 500$ 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 ($R = 72,4$ 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	%	
$Z_I = R * LB / 2$	$Z_E = \pi * r_{500m}^2$	$d = Z_I / Z_E$	
152,04	785398	0,02	Exposition modérée

Tableau 35 : 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	2,932638	Sérieux
2	3,154654	Sérieux
3	3,620398	Sérieux
4	1,008778	Sérieux

Tableau 36 : Gravité du scenario

❖ 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 ».

D'après l'inventaire des accidents recensés entre janvier 2000 et décembre 2019 (cf. tableau de l'accidentologie française en annexe 2 de l'étude de dangers), le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C ». En effet, il a été recensé seulement 24 événements pour 63 174 années d'expérience¹⁵, soit une probabilité de $3,799 \times 10^{-4}$ par éolienne et par an.

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 Septembre 2005 d'une probabilité « C » : « *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 modifié 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.

¹⁵ 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 nombre d'années d'expérience est issu d'une estimation basée sur la puissance éolienne installée chaque année au regard de la puissance moyenne des éoliennes implantées.

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	2,932638	Sérieux	Acceptable
2	3,154654	Sérieux	Acceptable
3	3,620398	Sérieux	Acceptable
4	1,008778	Sérieux	Acceptable

Tableau 37 : 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 :

$$\begin{aligned} \text{Distance d'effet} &= 1,5 \times (\text{hauteur de moyeu} + \text{diamètre de rotor}) \\ &= 1,5 \times (145 + 149,1) = 441,2 \text{ m} \end{aligned}$$

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.

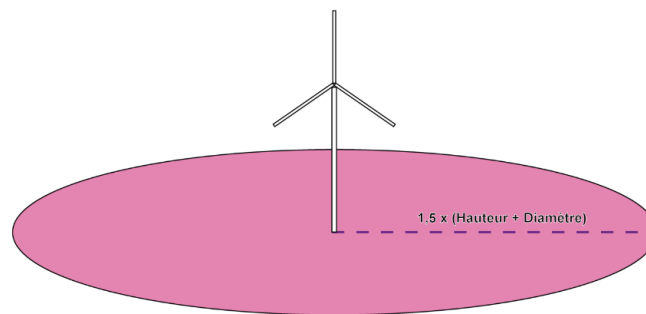
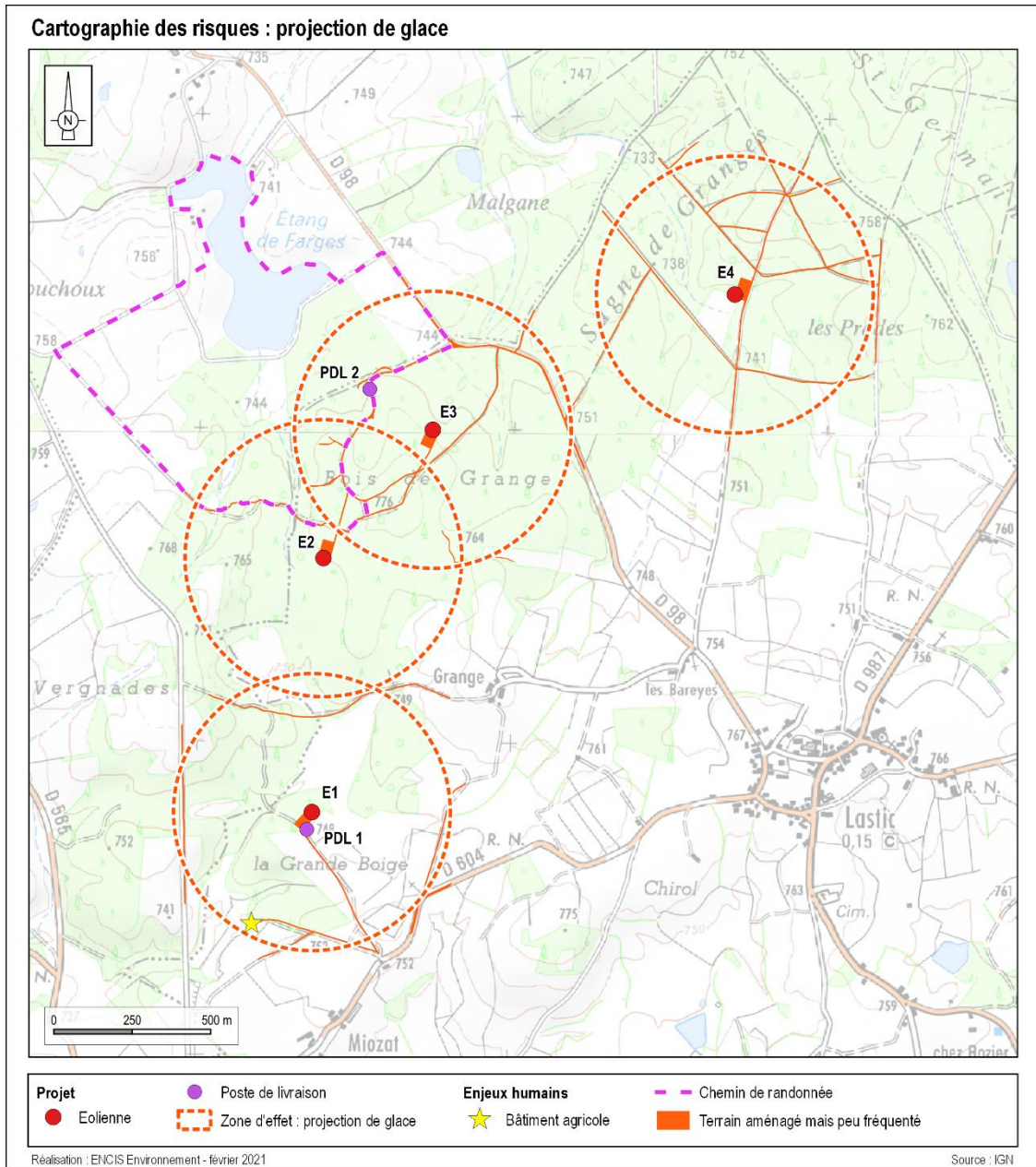


Figure 17 : zone d'effet / Projection de glace



Carte 16 : Cartographie des risques – scenario : 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	60,0166	1 pers/100 ha	0,600166	2,712466
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,123	1 pers/10 ha	0,1123	
	Bâtiment agricole	-	Nombre de personnes max	2	
E2	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	60,0348	1 pers/100 ha	0,600348	2,690828
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,1048	1 pers/10 ha	0,11048	
	Chemin de randonnée	0,99	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	1,98	
E3	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	59,1644	1 pers/100 ha	0,591644	3,097164
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,9752	1 pers/10 ha	0,19752	
	Chemin de randonnée	1,154	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	2,308	
E4	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	59,1595	1 pers/100 ha	0,591595	0,789605
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,9801	1 pers/10 ha	0,19801	

Tableau 38 : 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= 441,2 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, D le diamètre du rotor (D = 149,1 m), H la hauteur au moyeu (H= 145 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	611534	0,00016	Exposition modérée

Tableau 39 : 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 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	2,712466	Sérieux
2	2,690828	Sérieux
3	3,097164	Sérieux
4	0,789605	Modéré

Tableau 40 : Gravité du scénario

❖ Probabilité

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

- les mesures de prévention de projection de glace imposées par l'arrêté du 26 août 2011 modifié ;
- 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) :

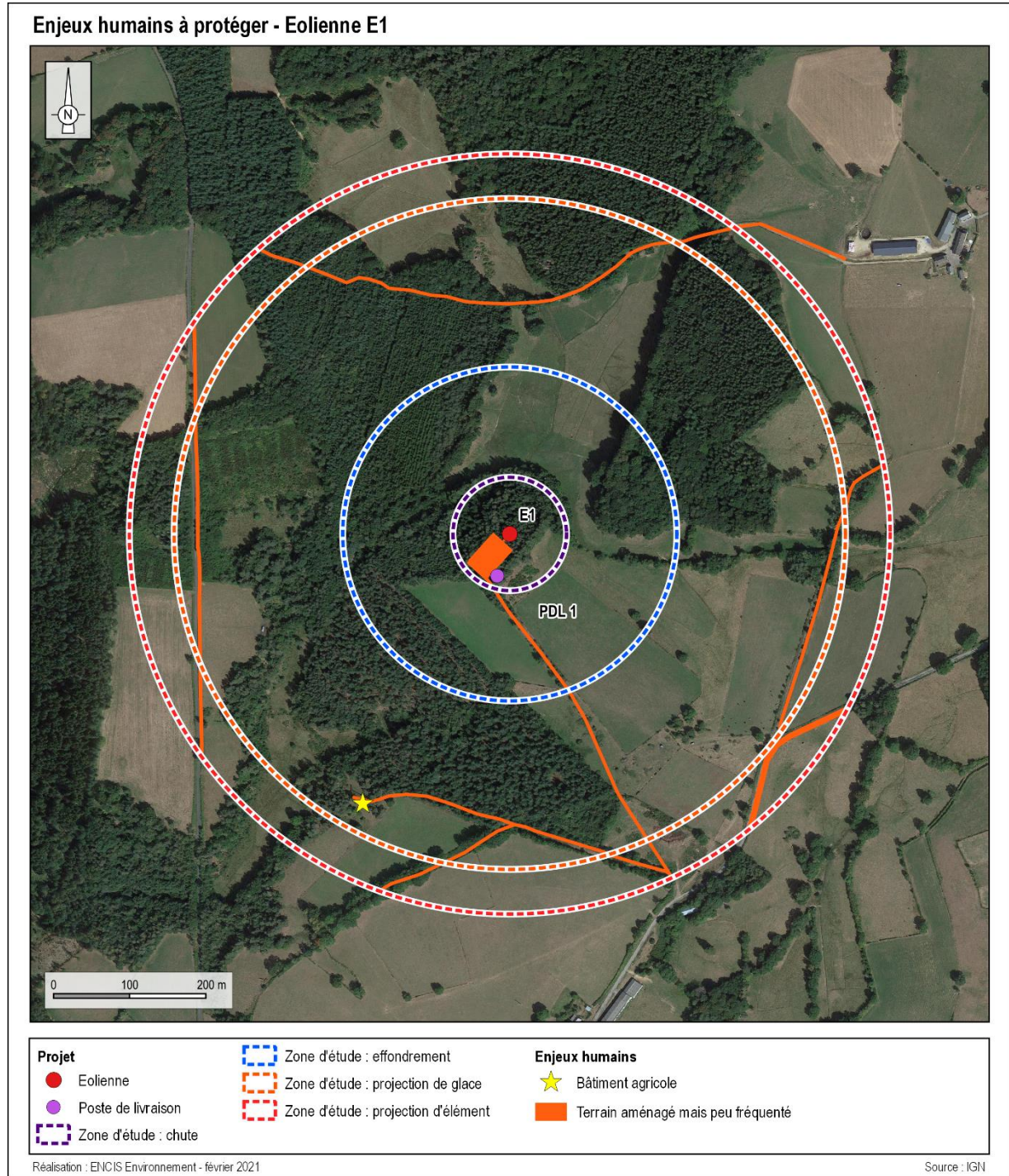
Projection de morceaux de glace			
Eolienne	Enjeux humains	Gravité	Niveau de risque
1	2,712466	Sérieux	Acceptable
2	2,690828	Sérieux	Acceptable
3	3,097164	Sérieux	Acceptable
4	0,789605	Modéré	Acceptable

Tableau 41 : Niveau de risque du scénario

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

8.2.6.SYNTHESE PAR EOLIENNE

Les cartes et tableaux suivants présentent les enjeux humains pour chaque éolienne et pour chaque zone d'effet.



