



**Energie  
Haute Vienne**

# *Projet éolien de Magnac-Laval*

Commune de Magnac-Laval

Communauté de communes de Brame-Benaize

Département de la Haute-Vienne (87)

## **ÉTUDE DE DANGERS**

Maître d'ouvrage :  
Energie Haute Vienne  
98 rue du Château  
92100 BOULOGNE BILLANCOURT

Décembre 2016

Note de compléments en mars 2018







# Etude de dangers

## Parc éolien de Magnac-Laval



### SOMMAIRE

<b>Contexte réglementaire.....</b>	<b>7</b>
<i>Application du régime des installations classées aux parcs éoliens .....</i>	<i>7</i>
<i>Réglementation relative à l'étude de dangers .....</i>	<i>8</i>
<b>Démarche générale de l'étude de dangers.....</b>	<b>10</b>
<b>Trame de l'étude de dangers .....</b>	<b>12</b>
<b>I. Préambule .....</b>	<b>12</b>
I.1. <i>Objectif de l'étude de dangers .....</i>	<i>12</i>
I.2. <i>Contexte législatif et réglementaire.....</i>	<i>12</i>
I.3. <i>Nomenclature des installations classées .....</i>	<i>13</i>
I.4. <i>Qu'est-ce qu'une éolienne ? .....</i>	<i>14</i>
<b>I.4.1. PRINCIPE D'UNE EOLIENNE.....</b>	<b>14</b>
<b>I.4.2. CLASSIFICATION DES EOLIENNES .....</b>	<b>14</b>
<b>I.4.3. NOMENCLATURE DES EOLIENNES .....</b>	<b>15</b>
<b>II. Informations générales concernant l'installation .....</b>	<b>15</b>
II.1. <i>Renseignements administratifs .....</i>	<i>15</i>
II.2. <i>Localisation du site.....</i>	<i>16</i>
II.3. <i>Définition de l'aire d'étude .....</i>	<i>16</i>
<b>III. Description de l'environnement de l'installation .....</b>	<b>17</b>
III.1. <i>Environnement humain .....</i>	<i>17</i>
III.1.1. <b>ZONES URBANISEES .....</b>	<b>17</b>
III.1.2. <b>ETABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC (ERP).....</b>	<b>18</b>
III.1.3. <b>INSTALLATIONS CLASSEES POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (ICPE) ET INSTALLATIONS NUCLEAIRES DE BASE .....</b>	<b>18</b>
III.1.4. <b>AUTRES ACTIVITES .....</b>	<b>18</b>
III.2. <i>Environnement naturel .....</i>	<i>19</i>
III.2.1. <b>CONTEXTE CLIMATIQUE .....</b>	<b>19</b>
III.3. <i>Environnement matériel .....</i>	<i>22</i>
III.3.1. <b>VOIES DE COMMUNICATION .....</b>	<b>22</b>
III.3.2. <b>RESEAUX PUBLICS ET PRIVES.....</b>	<b>23</b>
III.3.3. <b>AUTRES OUVRAGES PUBLICS .....</b>	<b>23</b>
III.4. <i>Cartographie de synthèse .....</i>	<i>24</i>
<b>IV. Description de l'installation.....</b>	<b>24</b>
IV.1. <i>Caractéristiques de l'installation .....</i>	<i>24</i>
IV.1.1. <b>CARACTERISTIQUES GENERALES D'UN PARC EOLIEN.....</b>	<b>24</b>
IV.1.2. <b>ACTIVITE DE L'INSTALLATION .....</b>	<b>26</b>
IV.1.3. <b>COMPOSITION DE L'INSTALLATION .....</b>	<b>26</b>
IV.2. <i>Fonctionnement de l'installation .....</i>	<i>28</i>
IV.2.1. <b>PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN AEROGENERATEUR ENERCON E141 – 4,2 MW.....</b>	<b>28</b>
IV.2.2. <b>SECURITE DE L'INSTALLATION .....</b>	<b>35</b>
IV.2.3. <b>OPERATIONS DE MAINTENANCE DE L'INSTALLATION .....</b>	<b>35</b>
IV.2.4. <b>STOCKAGE ET FLUX DE PRODUITS DANGEREUX .....</b>	<b>39</b>
IV.3. <i>Fonctionnement des réseaux de l'installation .....</i>	<i>40</i>
IV.3.1. <b>RACCORDEMENT ELECTRIQUE.....</b>	<b>40</b>
IV.3.2. <b>AUTRES RESEAUX .....</b>	<b>40</b>
<b>V. Identification des potentiels de dangers de l'installation .....</b>	<b>41</b>
V.1. <i>Potentiels de dangers liés aux produits .....</i>	<i>41</i>

V.1.1. INVENTAIRE DES PRODUITS .....	41
V.1.2. DANGERS DES PRODUITS .....	41
V.2. Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation .....	42
V.3. Réduction des potentiels de dangers à la source .....	43
V.3.1. PRINCIPALES ACTIONS PREVENTIVES.....	43
V.3.2. UTILISATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES .....	44
<b>VI. Analyse des retours d'expérience .....</b>	<b>44</b>
VI.1. Inventaire des accidents et incidents en France .....	44
VI.2. Inventaire des accidents et incidents à l'international.....	45
VI.3. Inventaire des accidents majeurs survenus sur les sites de l'exploitant .....	47
VI.4. Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience... ..	47
VI.4.1. ANALYSE DE L'EVOLUTION DES ACCIDENTS EN FRANCE .....	47
VI.4.2. ANALYSE DES TYPOLOGIES D'ACCIDENTS LES PLUS FREQUENTS .....	48
VI.5. Limites d'utilisation de l'accidentologie .....	48
<b>VII. Analyse préliminaire des risques.....</b>	<b>49</b>
VII.1. Objectif de l'analyse préliminaire des risques .....	49
VII.2. Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques.....	49
VII.3. Recensement des agressions externes potentielles.....	49
VII.3.1. AGRESSIONS EXTERNES LIEES AUX ACTIVITES HUMAINES .....	50
VII.3.2. AGRESSIONS EXTERNES LIEES AUX PHENOMENES NATURELS .....	50
VII.4. Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques .....	51
VII.5. Effets dominos.....	55
VII.6. Mise en place des mesures de sécurité.....	55
VII.7. Conclusion de l'analyse préliminaire des risques.....	64
<b>VIII. Etude détaillée des risques .....</b>	<b>65</b>
VIII.1. Rappel des définitions .....	65
VIII.1.1. CINETIQUE .....	66
VIII.1.2. INTENSITE .....	66
VIII.1.3. GRAVITE .....	67
VIII.1.4. PROBABILITE.....	67
VIII.2. Caractérisation des scénarios retenus .....	69
VIII.2.1. EFFONDREMENT DE L'EOLIENNE .....	69
VIII.2.2. CHUTE DE GLACE .....	72
VIII.2.3. CHUTE D'ELEMENTS DE L'EOLIENNE .....	74
VIII.2.4. PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES.....	76
VIII.2.5. PROJECTION DE GLACE.....	78
VIII.3. Synthèse de l'étude détaillée des risques .....	80
VIII.3.1. TABLEAUX DE SYNTHESE DES SCENARIOS ETUDIES .....	80
VIII.3.2. SYNTHESE DE L'ACCEPTABILITE DES RISQUES .....	81
VIII.3.3. CARTOGRAPHIE DES RISQUES .....	82
<b>IX. Conclusion .....</b>	<b>84</b>
<b>Annexe 1 – Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne.....</b>	<b>86</b>
Terrains non bâtis.....	86
Voies de circulation .....	86
VOIES DE CIRCULATION AUTOMOBILES.....	86
VOIES FERROVIAIRES .....	87
VOIES NAVIGABLES.....	87
CHEMINS ET VOIES PIETONNES .....	87
Logements .....	87
Etablissements recevant du public (ERP).....	87
Zones d'activité.....	87

