



PARC ÉOLIEN DE MAILHAC-SUR-BENAIZE

ÉTUDE DE DANGERS

Décembre 2015



SOCOTEC HSE Midi-Pyrénées

3 rue Jean Rodier
31 030 TOULOUSE Cedex

Tél. : 05 61 16 49 60



EDF EN FRANCE
Agence de Toulouse
48, route de Lavour CS 83104
31131 balma cedex

RAPPORT
ÉTUDE DE DANGERS
PARC ÉOLIEN DE MAILHAC-SUR-BENAIZE

▶ Site : Parc éolien de Mailhac-sur-Benaize (87)
▶ Date d'édition du rapport : Décembre 2015
▶ Numéro de dossier SOCOTEC : HAD8417
▶ Référence du rapport : E61B0/15/146
▶ Rédacteur du rapport : Jérôme ROZE - jerome.roze@socotec.com
▶ Ce rapport comporte 52 pages.
▶ Version 3

La reprographie de ce rapport n'est autorisée que sous sa forme intégrale, sous réserve d'en citer la source.

SOMMAIRE

PRÉAMBULE	5
INTRODUCTION	7
1. PRÉSENTATION DU PROJET	8
1.1 CARACTÉRISTIQUE DU PROJET	8
1.2 RUBRIQUES CONCERNÉES PAR L'INSTALLATION	8
2. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'ÉTABLISSEMENT	10
2.1 CARACTÉRISATION ET LOCALISATION DES AGRESSEURS D'ORIGINES EXTERNES	10
1.1.1. DANGERS D'AGRESSION D'ORIGINES NATURELLES	10
2.1.1.1 Foudre	10
2.1.1.2 Basses températures.....	11
2.1.1.3 Séismes.....	11
2.1.1.4 Mouvements de terrains et affaissements	11
2.1.1.5 Inondations	11
2.1.1.6 Vents extrêmes.....	11
2.1.1.7 Incendie d'origine externe.....	11
2.1.1.8 Précipitations extrêmes	12
1.1.2. DANGERS D'AGRESSION D'ORIGINES HUMAINES	12
2.1.1.9 Risques liés aux installations voisines	12
2.1.1.10 Acte de malveillance.....	12
2.1.1.11 Risques liés aux réseaux et transports.....	12
2.2 CARACTÉRISATION ET LOCALISATION DES ENJEUX OU ÉLÉMENTS VULNÉRABLES.....	13
2.2.1 URBANISATION.....	13
2.2.2 INFRASTRUCTURES	13
2.2.2.1 Routes	13
2.2.2.2 Autres infrastructures de transport	13
2.2.2.3 Réseau énergie public et privé	13
2.2.2.4 Captage d'eau potable.....	13
2.2.3 AUTRES ENJEUX LIÉS À L'ENVIRONNEMENT HUMAIN.....	13
2.2.4 ENVIRONNEMENT NATUREL.....	13
3. ANALYSE DU RETOUR D'EXPÉRIENCE	15
3.1 SÉLECTION DES ACCIDENTS.....	15
3.2 ANALYSE DES CAUSES ET DES CONSÉQUENCES.....	16
3.2.1 ANALYSE DES CAUSES.....	16
3.2.2 BILAN DES CONSÉQUENCES.....	17
3.2.3 ENSEIGNEMENTS RETIRÉS.....	18
3.3 CONCLUSION SUR LE RETOUR D'EXPÉRIENCE	18
4. LES POTENTIELS DE DANGERS	19
4.1 DANGERS LIÉS AUX PRODUITS	19
4.1.1 INVENTAIRE DES PRODUITS.....	19
4.1.2 DANGERS INTRINSÈQUES DES PRODUITS	19
4.2 DANGERS LIÉS AUX ÉQUIPEMENTS	19
4.3 DANGERS LIÉS AUX PHASES TRANSITOIRES ET TRAVAUX	20
4.3.1 PHASE CONSTRUCTION	20
4.3.2 PHASE DE MAINTENANCE.....	20
4.4 DANGERS LIÉS À LA PERTE D'UTILITÉS.....	20
4.5 DANGERS D'ORIGINE EXTERNES.....	20
4.6 RÉDUCTION DES POTENTIELS DE DANGER	20
4.6.1 SUBSTITUTION DES PRODUITS / DIMINUTION DES QUANTITÉS.....	20
4.6.2 SUBSTITUTION DES ÉQUIPEMENTS	20
4.6.3 MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES	21
5. ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES	22
5.1 OBJECTIF DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES.....	22
5.2 RECENSEMENT DES ÉVÉNEMENTS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES	22

5.3	TABLEAU D'ANALYSE GÉNÉRIQUE DES RISQUES	22
5.3.1	PRÉSENTATION DU TABLEAU.....	22
5.3.2	JUSTIFICATION DES EXCLUSIONS DE SCÉNARIOS.....	25
6.	MESURES DE MAÎTRISE DES RISQUES	26
6.1	DESCRIPTION DES MOYENS TECHNIQUES	26
6.1.1	IMPLANTATION DES ÉOLIENNES	26
6.1.2	LES DISPOSITIFS DE CONTRÔLE	26
6.1.2.1	Les dispositifs de contrôle.....	26
6.1.2.2	La régulation de la vitesse	26
6.1.2.3	La régulation de la puissance	26
6.1.3	LES MOYENS DE DÉTECTION	26
6.1.3.1	Détection des survitesses	26
6.1.3.2	Détection des vents forts.....	27
6.1.3.3	Détection de givre	27
6.1.3.4	Détection incendie.....	27
6.1.4	PRÉVENTION DU RISQUE FOUDRE	27
6.1.5	PRÉVENTION DES POLLUTIONS	27
6.1.6	LES AUTRES SYSTÈMES DE SÉCURITÉ	27
6.2	DESCRIPTION DES MOYENS ORGANISATIONNELS.....	27
6.2.1	POLITIQUE DE MAINTENANCE	27
6.2.2	LE CAS PARTICULIER DES ESSAIS	28
6.2.3	FORMATION DU PERSONNEL	28
6.2.4	GESTION DE LA SÉCURITÉ	28
6.2.5	MALVEILLANCE ET INTRUSION ET AUTRES PRESCRIPTIONS À OBSERVER PAR LES TIERS	28
6.2.6	CONSIGNES DE SÉCURITÉ POUR LE PERSONNEL DE MAINTENANCE.....	28
6.2.7	PROCÉDURE D'EXPLOITATION.....	28
6.3	DESCRIPTION DES MOYENS D'INTERVENTION.....	28
6.3.1	LES MOYENS DE LUTTE INTERNE	28
6.3.2	LES MOYENS DE LUTTE EXTERNE	28
6.4	RÉFÉRENCES NORMATIVES ET RÉGLEMENTAIRES	29
7.	ANALYSE DÉTAILLÉE DES RISQUES	30
7.1	MÉTHODOLOGIE	30
7.1.1	CINÉTIQUE	30
7.1.2	INTENSITÉ	30
7.1.3	GRAVITÉ.....	30
	PROBABILITÉ	31
7.1.4	ACCEPTABILITÉ.....	32
7.2	RAPPEL DES SCÉNARIOS RETENUS	32
7.4	LE CAS DES EFFETS DOMINOS.....	42
7.5	CONCLUSION.....	43
8.	ANNEXES	44

TABLE DES ILLUSTRATIONS

CARTES

CARTE 1: IMPLANTATION DES ÉOLIENNES SUR SUPPORT IGN	9
CARTE 2: ZONES D'EXCLUSION ASSOCIÉES AUX ZONES URBANISÉES ET URBANISABLES	13
CARTE 3: POSITIONNEMENT DES ÉOLIENNES PAR RAPPORT AUX DIFFÉRENTS ENJEUX	14
CARTE 4: CARTOGRAPHIE DES ZONES D'EFFET - SCÉNARIO 1.....	33
CARTE 5: CARTOGRAPHIE DES ZONES D'EFFET - SCÉNARIO 3.....	37
CARTE 6 : CARTOGRAPHIE DES ZONES D'EFFET - SCÉNARIO 5.....	40

TABLEAUX

TABLEAU 1 : COORDONNÉES DES ÉOLIENNES-LAMBERT 93.....	8
TABLEAU 2 : CLASSEMENT ICPE DU PROJET	8
TABLEAU 3 : DONNÉES Foudre SUR LES SITES D'IMPLANTATION (SOURCE : MÉTÉORAGE)	10
TABLEAU 4 : ANALYSE DES CAUSES DE L'ACCIDENTOLOGIE (2004 – 2014 / SOCOTEC).....	16
TABLEAU 5 : BILAN DE L'ACCIDENTOLOGIE ENTRE 2005 ET 2014 (SOURCE : SOCOTEC).....	17
TABLEAU 6 : MESURES DE RÉDUCTION DES RISQUES	18
TABLEAU 7 : POTENTIELS DE DANGER DES ÉQUIPEMENTS	19
TABLEAU 8 : POTENTIELS DE DANGER EN PHASE CONSTRUCTION	20
TABLEAU 9 : TABLEAU D'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES.....	24
TABLEAU 10: DÉFINITION DU DEGRÉ D'EXPOSITION (INTENSITÉ).....	30
TABLEAU 11: NOMBRE DE PERSONNES EXPOSÉES SUR VOIES DE COMMUNICATIONS STRUCTURANTES (SOURCE : INERIS).....	30
TABLEAU 12: DÉFINITION DU DEGRÉ DE GRAVITÉ.....	31
TABLEAU 13 : CLASSES DE PROBABILITÉS UTILISÉES DANS LES ÉTUDES DE DANGER.....	31

FIGURES

FIGURE 1 : ROSE DES VENTS ET ROSE ÉNERGÉTIQUE – GIROUETTE G1.....	11
FIGURE 2 : ÉVOLUTION DU PARC ÉOLIEN FRANÇAIS ET DU NOMBRE D'ACCIDENTS (SOURCE : SOCOTEC).....	15
FIGURE 3 : RÉPARTITION DES CAUSES DE L'ACCIDENTOLOGIE ENTRE 2005 ET 2014 (SOURCE : SOCOTEC).....	16
FIGURE 4 : RÉPARTITION DES ÉVÈNEMENTS ACCIDENTELS ET DE LEURS CAUSES SUR LE PARC ÉOLIEN FRANÇAIS ENTRE 2005 ET 2014 (SOURCE : SOCOTEC).....	17
FIGURE 5 : RÉPARTITION DES CONSÉQUENCES DE L'ACCIDENTOLOGIE (2005 – 2014 / SOCOTEC)	17

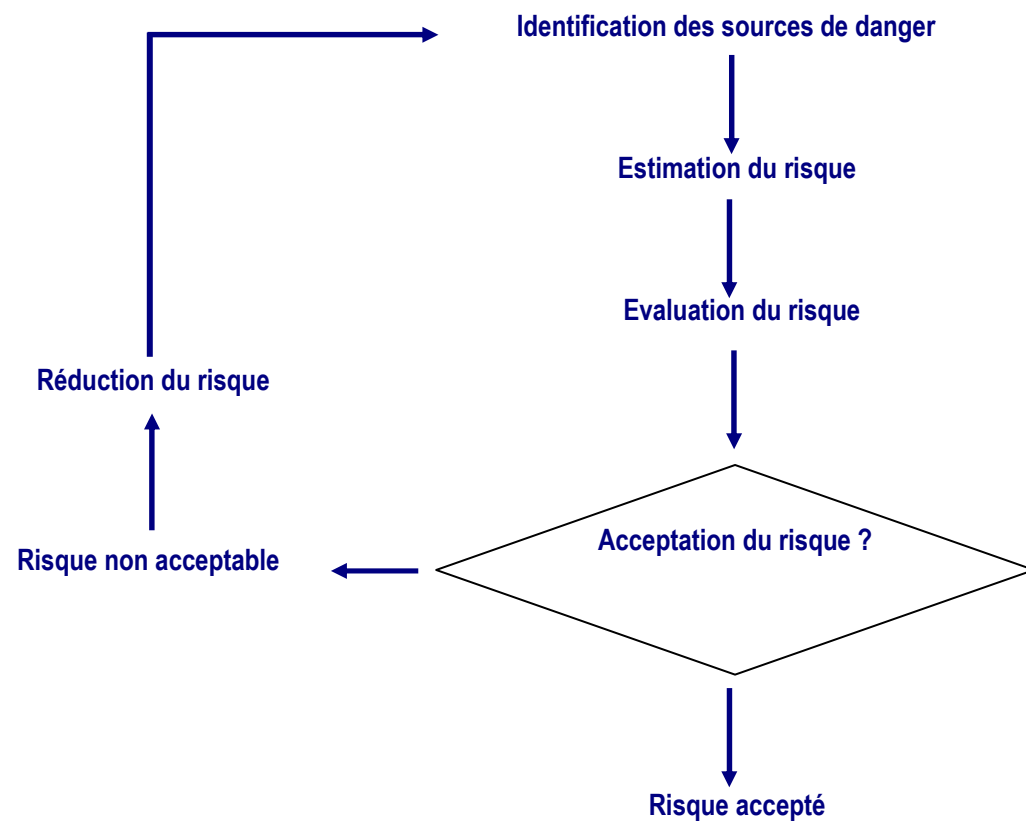
PRÉAMBULE

L'étude de dangers est une étude prévue dans le **décret n°2007-1467 du 12 octobre 2007** (abrogeant le décret du 21 septembre 1977) et requise lors du dépôt d'un dossier de demande d'autorisation pour les installations classées pour la protection de l'environnement. L'étude de dangers est révisable à tout moment sur demande du Préfet.

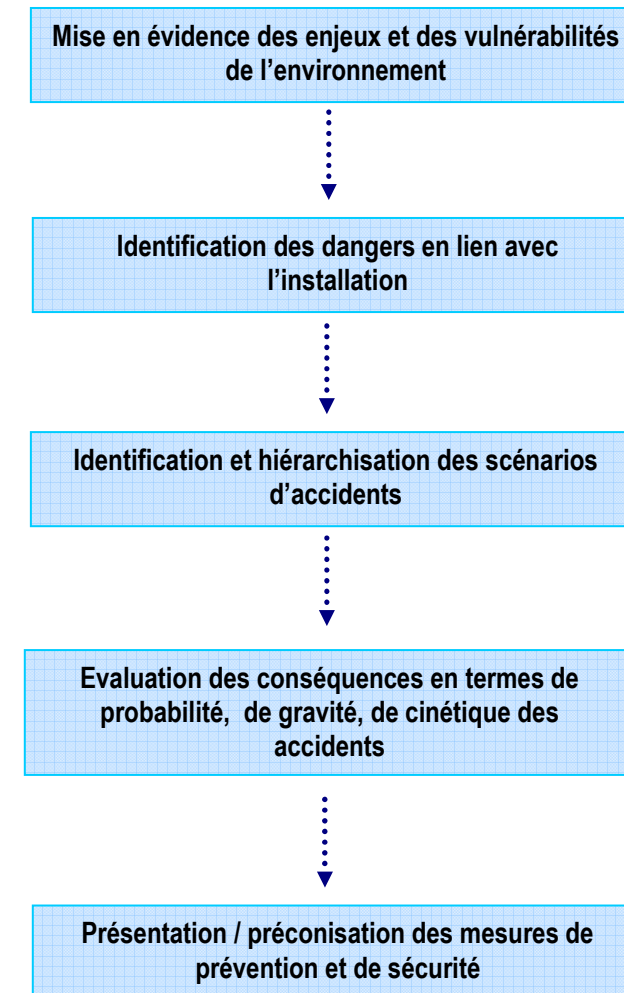
Les informations relevées doivent permettre d'identifier les sources de risque et de proposer différents scénarios d'accident envisageables ainsi que leurs effets sur les personnes et l'environnement.

Selon une méthodologie explicite, l'étude de dangers prend en compte la probabilité de survenue, l'intensité et les dégâts collatéraux induits ainsi que la gravité des conséquences des accidents potentiels. Elle présente également les mesures techniques et organisationnelles de maîtrise des risques envisagés ou à renforcer.

De façon synthétique, l'objectif de l'étude est de démontrer le niveau de maîtrise des risques de l'exploitant. La méthodologie de l'étude de dangers peut ainsi se résumer selon le logigramme suivant :



Afin de respecter cette logique, les étapes successives ci-dessous sont observées au fil de l'étude :



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 actuelles sont plus sûres et plus fiables grâce à de nombreuses évolutions technologiques telles que :

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

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

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

D'un point de vue législatif, 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 (Programme Pluriannuel des Investissements). 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 nouvelle réglementation, les exploitants sont notamment amenés à formaliser leur savoir-faire en matière de maîtrise des risques dans une étude de danger.

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.

Le déroulement de la présente étude est basé sur le **guide INERIS pour l'élaboration de l'étude de danger dans la cadre de parcs éoliens** (version de mai 2012). L'approche en termes de « risques associés à une installation éolienne » est générique puis adaptée aux contraintes et enjeux de l'environnement du site de Mailhac-sur-Benaize.

INTRODUCTION

Suite aux 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.

De plus, la loi **POPE** (loi de Programmation fixant les Orientations de la Politique Énergétique en France du 13 juillet 2005) a donné un cap à suivre pour les décennies suivantes. Cette loi a été 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.

L'éolien représente une des technologies les plus prometteuses pour atteindre les objectifs fixés par la France. Ainsi, l'arrêté du 15 décembre 2009, relatif à la programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité, a fixé des objectifs ambitieux pour l'énergie éolienne avec notamment une production de 19 000 MW terrestres et de 6 000 MW en mer en 2020.

Dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, les engagements de la France en matière de production d'énergies renouvelables ont été confirmés, précisés et élargis. La loi n°2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement (loi Grenelle I) prévoit que la France porte la part des énergies renouvelables à au moins 23 % de sa consommation d'énergie finale d'ici 2020. Ces trajectoires et objectifs ont été reconduits en 2015 avec **la Loi relative à la transition énergétique** (promulguée le 18 août 2015) et la croissance verte. Le scénario 2030 prévoit ainsi un objectif de 32 % d'énergies renouvelables (EnR) dans la consommation finale brute d'énergie et une part de 40 % d'EnR dans l'électricité produite avec une contribution essentielle de l'éolien.

En 2009, les énergies renouvelables représentaient 12.3% de la consommation énergétique (source INSEE - part des énergies renouvelables dans la consommation finale d'énergie). En 2014, ce chiffre s'élevait à 14.6% (source : Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie)

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

Au 30 juin 2015, la puissance installée en France atteignait ainsi 9,8 MW (source : FEE).

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

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

Elle précise l'ensemble des mesures de maîtrise des risques mises en œuvre sur le parc éolien de Mailhac-sur-Benaize, 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 aux principaux objectifs suivants :

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

1. PRÉSENTATION DU PROJET

Le projet éolien est présenté en détail dans l'étude d'impact mais aussi dans le dossier administratif et technique pour les aspects réglementaires et financiers.

Seule une présentation synthétique du projet est effectuée ci-après.

1.1 Caractéristique du projet

Le projet se compose de 7 éoliennes dont les coordonnées géographiques sont présentées dans le Tableau 2 ci-dessous.