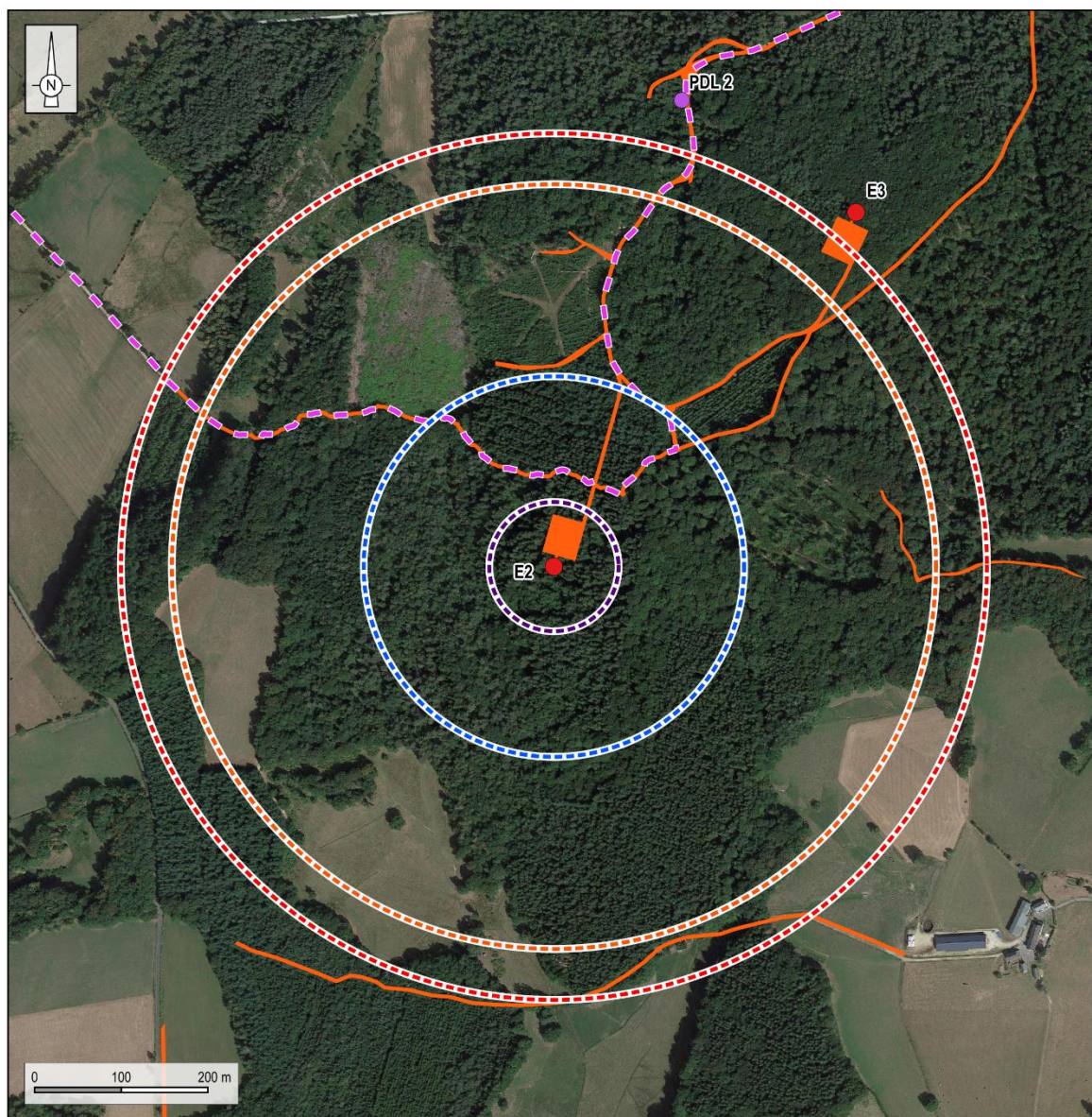
Carte 17 : Enjeux à protéger – E1 (sources : IGN ; ENCIS Environnement)

Scenario¹⁶	Ensemble homogène	Surface (ha) ou Linéaire (km)	Règle de calcul	Enjeux humains (EH)	Enjeux humains totaux
Chute d'élément, chute de glace (rayon : 74,6 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,5363	1 pers/100 ha	0,015363	0,036333
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,2097	1 pers/10 ha	0,02097	
Effondrement (rayon : 219,6 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	14,8586	1 pers/100 ha	0,148586	0,177046
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,2846	1 pers/10 ha	0,02846	
Projection de glace (rayon : 441,2 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	60,0166	1 pers/100 ha	0,600166	2,712466
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,123	1 pers/10 ha	0,1123	
	Bâtiment agricole	-	Nombre de personnes max	2	
Projection d'élément (rayon : 500 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	76,9038	1 pers/100 ha	0,769038	2,932638
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,636	1 pers/10 ha	0,1636	
	Bâtiment agricole	-	Nombre de personnes max	2	

Tableau 42 : Enjeux humains par éolienne – E1

¹⁶ Voir parties 7 et 8 pour la définition des scénarios et des zones d'étude

Enjeux humains à protéger - Eolienne E2



Projet		
● Eolienne	 Zone d'étude : chute	 Zone d'étude : projection d'élément
● Poste de livraison	 Zone d'étude : effondrement	 Chemin de randonnée
	 Zone d'étude : projection de glace	 Terrain aménagé mais peu fréquenté

Réalisation : ENCIS Environnement - février 2021

Source : IGN

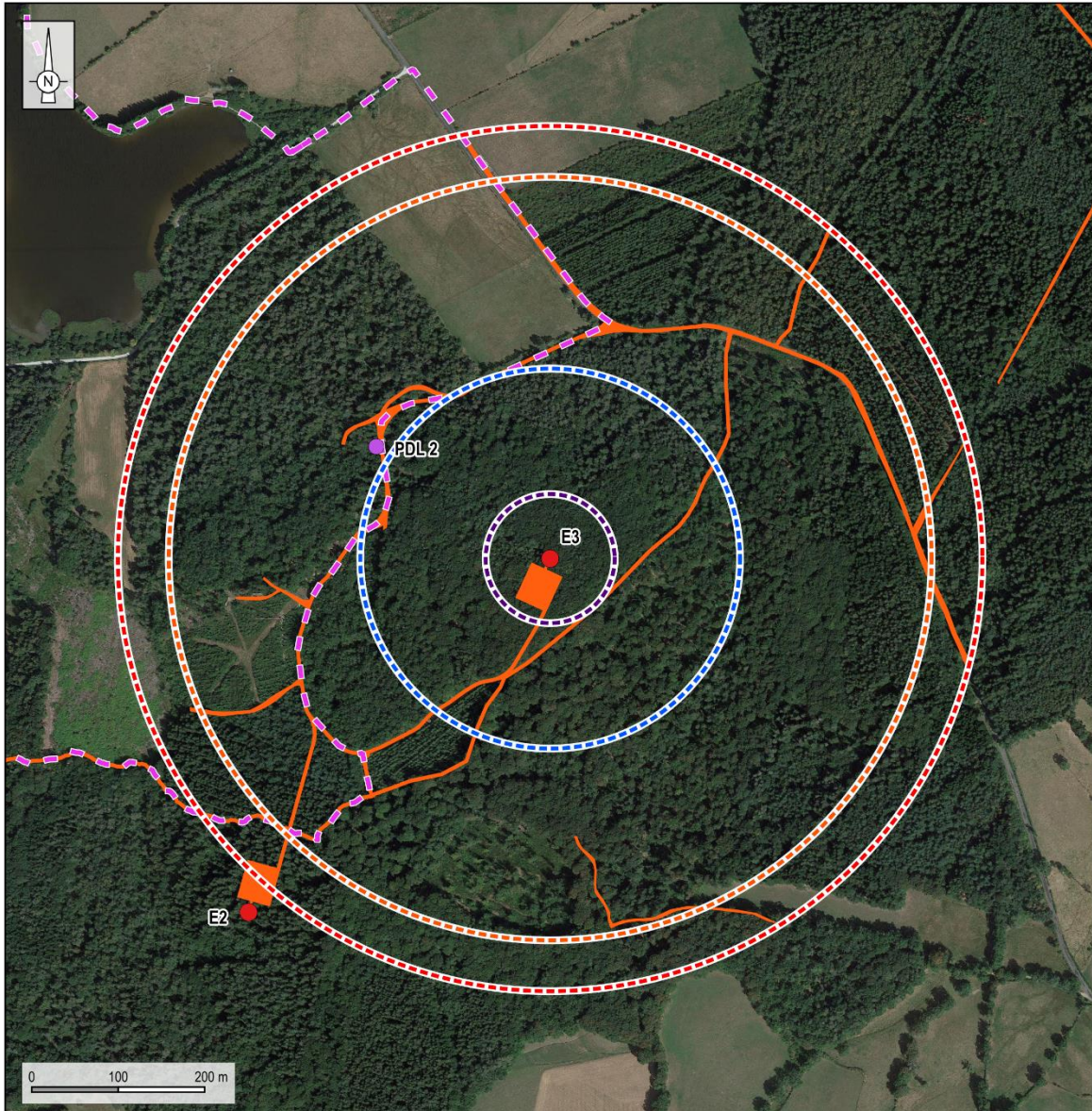
Carte 18 : Enjeux à protéger – E2 (sources : IGN ; ENCIS Environnement)

Scenario¹⁷	Ensemble homogène	Surface (ha) ou Linéaire (km)	Règle de calcul	Enjeux humains (EH)	Enjeux humains totaux
Chute d'élément, chute de glace (rayon : 74,6 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,5453	1 pers/100 ha	0,015453	0,035523
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,2007	1 pers/10 ha	0,02007	
Effondrement (rayon : 219,6 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	14,6831	1 pers/100 ha	0,146831	0,986841
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,4601	1 pers/10 ha	0,04601	
	Chemin de randonnée	0,397	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	0,794	
Projection de glace (rayon : 441,2 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	60,0348	1 pers/100 ha	0,600348	2,690828
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,1048	1 pers/10 ha	0,11048	
	Chemin de randonnée	0,99	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	1,98	
Projection d'élément (rayon : 500 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	77,0814	1 pers/100 ha	0,770814	3,154654
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,4584	1 pers/10 ha	0,14584	
	Chemin de randonnée	1,119	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	2,238	

Tableau 43 : Enjeux humains par éolienne – E2

¹⁷ Voir parties 7 et 8 pour la définition des scénarios et des zones d'étude

Enjeux humains à protéger - Eolienne E3



Projet		Enjeux humains	
●	Eolienne	 	Zone d'étude : effondrement
●	Poste de livraison	 	Zone d'étude : projection de glace
 	Zone d'étude : chute	 	Zone d'étude : projection d'élément
		- - -	Chemin de randonnée
			Terrain aménagé mais peu fréquenté