<b>Annexe 2 – Tableau de l'accidentologie française .....</b>	<b>88</b>
<b>Annexe 3 – Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques</b>	<b>96</b>
Scénarios relatifs aux risques liés à la glace (G01 et G02) .....	96
SCENARIO G01 .....	96
SCENARIO G02 .....	96
Scénarios relatifs aux risques d'incendie (I01 à I07) .....	96
Scénarios relatifs aux risques de fuites (F01 à F02) .....	97
SCENARIO F01 .....	97
SCENARIO F02 .....	98
Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments (C01 à C03) .....	98
Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales (P01 à P06) .....	98
SCENARIO P01 .....	98
SCENARIO P02 .....	98
SCENARIOS P03 .....	98
Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E01 à E10) .....	99
<b>Annexe 4 – Probabilité d'atteinte et Risque individuel.....</b>	<b>100</b>
<b>Annexe 5 –Glossaire .....</b>	<b>101</b>
<b>Annexe 6 – Bibliographie et références utilisées.....</b>	<b>104</b>
<b>Annexe 7 – Table des figures .....</b>	<b>105</b>

## Introduction

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

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

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

Les objectifs par filière ont été déclinés dans des arrêtés de programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité (arrêtés PPI). L'éolien représente une des technologies les plus prometteuses pour atteindre les objectifs fixés par la France. Ainsi, l'arrêté du 24 avril 2016 a fixé des objectifs ambitieux pour l'éolien :

- 15 000 MW terrestres et 500 MW en mer en 2018,
- Entre 21 800 et 26 000 MW terrestres et 3 000 MW en mer en 2023.

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

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

Fin 2015, la puissance installée en France atteignait ainsi 10 312 MW.

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

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

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

Cette loi prévoit d'autre part de soumettre les éoliennes au régime d'autorisation au titre de la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Conformément

à cette nouvelle réglementation, les exploitants sont notamment amenés à formaliser leur savoir-faire en matière de maîtrise des risques dans une étude de dangers.

## CONTEXTE RÉGLEMENTAIRE

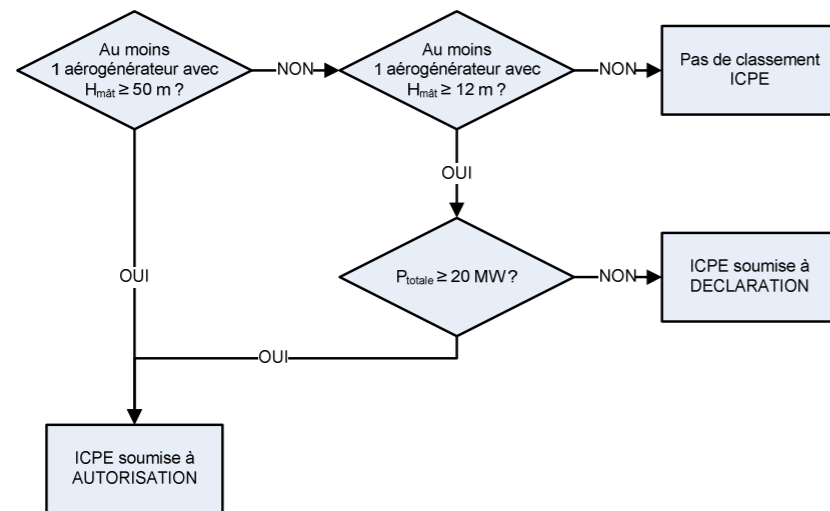
### APPLICATION DU RÉGIME DES INSTALLATIONS CLASSÉES AUX PARCS ÉOLIENS

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

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

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

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



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

Enfin, l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement prévoit un certain nombre de dispositions par rapport à l'implantation, la construction, l'exploitation et la prévention des risques. Ces prescriptions nationales sont applicables à tous les nouveaux parcs éoliens et, pour partie, aux installations existantes. Elles devront être prises en compte dans le cadre de l'étude de dangers.

## RÉGLEMENTATION RELATIVE À L'ÉTUDE DE DANGERS

Selon l'article L. 512-1 du Code de l'environnement, l'étude de dangers expose les risques que peut présenter l'installation pour les intérêts visés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation. Les impacts de l'installation sur ces intérêts en fonctionnement normal sont traités dans l'étude d'impact sur l'environnement.