	X	Y	Altitude
E1	568622.96	6578958.259	273
E2	568884.4368	6578523.798	279
E3	569103.6234	6577998.2648	277,5
E4	569440.102	6577702.484	285,5
E5	569749.4032	6577393.9645	282,4
E6	568317.2564	6577974.0899	286,5
E7	568606.068	6577495.609	287,2

TABLEAU 1 : COORDONNÉES DES ÉOLIENNES-LAMBERT 93

1.2 Rubriques concernées par l'installation

Les rubriques I.C.P.E concernées par la présente demande sont mentionnées dans le tableau ci-dessous :

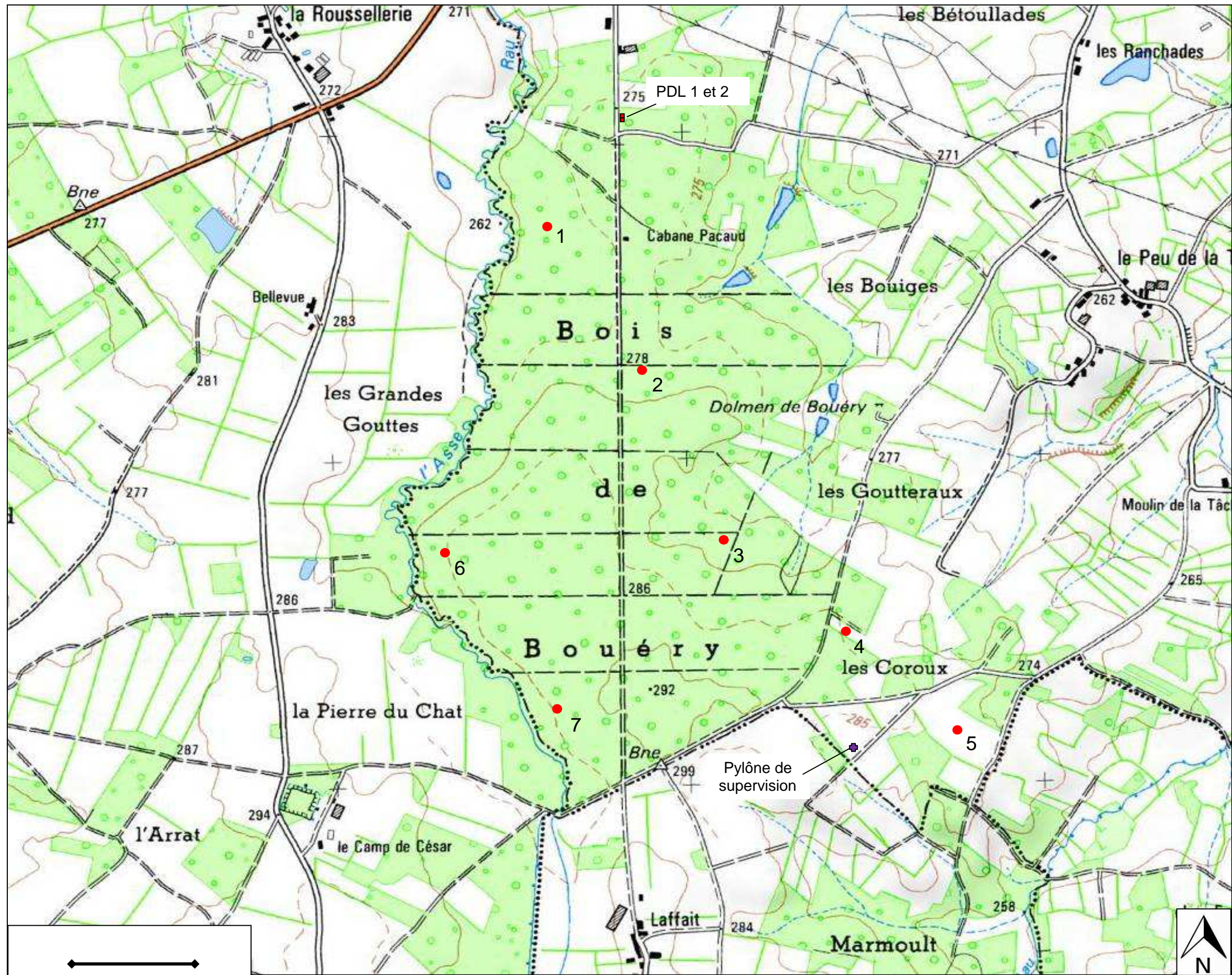
N° rubrique	Intitulé	Caractéristiques de l'installation	Classement
2980	Installation terrestre de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs	<p>1. Comprenant au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m : A</p> <p>2. Comprenant uniquement des aérogénérateurs dont le mât a une hauteur inférieure à 50 m et au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur maximale supérieure ou égale à 12 m et pour une puissance totale installée : a) Supérieure ou égale à 20 MW : A b) Inférieure à 20 MW : D</p>	<p>Parc éolien Mailhac sur Benaize :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 7 éoliennes - Hauteur de mât : 115 m - Puissance unitaire : 3.3 MW <p style="text-align: center;">A</p>

Note :

- D = régime de Déclaration - A = régime d'Autorisation
- la rubrique 2980 a été créée par le Décret n° 2011-984 du 23 août 2011.

TABLEAU 2 : CLASSEMENT ICPE DU PROJET

La carte n°1 ci-dessous présente la localisation des éoliennes.



CARTE 1: IMPLANTATION DES ÉOLIENNES SUR SUPPORT IGN

2. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'ÉTABLISSEMENT

2.1 Caractérisation et localisation des agresseurs d'origines externes

Des événements extérieurs au site peuvent agresser les installations et affecter son état de sécurité. Aussi, ce chapitre décrit les agressions potentielles externes d'origine naturelle et d'origine humaine.

1.1.1. Dangers d'agression d'origines naturelles

Une partie des informations présentées ci-dessous se recoupent avec les éléments contenus dans la partie état initial de l'étude d'impact. Néanmoins, ces données se doivent d'être rappelées, compte tenu de leur potentielle contribution à l'analyse de risques.

2.1.1.1 Foudre

2.1.1.1.1 Effets de la foudre

La foudre est un phénomène purement électrique produit par les charges électrostatiques de certains nuages.

Le courant de foudre associé est un courant électrique qui entraîne les mêmes effets que tout autre courant circulant dans un conducteur électrique. Il est impulsionnel, mais d'une tension très importante, avec une montée en intensité très raide. Les effets sont fonction des caractéristiques électriques des conducteurs chargés d'écouler le courant de foudre.

En conséquence, les effets possibles sont les suivants :

- effets thermiques (dégagement de chaleur) ;
- montée en potentiel des prises de terre et amorçage ;
- effets d'induction (champ électromagnétique) ;
- effets électrodynamiques (apparition de forces pouvant entraîner des déformations mécaniques ou des ruptures) ;
- effets électrochimiques (décomposition électrolytique).

En général, un coup de foudre complet dure entre 0,2 s et 1 s et comporte en moyenne quatre décharges partielles. Entre chaque décharge, chacune étant impulsionnelle, un faible courant de l'ordre de la centaine ou du millier d'ampères continue à s'écouler par le canal ionisé. La valeur médiane de l'intensité d'un coup de foudre se situe autour de 25 kA.

Les éoliennes constituent des points hauts dans un paysage et sont donc des installations sujettes au foudroiement.

2.1.1.1.2 Données réglementaires

- **Arrêté du 19 juillet 2011**, abrogeant l'arrêté du 15 janvier 2008 et modifiant l'arrêté du 4 octobre 2010 relatif à la prévention des risques accidentels au sein des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.
- **Norme NFC 17-100 de Décembre 1997** - Protection contre la foudre - Installations de paratonnerres.
- **Norme NFC 17-102 de septembre 2011** - Protection contre la foudre - Protection des structures et des zones ouvertes contre la foudre par paratonnerre à dispositif d'amorçage.
- Recommandations pour la protection des installations industrielles contre les effets de la foudre et des surtensions de l'U I C (Union des Industries Chimiques)- document de Juin 1991, mis à jour en Octobre 2000.
- **Norme IEC 61 400-24** relative à la conformité de la mise à la terre des installations.

2.1.1.1.3 Données météorologiques

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

Le Limousin est une région moyennement orageuse. Les impacts de foudre au sol sont plus fréquents dans le Sud-Est de la France et dans la chaîne des Pyrénées.

Les orages se rencontrent en toutes saisons sur la région. Leur fréquence est faible durant les mois d'hiver, mais néanmoins à un niveau proche de la moyenne nationale. En saison chaude, les orages sont fréquents : la probabilité quotidienne culmine à près de 50% durant les mois de mai, juillet et d'août, qui sont les mois les plus orageux de l'année en Limousin. La région s'illustre par des orages parfois virulents et producteurs de grêle au cœur de la saison estivale

En moyenne, les départements de la région Limousin enregistrent 50 à 60 jours avec orage chaque année, ce qui est proche de la moyenne nationale. Le territoire concerné présente un nombre moyen d'impact de foudre de 0,5 à 1 impact par km² par an (source : Météorage), inférieur à la moyenne nationale (la commune est classée 28 448^{ème} en terme de densité d'arc).

La Densité de flashes (Df) peut être déduite de la densité d'arcs par la relation suivante :

$$Df = Da / 2,1$$

Les calculs sont réalisés pour chacune des 36 000 communes de France à partir de la Base de Données Foudre sur les dix dernières années.

Les résultats ci-dessous sont fournis par Météorage à partir des données du réseau de détection des impacts de foudre :

	Da (arcs/km ² /an)	Df (arcs/km ² /an)
MAILHAC-SUR-BENAIZE	0,98	0,46
France (moyenne)	1,55	0,74

TABLEAU 3 : DONNÉES Foudre SUR LES SITES D'IMPLANTATION (SOURCE : MÉTÉORAGE)

2.1.1.1.4 Risques liés à la foudre

Sur l'éolienne, l'impact de foudre peut avoir pour conséquences :

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

Le niveau de risque foudre dépend de la zone d'implantation et il n'est pas possible d'agir à la source pour diminuer celui-ci. Néanmoins, des mesures sont prises pour assurer une protection contre les effets de la foudre sur les installations, à savoir :

- mise en place de pastilles métalliques sur l'extrémité et à intervalles réguliers sur les deux faces des pales de façon à capter le courant de foudre ;
- raccordement de ces pastilles à un conducteur métallique disposé à l'intérieur de la pale ;
- mis en place d'un dispositif spécifique dit LCTU (Lightning Current Transfer Unit) qui assure la continuité électrique entre la pale et le châssis de la nacelle (par deux contacts glissants) ;
- connexion du châssis et de la majorité des équipements de la nacelle, à la tour métallique, elle-même reliée au réseau de terre disposé en fond de fouille ;
- mise en place des dispositifs de capture de foudre autour des capteurs de vents et des dispositifs de balisage, raccordés électriquement au châssis de la nacelle ;
- mise en place de blindages et de dispositifs para-surtenseurs sur les circuits électriques.

Malgré la présence de ces dispositifs, les impacts de foudre sont encore des causes fréquentes de dommages aux pales. La mise en place d'un « copper cap » (pastille de choc foudre, en générale faite de cuivre) permet de renforcer la protection et de limiter les dommages aux extrémités de pales.

2.1.1.1.5 Étude préalable Foudre

L'étude préalable du risque foudre n'est pas exigée pour ce type d'installation selon l'article 2 de l'arrêté du 19 juillet 2011, relatif à la prévention des risques accidentels au sein des installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.

2.1.1.2 Basses températures

Les basses températures, notamment les températures négatives sont le facteur nécessaire à la formation de givre sur les pales ou sur l'éolienne. Le givre ou la glace qui s'accumule sur les pales peut entraîner un déséquilibre du rotor et donc diminuer le rendement de la machine. Les amas de glace peuvent également se détacher et tomber au sol sous l'éolienne, lorsque la machine est à l'arrêt ou être projetés dans un périmètre restreint.

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

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

Les éoliennes sont construites en standard pour des températures pouvant atteindre - 20 °C.

Compte tenu de l'altitude moyenne (de 270 à 290 m) de l'aire d'implantation des machines sur le site, le nombre de jours moyen où la température minimale est inférieure à 0°C (risque de gel) est de 41 jours.

2.1.1.3 Séismes

Un séisme est un phénomène vibratoire qui peut affecter la stabilité de l'éolienne et ainsi provoquer un effondrement de l'éolienne. Néanmoins, l'examen des données d'accidentologie ne fait pas apparaître d'accident dont la cause serait un séisme. De plus, les conséquences d'un tel évènement resteraient limitées à une distance égale à la hauteur de l'éolienne.

Le zonage sismique divise le territoire national en cinq zones de sismicité croissante en fonction de la probabilité d'occurrence des séismes (articles R563-1 à R563-8 du Code de l'Environnement modifiés par les décrets n° 2010-1254 du 22 octobre 2010 et n° 2010-1255 du 22 octobre 2010).

La commune de Mailhac-sur-Benaize se classe en zone de sismicité faible (zone 2). Bien que faible, ce niveau de risque sera pris en compte dans le cadre des règles de construction et de dimensionnement des ouvrages associés au projet.

2.1.1.4 Mouvements de terrains et affaissements

En termes d'historique, et selon les bases de données du BRGM, aucun mouvement de terrain et affaissements ne sont répertoriés sur le site et dans les alentours.

La zone n'est donc pas concernée par les mouvements de terrain et affaissements.

L'enjeu sur la zone de projet est donc considéré comme faible.

2.1.1.5 Inondations

Le site d'implantation potentielle n'est pas concerné par l'aléa inondation, l'atlas des zones inondables indique que la plus proche zone est un cours d'eau situé à 2.5 km minimum des zones d'implantation envisagées.

2.1.1.6 Vents extrêmes

Selon la nouvelle définition des zones de vent « NV 65 », le département de la Haute-Vienne est classé en zone 1 (sur une échelle de 1 à 4 en Métropole).

Un mât de mesure du vent de 79,5 m a été installé par le porteur de projet (date d'installation : 07/08/2014). Les données de vitesse et d'orientation du vent ont également été recueillies

La vitesse moyenne annuelle du vent sur la commune de Mailhac-sur-Benaize est de 5,24 m/s, soit 18 km/h, à environ 78 m du sol. (source : EDF EN – Statistiques 6 mois de mesures sur le mât de 80m de Mailhac).

Les rafales maximales de vent mesurées sur les trente dernières années par Météo France à proximité ont atteint entre 24 et 33m/s.

La rose des vents est présentée sur la figure suivante.

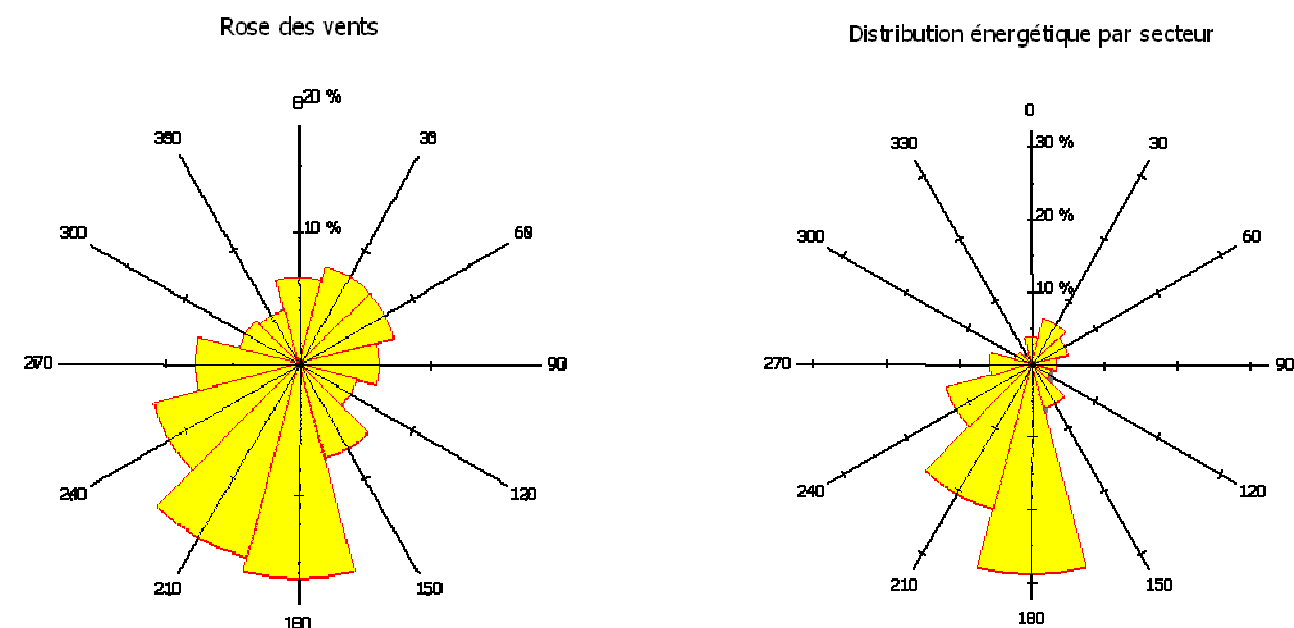


FIGURE 1 : ROSE DES VENTS ET ROSE ÉNERGÉTIQUE – GIROUETTE G1 PÉRIODE DU 07/08/2014 AU 07/02/2015 (SOURCE : EDF EN)

Au niveau du projet, les vents forts peuvent conduire à des efforts significatifs sur l'éolienne. Celle-ci sera néanmoins conçue pour répondre à une classe de vents adaptée au site d'implantation. Les vitesses de vent importantes (au-delà de 25 m/s soit plus de 90 km/h) conduisent à la mise en drapeau des pales (système de freinage conduisant à orienter les pales de façon à ce qu'elles ne présentent plus aucune prise au vent).

Les roses des vents sont également des données importantes. Elles fournissent en effet des informations susceptibles d'avoir une influence sur le niveau d'exposition des différentes zones à proximité des futures machines face à certains risques associés (projections).

2.1.1.7 Incendie d'origine externe

Le site d'implantation n'est pas situé sur des zones sensibles aux feux de forêts lors des périodes les plus sèches. (SOURCE : Prim.net)

Pour information, les risques associés aux feux de forêts pour l'installation sont une perte d'intégrité de la machine avec des sur-accidents possibles.

2.1.1.8 Précipitations extrêmes

Le climat de Mailhac-sur-Benaize est dit océanique. Sur 30 ans, la moyenne annuelle des précipitations était de 1 047 mm, ce qui est sans excès mais supérieure à la moyenne nationale (867 mm / an).

Les précipitations extrêmes ne représentent pas, à priori, de danger particulier pour l'installation.

1.1.2. Dangers d'agression d'origines humaines

2.1.1.9 Risques liés aux installations voisines

Le contexte agricole et forestier rend la présence d'installations industrielles peu probable.

À noter d'autre part qu'il n'y a pas de présence d'une ligne de transport à haute tension ni de ligne HTA dans l'aire d'étude immédiate. La ligne de haute tension la plus proche est une ligne de 90 kV à 730 m au Nord de l'éolienne n°1.

Il n'y a pas d'autres installations remarquables à proximité (captage, réseau gaz/eau, réseau ferré...).

2.1.1.10 Acte de malveillance

Bien que rares, ces risques sont variables (incendie, sabotage, vol, destruction de l'outil de travail...) et ne doivent pas être négligés.

2.1.1.11 Risques liés aux réseaux et transports

En ce qui concerne le réseau routier, la Départementale D2 passe à proximité de l'éolienne n°1 à 620 m au Nord-Ouest. De plus, un chemin communal longe la zone d'implantation côté Ouest. Les éoliennes n°1 et 6 sont les plus proches de ce chemin, situé respectivement à 530 m et 510 m.

Concernant le réseau ferroviaire, la voie la plus proche voie se situe à 12 km de la zone d'implantation des machines (Au Nord de la commune La Souterraine).

Pour les risques associés aux avions et aéronefs, l'aéroport le plus proche est celui de Limoges au Sud à 50 km et l'aérodrome le plus proche est celui de Gueret au Sud-Est, situé à près de 50 km de l'aire d'étude immédiate.

Le site d'implantation n'est donc pas exposé aux risques liés aux réseaux et chutes d'aéronefs.

2.2 Caractérisation et localisation des enjeux ou éléments vulnérables

2.2.1 Urbanisation

Le projet s'insère dans une zone rurale.

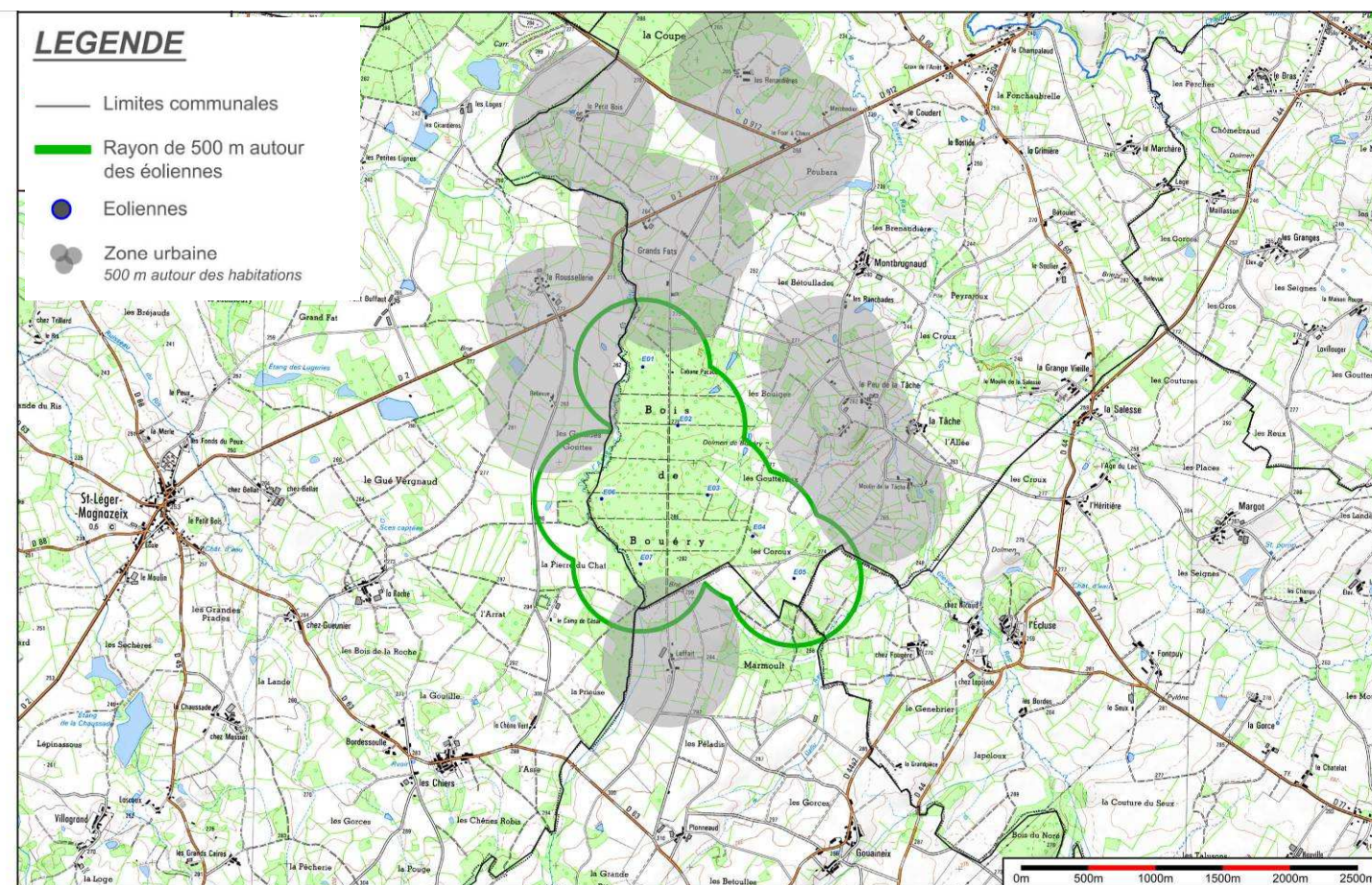
Conformément à la loi n°2010-788 du 12 juillet 2010, les premières habitations doivent être à plus de 500 m des mâts des futures éoliennes.