Réalisation : ENCIS Environnement - février 2021

Source : IGN

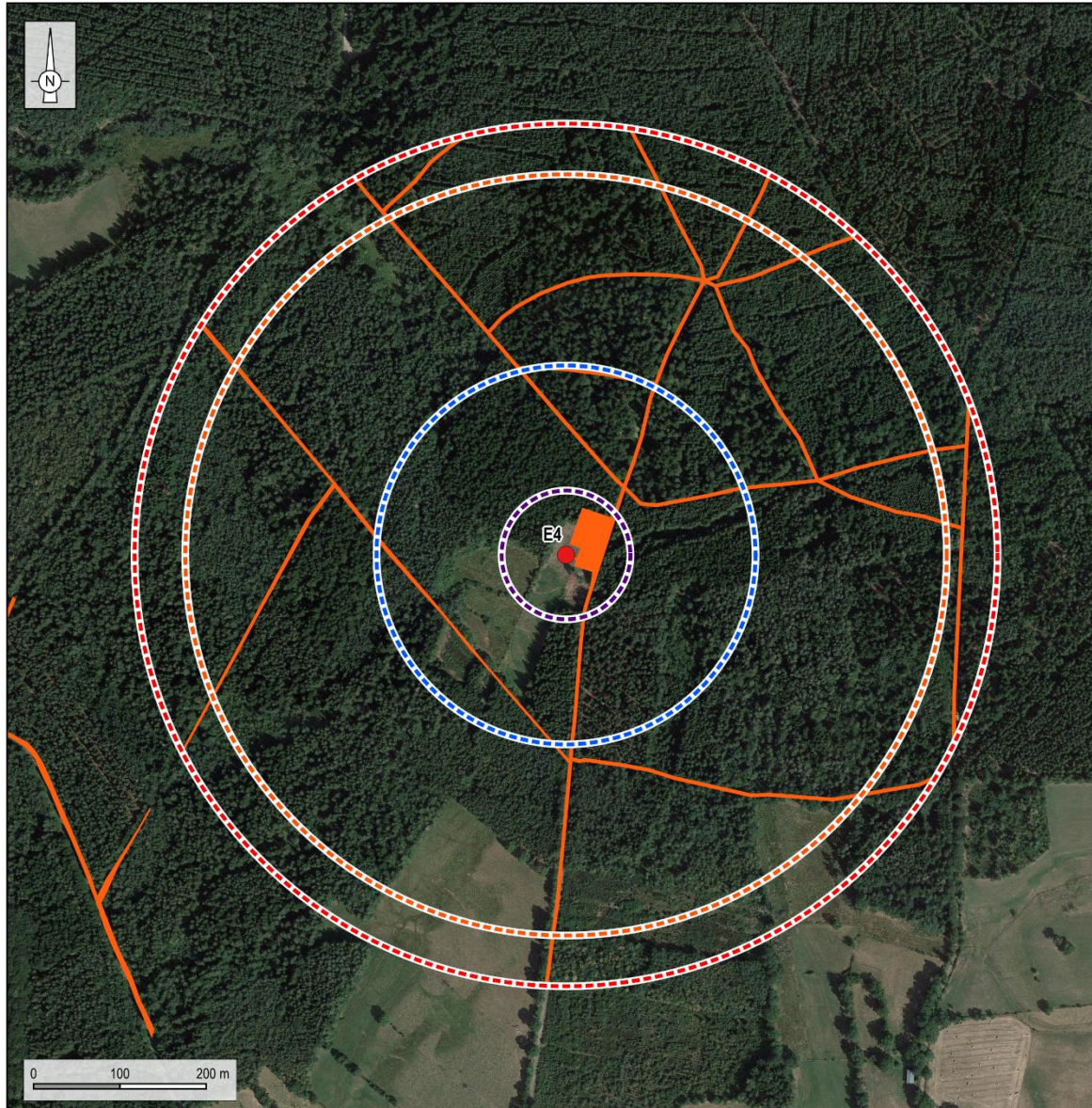
Carte 19 : Enjeux à protéger – E3 (sources : IGN ; ENCIS Environnement)

Scenario¹⁸	Ensemble homogène	Surface (ha) ou Linéaire (km)	Règle de calcul	Enjeux humains (EH)	Enjeux humains totaux
Chute d'élément, chute de glace (rayon : 74,6 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,5445	1 pers/100 ha	0,015445	0,035595
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,2015	1 pers/10 ha	0,02015	
Effondrement (rayon : 219,6 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	14,5959	1 pers/100 ha	0,145959	0,454689
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,5473	1 pers/10 ha	0,05473	
	Chemin de randonnée	0,127	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	0,254	
Projection de glace (rayon : 441,2 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	59,1644	1 pers/100 ha	0,591644	3,097164
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,9752	1 pers/10 ha	0,19752	
	Chemin de randonnée	1,154	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	2,308	
Projection d'élément (rayon : 500 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	76,2398	1 pers/100 ha	0,762398	3,620398
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	2,3	1 pers/10 ha	0,23	
	Chemin de randonnée	1,314	2 pers/km par tranche de 100 promeneurs/jour	2,628	

Tableau 44 : Enjeux humains par éolienne – E3

¹⁸ Voir parties 7 et 8 pour la définition des scénarios et des zones d'étude

Enjeux humains à protéger - Eolienne E4



Projet		Enjeux humains	
●	Eolienne	 	Zone d'étude : effondrement
 	Zone d'étude : chute	 	Zone d'étude : projection de glace
		 	Zone d'étude : projection d'élément
			Terrain aménagé mais peu fréquenté

Réalisation : ENCIS Environnement - février 2021

Source : IGN

Carte 20 : Enjeux à protéger – E4 (sources : IGN ; ENCIS Environnement)

Scenario¹⁹	Ensemble homogène	Surface (ha) ou Linéaire (km)	Règle de calcul	Enjeux humains (EH)	Enjeux humains totaux
Chute d'élément, chute de glace (rayon : 74,6 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1,4497	1 pers/100 ha	0,014497	0,044127
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,2963	1 pers/10 ha	0,02963	
Effondrement (rayon : 219,6 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	14,3973	1 pers/100 ha	0,143973	0,218563
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	0,7459	1 pers/10 ha	0,07459	
Projection de glace (rayon : 441,2 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	59,1595	1 pers/100 ha	0,591595	0,789605
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1,9801	1 pers/10 ha	0,19801	
Projection d'élément (rayon : 500 m)	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	76,0578	1 pers/100 ha	0,760578	1,008778
	Terrains aménagés mais peu fréquentés	2,482	1 pers/10 ha	0,2482	

Tableau 45 : Enjeux humains par éolienne – E4

¹⁹ Voir parties 7 et 8 pour la définition des scénarios et des zones d'étude

8.3. SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

8.3.1. TABLEAU DE SYNTHÈSE DES SCÉNARIOS ÉTUDIÉS

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 219,6 m	Rapide	exposition modérée	D	Modéré
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol 74,6 m	Rapide	exposition modérée	C	Modéré
Chute de glace	Zone de survol 74,6 m	Rapide	exposition modérée	A	Modéré
Projection de pale ou de morceau de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	exposition modérée	D	Sérieux
Projection de glace	1,5 x (H + D) autour de l'éolienne 441,2 m	Rapide	exposition modérée	B	Modéré E4 Sérieux pour E1, E2 et E3

Tableau 46 : 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		Projection de glace pour E1, E2 et E3	
Modéré		Effondrement de l'éolienne	Chute d'élément de l'éolienne	Projection de glace pour E4	Chute de glace

Légende de la matrice :

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

Tableau 47 : Matrice de criticité

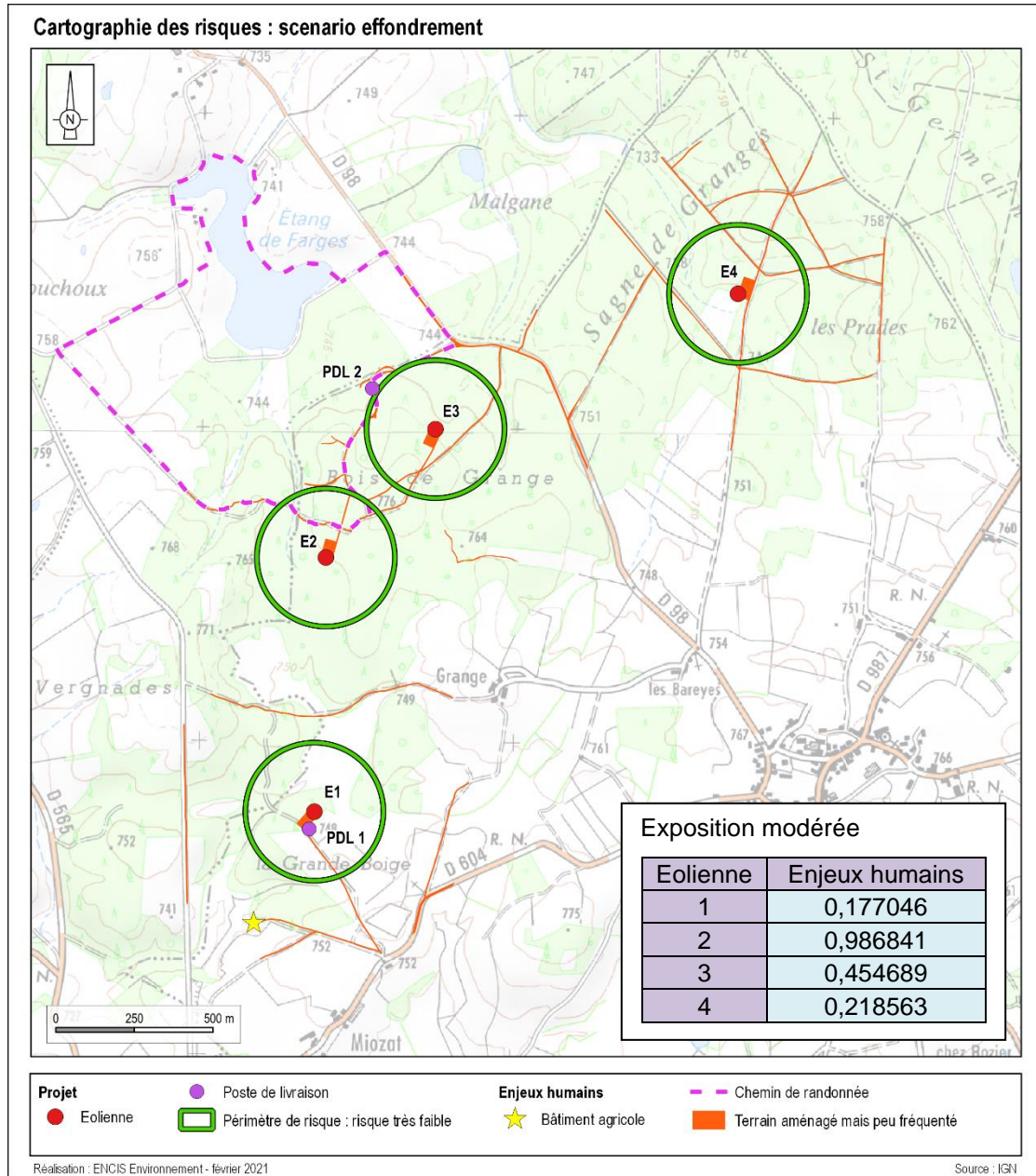
Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice,
- deux types d'accident (chute de glace, projection de glace pour les éoliennes E1, E2 et E3) figurent en case jaune. Il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 sont mises en place.