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

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

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

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

*Le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation. En tant que de besoin, cette étude donne lieu à une analyse de risques qui prend en compte la probabilité d'occurrence, la cinétique et la gravité des accidents potentiels selon une méthodologie qu'elle explicite.*

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

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

Les intérêts visés à l'article L. 511-1 sont la commodité du voisinage, la santé, la sécurité, la salubrité publiques, l'agriculture, la protection de la nature, de l'environnement et des paysages, l'utilisation rationnelle de l'énergie, la conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique. Cependant, il convient de noter que l'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation [10] impose une évaluation des accidents majeurs sur les personnes uniquement et non sur la totalité des enjeux identifiés dans l'article L. 511-1. En cohérence avec cette réglementation et dans le but d'adopter une démarche proportionnée, l'évaluation des accidents majeurs dans l'étude de dangers s'intéressera prioritairement aux dommages sur les personnes. Pour les parcs éoliens, les atteintes à l'environnement (notamment le paysage), l'impact sur le fonctionnement des radars et les problématiques liées à la circulation aérienne feront l'objet d'une évaluation détaillée au sein de l'étude d'impact.

Ainsi, l'étude de dangers a donc pour objectif de démontrer la maîtrise du risque par l'exploitant. Elle comporte une analyse des risques qui présente les différents scénarios d'accidents majeurs susceptibles d'intervenir. Ces scénarios sont caractérisés en fonction de leur probabilité d'occurrence, de leur cinétique, de leur intensité et de la gravité des accidents potentiels. Elle justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.

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

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

*I. - L'étude de dangers mentionnée à l'article R. 512-6 justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.*

*Le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte tenu de son environnement et de la vulnérabilité des intérêts mentionnés aux articles L. 211-1 et L. 511-1.*

*II. - Cette étude précise, notamment, la nature et l'organisation des moyens de secours dont le demandeur dispose ou dont il s'est assuré le concours en vue de combattre les effets d'un éventuel sinistre. Dans le cas des installations figurant sur la liste prévue à l'article L. 515-8<sup>1</sup>, le demandeur doit fournir les éléments indispensables pour l'élaboration par les autorités publiques d'un plan particulier d'intervention.*

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

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

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

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

- **Loi n°2003-699 du 30 juillet 2003** relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages
- **Décret n°2005-1170 du 13 septembre 2005** modifiant le décret n°77-1133 du 21 septembre 1977 pris pour application de la loi n°76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement
- **Arrêté du 10 mai 2000** relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation
- **Arrêté du 29 septembre 2005** modifiant l'arrêté du 10 mai 2000 relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation
- **Circulaire du 10 mai 2010** récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.

**DÉMARCHE GÉNÉRALE DE L'ÉTUDE DE DANGERS**

Cette partie du guide rappelle les différentes étapes de la démarche d'analyse des risques qui doit être mise en œuvre dans le cadre de l'étude de dangers des parcs éoliens, conformément à la réglementation en vigueur et aux recommandations de l'inspection des installations classées. Elles sont énumérées ici dans l'ordre dans lequel elles sont présentées ensuite au sein de la trame de l'étude de dangers des parcs éoliens.

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

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

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

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

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

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

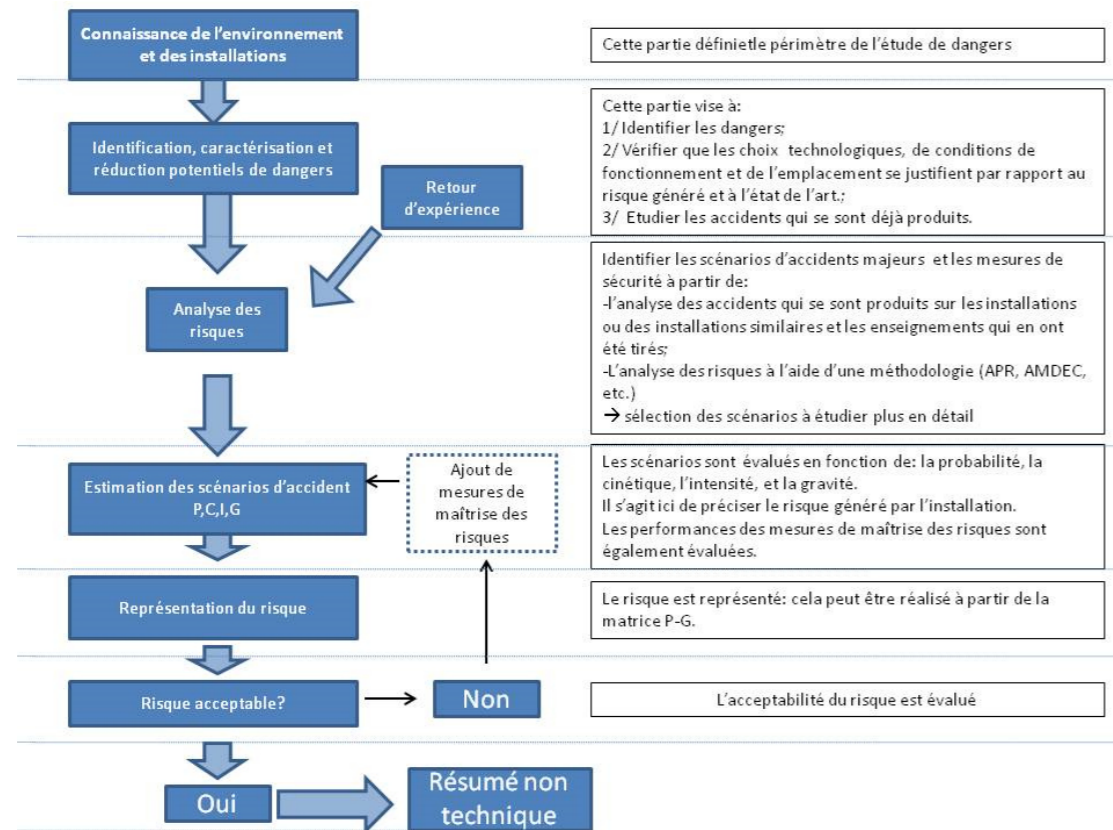
**Réduire le risque si nécessaire.** Cette étape s'appuie sur des critères d'acceptabilité du risque : si le risque est jugé inacceptable, des évolutions et mesures d'amélioration sont proposées par l'exploitant.

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

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

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

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



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

## TRAME DE L'ÉTUDE DE DANGERS

### I. PRÉAMBULE

#### I.1. OBJECTIF DE L'ÉTUDE DE DANGERS

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par Energie Haute Vienne pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du parc éolien de Magnac-Laval, 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 éolien de Magnac-Laval. 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 Magnac-Laval qui réduisent le risque à l'intérieur et à l'extérieur des éoliennes à un niveau jugé acceptable par l'exploitant.