Sur le site, les habitations les plus proches des futures machines sont :

- lieu-dit « Laffait », à 620 m au Sud-Est de l'éolienne n°7
- lieu-dit « Le Grand Fat » à environ 650 m au Nord de l'éolienne n°1,
- lieu-dit « Bellevue », à 670 m à l'Ouest de l'éolienne n°1,
- lieu-dit « La Roussellerie » à environ 680 m au Nord-Ouest de l'éolienne n°1,
- lieu-dit « Le Camp de César », à environ 750 m à l'Ouest de l'éolienne n°7,

La carte suivante présente les périmètres d'exclusion de 500 m autour des zones urbanisées et urbanisables dans un périmètre d'environ 1 km autour de la zone de projet

À noter que l'étude d'impact dans sa partie « état initial sur le milieu humain » fait un point complet sur le classement des zones concernées par le projet au sein des documents locaux d'urbanisme.



CARTE 2: ZONES D'EXCLUSION ASSOCIÉES AUX ZONES URBANISÉES ET URBANISABLES

2.2.2 Infrastructures

2.2.2.1 Routes

L'axe de circulation routière le plus proche est la départementale D2. Elle draine un trafic de inférieur à 1000 véhicule par jour (source : CG87).

À noter qu'un réseau de chemins communaux desservant les hameaux de la zone est également présent à proximité de la zone d'implantation du projet éolien.

2.2.2.2 Autres infrastructures de transport

Aucune autres infrastructures de transport (chemin de fer, voie navigable, aéroport, aérodrome) ne se situent dans un périmètre proche du site.

2.2.2.3 Réseau énergie public et privé

Aucun réseau énergie public et privé ne se situe dans l'aire immédiate. La ligne de haute tension la plus proche est une ligne de 90 kV à 730 m au Nord de l'éolienne n°1.

2.2.2.4 Captage d'eau potable

Aucun captage d'eau destinée à la consommation humaine pour un usage collectif n'est présent sur la zone d'implantation à l'étude (source : ARS, Agence Régionale de Santé).

2.2.3 Autres enjeux liés à l'environnement humain

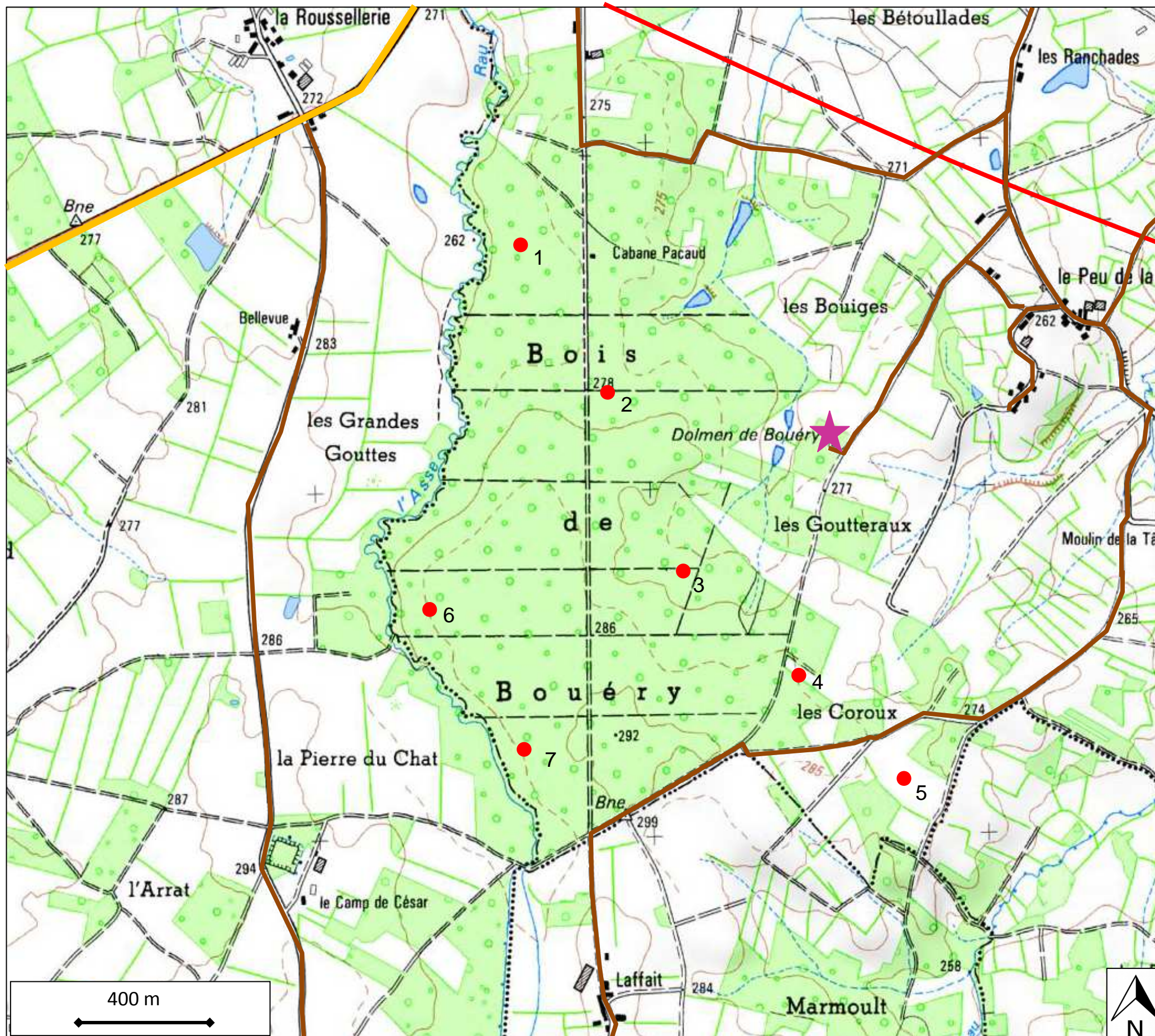
Les autres enjeux liés à l'environnement humain sont :

- L'activité cynégétique : le territoire est une zone de chasse. La présence potentielle des chasseurs sera prise en compte.
- L'activité forestière et agricole : le site est en zone rural. Les parcelles d'implantation des éoliennes sont exploitées à des fins forestières.
- Activité touristique : Un Dolmen est présent dans le bois de Bouéry, il s'agit du Dolmen de Bouéry. Ce Dolmen est susceptible d'accueillir des visiteurs mais en quantité restreinte.






2.2.4 Environnement naturel

L'environnement naturel est largement décrit dans l'état initial du dossier étude d'impact.

Les mesures proposées par l'exploitant afin de maîtriser les risques en cas d'incident sur site y sont également détaillées.



Légendes

-  Départementale 2
-  Chemin communal
-  Ligne haute tension
-  Dolmen de Bouéry
-  Implantation éolienne

CARTE 3: POSITIONNEMENT DES ÉOLIENNES PAR RAPPORT AUX DIFFÉRENTS ENJEUX

3. ANALYSE DU RETOUR D'EXPÉRIENCE

Avant d'établir une détermination des risques présentés par les installations du futur parc, il convient de s'imprégner de l'accidentologie fournie par le retour d'expérience sur des domaines d'activités similaires.

En effet, les accidents constituent une source d'information de premier ordre en ce qui concerne la sécurité, que ce soit en matière de prévention, de protection ou encore d'intervention.

L'état des accidents répertoriés dans le cadre d'activités similaires proviennent des sources suivantes :

- De la base ARIA du BARPI (Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industriels) ;
- du rapport ministériel sur la sécurité des installations éoliennes datant de juillet 2004 ;
- de données collectées sur des sites professionnels traitant du domaine de l'éolien ;
- le groupe technique Études de Dangers du SER FEE (Syndicat des Énergies Renouvelables – France Energie Éolienne) ;
- du guide technique pour la conduite de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens (INERIS - Mai 2012).

Cette étape d'analyse de l'accidentologie permet, le cas échéant, de compléter la liste des événements redoutés.

3.1 Sélection des accidents

Les accidents répertoriés sur les 10 dernières années en France, pour les éoliennes sont présentés en annexe 2.

Ce tableau présente 29 accidents, certains sites spécialisés relatent d'accidents relatifs aux éoliennes depuis le début des années 80. Ces 10 dernières années, la diversité d'accidents due aux éoliennes s'est réduite avec essentiellement des incendies, des chutes et projections de pales comme types d'accidents dominants.

D'autre part, le groupe de travail « Etudes de Dangers » du SER - FEE a également réalisé un travail de synthèse en avril 2011 sur l'accidentologie des parcs éoliens en France.

Le nombre d'accident répertoriés par ce groupe de travail est assez similaire à celui retenu dans cette analyse (29 accidents répertoriés par BARPI). Cette étude complémentaire effectuée par SOCOTEC met notamment en évidence que le nombre d'incidents recensés n'augmente pas proportionnellement au nombre d'éoliennes en exploitation dans le parc éolien français. La figure suivante illustre cette observation.

Enfin, l'INERIS, dans son guide technique pour la conduite de l'étude de dangers dans le cadre de parcs éoliens, propose également une sélection de 32 accidents.

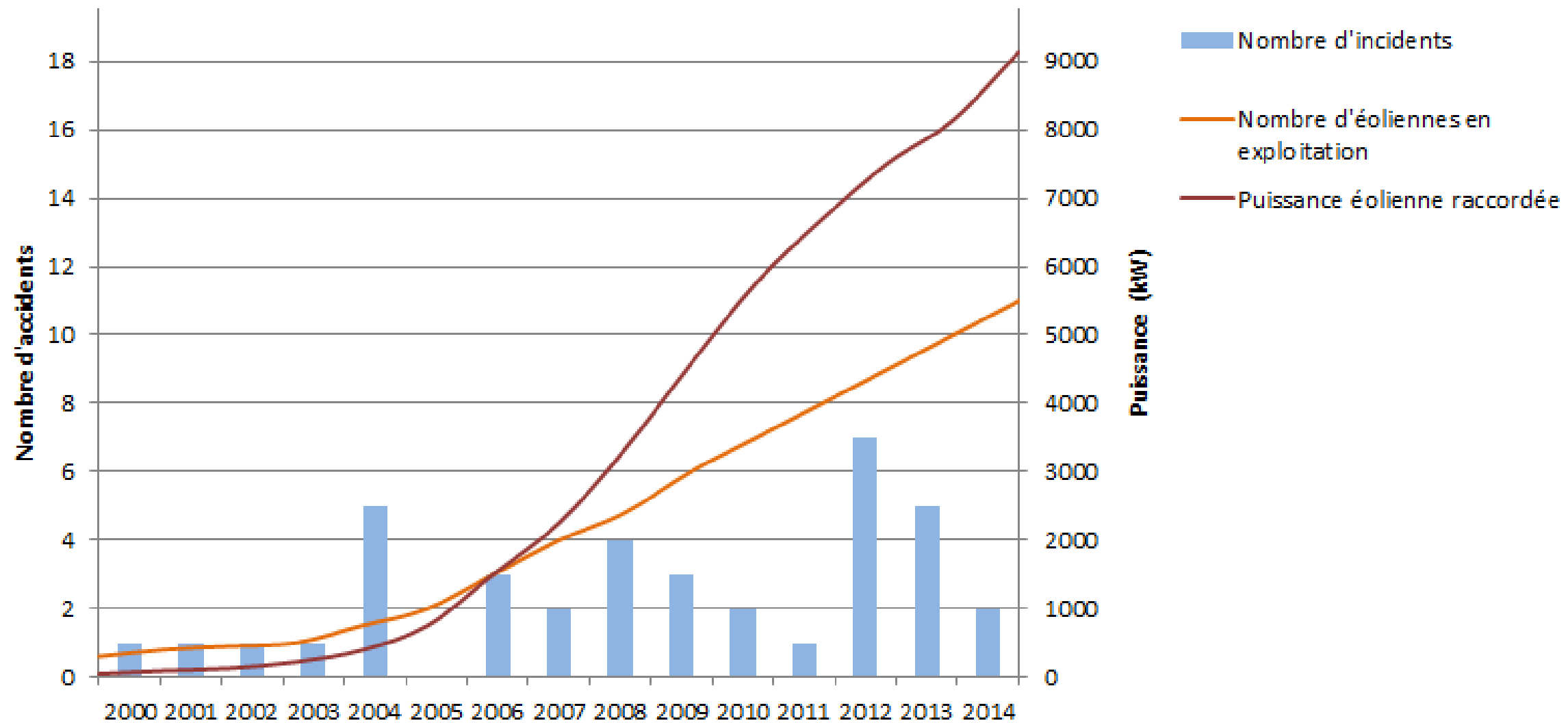


FIGURE 2 : EVOLUTION DU PARC ÉOLIEN FRANÇAIS ET DU NOMBRE D'ACCIDENTS (SOURCE : SOCOTEC)

3.2 Analyse des causes et des conséquences

3.2.1 Analyse des causes

L'analyse des causes est un point essentiel pour bénéficier du retour d'expérience accidentologie. Les événements pour lesquels aucune information ne permet de définir une cause probable ont été éliminés.

Causes identifiées	Nombre	Pourcentage
Erreur de conception	5	17
Dysfonctionnement d'un organe de sécurité	6	21
Condition météorologique	7	24
Erreur humaine (maintenance)	6	21
Choc / collision	0	0
Malveillance	1	3
Non précisée	4	14
Total	29	100

TABLEAU 4 : ANALYSE DES CAUSES DE L'ACCIDENTOLOGIE (2004 – 2014 / SOCOTEC)

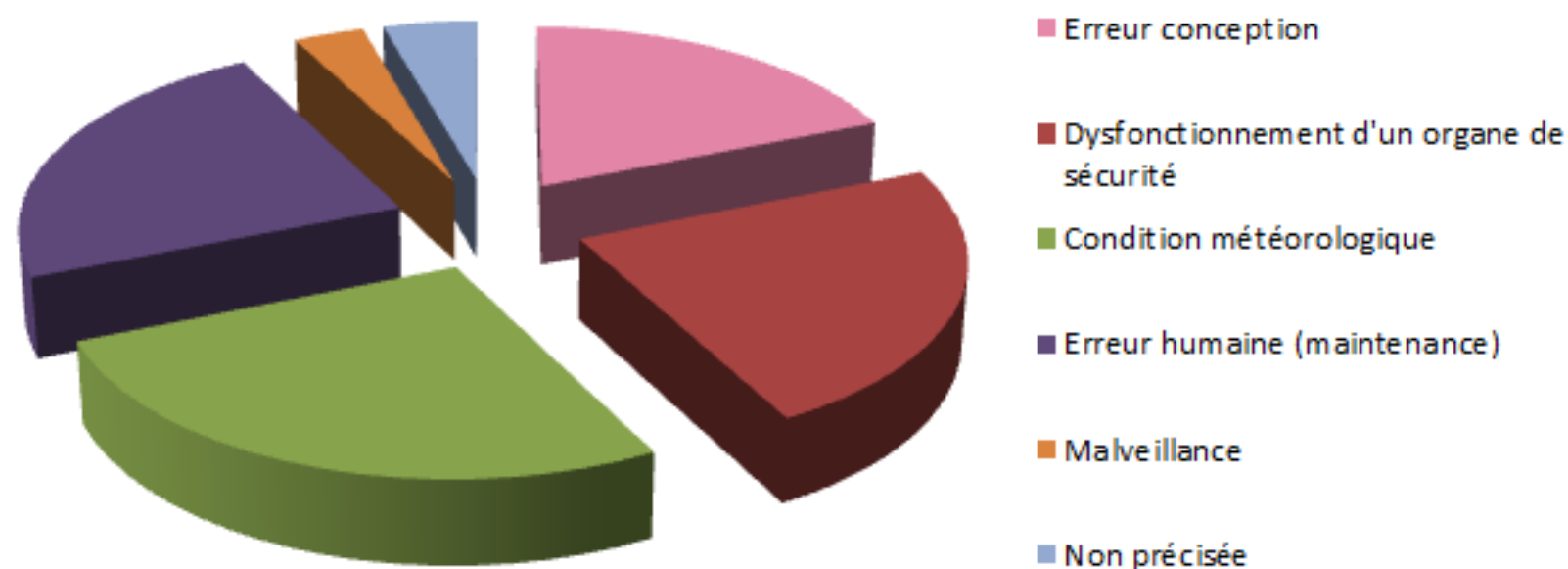


FIGURE 3 : RÉPARTITION DES CAUSES DE L'ACCIDENTOLOGIE ENTRE 2005 ET 2014 (SOURCE : SOCOTEC)

La majorité des accidents concernant les éoliennes se produit lors des conditions météorologiques perturbées et conduit dans la plupart des cas à des ruptures de pales, des projections de débris ou à des effondrements. Les erreurs de maintenance et les dysfonctionnements d'un organe de sécurité représentent également une part significative des causes de l'accidentologie.

L'étude menée par le SER-FEE mène au même type de conclusion, si ce n'est qu'aux conditions météorologiques perturbées, il faut bien souvent ajouter la concomitance de la défaillance d'un composant de la machine (ex : fort vent + défaillance du dispositif de freinage).

L'analyse d'autres sources de données mentionne la foudre comme événement initiateur de bris de pales ou d'incendie. L'analyse du SER-FEE sur sa propre base de données retient d'ailleurs la foudre comme événement initiateur dans près de 10% des cas (3 cas sur 32).

L'étude de l'INERIS a complété le travail réalisé par le SER-FEE sur cette thématique au cours de l'année 2011/2012.

Ainsi, l'INERIS met en évidence sur les 32 accidents répertoriés que les aérogénérateurs accidentés sont principalement des modèles anciens ne bénéficiant généralement pas des dernières avancées technologiques.

La figure suivante montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2005 et 2014. L'identification des causes est nécessairement réductrice. Dans ce graphique sont présentées :

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

3.2.2 Bilan des conséquences

Le tableau ci-dessous présente un bilan des effets rencontrés suite aux divers accidents répertoriés.