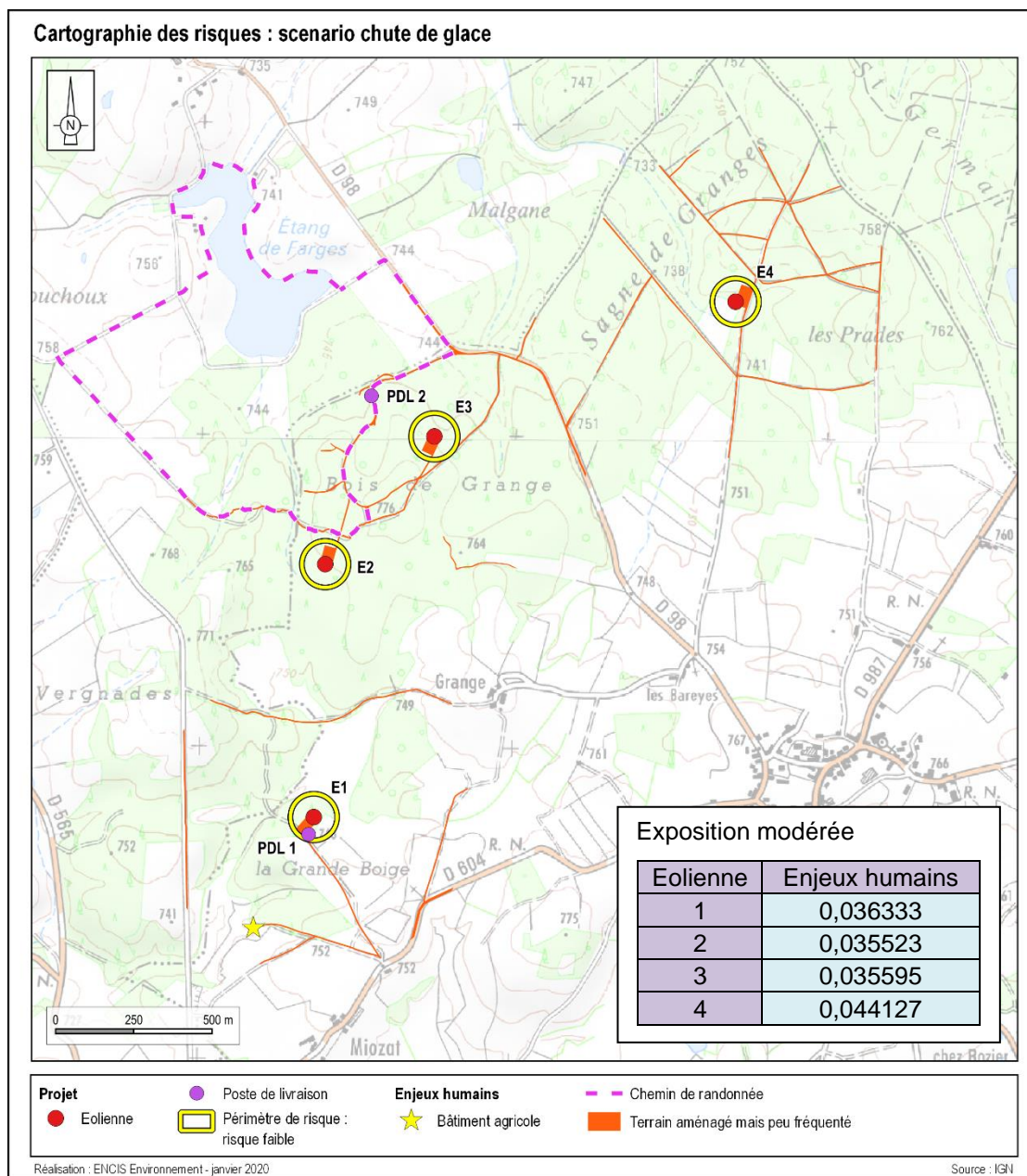
Le niveau de risque pour chaque scénario et pour chaque éolienne est jugé comme acceptable.

8.3.3. CARTOGRAPHIE DES RISQUES

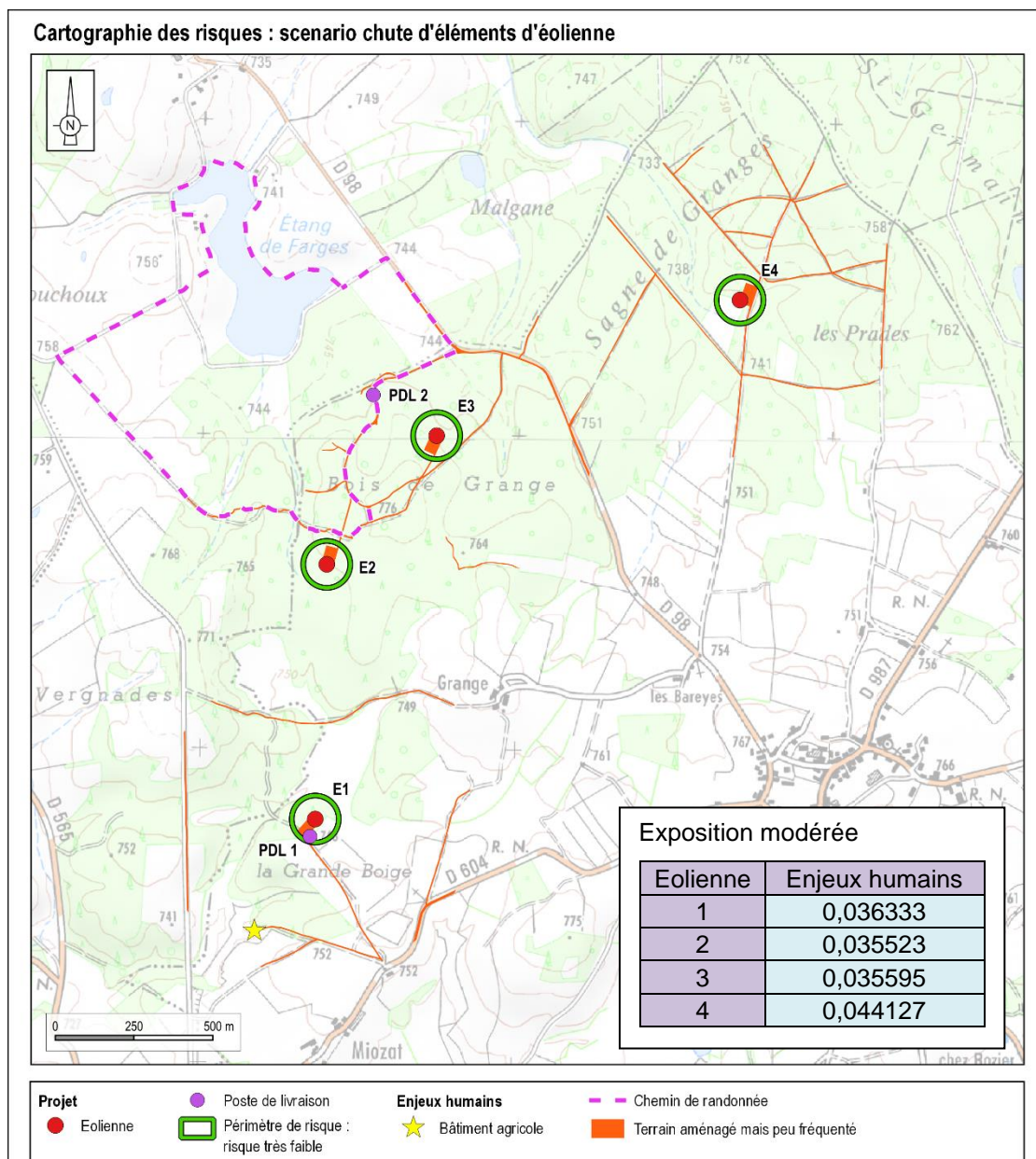
Les cartographies suivantes présentent pour chaque scénario et chaque éolienne la zone d'effet, les enjeux identifiés, l'intensité des phénomènes dangereux et le nombre de personnes exposées.



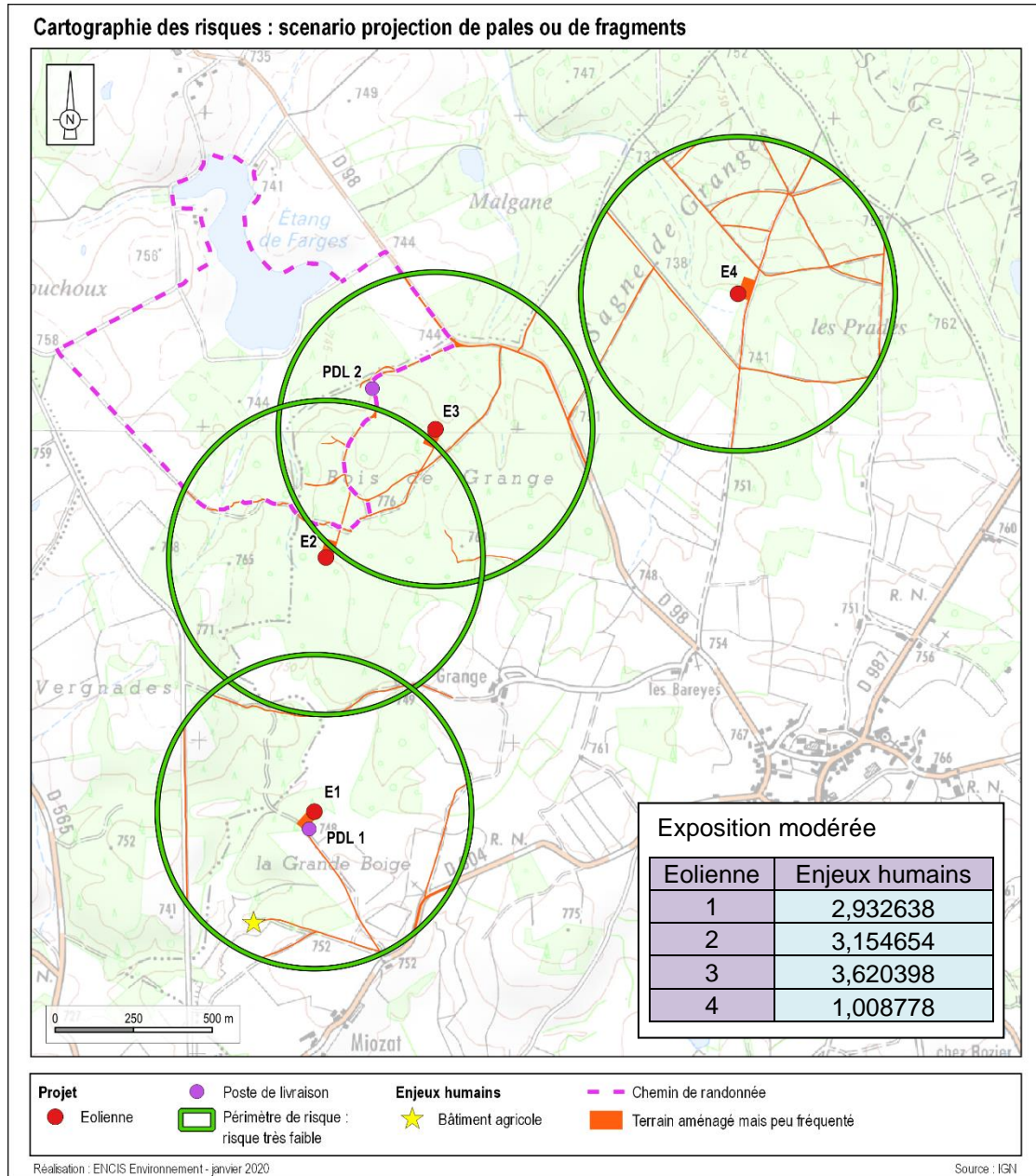
Carte 21 : Cartographie des risques – scenario : effondrement (Source : ENCIS Environnement)