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

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

#### I.2. CONTEXTE LÉGISLATIF ET RÉGLEMENTAIRE

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

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

Ainsi, l'étude de dangers a pour objectif de démontrer la maîtrise du risque par l'exploitant. Elle comporte une analyse des risques qui présente les différents scénarios d'accidents majeurs susceptibles d'intervenir. Ces scénarios sont caractérisés en fonction de leur probabilité d'occurrence, de leur cinétique, de leur intensité et de la gravité des accidents potentiels. Elle justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.



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

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

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

### I.3. NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSÉES

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

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

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

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

## I.4. QU'EST-CE QU'UNE ÉOLIENNE ?

### I.4.1. PRINCIPE D'UNE ÉOLIENNE

L'éolienne est la version moderne des moulins à vent. Elle permet de récupérer l'énergie du vent pour produire de l'électricité. C'est ainsi que l'on parle souvent d'aérogénérateur.



L'énergie éolienne est une énergie propre qui, lors de sa génération, ne produit aucun déchet, ni aucune émission de gaz dans l'atmosphère. Néanmoins, du fait de l'inconstance du vent, les éoliennes ne sont pas productrices d'énergie en permanence.

### I.4.2. CLASSIFICATION DES ÉOLIENNES

La production électrique d'une éolienne dépend de la vitesse vent. En effet, l'énergie éolienne augmente proportionnellement avec le cube de la vitesse. Les caractéristiques du vent (vitesse moyenne, turbulence, etc...) sont donc des critères importants lors du choix d'un site.

Deux paramètres permettent de classer un site :

- La vitesse du vent (« Moyenne » et « Maximale sur 50 ans ») ;
- La turbulence du vent (turbulence pour une vitesse de vent de 15 m/s).

En France, la classification fait référence à la norme « IEC 61400-1 ». Cette classification est résumée ci-après :

		Vitesse de vent [m/s]			
Moyenne		[10 : 8.5]	] 8.5 : 7.5]	inférieur à 7.5	
Maximum / 50 ans		[50 : 42.5]	] 42.5 : 37.5]	inférieur à 37.5	
		I	II	III	
Turbulence [%]	[16% : 14%]	A	IEC IA	IEC IIA	IEC IIIA
	[14% : 12%]	B	IEC IB	IEC IIB	IEC IIIB
	Inférieur à 12%	C	IEC IC	IEC IIC	IEC IIIC
		<b>Classe de vent de l'éolienne</b>			

Les éoliennes industrielles sont dimensionnées pour chacune de ces classes. Il est donc important de faire correspondre la classe du site avec la classe de la turbine. Ainsi, les éoliennes de « classe IA » sont dimensionnées pour des sites avec beaucoup de vent et assez turbulent, alors qu'une éolienne « classe IIIC » sera dimensionnée pour des sites avec peu de vent et très peu de turbulence.

Les éoliennes ne pouvant être classifiées de manière simple dans l'une des classes précédentes sont classifiées comme classe « S » (Spécial), à définir selon le cas.

#### 1.4.3. NOMENCLATURE DES ÉOLIENNES

Les constructeurs repèrent ses éoliennes de la façon suivante :

- Première lettre : Initiale du constructeur (V pour Vestas) ;
- Premier groupe de chiffres : Diamètre du rotor en mètres ;
- Deuxième groupe de chiffres : Puissance électrique en MW.

Ce principe donne par exemple V80-2.0 MW (éolienne Vestas de 80 m de diamètre, d'une puissance de 2 MW).

## II. INFORMATIONS GÉNÉRALES CONCERNANT L'INSTALLATION

### II.1. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

L'exploitant du parc éolien de Magnac-Laval est la société Energie Haute Vienne, immatriculée sous le numéro 823 754 544 au registre du commerce et des sociétés de Nanterre et domiciliée au 98 rue du Château à Boulogne-Billancourt (92100).

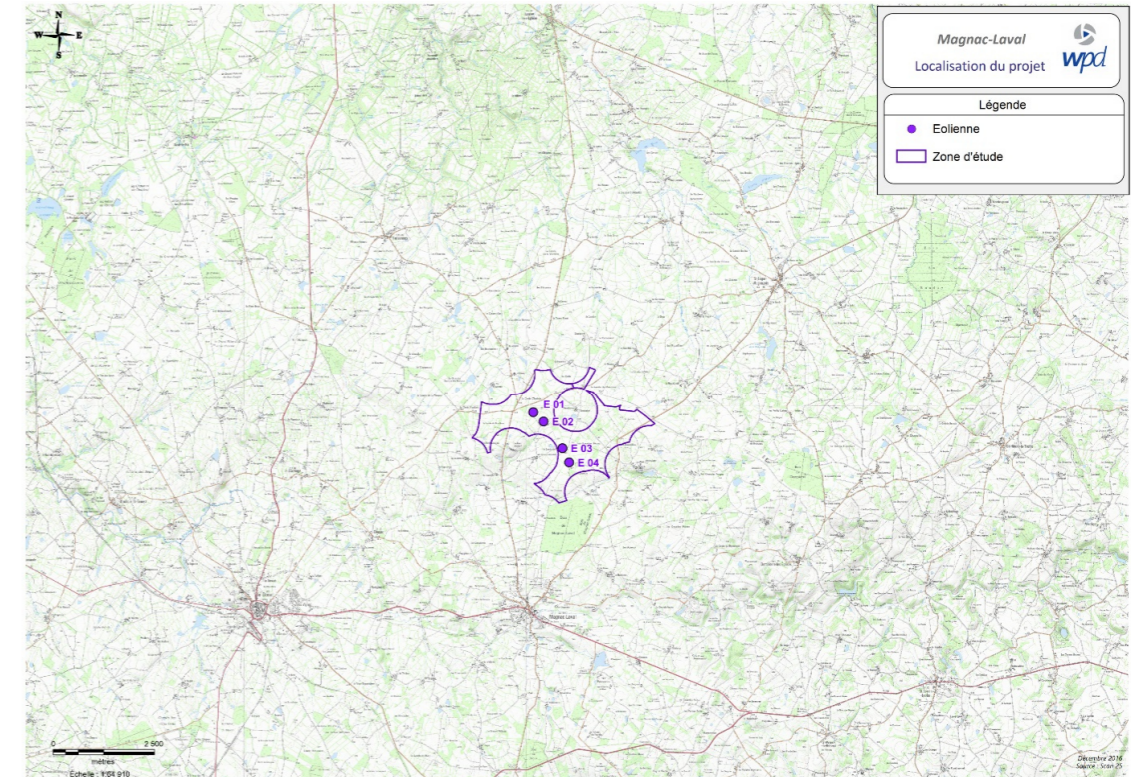
Cette société d'exploitation est une filiale du groupe wpd Europe GmbH, qui rassemble l'ensemble des compétences nécessaires au développement, au financement, à la construction et à l'exploitation des parcs éoliens. En particulier, le projet éolien de Magnac-Laval a été porté par wpd S.A.S, agence basée à Limoges de la filiale française du groupe, chargée du développement de parcs éoliens (voir explications complémentaires dans le dossier de demande d'autorisation unique).