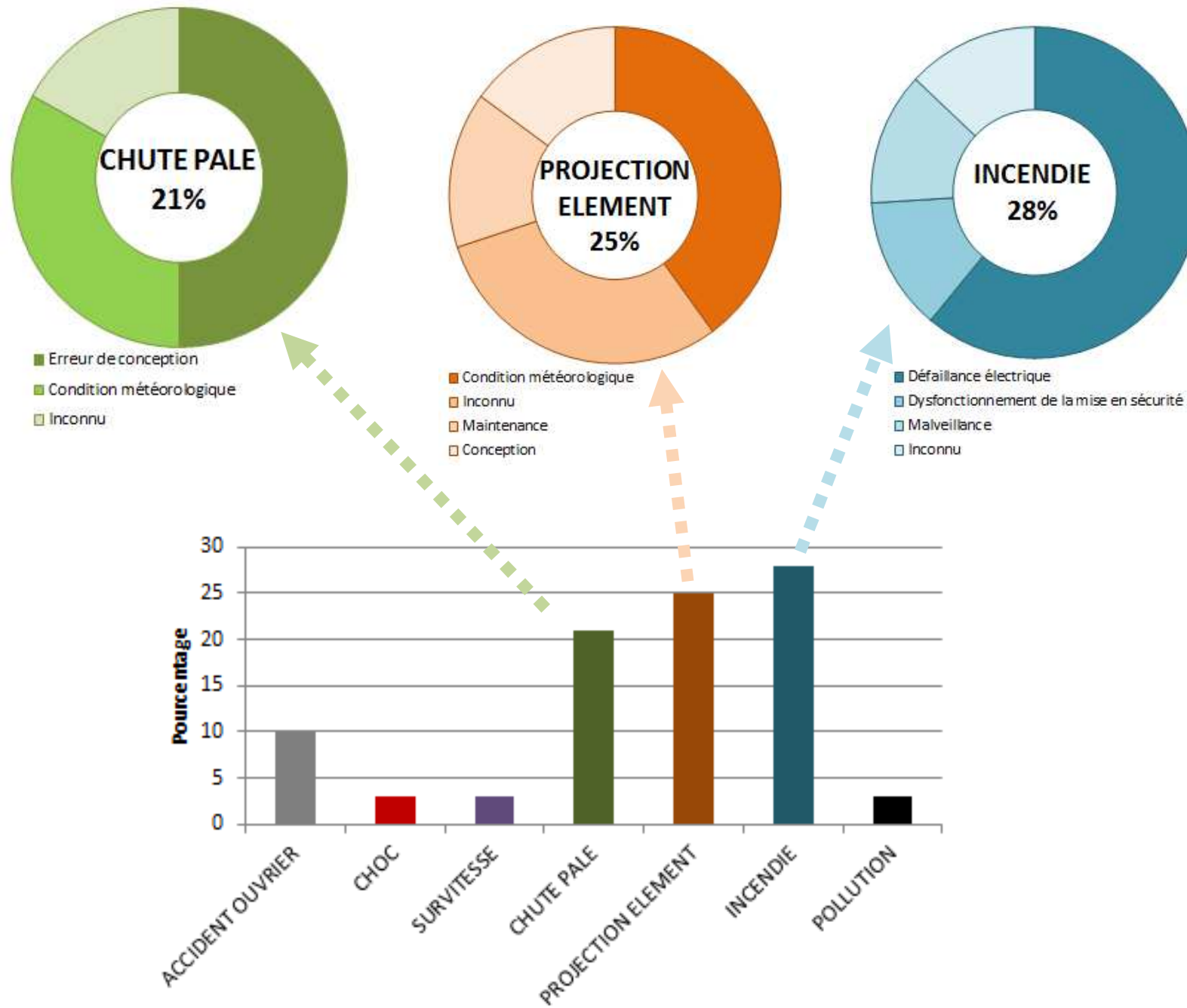


FIGURE 4 : RÉPARTITION DES ÉVÈNEMENTS ACCIDENTELS ET DE LEURS CAUSES SUR LE PARC ÉOLIEN FRANÇAIS ENTRE 2005 ET 2014 (SOURCE : SOCOTEC)

Événement	Nombre	Pourcentage
Chute de pale	4	13
Effondrement	5	17
Incendie	2	6
Collision	1	3
Survitesse	1	3
Pollution	2	6
Accident de travail	5	17
Projection d'élément	9	29
Non précisée	2	6
Total	31	100

TABLEAU 5 : BILAN DE L'ACCIDENTOLOGIE ENTRE 2005 ET 2014 (SOURCE : SOCOTEC)

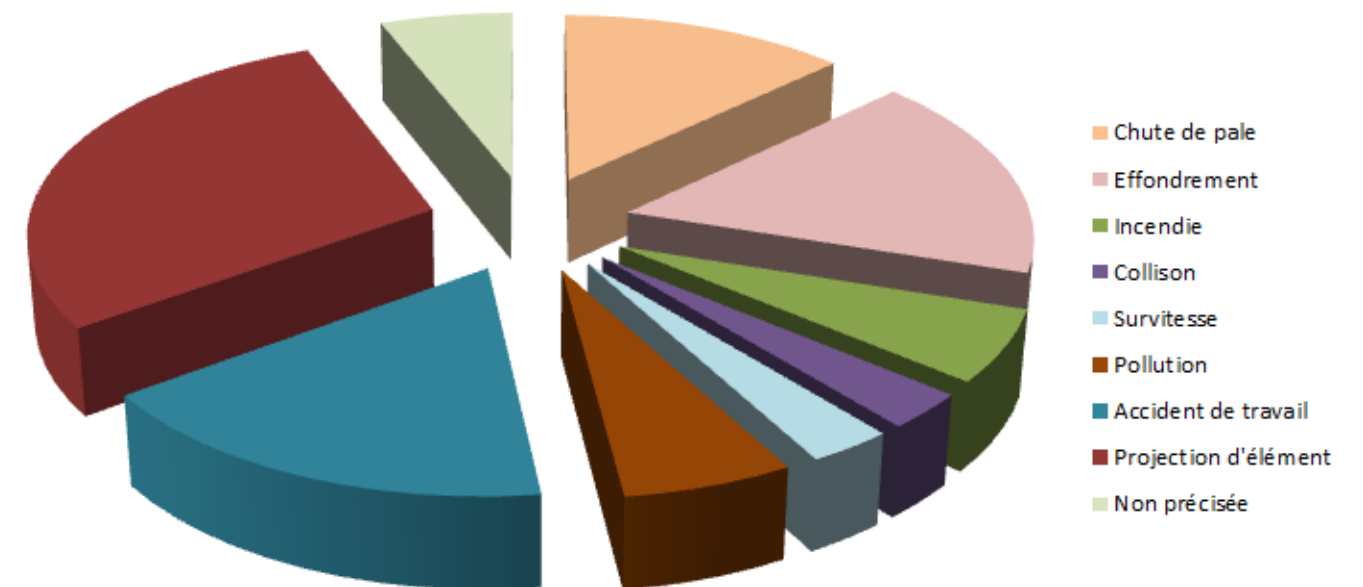


FIGURE 5 : RÉPARTITION DES CONSÉQUENCES DE L'ACCIDENTOLOGIE (2005 - 2014 / SOCOTEC)

Dans environ 29 % des cas les effets sont des projections d'éléments de l'éolienne. Dans 17% des cas, ce sont des effondrements d'éoliennes ainsi que des accidents du personnel.

D'autre part, la base de données relative au domaine de l'énergie éolienne, tenue à jour par Paul Gipe (site www.wind-works.org), fait état de 80 décès dans le monde (données de 12/2012) depuis 1975 (le nombre de décès actuel est de l'ordre de 3 par an). Ces décès sont surtout constatés parmi les personnels de montage ou de maintenance. On notera néanmoins le décès de 4 personnes du public, mais non directement lié à l'éolienne (ex : accident lors du transport, collision d'un parachutiste avec l'éolienne).

À ce jour, il y a près de 339.6 GW de puissance éolienne installées dans le monde (source « consult windpower »), soit 15 815 parcs éoliens, soit certainement plus de 100 000 éoliennes, et **aucun accident mortel impliquant directement la machine (par chute ou projection d'objet) et affectant les personnes tierces n'est à déplorer.**

3.2.3 Enseignements retirés

Les mesures de réduction du risque des événements issus de l'accidentologie sur des parcs éoliens sont présentées de manière synthétique dans le tableau suivant.

Événement	Mesures pour réduire le risque sur l'unité
Survitesse de la turbine	Capteur de vitesse de vent alarmé avec arrêt par le système de conduite pour des vents supérieurs à 25 m/s (mise en drapeau de la turbine) Arrêt sur survitesse du rotor par le système de sécurité (détection de survitesse)
Effondrement	Etude préalable de sol Calcul des fondations selon les normes en vigueur Contrôle des calculs et des travaux
Incendie	Capteurs de température avec alarmes Alarme de niveau sur les circuits d'huiles Vérification périodique des organes de sécurité DéTECTEURS de fumée dans la nacelle Fire Protection System Protection foudre (mise à la terre + para-surtenseurs) Choix des matériaux DéTECTEUR de présence
Rupture de pale	Choix des matériaux adaptés aux contraintes Essais de résistance et de fatigue sur séries prototypes avec validation par une société de contrôle Contrôles lors de la fabrication Protection foudre Contrôle ultrasonore sur l'ensemble des pièces Détection visuelle de la corrosion dans les alésages et remplacement à terme par un procédé instrumenté conçu spécifiquement
Collision	Luminaire d'aviation sur chaque turbine (diurne et nocturne)
Pollution	Excavation de la terre polluée
Projection d'élément	Formation poussée des techniciens sur les aspects risques Dispositif de ralentissement aérodynamique en bout de pale

TABEAU 6 : MESURES DE RÉDUCTION DES RISQUES

3.3 Conclusion sur le retour d'expérience

L'analyse du retour d'expérience nous permet d'identifier les principaux événements redoutés suivants :

- effondrements ;
- projection d'éléments ;
- accident de travail ;
- chutes de pales et d'éléments de l'éolienne ;
- incendie.

Le travail de l'INERIS sur l'accidentologie des parcs éoliens a également permis de mettre en évidence que l'importante évolution des technologies depuis 2005 a une influence significative sur le niveau de risque que présentent les aérogénérateurs.

Il est ainsi proposé dans la suite de l'étude de retenir les estimations issues de la période 2005-2014 pour l'étude détaillée des risques dans la mesure où les éoliennes concernées sont en conformité avec la norme **NF EN 61400-1** (ou toute autre norme équivalente).

Ce choix permet de tenir compte des éléments suivants :

- les évolutions technologiques que le secteur éolien a connues depuis 2005 ;
- un nombre important d'accidents relevés qui concerne des éoliennes employant des technologies aujourd'hui non-utilisées et/ou construites par des entreprises qui ne sont plus sur le marché ;
- une fréquence annuelle d'accident en baisse depuis 2004 pour les événements de ruptures de tout ou une partie de pale.

4. LES POTENTIELS DE DANGERS

4.1 Dangers liés aux produits

Cette première étape a pour objectif d'identifier et de caractériser les dangers (inventaire et nature des produits mis en œuvre, équipements présents, conditions d'exploitation des parcs éoliens, interactions des utilités).

Elle est réalisée notamment sur la base des Fiches de Données de Sécurité (FDS) des produits, de la nature et des caractéristiques techniques des éoliennes, des procédures d'exploitation.

A l'issue de cette étape, les événements redoutés liés à chaque installation ou équipement d'exploitation peuvent être mis en évidence et les dangers localisés au sein des parcs éoliens.

Rappelons que l'étude de danger a pour principal objectif d'identifier les risques sur les tiers. Lorsque l'analyse de risque ou le recensement des dangers liés aux produits fait apparaître un enjeu en lien avec l'environnement (faune, flore, eau, air, bruit, ...), cet aspect est traité dans l'étude d'impact plutôt que dans le présent document.

4.1.1 Inventaire des produits

Les substances ou produits chimiques mis en œuvre dans l'installation sont dépendants du fournisseur qui sera retenu.

Quels qu'ils soient, les produits dangereux mis en œuvre dans l'installation resteront limités.

Les produits susceptibles d'être présents en phase d'exploitation seront :

- L'huile hydraulique (circuit haute pression) dont la quantité présente est de l'ordre de quelques centaines de litres.
- L'huile de lubrification du multiplicateur (également quelques centaines de litres).
- L'eau glycolée (mélange d'eau et d'éthylène glycol), qui est parfois utilisée comme liquide de refroidissement (quelques centaines de litres)
- Les graisses pour les roulements et systèmes d'entraînements ;
- L'hexafluorure de soufre (SF₆), qui est le gaz utilisé comme milieu isolant pour les cellules de protection électrique. La quantité présente varie suivant le nombre de caissons composant la cellule mais ne représente en tout que quelques kilogrammes.

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

Il est important de noter que selon le choix sur le type de machine qui sera effectué par le développeur, les produits cités ci-dessus seront présents en quantité plus ou moins significative (exemple : pas ou peu d'huiles hydrauliques dans les modèles de la marque ENERCON). Cette étude de dangers retient comme hypothèse que l'ensemble de ces produits à risques seront présents.

4.1.2 Dangers intrinsèques des produits

Inflammabilité et comportement vis à vis de l'incendie

- Les huiles, les graisses et l'eau glycolée ne sont pas des produits inflammables. Ce sont néanmoins des produits combustibles qui sous l'effet d'une flamme ou d'un point chaud intense peuvent développer et entretenir un incendie. Dans les incendies d'éoliennes, ces produits sont souvent impliqués.
- Certains produits de maintenance peuvent être inflammables mais ils ne sont amenés dans l'éolienne que pour les interventions et sont repris en fin d'opération.
- Le SF₆ est pour sa part ininflammable.

Toxicité pour l'homme

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

Dangerosité pour l'environnement

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

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

En conclusion, il ressort que les produits utilisés sur un parc éolien présentent les dangers suivants :

- risque incendie du fait de la combustibilité,
- risque de pollution des eaux ou des sols en cas de déversement.

4.2 Dangers liés aux équipements

Le tableau ci-dessous présente les dangers pour chaque équipement présent dans un parc éolien, en phase d'exploitation.

Équipements	Fonction	Causes	Dangers associés
Fondation	Support et ancrage de l'éolienne	Conditions météo Erreur de conception	Effondrement de l'éolienne
Cellules de protection / isolement	Protection des éoliennes contre les surintensités et autres dysfonctionnements électriques	Condition météo (foudre) Dysfonctionnement (court-circuit)	Incendie Explosion de cellule
Mât	Supporter la nacelle	Conditions météo Erreur de conception	Rupture mât Effondrement de l'éolienne
Pale / rotor	Capter l'énergie du vent et la transmettre à la chaîne cinématique. Assurer une vitesse de rotation stable	Conditions météo Erreur de conception Défaillance mécanique Choc externe	Emballement Bris de pales et projection Chute d'éléments Chute de glace
Nacelle	Supporter le rotor et abriter les équipements de la chaîne cinématique, la génératrice, le transformateur et les ensembles de régulation de puissance.	Conditions météo Erreur de conception Dysfonctionnement d'équipements internes	Chute de nacelle Incendie
Multiplicateur	Transmettre le mouvement entre le rotor et la génératrice en augmentant la vitesse de rotation	Dysfonctionnement régulation Défaillance équipement	Casse machine Fuite d'huile Échauffement / Incendie
Génératrice	Transformer l'énergie mécanique en énergie électrique	Conditions météo (foudre) Dysfonctionnement régulation Défaillance équipement	Casse machine Incendie
Armoire de régulation	Régulation de la puissance envoyée sur le réseau	Conditions météo (foudre) Dysfonctionnement régulation Défaillance équipement (court-circuit)	Incendie
Transformateur	Adapter la tension de sortie génératrice à celle du réseau	Conditions météo (foudre) Dysfonctionnement régulation Défaillance équipement court-circuit	Incendie
Utilités : circuit hydraulique de refroidissement	Assurer le graissage et la transmission des commandes. Limiter les échauffements	Défaillance équipement Dysfonctionnement régulation Conditions météo	Fuite de fluide Échauffement / Incendie

TABLEAU 7 : POTENTIELS DE DANGER DES ÉQUIPEMENTS

4.3 Dangers liés aux phases transitoires et travaux

4.3.1 Phase construction

La construction d'une éolienne, et par conséquent d'un parc éolien se fait en plusieurs étapes. Cette première phase débute par la mise en place de la fondation en béton armé. Par la suite, l'éolienne est amenée sur le site en plusieurs éléments :

- Les pales ;
- Le rotor ;
- Les sections du mât ;
- La nacelle.

Les équipements internes à la nacelle (berceau support, multiplicateur, génératrice, transformateur, ...) sont préalablement assemblés en usine.

La nacelle ainsi que les autres éléments sont amenés sur site par convois exceptionnels.

Les sections du mât sont tout d'abord levées avec une grue puis fixées sur la fondation les unes après les autres. La grue vient positionner la nacelle sur la dernière section. Enfin le rotor puis les pales sont à leur tour fixés.

Cette phase de montage s'effectue sur un à deux jours. Les raccordements internes ainsi que les essais puis le raccordement au réseau prennent ensuite quelques semaines. L'étude d'impact présente plus en détail cette phase de construction.

Les potentiels de dangers liés aux différentes étapes de montage des éoliennes sont présentés dans le tableau suivant.

Phase	Potentiel de danger
Réalisation des fondations	Circulation d'engins de chantier
Transport des équipements sur site	Risque routier
Montage des sections du mât	Chute de section
	Effondrement de plusieurs sections, voire du mât
Fixation de la nacelle	Mauvaise fixation de la nacelle
	Chute de la nacelle
	Effondrement du mât et la nacelle
Fixation du rotor	Mauvaise fixation du rotor
	Chute du rotor
Fixation des pales	Mauvaise fixation des pales
	Chute des pales
	Effondrement de la turbine
Mise en route	Risque électrique
	Emballement
	Échauffement / Incendie

TABLEAU 8 : POTENTIELS DE DANGER EN PHASE CONSTRUCTION

Les dangers potentiels durant cette phase de construction sont liés aux opérations de manutention avec des risques de chutes de charges ou de basculement d'engins de manutention, des risques d'écrasement ou de choc liés aux masses manipulées et des risques de chute de personnel liés au travail en hauteur.

Cette phase n'est pas considérée comme pouvant induire des effets sur l'environnement et n'a pas été analysée par la suite dans le cadre de l'APR (Analyse Préliminaire des Risques).

4.3.2 Phase de maintenance

La maintenance est réalisée lorsque l'éolienne est à l'arrêt. Lors des phases de maintenance, les principaux potentiels de dangers sont :

- Chute d'objet (tel que des outils) ;
- Chute de l'intervenant ;
- Pincement, écrasement, coupure.

Pour certaines opérations de maintenance, l'électricité est nécessaire par conséquent l'intervenant est potentiellement exposé au risque électrique.

Les incidents pouvant survenir durant cette phase n'ont pas été non plus analysés durant l'APR, car ils conduisent essentiellement à des risques pour les personnels d'intervention, plutôt qu'à des risques environnementaux.

4.4 Dangers liés à la perte d'utilités

En cas d'indisponibilité prolongée **des circuits de refroidissement** (perte de la circulation d'eau, fuite sur le circuit, perte de la circulation de l'huile de multiplicateur, arrêt d'un ventilateur), les équipements concernés sont automatiquement arrêtés (détection du défaut, détection de température haute), de manière à éviter un échauffement dommageable au matériel ainsi que ses conséquences éventuelles indirectes pour la protection de l'environnement ou la sécurité des personnes.

En cas de perte de **l'alimentation électrique générale** (perte du réseau public), la turbine est automatiquement arrêtée. Cet arrêt est assuré par l'activation de la mise en drapeau des pales effectuée grâce au système de conduite automatisé de la machine.

Les équipements nécessaires au maintien en situation sûre de l'installation sont secourus par des batteries ou par des onduleurs (par exemple un système de conduite automatisée pour la mise en drapeau).

4.5 Dangers d'origine externes

Les dangers d'origine externes sont mis en évidence dans la partie 2.1

4.6 Réduction des potentiels de danger

L'étude de réduction des potentiels de danger consiste à réaliser un examen technico-économique visant à :

- Supprimer ou substituer aux procédés et aux produits dangereux à l'origine de ces dangers potentiels, des procédés ou produits présentant des dangers moindres ;
- Diminuer les quantités présentes ;
- Réduire le potentiel présent sur un parc éolien sans augmenter les risques par ailleurs.

4.6.1 Substitution des produits / diminution des quantités

Les produits présents sur chaque éolienne (huile, fluide de refroidissement) sont des produits classiques utilisés dans ce type d'activité. Ils ne présentent pas de caractère dangereux marqué et les quantités mises en œuvre sont adaptées aux volumes des équipements.

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

4.6.2 Substitution des équipements

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

Un autre danger est lié à la présence d'installations électriques avec des tensions élevées (jusqu'à 20 000 volts), dont le dysfonctionnement peut être à l'origine d'incendies.

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

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

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

Ces évolutions se poursuivent toujours afin d'améliorer la sécurité (recherche de systèmes de détection de givre sur les pales et de systèmes de dégivrage, mise en place de systèmes d'extinction incendie,...).

4.6.3 Meilleures techniques disponibles

Il n'existe pas à ce jour de Meilleures Techniques Disponibles (MTD) publiées pour les éoliennes, en revanche une norme internationale existe, **NF EN 61 400-1** (version de Juin 2006) ou **CEI 61 400-1** (version de 2005).

La norme NF EN 61 400-1 intitulée « exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe des prescriptions relatives à la sécurité de la structure de l'éolienne, de ses parties mécaniques et électriques et de son système de commande.

Ces prescriptions concernent la conception, la fabrication, l'installation et la maintenance de l'éolienne. Elles seront prises en compte par le constructeur lors de la fourniture des éoliennes de Mailhac-sur-Benaize.

5. ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

L'objectif de cette partie est de guider le lecteur dans la réalisation de l'analyse de risque. Les outils d'analyse des risques sont nombreux (ex AMDEC, APR, HAZOP, etc.). Sur la base du guide de l'INERIS pour la conduite de l'étude de danger pour les parcs éoliens, il est proposé l'utilisation de la méthode APR (Analyse Préliminaire des Risques) qui est souple d'utilisation, adaptée et facile à mettre en œuvre et à instruire dans le contexte des éoliennes.