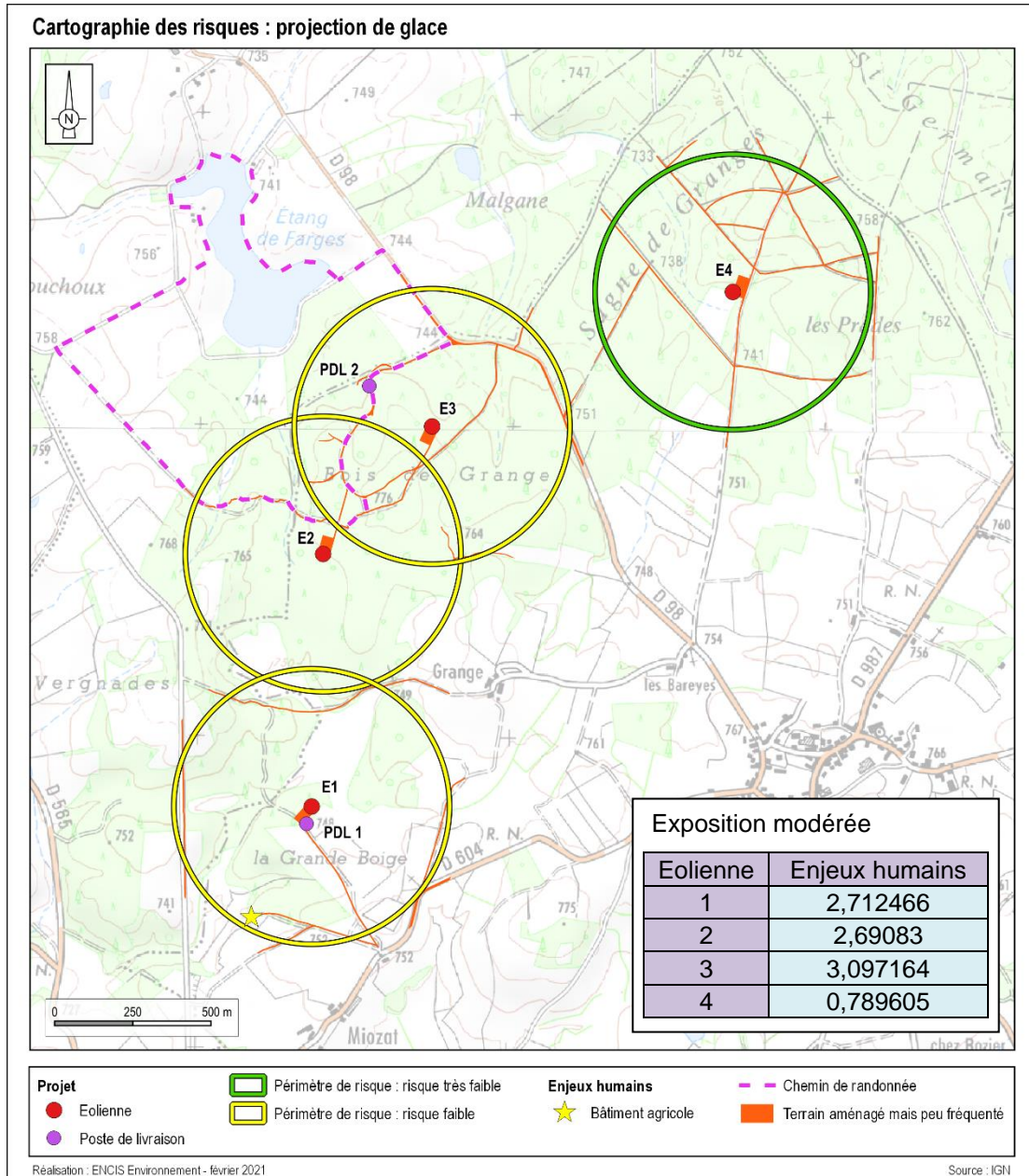
Carte 22 : Cartographie des risques – scenario : chute de glace (Source : ENCIS Environnement)



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



Carte 24 : Cartographie des risques – scenario : projection d'élément (Source : ENCIS Environnement)



Carte 25 : 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 de l'éolienne, projection de pale ou de fragment de pale, projection de glace pour E4) et faibles (chute de glace, projection de glace pour E1, E2 et E3) ; mais dans tous les cas acceptables.

Scénario	Probabilité	Gravité	Acceptabilité
Effondrement de l'éolienne	D	Modéré	Acceptable
Chute d'élément de l'éolienne	C	Modéré	Acceptable
Chute de glace	A	Modéré	Acceptable
Projection d'éléments	D	Sérieux	Acceptable
Projection de glace	B	Modéré pour E4 Sérieux pour E1, E2 et E3	Acceptable

Tableau 48 : 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 août 2011 relatif aux ICPE modifié par l'arrêté du 22 juin 2020) 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.

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 sur les chemins d'accès aux éoliennes 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	Coupage 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
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 49 : Mesures 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 suivant a été initié par le groupe de travail ayant réalisé le guide technique pour l'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre de parcs éoliens (événements recensés entre novembre 2000 et janvier 2012) et complété par les équipes d'ENCIS Environnement (événements recensés entre février 2012 et septembre 2020). Il recense l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne entre 2000 et mi-2020. L'analyse de ces données est présentée dans la Partie 6 du présent dossier.

Nota : Comme indiqué au chapitre 6.1, et conformément à la méthodologie du guide technique précité, les accidents du travail touchant des opérateurs, les événements qui n'ont pas conduit à des effets sur les zones autour des aérogénérateurs et les événements recensés en dehors de la phase d'exploitation ne sont pas pris en compte dans les calculs statistiques réalisés dans la présente étude de dangers. Ces événements "non retenus" sont surlignés en gris dans le tableau suivant. **Seuls les incidents survenus en phase d'exploitation et susceptibles d'avoir ou ayant eu des conséquences sur les personnes dans ces zones d'effets sont retenus.**

Type d'accident	Date	Nom du parc / Commune	Département	Puissance par éolienne	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 sur l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute de pale + effondrement	nov-00	Port-la-Nouvelle	Aude	0,5 MW	1993	Non	Le mât d'une éolienne s'est plié lors d'une tempête suite à la perte d'une pale (coupure courant prolongée pendant 4 jours suite à la tempête)	Tempête avec foudre répétée	Rapport du CGM Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2001	Sallèles-Limousis	Aude	0,75 MW	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts)	?	Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale + effondrement	01/02/2002	Wormhout	Nord	0,4 MW	1997	Non	Bris d'hélice et mât plié	Tempête	Rapport du CGM Site Vent de Colère	-
Maintenance	01/07/2002	Port-la-Nouvelle – Sigean	Aude	0,66 MW	2000	Non	Grave électrisation avec brûlures d'un technicien	Lors de mesures pour caractériser la partie haute d'un transformateur 690V/20kV en tension. Le mètre utilisé par la victime, déroulé sur 1,46 m s'est soudainement plié et est entré dans la zone du transformateur, créant un arc électrique.	Rapport du CGM	Non retenu dans l'étude de dangers (Cf. Nota)
Effondrement	28/12/2002	Névian - Grande Garrigue	Aude	0,85 MW	2002	Non	Effondrement d'une éolienne suite au dysfonctionnement du système de freinage	Tempête + dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Site Vent de Colère Article de presse (Midi Libre)	-
Rupture de pale	25/02/2002	Sallèles-Limousis	Aude	0,75 MW	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 (avec projection d'éléments)	05/11/2003	Sallèles-Limousis	Aude	0,75 MW	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 MW	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 MW	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 (avec projection d'éléments)	22/06/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3 MW	2001	Non	Une pale de l'une des 5 éoliennes d'un parc se brise en heurtant le mat	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Base de données ARIA Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	-
Rupture de pale (avec projection d'éléments)	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3 MW	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5m à 50 m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Base de données ARIA Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	-
Rupture de pale	2004	Escales-Conilhac	Aude	0,75 MW	2003	Non	Bris de trois pales	Cause probable de l'accident non évoquée	Site Vent de Colère	Information peu précise

Type d'accident	Date	Nom du parc / Commune	Département	Puissance par éolienne	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 sur l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale + incendie	22/12/2004	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75 MW	2004	Non	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne (survitesse de plus de 60 tr/min)	Survitesse due à une maintenance en cours, problème de régulation, et dysfonctionnement du système de freinage	Base de données ARIA Article de presse (La Tribune du 30/12/2004) Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2005	Wormhout	Nord	0,4 MW	?	Non	Bris de pale	Cause probable de l'accident non évoquée	Site Vent de Colère	Information peu précise
Chute de pale	08/10/2006	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3 MW	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 MW	2001	Non	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 MW	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)	-
Chute de pale	31/12/2006	Ally	Haute-Loire	1,5 MW	2005	Non	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	Non retenu dans l'étude de dangers (phase chantier)
Rupture de pale (avec projection d'éléments)	mars-07	Clitourps	Manche	0,66 MW	2005	Non	Rupture d'un morceau de pale de 4 m et éjection à plus de 200 m de distance dans un champ	Cause inconnue	Site FED	-
Chute d'éléments (nacelle)	11/10/2007	Plouvien	Finistère	1,3 MW	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)	-
Emballement	mars-08	Dinéault	Finistère	0,3 MW	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 retenu dans l'étude de dangers (événement sans répercussion sur les personnes)
Collision d'avion	avr-08	Plouguin	Finistère	2 MW	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 1000 m 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 (éolienne intacte)
Rupture de pale (avec chute + projection d'éléments)	19/07/2008	Erize-la-Brûlée - Voie Sacrée	Meuse	2 MW	2007	Non	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 MW	2006	Non	Incendie de la nacelle	Problème au niveau d'éléments électroniques	Dépêche AFP 28/08/2008	-
Chute de pale	26/12/2008	Raival - Voie Sacrée	Meuse	2 MW	2007	Non	Chute de pale	Cause probable de l'accident non évoquée	Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain)	-
Maintenance	26/01/2009	Clastres	Aisne	2,75 MW	2004	Non	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance	Accident électrique (explosion d'un convertisseur)	Base de données ARIA	Non retenu dans l'étude de dangers (personnel de maintenance)

Type d'accident	Date	Nom du parc / Commune	Département	Puissance par éolienne	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 sur l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	08/06/2009	Bollène	Vaucluse	2,3 MW	2009	Non	Bout de pale d'une éolienne ouvert	Coup de foudre sur la pale	Interne exploitant	Non utilisable dans les chutes ou les projections (la pale est restée accrochée)
Incendie	21/10/2009	Froidfond - Espinassière	Vendée	2 MW	2006	Non	Incendie de la nacelle	Court-circuit dans transformateur sec embarqué en nacelle	Article de presse (Ouest-France) Communiqué de presse exploitant Site FED	-
Incendie	30/10/2009	Freysenet	Ardèche	2 MW	2005	Non	Incendie de la nacelle	Court-circuit faisant suite à une opération de maintenance	Base de données ARIA Site FED Article de presse (Le Dauphiné)	-
Maintenance	20/04/2010	Toufflers	Nord	0,15 MW	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)	Non retenu dans l'étude de dangers (personnel de maintenance)
Effondrement	30/05/2010	Port-la-Nouvelle	Aude	0,2 MW	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 MW	2004	Non	Emballement de deux éoliennes et incendie des nacelles.	Maintenance en cours, problème de régulation, freinage impossible, évacuation du personnel, survitesse de +/- 60 tr/min	Articles de presse Communiqué de presse SER-FEE	-
Maintenance	15/12/2010	Pouillé-les-Côteaux	Loire Atlantique	2,3 MW	2010	Non	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.	Cause probable de l'accident non évoquée	Interne SER-FEE	Non retenu dans l'étude de dangers (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)	Non retenu dans l'étude de dangers (accident hors site éolien)
Rupture de pale (avec projection d'éléments)	14/12/2011	Non communiqué	Non communiqué	2,5 MW	2003	Non	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 retenu dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'incendie)
Chute de pale + rupture de pale (avec projection d'éléments)	04/01/2012	Widehem	Pas-de-Calais	450 kW	2001	Non	6 éoliennes d'un parc se mettent en arrêt de sécurité. Sur l'une d'elles, une pale se disloque, percute le mât puis une seconde pale. Des débris sont projetés à 160° jusqu'à 380 m sur 4,3 ha.	Violentes rafales instantanées (150 km/h) enregistrées la veille ayant pu endommager la pale en générant des efforts excédant les valeurs admissibles. Les fortes contraintes mécaniques lors de l'arrêt brutal de la rotation auraient alors déclenché sa dislocation. L'intrados de la pale se serait séparé de l'extrados avant de percuter le mât puis l'autre pale.	Base de données ARIA	-
Maintenance	06/02/2012	Léhaucourt	Aisne	2,5 MW	2007	Non	A cours d'une opération de maintenance dans la nacelle d'une éolienne, un arc électrique (690 V) blesse deux sous-traitants.	Cause probable de l'accident non évoquée	Base de données ARIA	Non retenu dans l'étude de dangers (personnel de maintenance)