Energie Haute Vienne est une société dédiée au projet éolien de Magnac-Laval, ce qui permet d'assurer une gestion locale et efficace du parc éolien.

La présente étude de dangers a été rédigée par Jérémy BOUCHEZ, chargé d'études environnementales au sein de la société wpd.

## II.2. LOCALISATION DU SITE

Le parc éolien de Magnac-Laval, composé de 4 aérogénérateurs, est localisé sur la commune de Magnac-Laval, dans le département de la Haute-Vienne (87) en région Nouvelle Aquitaine.



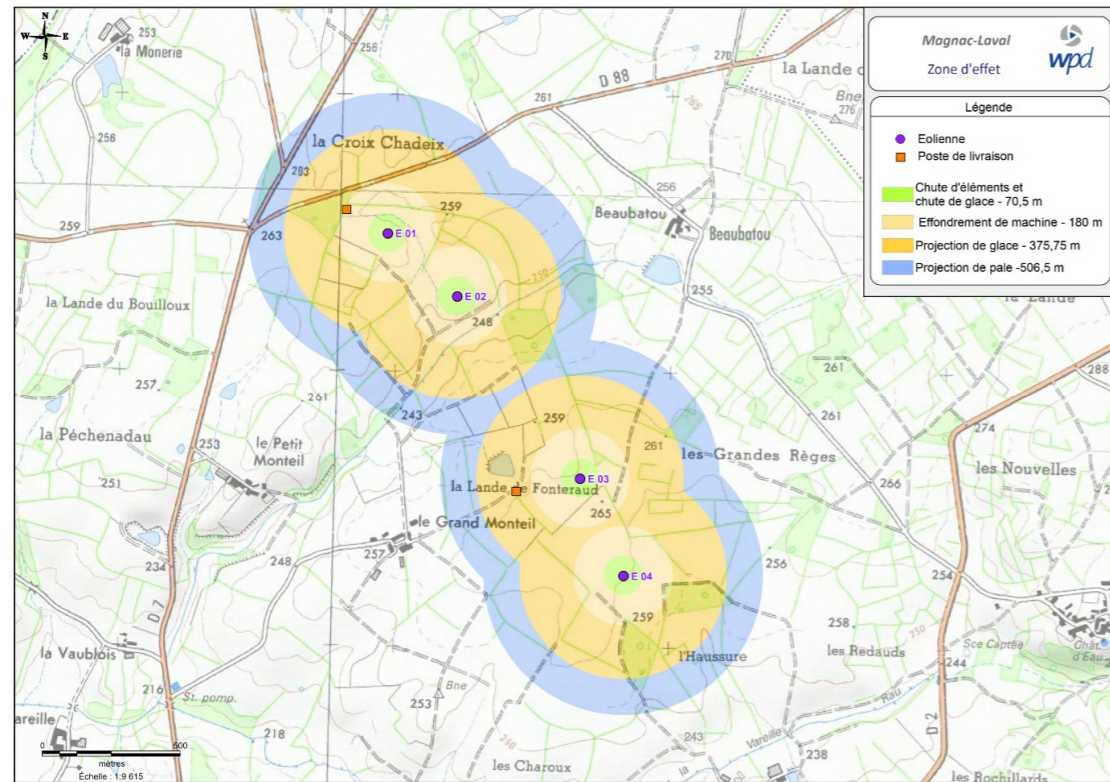
Localisation du projet éolien de Magnac-Laval

## II.3. DÉFINITION DE L'AIRE D'ÉTUDE

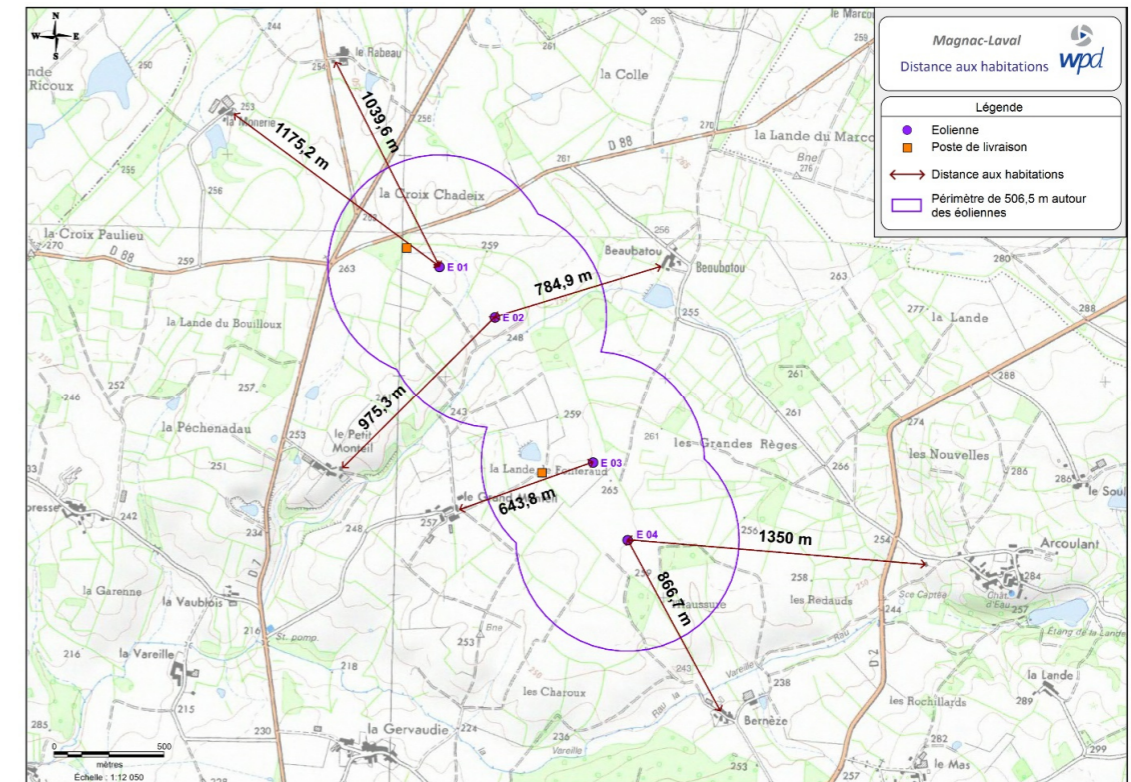
Compte tenu des spécificités de l'organisation spatiale d'un parc éolien, composé de plusieurs éléments disjoints, la zone sur laquelle porte l'étude de dangers est constituée d'une aire d'étude par éolienne.