Les paragraphes de cette partie « analyse préliminaire des risques » ainsi que les tableaux d'analyse de risques sont largement inspirés du guide INERIS (Mai 2012). Il s'agit d'un inventaire théorique des événements (incidents et accidents) sur la base duquel il est ensuite possible de préciser les éléments de sécurité mis en œuvre pour éviter leur survenance.

Comme l'indique son nom, l'APR constitue une étape préliminaire, permettant de mettre en lumière des éléments ou des situations nécessitant une attention plus particulière et en conséquence l'emploi éventuel de méthodes d'analyses de risques plus détaillées.

Il est bien entendu que l'ensemble des événements présentés dans les paragraphes ci-dessous et plus particulièrement dans le tableau APR (Cf. 5.3) sont purement théoriques.

5.1 Objectif de l'analyse préliminaire des risques

L'analyse des risques a pour objectif principal d'identifier les scénarios d'accident majeurs et les mesures de sécurité qui empêchent ces scénarios de se produire ou en limitent les effets. Cet objectif est atteint au moyen d'une identification de tous les scénarios d'accident potentiels pour une installation (ainsi que des mesures de sécurité) ; il est basé sur un questionnement systématique des causes et conséquences possibles des événements accidentels, ainsi que sur le retour d'expérience disponible. Les scénarios d'accident sont ensuite hiérarchisés en fonction de leur intensité et de l'étendue possible de leurs conséquences. Cette hiérarchisation permet de filtrer les scénarios d'accident qui présentent des conséquences limitées et les scénarios d'accident majeurs — ces derniers pouvant avoir des conséquences sur les tierces personnes.

5.2 Recensement des événements exclus de l'analyse des risques

Comme cela est précisé dans la **circulaire du 10 mai 2010**, les événements suivants sont exclus de l'analyse des risques

- chute de météorite ;
- séisme d'amplitude supérieure aux séismes maximums de référence 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.

5.3 Tableau d'analyse générique des risques

5.3.1 Présentation du tableau

Après avoir recensé les agressions d'origine externe (Cf. § 2.1) ainsi que les potentiels de danger des installations, qu'ils soient constitués par des substances dangereuses ou des équipements dangereux (Cf. § 2), l'APR doit identifier l'ensemble des séquences accidentelles et phénomènes dangereux associés pouvant déclencher la libération du danger.

Le tableau ci-dessous, présentant une analyse générique des risques, 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 qualitative de l'intensité 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 par le groupe de travail :

- « 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 ;

Si l'ensemble des éléments listés dans le tableau APR sont d'ordre générique et théorique, la démarche n'en permet pas moins d'envisager les moyens et les actions correctives permettant d'éliminer ou de maîtriser les situations dangereuses et accidents potentiels mis en évidence.

N°	Évènement initiateur	Évènement intermédiaire	Évènement redouté central	Fonction de sécurité	Phénomène dangereux	Inten - sité
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	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	Impact de glace sur les enjeux	2
I01	Humidité Gel Foudre Dysfonctionnement électrique	Court-circuit	Incendie de toute ou d'une partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I02	Survitesse	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de toute ou d'une partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques Prévenir la survitesse	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I03	Désaxage de la génératrice Pièce défectueuse Défaut de lubrification	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de toute ou d'une partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I04	Conditions climatiques défavorables	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits Protection et intervention incendie	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques) Propagation de l'incendie	2
I05	Rongeur	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits Protection et intervention incendie	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques) Propagation de l'incendie	2
I06	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites,	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2
F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur Fuite transformateur	Ecoulement d'huile 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	Pollution environnement	1
F	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur Fuite transformateur	Ecoulement d'huile hors de la nacelle et le long du mât jusqu'à différents équipements de l'éolienne	Court-circuit	Prévention et rétention des fuites	Dysfonctionnement du matériel (et risque d'incendie)	1
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Ecoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites	Pollution environnement	1
C01	Mauvais état du matériel (usure, fatigue)	Chute de fragment de pale	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	Impact sur cible	1

N°	Évènement initiateur	Évènement intermédiaire	Évènement redouté central	Fonction de sécurité	Phénomène dangereux	Inten - sité
C02	Serrage inapproprié Erreur de maintenance- desserrage	Chute de fragment de pale	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction-exploitation)	Impact sur cible	1
C03	Erreur maintenance	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance	Impact sur cible	1
C04	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)	Impact sur cible	1
C05	Serrage inappropriée - défaillance de la fixation des pales au moyeu	Chute de pale	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation)	Impact sur cible	1
C06	Erreur maintenance - desserrage - défaillance de la fixation des pales au moyeu	Chute de fragment de pale	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance	Impact sur cible	1
C07	Corrosion	Dommages sur les dispositifs de fixation des pales sur le moyeu, dommages sur la structure de la pale	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	Impact sur cible	1
C08	Foudre	Fragilisation de la pale	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les effets de la foudre	Impact sur cible	1
C09	Défaut de la pale	Fragilisation accrue de la pale	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation) Prévenir la dégradation de l'état des équipements	Impact sur cible	1
C10	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)	Impact sur cible	1
P01	Foudre	Fragilisation de la pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir les effets de la foudre	Impact sur cible	2
P02	Survitesse	Contraintes trop importantes sur les pales	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la survitesse	Impact sur cible	2
P03	Mauvais état des équipements (usure, fatigue)	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	Impact sur cible	2
P04	Serrage inapproprié Erreur de maintenance	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)	Impact sur cible	2
P05	Corrosion	Dommages sur les dispositifs de fixation des pales sur le moyeu, dommages sur la structure de la pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation)	Impact sur cible	2

N°	Évènement initiateur	Évènement intermédiaire	Évènement redouté central	Fonction de sécurité	Phénomène dangereux	Inten - sité
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)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E02	Glissement de sol	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction exploitation)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E03	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E04	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du plan de prévention	Chute fragments et chute mât	2
E05	Vents forts	Défaillance fondation/fixation fondation mât/défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort Dans les zones cycloniques, mettre en place un système de prévision cyclonique et équiper les éoliennes d'un dispositif d'abattage et d'arrimage au sol	Projection/chute fragments et chute mât	2
E06	Mauvais état des équipements (usure, fatigue)	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	Projection/chute fragments et chute mât	2
E07	Incendie	Fragilisation de la structure	Effondrement éolienne	Protection et intervention incendie Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E8	Désaxage critique du rotor	Impact pale — mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction — exploitation) Prévenir les erreurs de maintenance	Projection/chute fragments et chute mât	2

TABLEAU 9 : TABLEAU D'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

Certaines problématiques abordées dans le tableau d'analyse préliminaire des risques nécessitent certaines précisions notamment sur les moyens de prévention destinés à :

- prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage ;
- prévenir les erreurs de maintenance ;
- prévenir la dégradation des équipements.

La prévention des défauts de stabilité des machines

La bonne stabilité de la machine est dépendante du bon assemblage de la structure et du bon mode de fondation.

La nature et la description du mode de fondation répond au schéma suivant :

- Réalisation d'une étude géotechnique ;
- choix du mode de fondation sur la base d'un calcul de dimensionnement des massifs ;
- validation des choix techniques et suivi du chantier de réalisation par un contrôleur technique.

La partie 2.4 du dossier administratif et technique décrit plus précisément les grandes étapes en lien avec les fondations, du choix technique à la réalisation de celles-ci.

Les défauts d'assemblage

Les défauts d'assemblage de la machine sont prévenus par la qualité des prestataires intervenants. Les machines sont toujours montées in situ par les fournisseurs. Les opérateurs connaissent parfaitement les différents éléments préfabriqués à assembler.

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

La prévention des erreurs de maintenance

Les différents types de maintenance réalisés sur la machine sont traités dans la notice d'hygiène et de sécurité de ce présent dossier (§ 3 de la NHS°).

La politique de maintenance menée par EDF EN France ainsi que des précisions sur la nature des maintenances réalisées sont présentées à l'alinéa suivant et en partie 6.2.1 de cette présente étude de dangers.

En complément de ces informations, EDF EN France précise au § 6.2.3 les formations et habilitations suivies et détenues par son personnel de maintenance.

La prévention de la dégradation des équipements

La dégradation des équipements est tout d'abord prévenue par le choix du fournisseur de machines. EDF EN France collabore avec des fournisseurs bénéficiant d'un retour d'expérience suffisamment significatif sur la mise en place d'éoliennes sur des parcs existants.

Les principaux fournisseurs travaillant avec EDF EN France sont :

- ENERCON, constructeur allemand depuis 1984 ;
- GE Wind Energy qui est une filiale de General Electric (constructeur américain). Cette entreprise produit des éoliennes depuis 1980 (2^{ème} constructeur au monde).
- NORDEX, constructeur danois depuis 1985 ;
- REPOWER, constructeur allemand ;
- SENVION, constructeur allemand,
- VESTAS, constructeur danois. Cette société existe depuis 1945. elle est le plus gros fournisseur d'éoliennes au monde.

Par ailleurs, la capacité à produire de la machine et sa pérennité sont également associées à son bon état global de fonctionnement. Un plan de maintenance préventive, sur la base des recommandations fournisseurs est ainsi suivi. Un exemple de plan de maintenance est donné ci-dessous :

- Une première opération a lieu au bout de 3 mois de fonctionnement. Sont ainsi notamment vérifiés :
 - Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, brides de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, boulons de fixation de nacelle...). Ces vérifications sont ensuite renouvelées tous les 4 ans et annuellement pour une partie de la bride ;

- le contrôle visuel de l'état de la bride de fixation du mât. Contrôle renouvelé annuellement ;
 - inspection visuelle des câbles, des balais du rotor, vérification des serrages sur les jeux de barre, contrôle du dispositif de mise à la terre. Ces contrôles sont renouvelés tous les ans ;
 - l'état des pales et du dispositif de captage de foudre (renouvelé tous les ans) ;
 - les niveaux de l'huile du multiplicateur, de la centrale hydraulique (si huile présente dans la machine. le niveau du fluide de refroidissement, l'absence de fuite. Ces contrôles sont renouvelés tous les ans ;
 - les opérations de graissage et de lubrification (paliers et roulements notamment) ;
 - le contrôle du bon fonctionnement des dispositifs de sécurité (arrêts d'urgence, frein à disque, capteur de vibration, arrêt sur survitesse générateur,...). Ces opérations sont ensuite renouvelées tous les ans ;
 - la présence et l'état des équipements de sécurité.
- D'autres contrôles complémentaires ont lieu annuellement :
- Le contrôle des capteurs de vents ;
 - le contrôle de la pression des circuits hydrauliques et hydropneumatiques et le contrôle de la qualité des huiles (lorsque des huiles sont présentes) ;
 - le contrôle de bruit et de vibrations des roulements ;
 - les contrôles d'absence de fuites ;
 - le remplacement de certains filtres (à huile, à air sur les armoires électriques) ;
 - le nettoyage des ventilateurs ;
 - le contrôle de l'élévateur de personnes et du palan ;
 - le contrôle des extincteurs, le contrôle du système de détection de fumée ;
 - les opérations de graissage et de lubrification ;
 - l'état du transformateur ;
 - l'état général de l'éolienne.

▪ Enfin d'autres opérations sont faites tous les 4 ans. C'est le cas notamment de certains contrôles de couples de serrage et du contrôle de l'état du frein à disque.

D'autre part :

- les huiles hydrauliques et de lubrification (multiplicateur) sont analysées tous les ans. Elles sont remplacées si les résultats d'analyse ne sont pas conformes. Le fluide de refroidissement est contrôlé tous les ans et remplacé au moins tous les 5 ans ;
- lors de ces contrôles, si des pièces défectueuses ou usées sont détectées, elles sont remplacées. Certaines pièces ou consommables sont par défaut remplacés périodiquement (batteries tous les 3 ou 5 ans, flexibles sur circuit d'huile tous les 7 ans).

Tous ces contrôles sont décrits en détail dans des procédures spécifiques et font l'objet de formulaires d'enregistrement des opérations effectuées.

5.3.2 Justification des exclusions de scénarios

Dans le cadre de l'APR, les scénarios suivants sont exclus de l'étude détaillée, en raison de leur faible intensité :

- Incendie de l'éolienne (effets thermiques) : en cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques.

Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.

- Incendie du poste de livraison (effets thermiques) : en cas d'incendie du poste de livraison, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton des postes de livraison. Il est également noté que la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (**l'arrêté du 26 Août 2011** impose le respect des normes **NFC 15-100**, **NEC 13-100** et **NFC 13-200**).
- Infiltration d'huile dans le sol (pollution) : en cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérés dans le sol restent mineurs.

Les 5 catégories de scénarios étudiées dans l'étude détaillée des risques seront les suivants :

- Scénario 1 : Effondrement
- Scénario 2 : Chute de glace
- Scénario 3 : Projection de glace
- Scénario 4 : Chute d'un élément de l'éolienne
- Scénario 5 : Projection d'un élément de l'éolienne

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.

6. MESURES DE MAÎTRISE DES RISQUES

Sur la base d'une analyse des risques, des mesures de maîtrise des risques sont mises en place. En termes de lutte contre les différents risques, on distingue trois types de barrières :

- **Les dispositifs de contrôle** qui assurent le bon fonctionnement et l'intégrité des différents systèmes internes ;
- **Les moyens de prévention** qui interviennent en amont de l'événement redouté pour éviter son apparition ;
- **Les moyens de protection** qui interviennent après l'apparition du sinistre en vue de réduire les effets de ce dernier sur les personnes, les biens ou encore l'environnement.

La technique consiste évidemment à chercher à éliminer les risques le plus en amont possible.

Dans cette partie, les barrières ont été répertoriées au regard des risques identifiés dans les parties précédentes.

6.1 Description des moyens techniques

6.1.1 Implantation des éoliennes

Le choix de la localisation de l'implantation des éoliennes est la première barrière de sécurité passive afin de limiter l'atteinte des tiers en cas d'accident.

Ainsi, les éoliennes de Mailhac-sur-Benaize se situent à un minimum de 500 m des plus proches habitations et évitent tout survol de réseau routier ou de sentier de randonnée.

6.1.2 Les dispositifs de contrôle

6.1.2.1 Les dispositifs de contrôle

Les éoliennes sont équipées du dispositif de contrôle qui assure le bon fonctionnement et l'intégrité des différents systèmes internes.

Le système de contrôle est constitué de quatre processeurs principaux interconnectés :

- Le contrôleur principal qui supervise l'ensemble des processeurs subordonnés ;
- un contrôleur spécifique qui régule principalement la production de la génératrice ;
- un contrôleur de production qui régule principalement la production électrique délivrée sur le réseau public ;
- et le processeur situé dans le rotor qui ajuste et supervise principalement l'angle des pales.

En parallèle à ces systèmes de conduite et de contrôle, les machines sont équipées de dispositifs de sécurité afin de détecter tout début de dysfonctionnement et de limiter les risques liés à ceux-ci. L'objectif est de pouvoir stopper le fonctionnement de l'éolienne en toute sécurité, même en cas de défaillance du système contrôle commande.

À titre d'exemple, les niveaux de pression et les niveaux de batterie sont très régulièrement testés par un automate, à la moindre anomalie, la machine se met à l'arrêt. Cette mise à l'arrêt est également systématique au moindre problème de communication entre le centre de maintenance et la supervision in-situ des machines.

6.1.2.2 La régulation de la vitesse

L'objectif d'une éolienne est la production d'électricité à destination du réseau public tout en limitant les perturbations de celui-ci. Ceci passe par une qualité de courant la plus constante possible, malgré les variations de vitesse du vent.

En utilisant les différentes données mesurées par les capteurs (vitesse de vent, angle des pales, vitesses de rotation de l'arbre lent et de l'arbre rapide) le contrôleur principal supervise la production des éoliennes et s'assure que les conditions de fonctionnement sont optimales, avec notamment :

- une vérification constante de la chaîne de sécurité et des différents capteurs ;
- une limitation des charges admissibles en accordance avec l'éolienne ;
- une limitation du niveau sonore ;
- une production maximale de qualité.

Sous des vitesses de vents réduits, les éoliennes n'atteignent pas leur production nominale. Dans ce cas, le système assure une production partielle.

Si la vitesse de vent atteint la valeur nominale de productivité de l'éolienne, la production est constante jusqu'à ce que la limite haute de vent soit atteinte.

Les éoliennes sont équipées de deux capteurs de vent raccordés au système de contrôle. En cas de défaillance du premier capteur, le deuxième capteur prend le relais.

6.1.2.3 La régulation de la puissance

Les systèmes de conversion assurent la régulation du fonctionnement du générateur et du courant délivré au réseau. Ils déclenchent le couplage de l'éolienne au réseau à l'atteinte d'une certaine vitesse minimale de rotation de la génératrice et provoquent l'arrêt de celle-ci sur vitesse trop élevée. La mesure de la vitesse de rotation de l'éolienne est assurée par des capteurs de rotation disposés d'une part sur l'arbre lent et, d'autre part, sur l'arbre rapide.

Ces systèmes assurent également la régulation en tension et fréquence du courant délivré au réseau.

6.1.3 Les moyens de détection

6.1.3.1 Détection des survitesses

Les régimes de survitesses sont susceptibles de porter atteinte à l'intégrité de la machine.

Il est ainsi essentiel de pouvoir arrêter l'éolienne en cas de survitesse liée aux conditions atmosphériques, à la déconnexion du réseau électrique ou en cas de détection d'une anomalie (surchauffe ou défaillance d'un composant).

Les éoliennes implantées sur les sites développées et exploitées par EDF EN sont systématiquement équipées de système de détection des régimes de survitesse. Des systèmes de coupure s'enclenchent en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis et permettent de mettre en drapeau les pales de la machine (freins aérodynamiques). Le freinage est effectué en tournant ensemble les 3 pales d'un angle de 85 à 90°, afin de positionner celles-ci en position où elles offrent peu de prise au vent.

Les vitesses de rotation du générateur et de l'arbre lent sont mesurées et analysées en permanence par le système de contrôle. Cette mesure redondante permet de limiter les défaillances liées à un seul capteur. En cas de discordance des mesures, l'éolienne est mise à l'arrêt. Les parties en rotation sont donc protégées contre les erreurs de mesure de vitesse de rotation.

En cas de défaillance du système de contrôle, un système indépendant permet également d'arrêter le rotor, par mise en drapeau des pales (rotation à 90°). Il s'agit d'un système à sécurité positive auto-surveillé. Le système de mesure de la vitesse de rotation de l'arbre lent est indépendant du système de mesure utilisé pour la conduite.

Il est à noter que chaque pale est autonome lors de leur mise en drapeau et qu'une fois mise en drapeau, le régime de survitesse devient bien entendu impossible. Des systèmes de contrôle redondants sont placés sur chaque pale permettant un contrôle de positionnement à au moins 2 endroits.

Le système d'alimentation de la mise en drapeau est également doublé en cas d'indisponibilité de l'un ou de l'autre :

- d'un système hydraulique fonctionnant grâce à un accumulateur positionné dans chaque pale ;
- d'un système électrique fonctionnant grâce à des batteries autonomes présentes dans chacune des pales.

D'autre part, en cas d'arrêt par survitesse, l'éolienne ne peut être redémarrée à distance. Il est nécessaire de venir acquitter localement le défaut et d'effectuer un contrôle de la machine avant de relancer l'éolienne.

Enfin, en termes de cinétique, l'effectivité de l'arrêt d'une machine va dépendre de la vitesse du vent. Selon les données du constructeur, ce temps d'arrêt ne peut dépasser 10 minutes (temps entre l'ordre d'arrêt et l'arrêt effectif).

6.1.3.2 Détection des vents forts

Comme vu dans l'APR, des vitesses de rotation élevées du rotor peuvent conduire à :

- des dégâts sur le multiplicateur et la génératrice avec des risques d'échauffement pouvant conduire à un incendie,
- des contraintes fortes sur les pales pouvant conduire à des ruptures entières ou totales de celles-ci.

Comme dans le paragraphe précédent, la mise en drapeau des pales de l'éolienne permet le freinage aérodynamique de la machine. Cette mise en drapeau est décidée suite aux informations issues de capteurs de vitesse de la chaîne cinématique.

6.1.3.3 Détection de givre

La formation de glace ou de givre sur les pales peut conduire à des effets de projections sur des tiers.

Un système de détection de givre sera prévu sur les machines. En cas de détection, la mise en route de la machine sera stoppée. Une procédure adéquate de démarrage sera mise en place. Selon les possibilités offertes par les machines retenues, le redémarrage pourra se faire automatiquement (à distance) ou suite à une visite des équipes de maintenance de la machine.

6.1.3.4 Détection incendie

Des capteurs de température sont présents au sein de la nacelle afin de permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de la machine.