Type d'accident	Date	Nom du parc / Commune	Département	Puissance par éolienne	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 sur l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale (avec projection d'éléments)	11/04/2012	Sigean	Aude	0,2 MW	1991	Non	Une éolienne se met en arrêt automatique suite à l'apparition d'un défaut à 10 h. Des agents de maintenance la réarment à 12h14. Un défaut de vibration apparaît 11 minutes plus tard. Sur place, les techniciens constatent la présence d'un impact sur le mât et la projection à 20 m d'un débris de pale long de 15 m. Un périmètre de sécurité de 100 m est mis en place et l'éolienne est mise en sécurité (pales en drapeau). L'expertise d'assurance attribue l'accident à un impact de foudre sur l'éolienne.	Foudre	Base de données ARIA Article de presse (AFP 22/05/2012)	-
Chute de pale	18/05/2012	Fresnay-L'Evêque	Eure-et-Loir	2 MW	2008	Non	Chute d'une pale de 46 mètres et de 9 tonnes au pied de l'installation	Rupture du roulement qui raccordait la pale au moyeu. Problèmes de corrosion provenant, selon le constructeur, des conditions de production et de stockage des pièces constitutives du roulement.	Base de données ARIA	-
Effondrement	30/05/2012	Port-la-Nouvelle	Aude	0,2 MW	1991	Non	Effondrement de la tour en treillis d'une éolienne de 30 m de haut.	Rafales de vent (130 km/h)	Base de données ARIA	-
Rupture de pale (avec projection d'éléments)	01/11/2012	Vieillespesse	Cantal	2,5 MW	2011	Non	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.	Cause probable de l'accident non évoquée	Base de données ARIA	-
Incendie avec projection d'éléments (et propagation) + chute de pale	05/11/2012	Sigean	Aude	660 kW	2000	Non	Un feu se déclare vers 17 h. Des projections incandescentes enflamment 80 m ² 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.	Un dysfonctionnement de disjoncteur situé sur l'éolienne a entraîné la propagation de courants de court-circuit faisant fondre les câbles et entraînant un départ d'incendie dans la nacelle. 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.	Base de données ARIA	-
Chute de pale	06/03/2013	Conilhac-de-la-Montagne	Aude	660 kW	2001	Non	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.	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.	Base de données ARIA	-
Incendie + chute de pale + fuite d'huile	17/03/2013	Euvy	Marne	2,5 MW	2011	Non	Des usagers de la N4 signalent 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. Une des pales tombe au sol, une autre menace de tomber. 450 l d'huile de boîte de vitesse s'écoulent.	Défaillance électrique	Base de données ARIA	-
Rupture de pale	20/06/2013	Labastide-sur-Besorgues	Ardèche	2 MW	2006	Non	Un impact de foudre endommage une éolienne : une pale est déchirée sur 6 m de longueur, le boîtier basse tension et le parafoudre en tête d'installation au poste de livraison sont détruits. Des installations du réseau électrique et téléphonique sont également endommagées.	Le fabricant de l'éolienne indique que ce type d'incident est exceptionnel (incursion d'un arc électrique dans la pale conduisant à une montée en pression de l'air intérieur), aucune dérive fonctionnelle du système parafoudre n'ont été trouvées.	Base de données ARIA	Non utilisable dans les chutes ou les projections (la pale est restée accrochée)
Maintenance	01/07/2013	Cambon-Et-Salvergues	Hérault	1,3 MW	2006	Non	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, 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.	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	Base de données ARIA	Non retenu dans l'étude de dangers (personnel de maintenance)
Fuite d'huile	03/08/2013	Moreac	Morbihan	2 MW	2010	Non	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 m ² . 25 t de	Perte de confinement	Base de données ARIA	Retenu : incident en phase exploitation et susceptible de

Type d'accident	Date	Nom du parc / Commune	Département	Puissance par éolienne	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 sur l'utilisation dans l'étude de dangers
							terres polluées sont excavées et envoyées en filière spécialisée.			polluer des eaux captées
Incendie	09/01/2014	Antheny	Ardennes	2,5 MW	2013	Oui	Un feu se déclare au niveau de la nacelle d'une éolienne. 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.	La presse évoque un incident électrique pour expliquer le départ de feu.	Base de données ARIA	-
Chute de pale	20/01/2014	Sigean	Aude	660 kW	2000	Non	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.	L'expertise identifie la cause directe de la chute de la pale : des fissures sont détectées sur la pièce en aluminium appelée "alu ring", située à la base de la pale.	Base de données ARIA	-
Chute de pale + rupture de pale (avec projection d'éléments)	14/11/2014	Saint-Cirgues-en-Montagne	Ardèche	2,05 MW	2012	Oui	La pale d'une éolienne chute lors d'un orage. 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.	Rafales de vent de 130 km/h.	Base de données ARIA	-
Rupture de pale (avec projection d'éléments)	05/12/2014	Fitou	Aude	1,3 MW	2002	Non	À leur arrivée sur le 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'aérovein 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'aérovein constitue sa partie mécanique interne. Ces éléments sont encore en place sur la pale. L'éolienne est arrêtée et mise en sécurité, la pale endommagée vers le bas.	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.	Base de données ARIA	-
Incendie	29/01/2015	Rémigny	Aisne	2,3 MW	2015	Oui	Un feu se déclare dans une éolienne. Celle-ci est automatiquement mise à l'arrêt sur alarme du détecteur de fumée. Sur place, des employés constatent la présence de flammes et alertent les pompiers qui ne parviennent pas à approcher de la source de l'incendie à cause de la fumée. A 9h20 ils réussissent à progresser dans l'éolienne et éteignent l'incendie. Les 1 500 l d'eau utilisés pour le nettoyage sont pompés. L'éolienne n'était pas encore en exploitation, mais en phase de test.	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.	Base de données ARIA	-
Incendie	06/02/2015	Lusseray	Deux-Sèvres	2,0 MW	2011	Non	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.	Cause probable de l'accident non évoquée	Base de données ARIA	Non retenu dans l'étude de dangers (maintenance)
Incendie	24/08/2015	Santilly	Eure-et-Loir	2,3 MW	2007	Non	Un feu se déclare vers 13h30 sur le moteur d'une éolienne. 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.	Cause probable de l'accident non évoquée	Base de données ARIA	-
Chute de rotor	10/11/2015	Ménil-la-Horgne	Meuse	1,5 MW	2007	Non	Les 3 pales et le rotor d'une éolienne 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 découple l'éolienne 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 4000 m², sont ramassés.	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	Base de données ARIA	-

Type d'accident	Date	Nom du parc / Commune	Département	Puissance par éolienne	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 sur l'utilisation dans l'étude de dangers
								en évidence que ce type de défaut était présent sur un des autres arbres lents, au même niveau que celui accidenté.		
Rupture de pale (avec chute d'éléments)	07/02/2016	Conilhac-Corbières	Aude	2,3 MW	2014	Oui	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.	Base de données ARIA	-
Rupture de pale (avec projection d'éléments)	08/02/2016	Dinéault	Finistère	300 kW	1999	Non	Une tempête endommage 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.	Tempête (vents à 160 km/h)	Base de données ARIA	-
Chute de pale	05/03/2016	Calanhel	Côtes-d'Armor	850 kW	2009	Non	Une pale 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.	L'inspection des éléments mécaniques au sol et du rotor permet d'envisager une défaillance du système d'orientation de la pale. Celle-ci aurait entraîné la rupture de la couronne extérieure du roulement à bille puis la libération de la couronne intérieure solidaire de la pale.	Base de données ARIA	-
Fuite d'huile	28/05/2016	Janville	Eure-et-Loir	2,3 MW	2005	Non	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.	Base de données ARIA	-
Incendie	10/08/2016	Hescamps	Somme	1,2 MW	2008	Non	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	Une défaillance électrique serait à l'origine du départ de feu.	Base de données ARIA	-
Incendie	18/08/2016	Dargies	Oise	2,0 MW	2014	Oui	Un technicien de maintenance d'un parc éolien constate 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.	Une défaillance électrique serait à l'origine de l'incendie. L'armoire électrique ou le pupitre de commande en serait le point de départ.	Base de données ARIA	-
Maintenance	14/09/2016	Les Grandes-Chapelles	Aube	2,3 MW	2009	Non	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.	Cause probable de l'accident non évoquée	Base de données ARIA	Non retenu dans l'étude de dangers (maintenance)
Fissure de pale	11/07/2007	Le Quesnoy	Nord	-	-	-	Une fissure est constatée sur une pale d'une éolienne. L'exploitant arrête l'installation. L'expertise de la pale conclut que le dommage est suffisamment réduit pour être réparable. Il n'est donc pas nécessaire de procéder à son remplacement.	Défaut de conception	Base de données ARIA	Non retenu dans l'étude de dangers (pale restée accrochée)

Type d'accident	Date	Nom du parc / Commune	Département	Puissance par éolienne	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 sur l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute de pale	12/01/2017	Tuchan	Aude	600 kW	2002	Non	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 et met en place des barrières et un gardiennage pour en sécuriser l'accès.	L'éolienne 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, les vents à 25 m/s ont provoqué la rupture des pales à cause d'une vitesse de rotation excessive.	Base de données ARIA	-
Rupture de pale (avec projection d'éléments)	18/01/2017	Nurlu	Somme	2,0 MW	2010	Non	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 et demandent la mise en sécurité de l'éolienne et mettent en place un périmètre de sécurité. L'inspection des installations classées se rend sur place le lendemain. Elle constate que les 2/3 de la pale sont brisés mais que son armature est toujours en place. L'essentiel des débris se situe à moins de 90 m du mât. Les débris les plus lourds sont à moins de 27 m.	Selon la presse, la tempête survenue quelques jours auparavant pourrait être à l'origine de la chute.	Base de données ARIA	-
Rupture de pale (avec projection d'éléments)	27/02/2017	Lavallée	Meuse	2,0 MW	2011	Non	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.	Base de données ARIA	-
Rupture de pale (avec projection d'éléments)	27/02/2017	Trayes	Deux-Sèvres	2,0 MW	2011	Non	Vers 22 h, le système d'exploitation du parc éolien émet des alarmes portant sur une éolienne : 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. 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.	Base de données ARIA	-
Incendie	06/06/2017	Allonnes	Eure-et-Loir	3,0 MW	2014	Oui	La nacelle d'une éolienne a pris feu propageant l'incendie au rotor. 30 pompiers sont intervenus pour mettre en place un périmètre de sécurité et une déviation sur la D336. Les autres éoliennes du parc ont été mises à l'arrêt. L'incendie s'éteint seul. Des coulures d'hydrocarbures sont constatées sur le mât.	En première hypothèse, l'exploitant indique un défaut des condensateurs du boîtier électrique, situé dans la nacelle. Il exclut la piste d'un impact de foudre.	Base de données ARIA	-
Rupture de pale (avec chute + projection d'éléments)	08/06/2017	Aussac-Vadalle	Charente	2 MW	2010	Non	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.	Impact de foudre. Le dispositif de protection contre la foudre ne montre toutefois pas de défaut.	Base de données ARIA	-

Type d'accident	Date	Nom du parc / Commune	Département	Puissance par éolienne	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 sur l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale (avec chute + projection d'éléments)	24/06/2017	Conchy-sur-Canche	Pas-de-Calais	-	-	-	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 mat. 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.	Cause inconnue (le vent était faible au moment de l'événement)	Base de données ARIA	-
Rupture de pale (avec chute d'éléments)	17/07/2017	Fécamp	Seine-Maritime	900 kW	2006	Non	Un aérofrein se détache d'une pale d'éolienne. Le lendemain matin, un agent de maintenance découvre l'équipement au pied du mât de 49 m	Un 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	Base de données ARIA	-
Fuite d'huile	24/07/2017	Mauron	Morbihan	2 MW	2008	Non	Une fuite d'huile est détectée vers 17 h sur une éolienne. Le rejet, estimé à 5 l, s'est écoulé le long du mât et quelques gouttes sont tombées au sol.	La rupture d'un flexible du circuit hydraulique de l'aérogénérateur en est à l'origine.	Base de données ARIA	-
Rupture de pale (avec chute d'éléments)	05/08/2017	Priez	Aisne	2 MW	2017	Oui	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.	Cause probable de l'accident non évoquée	Base de données ARIA	-
Chute d'éléments (nacelle)	08/11/2017	Roman	Eure	2 MW	2010	Non	Le carénage de la pointe de la nacelle d'une éolienne est tombé au sol. Cette pièce mesure 2 m de diamètre, pèse plusieurs dizaines de kg et supporte une armoire électrique. 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 (rondelles métalliques pour le vissage des boulons absentes). La procédure n'aurait pas été respectée lors du montage des turbine.	Base de données ARIA	-
Effondrement	01/01/2018	Bouin	Vendée	2,5 MW	2003	Non	Le mât d'une éolienne de 60 m de haut se brise en 2. Les 55 m supérieurs chutent au sol. Des débris s'éparpillent sur une surface assez importante. Aucune personne n'a été blessée.	Erreur d'interprétation des données par un opérateur au cours d'une tempête qui a placé l'éolienne dans une position entraînant une augmentation rapide de la vitesse du rotor, dépassant la limite de sécurité. Malgré l'activation des dispositifs de protection contre la survitesse 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 entraînent alors son effondrement. 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.	Base de données ARIA	-
Rupture de pale (avec chute + projection d'éléments)	04/01/2018	Nixeville-Blercourt	Meuse	2 MW	2008	Non	L'extrémité d'une pale se rompt, lors d'un épisode venteux et un morceau de 20 m chute au sol. Les morceaux les plus éloignés sont ramassés à 200 m. La zone est sécurisée et un gardiennage est mis en place 24 h/24.	Tempête	Base de données ARIA	-