Chaque aire d'étude correspond à l'ensemble des points situés à une distance inférieure ou égale à 506,5 m à partir du centre du mât de l'aérogénérateur. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection, telle que définie au paragraphe VIII.2.4.

La zone d'étude n'intègre pas les environs des postes de livraison, qui sera néanmoins représenté sur la carte. Les expertises réalisées dans le cadre de la présente étude ont en effet montré l'absence d'effet à l'extérieur des postes de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter.



Localisation de zones d'étude spécifiques de l'étude de dangers



### III. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

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

#### III.1. ENVIRONNEMENT HUMAIN

##### III.1.1. ZONES URBANISÉES

L'habitation la plus proche du parc éolien de Magnac-Laval se situe au niveau du lieu-dit « Le Grand Monteil » à environ 643 m de E3.

Les autres éoliennes se situent à des distances supérieures à 785 m. Les habitations les plus proches et leur distance d'éloignement sont rappelées ci-après.

Commune	Hameau ou lieu-dit	Distance au parc éolien de Magnac-Laval
Magnac-Laval	Le Grand Monteil	644 m de E3
	Beubatou	785 m de E2
	Bernèze	867 m de E4
	Le Rabeau	1040 m de E1

Toutes les éoliennes sont situées à **plus de 600 mètres** des habitations et zones destinées à l'habitation.

#### III.1.2. ETABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC (ERP)

Aucun ERP n'est concerné par le périmètre d'étude. Les ERP les plus proches (de type écoles, mairies ou magasins de vente) se situent au sein des villages alentours, soit à plus de 3000 m de l'éolienne la plus proche.

#### III.1.3. INSTALLATIONS CLASSÉES POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (ICPE) ET INSTALLATIONS NUCLÉAIRES DE BASE

L'arrêté du 26 août 2011 préconise une distance d'éloignement de 300 mètres entre le parc éolien et toute installation classée pour la protection de l'environnement. Aucune installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) soumise au régime d'autorisation n'est présente dans l'aire d'étude de 506,5 m.

L'installation classée ICPE la plus proche est un dépôt de papiers usés ou souillés situé à 3,2 km sur la commune de Magnac-Laval. Aucun établissement SEVESO ou installation nucléaire de base (INB) n'est présent dans les limites de la zone d'étude ou à proximité.

#### III.1.4. AUTRES ACTIVITÉS

Le voisinage immédiat du parc éolien de Magnac-Laval est constitué principalement de cultures et structures bocagères.

### III.2. ENVIRONNEMENT NATUREL

#### III.2.1. CONTEXTE CLIMATIQUE

Le territoire est caractérisé par un climat océanique dégradé, c'est-à-dire tempéré, sous l'influence océanique, mais restant frais et pluvieux.

##### ❖ TEMPÉRATURES ET PRÉCIPITATIONS

Les basses températures, notamment les températures négatives sont le facteur nécessaire pour conduire au givrage des pales ou de l'éolienne. Les amas de glace peuvent ensuite se détacher et tomber au sol sous l'éolienne (machine 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 celle-ci au sol.

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

Les éoliennes envisagées pour le projet (Enercon E141, Vestas V136, Nordex N131), sont construites en standard pour fonctionner sous des températures ambiantes entre - 20 °C et 40°C.

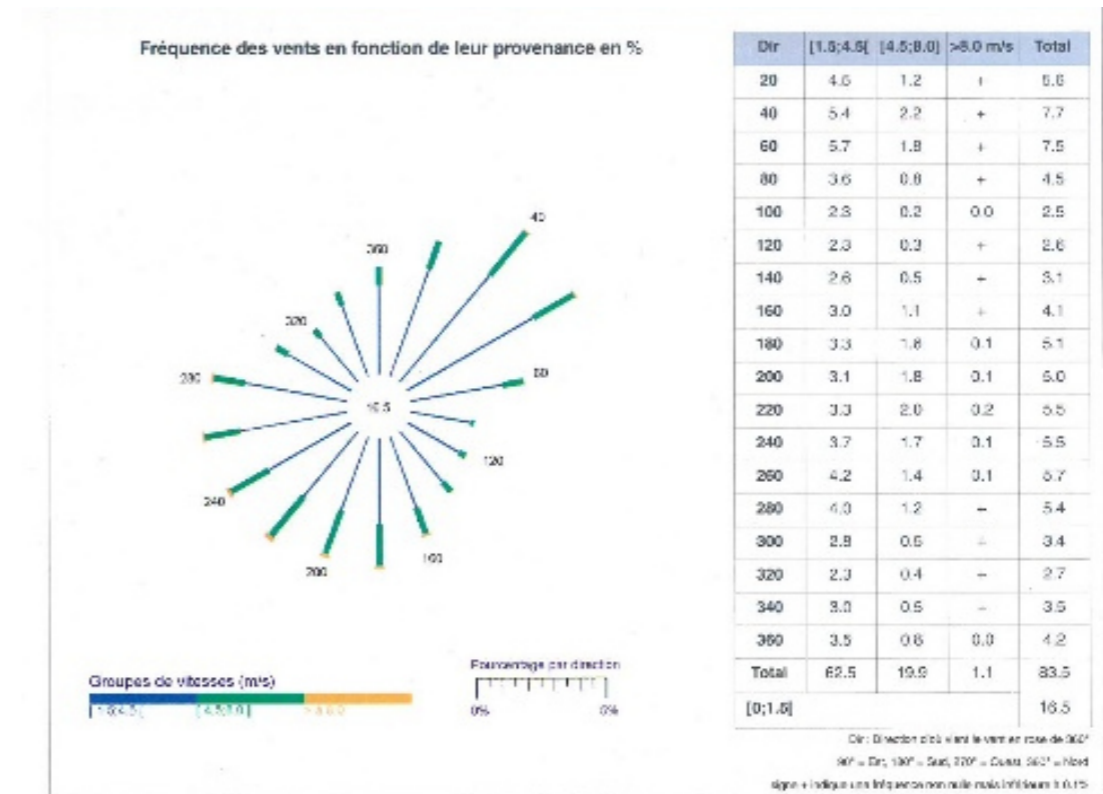
Les données des tableaux suivants sont issues de la station Météo France de Limoges-Bellegarde à environ 42 km de l'aire d'étude.