La machine est mise à l'arrêt, une télésurveillance est activée et, si besoin, les pompiers peuvent être amenés à se rendre sur site. En cas d'incendie de la nacelle, compte tenu des difficultés pour intervenir à cette hauteur par rapport au sol, leur rôle sera principalement de protéger les avoisinants.

6.1.4 Prévention du risque foudre

Le système de protection contre la foudre est mis à la terre afin de protéger les éléments de l'aérogénérateur. Celui-ci est conçu pour répondre à la classe de protection I de la **norme internationale IEC 61400**.

De plus, les pales sont équipées de pastilles métalliques en acier inoxydable (ou en cuivre), reliées entre elles par une tresse en cuivre, interne à la pale. Un dispositif métallique flexible assure la continuité électrique entre la pale et le châssis métallique de la nacelle (système de contact glissant).

Ce châssis est relié électriquement à la tour, elle-même reliée au réseau de terre disposé en fond de fouille. En cas de coup de foudre sur une pale, le courant de foudre est ainsi évacué vers la terre via la fondation et des prises profondes.

6.1.5 Prévention des pollutions

L'ensemble des fournisseurs ne proposent pas une technologie similaire. En règle générale, les aérogénérateurs nécessitent très peu de substances liquides dangereuses pour leur fonctionnement, les huiles hydrauliques étant les produits potentiellement parfois nécessaires en quantité significative. Lorsque c'est le cas, la nacelle est équipée de rétention sur les zones accueillant les circuits d'huiles (multiplicateur, groupe hydraulique).

6.1.6 les autres systèmes de sécurité

Les systèmes de sécurité sont multiples. En plus des moyens de détection listés dans les paragraphes ci-après, les dispositifs de sécurité principaux sont les suivants :

- **Les dispositifs de freinage de l'éolienne.** Le frein principal de l'éolienne est un frein aérodynamique à commande hydraulique. Il stoppe le rotor par action sur l'orientation des pales (orientation de 85 à 90° par rapport à la direction du vent). Des précisions sur la fonction de mise en drapeau sont dans le paragraphe 6.1.3.1.
- **Les dispositifs d'arrêt d'urgence.** Différents arrêts d'urgence sont disposés au sein de la machine (tour et nacelle). Ils sont actionnables à distance (pilotage des machines à distance) mais également sur site, par le personnel amené à intervenir sur les machines.
- **Surveillance des dysfonctionnements électriques.** Des détecteurs d'arcs sont mis en place en plus des protections traditionnelles contre les surintensités et les surtensions.
- **Balisage aviation.** Afin que les éoliennes soient repérables par les aéronefs, un système de balisage lumineux clignotant bicolore est mis en place, conformément à l'**arrêté du 13 novembre 2009**. Celui-ci est également conforme aux dispositions prises en application des **articles L. 6351-6 et L.6352-1 du code des transports** et des **articles R. 243-1 et R. 244-1 du code de l'aviation civile**.
- **Autres.** Selon les machines, des équipements optionnels peuvent être mis en place. Ces équipements peuvent être destinés à la surveillance des vibrations et des turbulences, la surveillance des échauffements et température, à la surveillance de pression et de niveau hydraulique, etc.

6.2 Description des moyens organisationnels

6.2.1 Politique de maintenance

Deux types d'opérations de maintenance sont réalisés sur les parcs :

- des opérations de maintenance périodique ;
- des opérations de maintenance curative.

Les opérations de maintenance sont en général réalisées les premières années d'exploitation par les fournisseurs de machines. Selon la nature du fournisseur, ce contrat de maintenance est de plus ou moins longue durée (de quelques mois à plusieurs années). Suite à ce contrat, le service Exploitation et Maintenance d'EDF Energies Nouvelles prend le relais.

Les opérations de maintenance périodique sont fixées par les règles des constructeurs. Elles peuvent ainsi légèrement varier selon le fournisseur retenu.

A minima, une première campagne de maintenance a lieu dans les 3 mois qui suivent la mise en service du site. Celle-ci vise à vérifier tout particulièrement :

- l'état des équipements de sécurité et le contrôle de leur bon fonctionnement ;
- l'ensemble des couples de serrage ainsi que l'état de la bride de fixation du mât ;

- l'ensemble des niveaux d'huile ainsi que des opérations de graissage et de lubrification ;
- l'état global des installations en partie par contrôle visuel : pales, dispositif captage foudre, dispositif de mise à la terre, etc.

D'autres contrôles et opérations de maintenance ont lieu de façon annuelle. C'est le cas pour l'état général de l'éolienne et du transformateur mais aussi pour l'ensemble des dispositifs concourant à la sécurité de l'installation et à sa bonne production.

Enfin des opérations de maintenance sont réalisées sur des fréquences plus importantes (2, 4 ans) selon le cahier des charges des constructeurs.

Lors de ces opérations, les pièces constatées défectueuses ou usées sont remplacées. Certaines des pièces ou consommables de l'éolienne sont remplacées de façon systématique (huiles hydrauliques, flexibles sur circuits d'huiles, ...).

L'ensemble des contrôles effectués sur le parc éolien est décrit dans des procédures. Les opérations effectuées font l'objet d'enregistrements systématiques.

6.2.2 Le cas particulier des essais

Comme le stipule l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011, avant la mise en service industrielle des aérogénérateurs, l'exploitant réalisera des essais permettant de s'assurer du fonctionnement correct de l'ensemble des équipements de sécurité.

Ces essais en situation réelle comprendront notamment :

- un arrêt ;
- un arrêt d'urgence ;
- un arrêt depuis un régime de survitesse ou une simulation de ce régime.

Puis, comme il l'est précisé dans la partie précédente, dans l'année suivant la mise en service, l'exploitant réalisera 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 (ou simulation de survitesse).

Ces opérations feront l'objet d'enregistrements.

6.2.3 Formation du personnel

Il n'y a pas de personnel présent en permanence sur le site. Le seul personnel intervenant est celui constituant les équipes de montage et maintenance.

L'ensemble de ce personnel est formé aux risques inhérents à leur activité et détient un niveau de compétence propre à la réalisation des tâches dont il est en charge.

La formation du personnel porte notamment sur :

- la présentation générale d'une éolienne et les risques associés à son fonctionnement ;
- les règles de sécurité à respecter sous forme de procédures : consignes de sécurité pour les opérateurs et techniciens ; instruction lorsque la machine entre en mode dégradé.

Les opérations réalisées tant dans le cadre du montage, de la mise en service que des opérations de maintenance périodique, sont effectuées suivant des procédures qui définissent les tâches à réaliser, les équipements d'intervention à utiliser et les mesures à mettre en place pour limiter les risques d'accident. Des check-lists sont établies afin d'assurer la traçabilité des opérations effectuées.

6.2.4 Gestion de la sécurité

En l'absence de personnel présent en permanence sur le site, le parc éolien sera relié au centre d'exploitation et de maintenance de Colombiers (34) afin de permettre le diagnostic et l'analyse de performance des machines en permanence. Ce dispositif assure la transmission des alertes en temps réel en cas de panne ou de dysfonctionnement.

Si besoin est, les dispositifs d'arrêts d'urgence sont actionnés dans un délai très court (inférieur au délai de 60 min demandé dans l'article 24 de l'arrêté du 26 août 2011).

Selon la nature du dysfonctionnement, les éoliennes sont susceptibles d'être relancées à distance si les paramètres requis sont validés. C'est en général le cas lors de l'arrêt des éoliennes par des systèmes normaux de commande (vents faibles, vents forts, ...).

Certaines alertes nécessitent néanmoins l'intervention de personnel (alarme incendie, pression d'huile ...) sur site afin d'effectuer des vérifications. Suite à celles-ci, la machine est remise en route, éventuellement à la suite d'opérations de maintenance.

6.2.5 Malveillance et intrusion et autres prescriptions à observer par les tiers

Le parc éolien n'est pas clôturé dans son ensemble afin de laisser libre champ aux promeneurs et à la faune.

Néanmoins, l'accès au poste de transformation et à chaque éolienne est verrouillé. L'interdiction d'accès pour toute personne non autorisée est stipulée par affichage sur les portes de ces installations.

D'autre part, les prescriptions à observer par les tiers seront affichées en caractères lisibles, sur un panneau sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, sur le poste de livraison :

- les consignes de sécurité à suivre en cas de situation anormale ;
- la mise en garde face aux risques d'électrocution ;
- la mise en garde, face au risque de chute de glace.

6.2.6 Consignes de sécurité pour le personnel de maintenance

Les consignes de sécurité à observer par le personnel intervenant sur les machines sont regroupées dans des manuels qui détaillent l'ensemble des consignes destinées à préserver la santé et la sécurité au travail.

Des consignes de sécurité comportent notamment les éléments suivants :

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

6.2.7 Procédure d'exploitation

Un ensemble de procédures d'exploitation est mis en place par l'exploitant. Ces procédures se conforment notamment aux obligations de l'arrêté du 26 août 2011.

6.3 Description des moyens d'intervention

6.3.1 Les moyens de lutte interne

Au moins deux extincteurs seront situés à l'intérieur de chaque aérogénérateur : au sommet et au pied de celui-ci. Ils seront positionnés de façon bien visible et facilement accessible. Les agents d'extinction sont appropriés aux risques à combattre.

Ces extincteurs seront contrôlés annuellement par un organisme vérificateur. Les indications portées sur les extincteurs sont toujours bien visibles et mentionnent :

- la nature du contenu ;
- le mode d'emploi ;
- le type de feu à combattre.

6.3.2 Les moyens de lutte externe

En cas de sinistre, les procédures indiquent d'alerter les services de secours et d'incendie.

Les Centres de secours les plus proches en cas de sinistre sont ceux des communes d'Arnac-La-Poste (6 km) et Saint-Sulpice-Les-Feuilles (7 km). Selon la localisation de l'intervention, les membres du SDIS (Service Départemental d'Incendie et de Secours) pourront être sur place en 7 minutes environ.

Les accès sont aménagés et entretenus pour permettre aux engins des services d'incendie et de secours d'évoluer sans difficulté en toute circonstance, ces pistes étant par ailleurs régulièrement empruntées par les véhicules des équipes de maintenance.

À noter que l'avis du SDIS 87 a été sollicité dans le cadre de ce projet. Aucune recommandation spécifique n'a été émise en retour.

6.4 Références normatives et réglementaires

Les éoliennes mises en services par EDF EN font systématiquement l'objet :

- d'évaluation de conformité (phase conception et phase fabrication) ;
- de certification type CE ;
- et de déclarations de conformités aux standards et directives applicables.

Le nombre de standards applicables pour la construction d'éolienne est important. Les références principales qui seront observées lors du choix des machines et de la mise en service du parc sont les suivants :

- foudre - respect de la **norme IEC 61 400-24** (Juin 2010) et **EN 62 305 – 3** (Décembre 2006) ;
- installations électriques : **normes NFC 15-100** (2008), **NFC 13-100** (2001) et **NFC 13-200** (2009) ;
- dispositions constructives : norme **NF EN 61 400-1** (juin 2006) ou **CEI 61 400-1** (2005) ;
- dispositions constructives : article **R. 111-38 du code de la construction et de l'habitation** ;
- balisage : **articles L. 6351-6 et L.6352-1 du code des transports** et des **articles R. 243-1 et R. 244-1 du code de l'aviation civile**.

7. ANALYSE DÉTAILLÉE DES RISQUES

7.1 Méthodologie

L'analyse détaillée des risques vise à caractériser les scénarios sélectionnés à l'issue de l'analyse préliminaire des risques en termes de probabilité, cinétique, intensité et gravité. Cette analyse est toujours effectuée en se plaçant dans le cas de figure le plus défavorable.

Il s'agit 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.

En complément des éléments présentés en introduction de l'analyse préliminaire des risques (Cf. 5), il est rappelé ci-dessous les principes de bases sur lesquels s'appuie l'analyse détaillée des risques.

Ces principes de base s'appuient sur le document faisant aujourd'hui référence en matière d'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens. Il s'agit du guide technique de l'INERIS (Mai 2012), qui a été réalisé par un groupe de travail constitué d'experts de l'INERIS et de professionnels du Syndicat des Energies Renouvelables.

7.1.1 Cinétique

Selon l'arrêté du 29 Septembre 2005, la cinétique correspond à la vitesse d'enchaînement des événements constituant une séquence accidentelle. On distingue la cinétique lente et la cinétique rapide. On dit qu'une cinétique est lente lorsque les personnes à proximité de la zone d'accident ont le temps de se mettre à couvert lors d'une séquence accidentelle. Dans le cas des parcs éoliens, on considérera que la cinétique est, à chaque fois, rapide.

7.1.2 Intensité

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

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 caractérisent des phénomènes dangereux dont l'intensité s'exerce dans toutes les directions autour de l'origine du phénomène (uniquement 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 : seuil d'exposition très forte
- 1% d'exposition : seuil d'exposition forte

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

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

Degré d'exposition	> 5 % d'exposition	1 % ≤ x < 5 %	< 1 %
Intensité	Exposition très forte	Exposition forte	Exposition modérée

TABLEAU 10: DÉFINITION DU DEGRÉ D'EXPOSITION (INTENSITÉ)

7.1.3 Gravité

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. Pour déterminer le nombre de personnes à proximité de la zone d'étude, il est possible d'utiliser la méthode de comptage des enjeux humains appliquée à la zone d'effet de chaque scénario d'accident (fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010) :

Terrains non bâtis :

- Terrains non aménagés et très peu fréquentés : 1p/100ha
- Terrains aménagés mais peu fréquentés (chemin agricole, vignes, jardins, etc.) : 1p/10ha
- Terrains aménagés et potentiellement fréquentés ou très fréquentés (parking, jardins publics, etc.) : 10p/1ha

Voies de circulation :

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

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

Les chemins goudronnés présents sur la zone d'étude peuvent être utilisés par les habitants des hameaux de la zone comme une desserte possible. Pour une approche conservatrice, ils sont ainsi comptés comme des voies routières communales avec une fréquentation estimée à 50 véhicules/jour.

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	

TABLEAU 11: NOMBRE DE PERSONNES EXPOSÉES SUR VOIES DE COMMUNICATIONS STRUCTURANTES (SOURCE : INERIS)

- 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 :

Moyenne INSEE : 2.5p/logements (sauf si d'autres chiffres sont indiqués)

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 se rencontreront peu en pratique.

À noter l'existence de la « cabane Pacaud » dans la zone (à l'est de l'éolienne n°1). Il s'agit d'une ancienne cabane de chasse, aucune activité ou présence humaine régulière humaine n'ont été recensées sur ce bâtiment.

Zones d'Activités

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.

La définition du niveau de gravité est présentée dans le tableau suivant.

Gravité/Intensité	Exposition très forte	Exposition forte	Exposition modérée
Désastreux	> 10 personnes exposées	> 100 personnes exposées	> 1000 personnes exposées
Catastrophique	< 10 personnes exposées	10 < x < 100	100 < x < 1000
Important	Maximum 1 personne exposée	< 10 personnes exposées	10 < x < 100
Sérieux	Aucune personne exposée	Maximum 1 personne exposée	< 10
Modéré	Aucune personne exposée	Aucune personne exposée	< 1

TABLEAU 12: DÉFINITION DU DEGRÉ DE GRAVITÉ

Probabilité

L'annexe I de l'arrête 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.

Classe de Probabilité	Niveau d'occurrence	Critères qualitatifs	Critère quantitatif (probabilité annuelle)
E	Événement extrêmement rare	n'est pas impossible au vu des connaissances actuelles, mais non rencontré au niveau mondial sur un très grand nombre d'années installations.	$\leq 10^{-5}$
D	Événement rare	s'est déjà produit dans ce secteur d'activité mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement sa probabilité.	$[10^{-4}-10^{-5}]$
C	Événement improbable	un événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité.	$[10^{-3}-10^{-4}]$
B	Événement probable	s'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie de l'installation.	$[10^{-2}-10^{-3}]$
A	Événement courant	s'est produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie de l'installation malgré d'éventuelles mesures correctives.	$> 10^{-2}$

TABLEAU 13 : CLASSES DE PROBABILITÉS UTILISÉES DANS LES ÉTUDES DE DANGER

Sur les recommandations de l'INERIS, il est proposé de calculer ces probabilités à partir d'une approche dite quantitative s'appuyant sur des fréquences génériques d'événements redoutés centraux. En effet, le retour d'expérience est apparu suffisamment fourni pour permettre l'utilisation de cette méthode.

La probabilité d'un accident majeur est décrite par la relation suivante :

$$P_{\text{accident}} = P_{\text{ERC}} \times P_1 \times P_2 \times P_3 \times P_4$$

Avec :

- P_{accident} = Probabilité qu'un accident majeur, ayant pour origine un type d'aérogénérateur donné et touchant une cible donnée, se produise ;
- P_{ERC} = Probabilité qu'un Événement Redouté Central (ERC), ou défaillance, se produise sur l'aérogénérateur (assimilée à la fréquence de l'événement redouté central) ;
- P_1 = 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_2 = probabilité que l'éolienne soit en rotation au moment où l'événement redouté se produit (en fonction de la vitesse du vent notamment) ;
- P_3 = 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_4 = Probabilité de présence d'un enjeu donné au point d'impact sachant que l'élément est projeté en ce point donné ;

Les valeurs de probabilités pour les scénarios d'exposition retenus seront issues de la littérature.

7.1.4 Acceptabilité

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 sera utilisée.

Dans le cas des parcs éoliens, un risque est soit acceptable, soit non acceptable.

		Classe de Probabilité				
		E	D	C	B	A
GRAVITÉ des Conséquences	Désastreux					
	Catastrophique					
	Important					
	Sérieux					
	Modéré					

Légende de la matrice :

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

7.2 Rappel des scénarios retenus

Compte tenu des spécificités de la zone, les scénarios retenus à l'issus de l'analyse préliminaire des risques sont renumérotés ainsi :

- Scénario 1 : Effondrement de l'éolienne
- Scénario 2 : Chute de glace
- Scénario 3 : Projection de glace
- Scénario 4 : Chute d'un élément de l'éolienne
- Scénario 5 : Projection d'un élément de l'éolienne

7.3 Caractérisation des scénarios retenus

7.3.1 Scénario 1 : Effondrement de l'éolienne

7.3.1.1 Zone d'effet

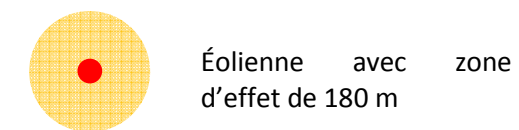
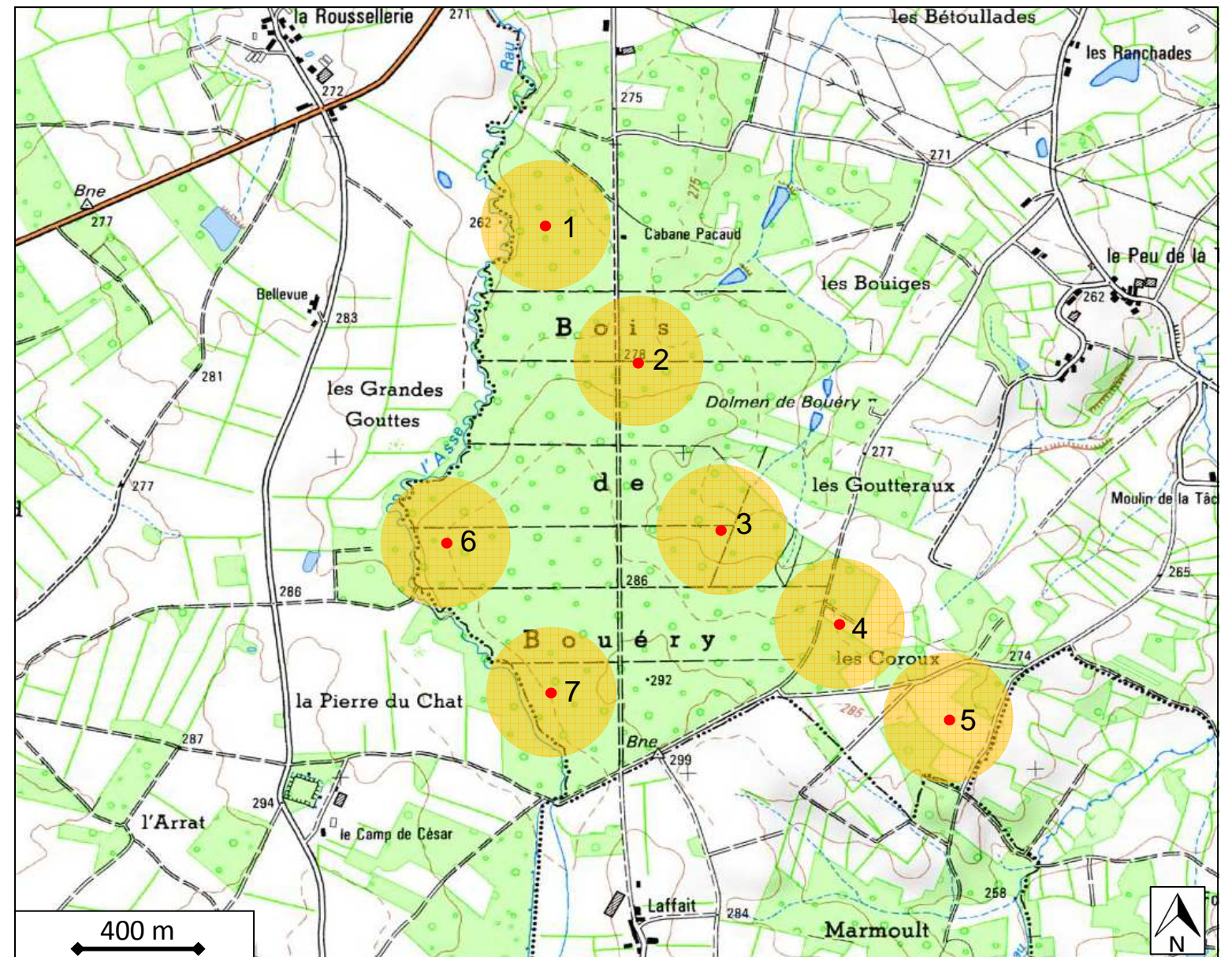
Cette zone correspond à la surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale.