Type d'accident	Date	Nom du parc / Commune	Département	Puissance par éolienne	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 sur l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale (avec chute d'éléments)	06/02/2018	Conilhac-Corbières	Aude	2,3 MW	2014	Oui	L'aérovein d'une pale d'éolienne chute au sol. L'équipe technique présente sur site arrête l'aérogénérateur. 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.	Base de données ARIA	-
Rupture de pale	10/04/2018	Dio-et-Valquières	Hérault	1,67 MW	2006	Non	Un orage de pluie et de grêle, ainsi que des rafales de vent comprises entre 120 et 150 km/h provoquent la rupture d'une pale. Le rotor et le mât n'ont subi aucun dégât. Un périmètre de sécurité a été mis en place.	La foudre ou les vents violents ou la conjugaison des deux phénomènes semblent être à l'origine de l'accident.	Articles de presse (France 3 Occitanie, 03/05/2018 et Midi Libre, 04/05/2018)	-
Incendie	01/06/2018	Marsanne	Drôme	2 MW	2008	Non	Un incendie détruit totalement une éolienne et provoque le départ de feu d'une autre éolienne qui sera partiellement endommagée.	L'incendie d'origine criminelle a été revendiqué. Un mélange huile/essence a été déversé sur les installations électriques avant d'y mettre le feu.	Base de données ARIA Article de presse (France bleue, 19/06/2018)	-
Incendie d'éolienne + chute d'éléments incandescents	05/06/2018	Aumelas	Hérault	2 MW	2014	Oui	La nacelle d'une éolienne prend feu. 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'aérogénérateur. 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'aérogénérateur est presque totalement détruite. 50 m ² de végétation ont brûlé. L'accès à la zone est interdit et surveillé. Les débris sont ramassés.	Dysfonctionnement électrique probable	Base de données ARIA	-
Rupture de pale (avec projection d'éléments)	04/07/2018	Port-la-Nouvelle	Aude	0,66 MW	2000	Non	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'aérogénérateur est mis en position de sécurité.	Survitesse probable	Base de données ARIA	-
Incendie + chute de pales	02/08/2018	Monts de l'Ain	Ain	2,05 MW	2017	Oui	Une éolienne est endommagée par l'incendie de sa nacelle. Deux pales sont tombées au sol du fait de l'incendie. Le feu ne s'est pas propagé du fait de l'intervention des secours.	L'origine de l'incendie semble criminelle puisque deux éoliennes ont été vandalisées (porte fracturée) dont une a pris feu.	Article de presse (France 3 Auvergne Rhône Alpes, 03/08/2018)	-
Incendie d'éolienne + chute d'éléments (et propagation)	28/09/2018	Sauveterre	Tarn	2 MW	2009	Non	La nacelle et le rotor d'une éolienne ont pris feu. 2,5 hectares de boisements (essentiellement une plantation de résineux) et de broussailles détruits par les flammes. Les pompiers ont rencontré des difficultés d'accès à la zone sinistrée.	Acte de malveillance	Base de données ARIA	-
Fuite d'huile	17/10/2018	Flers-sur-Noye	Somme	2 MW	2017	Oui	Détection d'une fuite d'huile hydraulique depuis la nacelle d'une éolienne. 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 (pied de l'éolienne et terrains cultivés adjacents) est de 2 000 m ² . 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.	Erreur de maintenance : filtre mal serré et contrôle non effectué	Base de données ARIA	-

Type d'accident	Date	Nom du parc / Commune	Département	Puissance par éolienne	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 sur l'utilisation dans l'étude de dangers
Effondrement	06/11/2018	Guigneville	Loiret	3 MW	2010	Non	Vers 6 h, une éolienne, de 140 m de haut en bout de pale, s'effondre. L'inspection des installations classées constate sur site que le mat 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.	Le rapport d'analyse par l'exploitant est tierce expertisé. Il est conclu qu'une survitesse de rotation des pales de l'éolienne a conduit à une surcharge de contraintes sur la structure, provoquant son effondrement. Une défaillance du système d'alimentation de secours des pales a empêché le déclenchement de l'arrêt d'urgence	Base de données ARIA	-
Rupture de pale (avec chute + projection d'éléments)	18/11/2018	Conilhac-Corbières	Aude	2,3 MW	2014	Oui	Les 3 aérofreins en extrémité des pales d'une éolienne chutent au sol. 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. L'éolienne s'est arrêtée à la suite de l'ouverture de la chaîne de sécurité.	Défaut probable de conception (un accident similaire est survenu sur ce parc au début 2018)	Base de données ARIA	-
Chute de pale	19/11/2018	Ollezy	Aisne	2,4 MW	2017	Oui	Un agent de surveillance 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. La zone est sécurisée et un balisage du pied de la turbine et de la pale au sol est mis en place.	Défauts de fabrication	Base de données ARIA	-
Incendie + fuite d'huile	03/01/2019	La Limouzinière	Loire-Atlantique	2 MW	2011	Non	La nacelle d'une éolienne, située à 80 m de hauteur, s'est embrasée dans la nuit du 2 au 3 janvier. Les secours, avertis par des riverains, ont établi un périmètre de sécurité de 150 m autour de la machine, des débris tombant au sol. Aucun blessé n'est à déplorer. Des traces d'huile hydraulique sont présentes jusqu'à 100 m du pied du mât.	Selon les premiers éléments de l'enquête, une avarie sur la génératrice de l'éolienne semble à l'origine de l'incendie.	Base de données ARIA	-
Rupture de pale (avec projection d'éléments)	17/01/2019	Bambiderstroff	Moselle	2 MW	2007	Non	Une pale d'éolienne se rompt. Deux morceaux, l'un de 5 m (coque) et l'autre de 28 m (fibre de verre), chutent au sol. Celui de 28 m est projeté à 100 m de l'éolienne.	Selon les premiers éléments d'analyse, un défaut d'adhérence dû à un manque de matière entre la coque en fibre de verre et le cœur de la pale serait à l'origine de cette rupture.	Base de données ARIA	-
Incendie	20/01/2019	Roussas	Drôme	1,75 MW	2006	Non	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.	Base de données ARIA	-
Rupture de pale (avec projection d'éléments) + effondrement	23/01/2019	Boutavent	Oise	2 MW	2011	Non	Le rotor d'une éolienne est entré en survitesse pendant plus de 40 minutes jusqu'à ce qu'une des pales commence à se délaminer, provoquant un balourd suffisant pour fatiguer le mât qui s'est plié en deux. Des débris ont été retrouvés jusqu'à 300 m.	Selon l'exploitant, l'absence de passage en position de sécurité des pales est due à une chute de tension au niveau des batteries pilotant la rotation des pales en cas de coupure de l'alimentation électrique.	Base de données ARIA	-
Chute de pale	30/01/2019	Roquetaillade-et-Conilhac	Aude	660 kW	2001	Non	Une pale de l'éolienne n°5 est tombée au sol. Aucun blessé n'est à déplorer.	Certaines des vis retrouvées au sol présentent des ruptures franches, des éléments distinctifs de fatigue et des traces de corrosion. Cette corrosion pourrait avoir été engendrée par une précharge insuffisante lors du serrage.	Base de données ARIA	-

Type d'accident	Date	Nom du parc / Commune	Département	Puissance par éolienne	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 sur l'utilisation dans l'étude de dangers
Défaut de conception de composants	12/02/2019	Autechoux	Doubs	2,75 MW	2016	Oui	A la suite d'une fissuration constatée sur une bague extérieure de roulement de pale d'une éolienne d'un parc éolien de même technologie hors de France, l'exploitant réalise des inspections de cette pièce sur 3 de ses parcs éoliens comprenant 43 éoliennes. Ces contrôles mettent en évidence 6 fissurations sur des roulements de pale, positionnés entre la base de la pale et le moyeu.	L'origine des fissurations serait un défaut d'alésage qui, sous contrainte, conduirait à une fissuration par fatigue de la bague au niveau d'une zone d'amorçage propice constituée par les trous d'introduction des billes dans les roulements.	Base de données ARIA	Non retenu dans l'étude de dangers (aucun accident)
Fuite d'huile	23/03/2019	Argentonnay	Deux-Sèvres	-	-	-	Une fuite d'huile se produit depuis le multiplicateur d'une éolienne. Celle-ci se met automatiquement à l'arrêt à la suite d'une défaillance au niveau d'un composant tournant du multiplicateur. Sur les 450 L d'huile présents dans le mécanisme, seuls 1 à 2 L ont débordé sur la végétation jouxtant la plateforme. L'opérateur est intervenu assez rapidement pour limiter tout risque de pollution.	La rupture d'un composant tournant du multiplicateur est à l'origine de l'incident.	Base de données ARIA	-
Foudre	02/04/2019	Équancourt	Somme	-	-	-	Lors d'un épisode orageux, la foudre touche une éolienne. Après avoir été alerté par un élu, le gestionnaire du site arrête la machine à distance. Une équipe technique, constate que l'impact de foudre a endommagé le revêtement de la pale, proche de la base, sur 5 000 cm ² . Le lendemain matin, un expert de la société de fabrication et maintenance de l'éolienne inspecte l'équipement et la pale endommagée. Il estime qu'il n'y a pas de risque d'aggravation des dégâts ni de chute de composants tant que l'éolienne reste à l'arrêt avec les pales mises en drapeau.	Foudre	Base de données ARIA	Non utilisable dans les chutes ou les projections (la pale est restée accrochée)
Maintenance	12/04/2019	Fontenelle-Montby	Doubs	-	-	-	Lors d'une opération de maintenance, un agent a été légèrement électrisé et un autre présentait des acouphènes.	Surpression ayant causé un arc électrique.	Article de presse (L'Est Républicain)	Non retenu dans l'étude de dangers (maintenance)
Maintenance	15/04/2019	Chailly-sur-Armançon	Côte-d'Or	-	-	-	Un sous-traitant est électrisé par un courant de 20 000 V dans une éolienne. La victime est légèrement blessée. Elle est transportée en centre hospitalier.	Cause probable de l'accident non évoquée	Base de données ARIA	Non retenu dans l'étude de dangers (maintenance)
Incendie	18/06/2019	Quesnoy-sur-Airaines	Somme	2,3 MW	2011	Non	Un feu se déclare sur une éolienne du parc. Les équipes de maintenance du site maîtrisent l'incendie. Les pompiers alertés réalisent des contrôles thermiques pour confirmer l'extinction.	D'après la presse, un court-circuit sur un condensateur est à l'origine du sinistre.	Base de données ARIA	-
Incendie + chute d'éléments	25/06/2019	Ambon	Morbihan	1,7 MW	2008	Non	La nacelle d'une éolienne a pris feu. Les pompiers ont sécurisé la zone (périmètre de sécurité de 500 m) laissant le feu s'éteindre de lui-même et gérant le risque de propagation. Des composants ont chuté au sol.	Court-circuit faisant suite à une intervention de maintenance sur le tableau électrique de l'aérogénérateur	Base de données ARIA	-
Rupture de pale (avec projection d'éléments)	27/06/2019	Charly-sur-Marne	Aisne	2 MW	2009	Non	Lors d'une maintenance, deux techniciens remarquent qu'une pale d'éolienne présente un angle anormal. Lors de la mise à l'arrêt de la machine, le bout de la pale abîmée est projeté en 2 morceaux, l'un à 15 m de l'éolienne, l'autre à 100 m. Chaque morceau correspond à une face de la pale.	Après expertise de la pale, il est constaté un contact inadéquat de la coque côté extradors et des bords avec l'adhésif du longeron	Base de données ARIA	-