Données climatiques extrêmes (stations Météo France à 10 m)	
Température maximale (Limoges Bellegarde - 1973/2010)	37,2°C (le 5/08/2003)
Température minimale (Limoges Bellegarde - 1973/2010)	-19,2°C (le 16/01/1985)
Pluviométrie journalière maximale (Limoges Bellegarde - 1973/2010)	77,2 mm (le 25/06/1994)
Nombre de jours de neige (Limoges Bellegarde - 1971/2000)	Données non disponibles
Nombre de jours de gel (Saint-Junien- 1997/2012.)	41 jours par an
Nombre de jours de grêle (Limoges Bellegarde - 1971/2000)	4 jours par an
Nombre de jours d'orage (Limoges Bellegarde - 1971/2000)	25,5 jours par an

##### ❖ VENT

Les vents forts peuvent conduire à des efforts significatifs sur l'éolienne. Celle-ci est néanmoins conçue pour répondre à une classe de vents adaptée au site d'implantation. Les vitesses de vent importantes (au-delà de 20m/s soit plus de 70 km/h) conduisent à la mise en drapeau des pales. Les vents les plus fréquents sont d'origine Sud-ouest et Nord-est. Il s'agit également des vents les plus forts, dépassant parfois 8m/s (à 10m au-dessus du sol).

Les épisodes ponctuels et extrêmes (type tempêtes) sont abordés dans la partie « Risques naturels » ci-après.



##### ❖ RISQUES NATURELS

Les risques naturels listés ci-dessous sont susceptibles de constituer des agresseurs potentiels pour les éoliennes et seront donc pris en compte dans l'évaluation préliminaire des risques.

##### ❖ SISMICITÉ

Un séisme est un phénomène vibratoire qui peut affecter la stabilité de l'éolienne. Les conséquences peuvent être un effondrement de l'éolienne. Néanmoins, l'examen des données d'accidentologie ne fait pas apparaître d'accident donc la cause serait un séisme.

Selon le nouveau zonage sismique entré en vigueur le 1er mai 2011, le périmètre d'étude présente un aléa au risque sismique faible (zone de sismicité, comme définie dans le décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010 portant sur la délimitation des zones de sismicité du territoire français). Le porteur du projet suivra les règles de construction parasismiques en vigueur pour les éoliennes ainsi que pour les postes de livraison.

La base de données SisFrance, coproduite par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Électricité de France et l'Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire, a également été consultée afin de vérifier si l'épicentre de séismes, même anciens, était situé à proximité du secteur d'étude ([www.sisfrance.net](http://www.sisfrance.net)). Le résultat de cette recherche montre qu'aucun épicentre de séisme n'a été enregistré sur la commune du site.

##### ❖ MOUVEMENTS DE TERRAIN

La commune de Magnac-Laval n'est pas soumise au risque de mouvement de terrain.

❖ **FOUDRE**

La foudre est un phénomène très complexe à effets multiples. Ces effets sont les suivants :

- Effets thermiques liés à l'effet Joule dans les mauvais conducteurs (matières plastiques, béton) ;
- Montées en potentiel de prises de terre ;
- Effets d'induction ;
- Effets électrodynamiques.

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

Pour juger de l'activité orageuse dans un département, un indicateur précis a été développé ; il s'agit de l'indice Ng. Le sigle Ng correspond à la densité de foudroiement pour chaque département, c'est-à-dire au nombre d'impacts de foudre (nombre d'arc) par an et par km<sup>2</sup>. Avec 1,5 arcs/km<sup>2</sup>/an, le département de la Haute-Vienne n'est pas concerné par un risque de foudroiement élevé. Le risque de foudre n'est pas retenu comme source potentielle de danger pour le parc éolien.