Le gabarit maximum envisagé est caractérisé par :

H : la hauteur du moyeu = 117 m

R : Rayon du rotor = 63 m

Éoliennes	Zone d'effet
n°1 à n°7	$(H+R)^2 \times \pi$ soit 101 788 m ²



Éolienne avec zone d'effet de 180 m

CARTE 4: CARTOGRAPHIE DES ZONES D'EFFET - SCÉNARIO 1

7.3.1.2 Intensité

L'intensité dépend du degré d'exposition. 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.

Les données nécessaires à ce calcul sont :

H : la hauteur du moyeu = 117 m

R : la longueur des pales = 63 m

L : la largeur moyenne du mât = 5 m

LB : largeur de Base de la pale de forme triangulaire = 3 m

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)				
Éoliennes	Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
n°1 à n°7	$(H) \times L + 3 \times R \times LB / 2$ Soit une zone d'impact de 869 m ²	$= \pi \times (H+R)^2$ La zone d'effet est de 101 788 m ²	$(\text{Zone d'impact} / \text{Zone d'effet}) \times 100$ 0,85% (< 1%)	Exposition modérée

En dehors de la zone d'effet, les risques d'atteinte sont négligeables.

7.3.1.3 Gravité

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

Les secteurs représentés par les zones d'effondrement des machines correspondent à des terrains peu fréquentés : zones agricoles et pistes agricoles.

Le tableau suivant précise les gravités retenues par machine.

Éoliennes	Enjeux	Nombre de personnes exposées	Gravité
Éolienne n°1	Terrains agricoles et boisés (environ 10 ha)	Terrains agricoles et boisés : 0,10 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	Exposition modérée pour au maximum 1 personne exposée : « Modérée »
Éolienne n°2	600 ml de chemin forestier (environ 3 m de large)	Chemin forestier : 0,02 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	Exposition modérée pour au maximum 1 personne exposée : « Modérée »
	Terrains boisés (environ 10 ha)	Terrains boisés : 0,10 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	

Éoliennes	Enjeux	Nombre de personnes exposées	Gravité
Éolienne n°3	755 ml de chemin forestier (environ 3 m de large)	Chemin forestier : 0,02 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	Exposition modérée pour au maximum 1 personne exposée : « Modérée »
	Terrains agricoles et boisés (environ 10 ha)	Terrains agricoles et boisés : 0,10 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	
Éolienne n°4	660 ml de chemin agricole et forestier (environ 3 m de large)	Chemin agricole et forestier : 0,02 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	Exposition modérée pour au maximum 1 personne exposée : « Modérée »
	Terrains agricoles et boisés (environ 10 ha)	Terrains agricoles et boisés : 0,10 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	
Éolienne n°5	300 ml de la voie routière communale (comptage routier estimé à 50 véhicules/j)	Route : 0,06 personnes exposées (0,4 personne permanente par kilomètre exposé par tranche de 100 véhicules/jour)	Exposition modérée pour au maximum 1 personne exposée : « Modérée »
	500 ml de chemin agricole et forestier (environ 3 m de large)	Chemin agricole et forestier : 0,02 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	
	Terrains agricoles et boisés (environ 10 ha)	Terrains agricoles et boisés : 0,10 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	
Éolienne n°6	600 ml de chemin forestier (environ 3 m de large)	Chemin forestier : 0,02 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	Exposition modérée pour au maximum 1 personne exposée : « Modérée »
	Terrains agricoles et boisés (environ 10 ha)	Terrains agricoles et boisés : 0,10 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	
Éolienne n°7	730 ml de chemin forestier (environ 3 m de large)	Chemin forestier : 0,02 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	Exposition modérée pour au maximum 1 personne exposée : « Modérée »
	Terrains boisés (environ 10 ha)	Terrains boisés : 0,10 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	

L'étude de la gravité du scénario 1 démontre une gravité Modérée pour chacune des machines du site.

7.3.1.4 Probabilité

La littérature donne deux données d'occurrence :

- 4.5×10^{-4} (selon « Guide for risk based zoning of wind turbines »)
- 1.8×10^{-4} (selon « Specification of minimum distances »).

Ces fréquences nous donne une classe de probabilité « C », selon l'arrêté du 29 septembre 2005. Cette probabilité sera donc celle retenue par défaut pour ce type d'évènement.

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

- Respect intégral des dispositions de la norme IEC 61400-1 ;
- Contrôle régulier des fondations et des différentes pièces d'assemblage ;
- 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.

Ainsi, lorsque ces mesures sont mises en place, on considère que la probabilité de l'accident est de classe « D ».

7.3.1.5 Acceptabilité

		Classe de Probabilité				
		E	D	C	B	A
GRAVITÉ des Conséquences	Désastreux					
	Catastrophique					
	Important					
	Sérieux					
	Modéré		1			

Il est considéré que le scénario 1 présente un risque très faible et acceptable

7.3.2 Scénario 2 : Chute de glace

Les périodes de gel et d'humidité peuvent entraîner la formation de glace sur les pales de l'éolienne, pouvant provoquer, à terme, des chutes de glace. Or, toutes les régions de France sont concernées par au moins une journée de gel par an. Les chutes de glace se produisent généralement lors des périodes de dégel (Selon « Wind energy production in cold climate »).

7.3.2.1 Zone d'effet

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit :

$$Z = \pi \times R^2 \text{ avec } R \text{ la longueur des pales.}$$

Soit $Z = 12469 \text{ m}^2$

Pour le parc éolien de Mailhac-sur-Benaize, la zone d'effet a donc un rayon de 63 mètres (longueur de pale), soit une surface de 12469 m². Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

La zone d'effet correspondant à la zone de survol des pales (surface exposée modérée), aucune cartographie n'est réalisée pour ce scénario.

7.3.2.2 Intensité

Pour le phénomène de chute 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 (zone de survol).

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

- ZI est la zone d'impact,
- ZE est la zone d'effet,
- R est la longueur de pale,
- SG est la surface du morceau de glace majorant.

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)				
Éoliennes	Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
n°1 à n°7	ZI = SG 1 m² (de façon à majorer la zone d'impact)	ZE = $\pi \times R^2$ ZE = $\pi \times 63^2 = 12469 \text{ m}^2$	d= (ZI/ZE) x 100% 0,008 % < 1 %	Exposition modérée

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

7.3.2.3 Gravité

Les secteurs impactés par la chute de glace correspondent exclusivement à des zones agricoles ou boisées.

�oliennes	Enjeux	Nombre de personnes exposées	Gravité
�olienne n�1 à 7	<50 ml de chemin forestier (environ 3 m de large)	Chemin forestier : <0,002 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	Exposition modérée pour au maximum 1 personne exposée : « Modérée »
	Terrains agricoles et boisés (environ 1.2 ha)	Terrains agricoles et boisés : 0,012 personne exposée (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	

Dans le cas d'une exposition modérée, la gravité est considérée comme "modérée". Ce classement est valable pour les éoliennes 1 à 7.

7.3.2.4 Probabilité

De façon conservatrice, il est considéré que la probabilité est de classe « A », c'est-à-dire une probabilité supérieure à 10-2 (INERIS – Guide de l'étude de dangers pour les parcs éoliens – mai 2012).

7.3.2.5 Acceptabilité

		Classe de Probabilité				
		E	D	C	B	A
GRAVITÉ des Conséquences	Désastreux	Yellow	Red	Red	Red	Red
	Catastrophique	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	Important	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
	Sérieux	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
	Modéré	Green	Green	Green	Green	2

Il est considéré que le scénario 2 présente un risque faible et acceptable.

7.3.3 Scénario 3 : Projection de glace

7.3.3.1 Zone d'effet

En ce qui concerne la distance maximale atteinte par ce type de projectiles, il n'existe pas d'information dans l'accidentologie. La littérature (« Risk analysis of ice throw from wind turbines ») propose une distance d'effet qui est fonction de la hauteur et du diamètre de l'éolienne, dans les cas où le nombre de jours de glace est important et où l'éolienne n'est pas équipée de système d'arrêt des éoliennes en cas de givre ou de glace :

Distance d'effet = 1,5 x (hauteur de moyeu + diamètre de rotor)
Soit dans le cas du gabarit de la machine retenu = 365 m

De façon conservatrice, ce mode de calcul est conservé bien que, telle que l'exige la réglementation, les machines seront équipées d'un système de détection de glace permettant de détecter ou de déduire la formation de glaces sur les pales.

7.3.3.2 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.

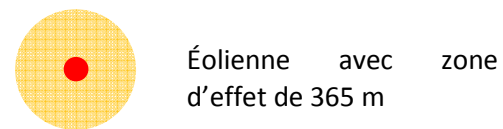
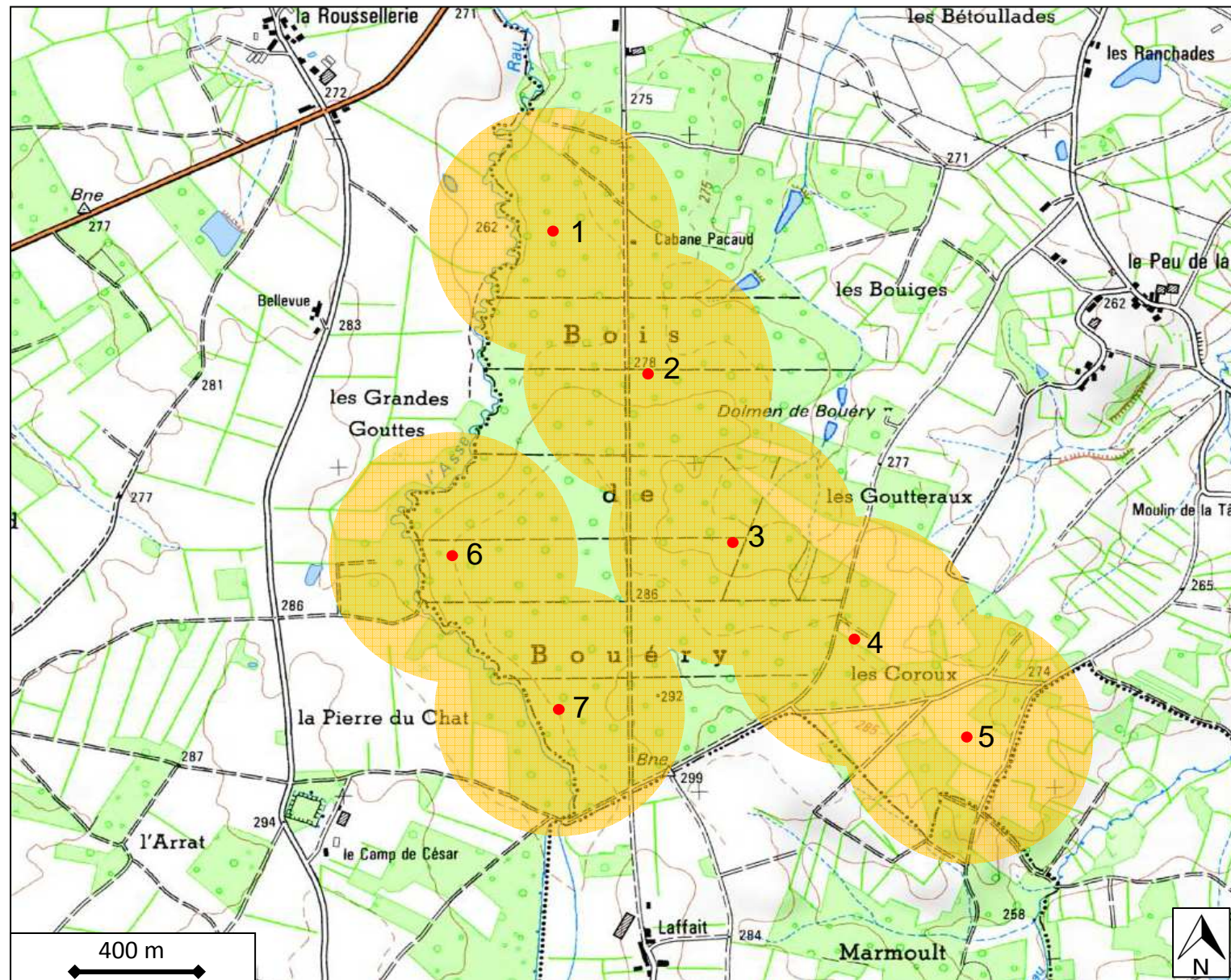
Projection de morceaux de glace (dans un rayon de RPG = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)				
Éoliennes	Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
n°1 à n°7	ZI = SG ZI = 1 m ²	ZE = π x (Distance d'effet) ² 417 392 m ²	$(Zi/Ze) \times 100$ = 0.00024 < 1 %	Exposition modérée

7.3.3.3 Gravité

Les secteurs exposés aux projections de glace correspondent principalement à des terrains et zones peu à très peu fréquentés : zones agricoles et pistes agricoles.

Le tableau suivant précise les gravités retenues par machine.

Éoliennes	Enjeux	Nombre de personnes exposées	Gravité
Éolienne n°1	2 200 ml de chemin agricole et forestier (environ 3 m de large)	Chemin agricole et forestier : 0,07 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	Exposition modérée pour au maximum 1 personne exposée : « Modérée »
	Terrains agricoles et boisés (environ 41 ha)	Terrains agricoles et forestier : 0,41 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	
Éolienne n°2	2670 ml de chemin forestier (environ 3 m de large)	Chemin forestier : 0,08 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	Exposition modérée pour au maximum 1 personne exposée : « Modérée »
	Terrains agricoles et boisés (environ 41 ha)	Terrains agricoles et boisés : 0,41 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	
Éolienne n°3	2910 ml de chemin agricole et forestier (environ 3 m de large)	Chemin agricole et forestier : 0,09 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	Exposition modérée pour au maximum 1 personne exposée : « Modérée »
	Terrains agricoles et boisés (environ 41 ha)	Terrains agricoles et boisés : 0,41 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	



CARTE 5: CARTOGRAPHIE DES ZONES D'EFFET - SCÉNARIO 3

Éoliennes	Enjeux	Nombre de personnes exposées	Gravité
Éolienne n°4	650 ml de voie routière communale (fréquentation majorante estimée à 50 véhicules/j)	Route : 0,12 personnes exposées (0,4 personne permanente par kilomètre exposé par tranche de 100 véhicules/jour)	Exposition modérée pour au maximum 1 personnes exposées : « Modérée »
	2 100 ml de chemin agricole et forestier (environ 3 m de large)	Chemin agricole et forestier : 0,08 personne exposée (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	
	Terrains agricoles et boisés (environ 41 ha)	Terrains agricoles et boisés : 0,41 personne exposée (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	
Éolienne n°5	700 ml de voie routière communale (fréquentation majorante estimée à 50 véhicules/j)	Route : 0.14 personnes exposées (0,4 personnes pour 1 km par tranche de 100 véhicules/jour)	Exposition modérée pour au maximum 1 personnes exposées : « Modérée »
	3 000 ml de chemin agricole et forestier (environ 3 m de large)	Chemin agricole et forestier : 0,09 personne exposée (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	
	Terrains agricoles et boisés (environ 41 ha)	Terrains agricoles et boisés : 0,41 personne exposée (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	
Éolienne n°6	2 150 ml de chemin agricole et forestier (environ 3 m de large)	Chemin agricole et forestier : 0,08 personne exposée (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	Exposition modérée pour au maximum 1 personnes exposées : « Modérée »
	Terrains agricoles et boisés (environ 41 ha)	Terrains agricoles et boisés : 0,41 personne exposée (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	
Éolienne n°7	250 ml de voie routière communale (fréquentation majorante estimée à 50 véhicules/j)	Route : 0.05 personnes exposées (0,4 personnes pour 1 km par tranche de 100 véhicules/jour)	Exposition modérée pour au maximum 1 personnes exposées : « Modérée »
	2 650 ml de chemin agricole et forestier (environ 3 m de large)	Chemin agricole et forestier : 0,08 personne exposée (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	
	Terrains agricoles et boisés (environ 41 ha)	Terrains agricoles et boisés : 0,41 personne exposée (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	

7.3.3.4 Probabilité

Une probabilité forfaitaire « B – événement probable » est proposé pour cet événement (INERIS – Guide de l'étude de dangers pour les parcs éoliens – mai 2012).

7.3.3.5 Acceptabilité

		Classe de Probabilité				
		E	D	C	B	A
GRAVITÉ des Conséquences	Désastreux					
	Catastrophique					
	Important					
	Sérieux					
	Modéré				3	

Il est considéré que le scénario 3 présente un très faible et acceptable.

L'étude de la gravité du scénario 3 démontre un niveau de gravité « modérée » pour toutes les éoliennes.

7.3.4 Scénario 4 : Chute d'éléments de l'éolienne

7.3.4.1 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 :

$$Z = \pi \times R^2 \text{ avec } R \text{ la longueur des pales}$$

$$Z = 12\,469 \text{ m}^2$$

La surface impactée a donc un rayon de 63 m. Compte tenu des faibles surfaces impactées, aucune cartographie des zones exposées n'est réalisée pour ce scénario.

7.3.4.2 Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Mailhac-sur-Benaize avec :

- d est le degré d'exposition ;
- ZI la zone d'impact ;
- ZE la zone d'effet ;
- R le rayon du rotor = 63 m ;
- LB la largeur de la base de la pale = 3 m

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)				
Éoliennes	Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
n°1 à n°7	ZI = R*LB/2 ZI = 95 m ²	ZE = π x R ² ZE = 12 469 m ²	D = (ZI/ZE)x100 0.76% (<1%)	Exposition modérée

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

7.3.4.3 Gravité

Les secteurs impactés par la chute d'élément de l'éolienne correspondent exclusivement à des zones agricoles ou boisés.

Éoliennes	Enjeux	Nombre de personnes exposées	Gravité
Éolienne n°1 à 7	<50 ml de chemin forestier (environ 3 m de large)	Chemin forestier : <0,002 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	Exposition modérée pour au maximum 1 personne exposée : « Modérée »
	Terrains agricoles et boisés (environ 1.2 ha)	Terrains agricoles et boisés : 0,012 personne exposée (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	

Dans le cas d'une exposition modérée, la gravité est considérée comme "modérée". Ce classement est valable pour les éoliennes 1 à 7.

7.3.4.4 Probabilité

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

7.3.4.5 Acceptabilité

		Classe de Probabilité				
		E	D	C	B	A
GRAVITÉ des Conséquences	Désastreux	Yellow	Red	Red	Red	Red
	Catastrophique	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
	Important	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
	Sérieux	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
	Modéré	Green	Green	4	Green	Yellow

Il est considéré que le scénario 4 présente un risque très faible et acceptable.

7.3.5 Scénario 5 : Projection d'élément de l'éolienne

7.3.5.1 Zone d'effet

Dans l'accidentologie française rappelée en annexe, durant l'accident à Widehem le 4 Janvier 2012, projetant des fragments de pale, la distance maximale relevée et vérifiée par le groupe de travail est de 380 mètres par rapport au mât de l'éolienne.

On constate que les autres données disponibles dans cette accidentologie montrent des distances d'effet inférieures.

L'accidentologie éolienne mondiale manque de fiabilité car la source la plus importante (en termes statistiques) est une base de données tenue par une association écossaise majoritairement opposée à l'énergie éolienne (« Wind turbine accident, data to 31 March 2015 »).