Type d'accident	Date	Nom du parc / Commune	Département	Puissance par éolienne	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 sur l'utilisation dans l'étude de dangers
Foudre	03/07/2019	Sigean	Aude	660 kW	2000	Non	A 18 h, une éolienne d'un parc s'arrête automatiquement à la suite d'une alarme vibration provoquée par un impact de foudre. Le lendemain, à 10 h, l'exploitant constate un impact sur le milieu de la pale et une ouverture du bout de pale sur 2 m. L'exploitant découpe l'extrémité de la pale endommagée pour éviter sa rupture complète. Le morceau de pale est stocké en vue d'une expertise. La machine est à l'arrêt et le rotor en position de sécurité.	Impact de foudre	Base de données ARIA	Non utilisable dans les chutes ou les projections (la pale est restée accrochée)
Rupture de pale (avec chute + projection d'éléments)	04/09/2019	Escales	Aude	750 kW	2003	Non	L'arrêt d'urgence d'une éolienne se déclenche sans cause identifiée. L'arrêt de l'éolienne est anormalement brutal si bien que deux aérofreins se détachent d'une des pales de l'éolienne, l'un étant retrouvé à 5 m du pied de l'éolienne, l'autre à 65 m.	Cause probable de l'accident non évoquée	Base de données ARIA	-
Chute d'éléments (nacelle)	28/11/2019	Hangest-en-Santerre	Somme	2 MW	2015	Oui	Dans un parc éolien, le capot se situant à l'extrémité de la nacelle d'une éolienne se décroche et tombe au sol. L'éolienne concernée ainsi que l'ensemble du parc sont mis à l'arrêt. L'exploitant et l'opérateur de maintenance inspectent l'éolienne et l'ensemble du parc.	Cause probable de l'accident non évoquée	Base de données ARIA	-
Mise en mouvement non contrôlée	06/12/2019	Avelanges	Côte-d'Or	-	-	-	Vers 15 h, alors qu'une équipe d'installation réalise un travail d'étiquetage sur une éolienne, cette dernière commence à tourner malgré l'absence de raccordement électrique. L'équipe évacue en urgence par l'échelle. Les secours mettent en place un périmètre de sécurité de 800 m autour de l'équipement. Les gendarmes stoppent la circulation sur la route voisine. Les conditions climatiques, vent violent, empêchent l'équipe d'intervenir pour mettre en sécurité la machine. Le lendemain vers 11 h, l'équipe bloque le rotor et remet les pales en position de sécurité.	La mise en mouvement non contrôlée est due à une erreur de positionnement des angles des pales la veille de l'accident à 18 h et à la présence de vent violent.	Base de données ARIA	Non retenu dans l'étude de dangers (aucun accident)
Rupture de pale (avec chute d'éléments)	09/12/2019	Montjean – Theil-Rabier	Charente	2 MW	2016	Oui	En fin de journée, la pale de l'éolienne n°5 s'est brisée. L'aérogénérateur s'est automatiquement mis à l'arrêt et les 11 autres machines stoppées par l'exploitant. La zone a été sécurisée et gardée afin d'en interdire l'accès au public, Le morceau de pale est resté accroché pendant trois jours jusqu'à ce qu'il cède et chute au sol	Cause probable de l'accident non évoquée. À l'issue des premières analyses aucun emballement du rotor n'a été constaté.	Article de presse (Charente Libre, 14/12/2019)	-
Incendie (sans flamme)	16/12/2019	Poinville	Eure-et-Loir	-	-	-	Vers 12h30, un feu sans flamme se déclare sur une éolienne d'un parc éolien. A 13h10, de la fumée blanche est constatée. Les pompiers mettent en place un périmètre de sécurité et surveillent l'équipement. Vers 16 h, il n'y a plus de fumée, les pompiers inspectent la machine en pied et quittent le site vers 17 h.	L'expert en assurance suppose une combustion sans flamme et estime la température atteinte en nacelle en dessous de 100 °C. Cause probable non évoquée	Base de données ARIA	-
Incendie	17/12/2019	Ambonville	Haute-Marne	-	-	-	A 14h20, un feu se déclare en partie basse d'une éolienne. Les pompiers interviennent à l'aide d'un extincteur à poudre.	L'origine du départ de feu serait liée à une défaillance électrique.	Base de données ARIA	-

Type d'accident	Date	Nom du parc / Commune	Département	Puissance par éolienne	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 sur l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute d'éléments	22/01/2020	Saint-Seine-l'Abbaye	Côte-d'Or	-	-	-	Au cours d'une patrouille de routine à 11 h, un gendarme trouve un joint de pale au pied d'une éolienne. Il contacte l'exploitant par le numéro d'urgence. L'entreprise de maintenance se rend sur place pour récupérer l'équipement. L'incident est sans conséquence, le joint permet principalement de diminuer les turbulences au niveau du rotor. Ce joint de pale avait glissé sur le premier mètre de la pale 2 semaines plus tôt et une intervention était prévue la semaine de l'évènement.	L'évènement est causé par une défaillance du collier de serrage sous dimensionné par rapport aux contraintes dans le temps.	Base de données ARIA	-
Rupture de pale (avec chute + projection d'éléments)	09/02/2020	Beaurevoir	Aisne	2 MW	2009	Non	Dans la nuit, une pale d'une éolienne située dans un parc composée de 5 machines, se brise lors du passage de la tempête Ciara. L'exploitant se rend sur place pour sécuriser la zone. L'éolienne était à l'arrêt, pour une opération de maintenance, au moment de la tempête. L'exploitant place la pale endommagée en position basse, ôte les débris qui peuvent se détacher et met à l'arrêt les autres machines du parc. Il informe la mairie et les propriétaires fonciers de l'incident. Des débris de pâles en fibre de verre sont projetés dans les champs jusqu'à plusieurs centaines de mètres en raison des vents importants au moment de la rupture. Certains débris traversent une route départementale.	D'après l'exploitant, les conditions météorologiques durant le week-end sont à l'origine de la rupture de la pale.	Base de données ARIA	-
Endommagement	09/02/2020	Wancourt	Pas-de-Calais	2 MW	2010	Non	Le lendemain du passage de la tempête Ciara, des dommages sont visibles au niveau de l'aileron de la nacelle d'une éolienne. L'exploitant sécurise l'accès au site par la mise en place d'un périmètre de sécurité. L'aileron est sanglé par les pompiers puis le lendemain par le maintenancier. L'éolienne ne redémarrera pas avant que les causes profondes de l'incident ne soient déterminées.	Tempête	Base de données ARIA	Non retenu dans l'étude de dangers (aucun accident)
Rupture de pale	26/02/2020	Montjean – Theil-Rabier	Charente	2 MW	2016	Oui	Deux mois et demi après un évènement similaire sur un autre aérogénérateur du parc, une pale s'est à nouveau brisée. Le morceau rompu est resté accroché au rotor, maintenu par les fibres de verre constituant l'habillage de la pale.	Cause probable de l'accident non évoquée	Article de presse (Charente Libre, 28/02/2020)	Non utilisable dans les chutes ou les projections (la pale est restée accrochée)
Incendie	29/02/2020	Boisbergues	Somme	2 MW	2015	Oui	Vers 13h25, un feu se déclare au niveau du moteur d'une éolienne. L'électricité est coupée et l'éolienne est mise à l'arrêt. Un technicien et le groupe d'intervention en milieu périlleux des pompiers sont sur place. Le feu est resté sur le mât sans atteindre les pales. L'éolienne est hors-service.	L'incendie est probablement dû à une fuite d'huile.	Base de données ARIA	-

Type d'accident	Date	Nom du parc / Commune	Département	Puissance par éolienne	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 sur l'utilisation dans l'étude de dangers
Incendie	24/03/2020	Flavin	Aveyron	-	-	-	<p>A 9h40, un feu se déclare au niveau de la nacelle d'une éolienne. Un riverain alerte les pompiers qui préviennent l'exploitant. Les pompiers mettent en place un périmètre de sécurité. A 12 h, l'incendie est terminée. Les 4 autres éoliennes sont arrêtées. Dès le lendemain, l'exploitant met en place un gardiennage par une société extérieure et une surveillance permanente à distance via une caméra. L'éolienne était en fonctionnement normal et les conditions météorologiques peu contraignantes au moment de l'incident.</p> <p>Des coulures d'huiles sont visibles sur la partie supérieure du mât mais aucune pollution du sol n'est constatée. L'incendie est limité à la nacelle et au rotor.</p>	Cause probable de l'accident non évoquée	Base de données ARIA	-
Fuite d'huile	10/04/2020	Ruffiac	Morbihan	-	-	-	<p>Une entreprise responsable de la maintenance d'un parc éolien constate une fuite d'huile hydraulique au niveau de la nacelle d'une éolienne. 40 l d'huile s'écoulent le long du mât jusqu'au massif de fondation. L'exploitant du parc est alerté. Il mandate la société de maintenance de réaliser le nettoyage des zones affectées. Il n'y a pas d'atteinte au sol.</p>	L'origine de la fuite est un défaut au niveau de l'accumulateur de l'éolienne.	Base de données ARIA	-
Incendie	20/04/2020	Le Vauclin	Martinique	-	-	-	<p>Peu avant 14 h, un feu se déclare sur le générateur d'une éolienne déposée au sol en vue de son démantèlement, dans un parc éolien comportant 4 éoliennes. Le parc est à l'arrêt depuis le début de l'année 2020. L'incendie de l'huile du transformateur électrique se propage aux broussailles à proximité. Les secours ne pouvant intervenir à cause de la présence d'électricité, un technicien de la société propriétaire de l'éolienne se rend sur place pour couper le courant électrique. Ils évitent la propagation de l'incendie aux alentours, puis éteignent l'incendie vers 16 h une fois l'installation mise hors tension.</p>	Un court-circuit dû à un manicou (famille des marsupiaux) serait à l'origine de l'incendie.	Base de données ARIA	-

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}	1,27788316	$12,77883 \cdot 10^{-7}$
Chute de glace	1	0,00572736	$5,72736 \cdot 10^{-5}$
Chute d'éléments	10^{-3}	0,87078852	$8,7078852 \cdot 10^{-6}$
Projection de tout ou partie de pale	10^{-4}	0,01935833	$1,935833 \cdot 10^{-8}$
Projection de morceaux de glace	10^{-2}	0,00016356	$1,6356 \cdot 10^{-8}$

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) vivantes ou matérielles, sans préjuger l'existence de ces dernières. C'est une « Source potentielle de dommages »

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

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

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

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

Attention aux confusions possibles :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 » modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 « portant modification des prescriptions relatives 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 » 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] 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
- [11] Bilan des déplacements en Val-de-Marne, édition 2009, Conseil Général du Val-de-Marne
- [12] 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
- [13] Alpine test site Güttsch : monitoring of a wind turbine under icing conditions- R. Cattin et al.
- [14] Wind energy production in cold climate (WECO), Final report - Bengt Tammelin et al. – Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 2000
- [15] Rapport sur la sécurité des installations éoliennes, Conseil Général des Mines - Guillet R., Leteurtois J.-P. - juillet 2004
- [16] Risk analysis of ice throw from wind turbines, Seifert H., Westerhellweg A., Kröning J. - DEWI, avril 2003
- [17] Wind energy in the BSR: impacts and causes of icing on wind turbines, Narvik University College, novembre 2005