L'analyse du recueil d'accidents « Wind turbine accident, data to 31 March 2011 » indique une distance maximale de projection de l'ordre de 500 mètres à deux exceptions près :

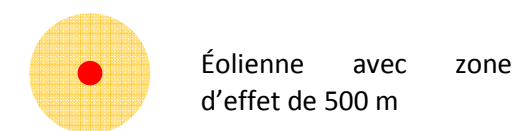
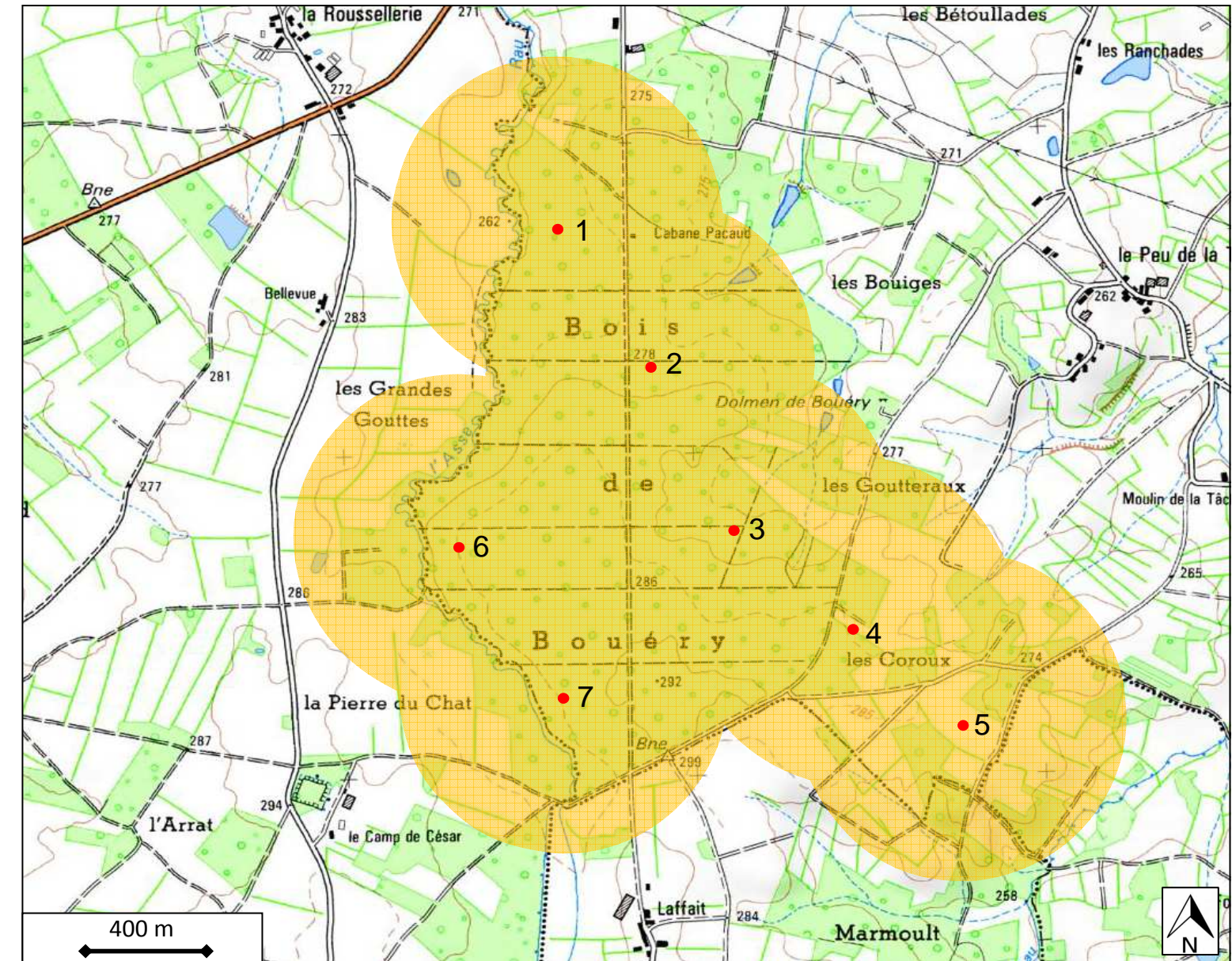
- 1 300 m rapporté pour un accident à Hundhammerfjellet en Norvège le 20/01/2006
- 1 000 m rapporté pour un accident à Burgos en Espagne le 09/12/2000

Toutefois, pour ces deux accidents, les sources citées ont été vérifiées par le SER-FEE et aucune distance de projection n'y était mentionnée. Les distances ont ensuite été vérifiées auprès des constructeurs concernés et dans les deux cas elles n'excédaient pas 300 m.

Ensuite, pour l'ensemble des accidents pour lesquels une distance supérieure à 400 m était indiquée, les sources mentionnées dans le recueil de 2011 ont été vérifiées de manière exhaustive (articles de journal par exemple), mais aucune d'elles ne mentionnait ces mêmes distances de projection. Quand une distance était écrite dans la source, il pouvait s'agir par exemple de la distance entre la maison la plus proche et l'éolienne, ou du périmètre de sécurité mis en place par les forces de l'ordre après l'accident, mais en aucun cas de la distance de projection réelle.

Pour autant, des études de risques déjà réalisées dans le monde ont utilisé une distance de 500 mètres, en particulier les études « Guide for risk-based zoning of wind turbine » et « specification of minimum distances ».

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.



CARTE 6 : CARTOGRAPHIE DES ZONES D'EFFET - SCÉNARIO 5

7.3.5.2 Intensité

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

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)				
Éoliennes	Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
n°1 à n°7	ZI = R * LB/2 ZI = 95 m ²	ZE = π x D ² = 785 398 m ²	D = (ZI/ZE)*100 = 0,012 % < 1 %	Exposition modérée

R : Rayon de la pale = 63 m

D : Distance d'effet de 500 m

LB : Largeur de la base de la pale = 3 m

7.3.5.3 Gravité

Le tableau suivant précise les gravités retenues par machine.

Éoliennes	Enjeux	Nombre de personnes exposées	Gravité
Éolienne n°1	425 ml de voie routière communale (fréquentation majorante estimée à 50 véhicules/j)	Route : 0.09 personnes exposées (0,4 personnes pour 1 km par tranche de 100 véhicules/jour)	Exposition modérée pour au maximum 1 personne exposées : « Modérée »
	3 500 ml de chemin agricole et forestier (environ 3 m de large)	Chemin agricole et forestier : 0,11 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	
	Terrains agricoles et boisés (environ 79 ha)	Terrains agricoles et boisés : 0,79 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	
Éolienne n°2	4 500 ml de chemin agricole (environ 3 m de large)	Chemin agricole : 0,14 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	Exposition modérée pour au maximum 1 personne exposée : « Modérée »
	Terrains agricoles et boisés (environ 79 ha)	Terrains agricoles : 0,79 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	

Éoliennes	Enjeux	Nombre de personnes exposées	Gravité
Éolienne n°3	3970 ml de chemin agricole (environ 3 m de large)	Chemin agricole : 0.12 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	Exposition modérée pour au maximum 1 personne exposée : « Modérée »
	Terrains agricoles et boisés (environ 79 ha)	Terrains agricoles : 0.79 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	
Éolienne n°4	1000 ml de voie routière communale (fréquentation majorante estimée à 50 véhicules/j)	Route : 0.20 personnes exposées (0,4 personnes pour 1 km par tranche de 100 véhicules/jour)	Exposition modérée pour au maximum 2 personnes exposées : « Sérieux »
	3 400 ml de chemin agricole et forestier (environ 3 m de large)	Chemin agricole et forestier : 0.10 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	
	Terrains agricoles et boisés (environ 79 ha)	Terrains agricoles et boisés : 0,79 personnes exposées (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	
Éolienne n°5	875 ml de voie routière communale (fréquentation majorante estimée à 50 véhicules/j)	Route : 0.17 personnes exposées (0,4 personnes pour 1 km par tranche de 100 véhicules/jour)	Exposition modérée pour au maximum 2 personnes exposées : « Sérieux »
	4 280 ml de chemin agricole et forestier (environ 3 m de large)	Chemin agricole et forestier : 0,13 personne exposée (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	
	Terrains agricoles et boisés (environ 79 ha)	Terrains agricoles et boisés : 0,79 personne exposée (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	
Éolienne n°6	3 050 ml de chemin agricole et forestier (environ 3 m de large)	Chemin agricole et forestier : 0,09 personne exposée (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	Exposition modérée pour au maximum 1 personne exposée : « Modérée »
	Terrains agricoles et boisés (environ 79 ha)	Terrains agricoles et boisés : 0,79 personne exposée (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	

Éoliennes	Enjeux	Nombre de personnes exposées	Gravité
Éolienne n°7	500 ml de voie routière communale (fréquentation majorante estimée à 50 véhicules/j)	Route : 0.10 personnes exposées (0,4 personnes pour 1 km par tranche de 100 véhicules/jour)	Exposition modérée pour au maximum 2 personnes exposées : « Sérieux »
	4815 ml de chemin agricole et forestier (environ 3 m de large)	Chemin agricole et forestier : 0,16 personne exposée (1 personne exposée par tranche de 10 ha)	
	Terrains agricoles et boisés (environ 79 ha)	Terrains agricoles et boisés : 0,79 personne exposée (1 personne exposée par tranche de 100 ha)	

L'étude de la gravité du scénario 5 démontre une gravité « modérée » pour les éoliennes n° 1, 2, 3 et 6 et une gravité « sérieux » pour les éoliennes n° 4, 5 et 7.

7.3.5.4 Probabilité

La classe de probabilité « D » est retenue.

7.3.5.5 Acceptabilité

		Classe de Probabilité				
		E	D	C	B	A
GRAVITÉ des Conséquences	Désastreux	Jaune	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
	Catastrophique	Jaune	Jaune	Rouge	Rouge	Rouge
	Important	Jaune	Jaune	Jaune	Rouge	Rouge
	Sérieux	Vert	5 (éoliennes n°4, 5 et 7)	Jaune	Jaune	Rouge
	Modéré	Vert	5 (éoliennes n°1, 2, 3 et 6)	Vert	Vert	Jaune

Le scénario 5 présente un risque très faible et acceptable, pour toutes les machines.

7.4 Le cas des 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 une éolienne voisine peut conduire à une nouvelle rupture de pale.

Les effets dominos susceptibles d'impacter les éoliennes sont décrits dans le tableau d'analyse des risques génériques présenté dans la partie 4.3.

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'autre part, il faut rappeler que :

- Aucune installation technique ou équipement ICPE extérieur au parc éolien de Mailhac-sur-Benaize n'est situé dans les zones d'effets des scénarios étudiés ;
- les effets dominos sur les installations du site du parc éolien (éoliennes et poste de transformation) conduisent à des scénarios dont les effets sont étudiés dans l'analyse préliminaire des risques ou dans la présente analyse détaillée des risques.

L'ensemble de ces raisons conduisent à négliger les conséquences des effets dominos dans le cadre de la présente étude.

7.5 Conclusion

La démarche d'analyse préliminaire des risques a permis de mettre en évidence la nécessité d'analyser en détail les scénarios suivants :

- Effondrement de machine,
- Projection de pale (ou de morceau de pale),
- Chute de pale,
- Chute de glace,
- Projection de glace.

L'analyse détaillée des risques, en caractérisant les accidents potentiels en fonction de leur gravité et de leur probabilité, a permis de déterminer que l'ensemble des accidents majeurs identifiés ne conduisait pas à des risques inacceptables ; et ce malgré une approche probabiliste conservatrice.

Ainsi, compte tenu du niveau de vulnérabilité faible de la zone d'implantation du parc de Mailhac-sur-Benaize et des mesures de maîtrise des risques existantes sur les machines et mises en place par l'exploitant, les risques en lien avec l'exploitation du futur parc sont maîtrisés.

8. ANNEXES

▷ **Annexe 1** : Glossaire

▷ **Annexe 2** : Accidentologie (sélection des accidents)

ANNEXE 1

GLOSSAIRE

Glossaire

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Attention aux confusions possibles :

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

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

Scénario d'accident (majeur) : Enchaînement d'événements conduisant d'un événement initiateur à un accident (majeur), dont la séquence et les liens logiques découlent de l'analyse de risque. En général, plusieurs scénarios peuvent mener à un même

phénomène dangereux pouvant conduire à un accident (majeur) : on dénombre autant de scénarios qu'il existe de combinaisons possibles d'événements y aboutissant. Les scénarios d'accident obtenus dépendent du choix des méthodes d'analyse de risque utilisées et des éléments disponibles.

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

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

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

Survitesse : Vitesse de rotation des parties tournantes (rotor constitué du moyeu et des pales ainsi que la ligne d'arbre jusqu'à la génératrice) supérieure à la valeur maximale indiquée par le constructeur. Enfin, quelques sigles utiles employés dans le présent guide sont listés et explicités ci-dessous

ICPE: Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

SER : Syndicat des Energies Renouvelables

FEE : France Energie Eolienne (branche éolienne du SER)

INERIS: Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

EDD: Etude de dangers

APR : Analyse Préliminaire des Risques

ERP : Etablissement Recevant du Public

ANNEXE 2

ACCIDENTOLOGIE (SÉLECTION DES ACCIDENTS)

N°	Date/Lieu	Type d'évènement	Cause	Conséquence	Mesure de prévention/Limitation
1	20/02/2014 SIGEAN(11)	Chute de pale	Fissuration sur « l'alu ring » à la base de la pale	Arrêt du parc	Contrôle ultrasonore sur l'ensemble des pièces
2	09/01/2014 ANTHENY(08)	Incendie sur la partie moteur	Incident électrique	Destruction de la nacelle	Démantèlement de l'éolienne sinistrée
3	03/08/2013 MOREAC(56)	Pollution	Perte de 270 l d'huile hydraulique	Pollution du sol sur 80m ²	Excavation de 25 tonnes de terres polluées
4	01/07/2013 CAMBON-ET-SALVERGUES (34)	Projection d'une partie de l'équipement	Défaillance organisationnelle : Dévissage de la vanne d'isolement de l'accumulateur au lieu de l'embout de l'outillage après opération de remplissage du compartiment azote	Cassure du nez de l'opérateur et plusieurs dents, décollement de l'œsophage	Formation poussée des techniciens sur les aspects risques, suspension des opérations de remplissage des accumulateurs sur les hubs d'éolienne et réalisation de cette opération en atelier
5	20/06/2013 LABASTIDE-SUR-BESORGUES (07)	Déchirement d'une pale, boîtier basse tension et parafoudre détruit	Impact de foudre	Endommagement des installations du réseau électrique et téléphonique	Changement des 3 pâles
6	17/03/2013 EUVY (51)	Incendie dans une nacelle	Défaillance électrique	Chute d'une des pâles, écoulement de 450 l d'huile de boîte de vitesse	Inspection des machines, possibilité d'installation des détecteurs de fumées dans les éoliennes, étude de pollution des sols
7	06/03/2013 CONILHAC-DE-LA-MONTAGNE (11)	Chute d'une pale	Problème de fixation	1 des 3 pâles se décroche et percute le mât	Mise en sécurité de l'éolienne
8	05/11/2012 SIGEAN (11)	Incendie sur une éolienne	Dysfonctionnement du disjoncteur entraînant la propagation de courant de court-circuit faisant fondre les câbles, dysfonctionnement du frein de l'éolien après perte des dispositifs de pilotage	Projections incandescentes enflammant 80 m ² de garrigue environnante	Remet en question la fiabilité des dispositifs de protection électrique, les possibilités de suraccident. Pistes d'amélioration dans la détection et localisation des incendies d'éolienne ainsi que dans la réduction des délais d'intervention
9	01/11/2012 VIEILLESPESE (15)	Projection d'un élément d'une pale	Non précisée	Projection d'un élément de 400g constitutif d'une pale d'éolienne à	Non précisée

N°	Date/Lieu	Type d'évènement	Cause	Conséquence	Mesure de prévention/Limitation
				70 m du mât	
10	30/05/2012 PORT-LA-NOUVELLE (11)	Chute d'une éolienne	Une des premières installations de ce type en France, arrêt pour réparation au moment des faits, rafales de vent à 130 km/h	Rien en particulier	Sécurisation du site
11	18/05/2012 FRESNAY-L'EVEQUE (28)	Chute d'une pale	Condition de production et stockage : Corrosion présente dans les trous d'alésages traversant une des bagues du roulement reliant pale et hub	Chute d'une pale et rupture du roulement qui raccordait la pale au hub	Mise en place d'une détection visuelle de la corrosion dans les alésages et remplacement à terme par un procédé instrumenté conçu spécifiquement
12	11/04/2012 SIGEAN (11)	Projection d'un débris de pale	Impact foudre sur l'éolienne	Projection à 20m d'un débris de pale long de 15m	Mise en sécurité de l'éolienne
13	06/02/2012 LEHAUCOURT (02)	Arc électrique	Opération de maintenance dans la nacelle	Blessure de deux sous-traitant dont un gravement (brûlure aux mains et au visage)	Non précisée
14	04/01/2012 WIDEHEM (62)	Dislocation puis chute et projection des débris de pale	Fortes rafales de vent à plus de 100 km/h	Projection de débris à 160° jusqu'à 380m sur 4.3 ha	Mise en place d'un dispositif de ralentissement aérodynamique en bout de pale, vitesse de bridage des éoliennes réduite temporairement de 25 à 19 m/s
15	10/02/2011 GRAND-COURONNE (76)	Accident ouvrier	Levage d'éléments d'éoliens	1 docker intérimaire est tué, écrasé entre 2 pylônes	Enquête effectuée
16	15/12/2010 POUILLE-LES-COTEAUX (44)	Accident ouvrier	Maintenance d'une éolienne	Chute de 3m à l'intérieur de la nacelle causant de graves blessures au dos mais pas d'atteinte à la moelle épinière	Non précisée
17	19/09/2010 ROCHFORT-EN-VALDAINE (26)	Incendie	Dysfonctionnement des freins hydrauliques automatiques	Dislocation et projection de débris entraînant 2 incendies de végétation sur 3500 et 1500m ²	Adaptation des moyens urbains pour l'accès aux principaux éléments situés en hauteur
18	30/10/2009 FREYSSINET	Incendie	Court-circuit faisant suite à une opération	Mise en sécurité de la zone,	Non précisée

N°	Date/Lieu	Type d'évènement	Cause	Conséquence	Mesure de prévention/Limitation
	(07)		de maintenance	dégagement de fumée générant des nuisances olfactives, circulation interrompue sur la route proche pendant une semaine	
19	21/10/2009 FROIDFOND (85)	Incendie	Court-circuit dans le transformateur sec embarqué en nacelle	Destruction de l'éolienne	Non précisée
20	26/01/2009 CLASTRES (02)	Accident ouvrier	Maintenance de compteurs électriques	2 techniciens électrocutés et gravement brûlés au 3 ^{ème} degré sur plus de 50% du corps	Non précisée
21	21/08/2008 VAUVILLERS (80)	Incendie	Non précisée	Destruction de l'éolienne dont le mât mesure 100m	Non précisée
22	19/07/2008 ERIZE-LA-BRULÉE (55)	Projection de débris	Pâle touchée par la foudre	Une trentaine de débris en fibre de verre est retrouvée au sol à 150m d'une éolienne	Mise en place des dispositifs de sécurité
23	04/04/2008 PLOUGUIN (29)	Collision	Mauvaises conditions météo	Choc d'une aile d'un bimoteur sur une pâle	Pratique d'une expertise
24	10/03/2008 DINEAULT (29)	Problème de mise en sécurité	Défaillance du système de freinage	Hélice tournant au-delà de sa vitesse de fonctionnement nominale	Non précisée
25	11/10/2007 PLOUVIEN (29)	Projection	Défaillance de la charnière de la trappe	Projection de la trappe de visite de 50 cm de diamètre située 70m plus haut	Modification de l'ensemble des charnières du parc
26	02/03/2007 CLITOURPS (50)	Projection de débris	Non précisée	Projection d'un débris long de 5m dans un champ à 200m du mât, pas d'arrêt automatique de l'éolienne	Non précisée
27	03/12/2006 BONDUES (59)	Chute d'une éolienne	Violentes rafales de vent	Effondrement d'une éolienne de 30m de haut	Non précisée
28	18/11/2006 ROQUETAILLADE (11)	Incendie	Origine criminelle : Placement de bouteilles de gaz, des pneus et des	Destruction totale d'une nacelle, propulsion d'une tôle de protection	Installations de détecteurs de présence

N°	Date/Lieu	Type d'évènement	Cause	Conséquence	Mesure de prévention/Limitation
			hydrocarbures dans les mâts	de la nacelle à 50m	
29	07/10/2006 PLEYBER-CHRIST (29)	Chute d'une pâle	Non précisé	Démantèlement du parc en 2011 pour cause de même accident	Non précisée
30	10/11/2015 Ménil-la-Horgne (55)	Chute d'une nacelle + rotor	Non précisé	Destruction d'un poste de livraison	Non précisée

Source : Ministère du développement durable-Direction générale de la prévention des risques (BARPI)