❖ **TEMPÊTES**

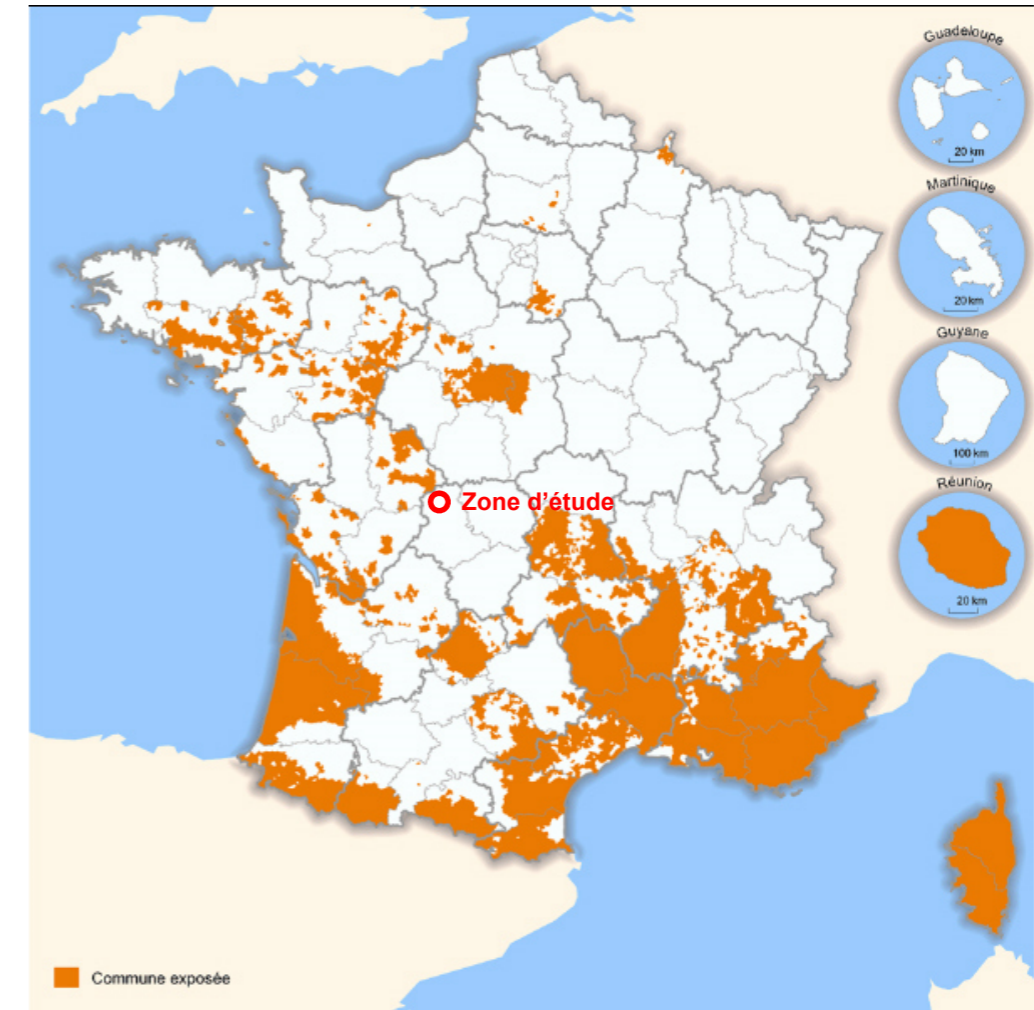
En météorologie marine, une tempête correspond à la force 10 de l'échelle Beaufort. La force 10 correspond à des vents moyens de 89 à 117 km/h. Par analogie, les météorologues nomment « tempêtes » les rafales de vent dépassant les 100 km/h dans l'intérieur des terres (Source : Météo France). Le risque de tempête apparaît comme faible et n'est pas retenu comme source potentielle de danger.

❖ **CYCLONES**

La région Nouvelle Aquitaine n'étant pas soumise à cet aléa, les cyclones ne sont pas retenus comme source potentielle de danger pour le parc éolien de Magnac-Laval.

❖ **INCENDIES DE FORÊTS ET DE CULTURES**

La présence proche de zones boisées peut être un facteur initiateur d'un incendie. Le site d'étude se trouve cependant au sein de parcelles agricoles et ne se situe pas sur des communes soumises au risque incendies. Le risque d'incendie n'est pas retenu comme source potentielle de danger.

❖ **INONDATIONS**

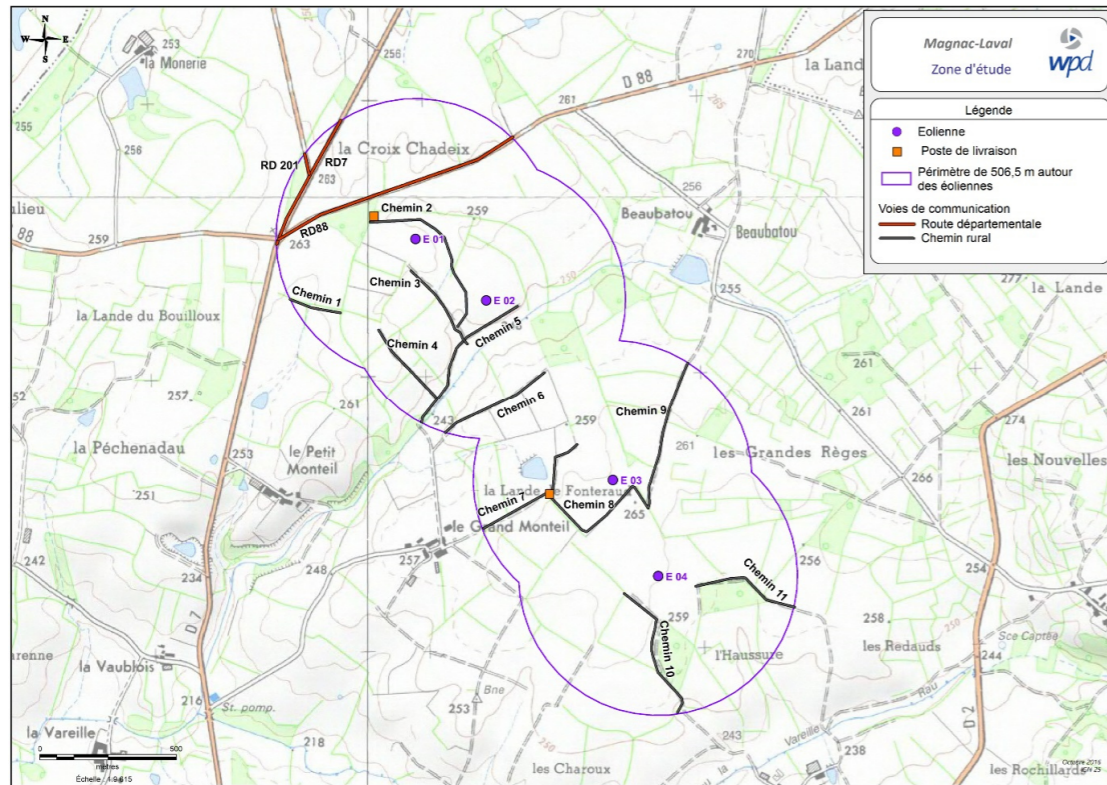
Aucun Plan de Prévention des Risques Naturels « Inondation » ne concerne la commune de Magnac-Laval. Cependant on note un risque d'inondation par remontée de nappe.

❖ **AUTRES RISQUES NATURELS**

Aucun autre risque naturel n'est susceptible d'être une source de danger pour le parc éolien de Magnac-Laval.

**III.3. ENVIRONNEMENT MATÉRIEL****III.3.1. VOIES DE COMMUNICATION**

On observe la présence de voies communales et de trois routes départementales dans le périmètre de 506,5 m autour des éoliennes.



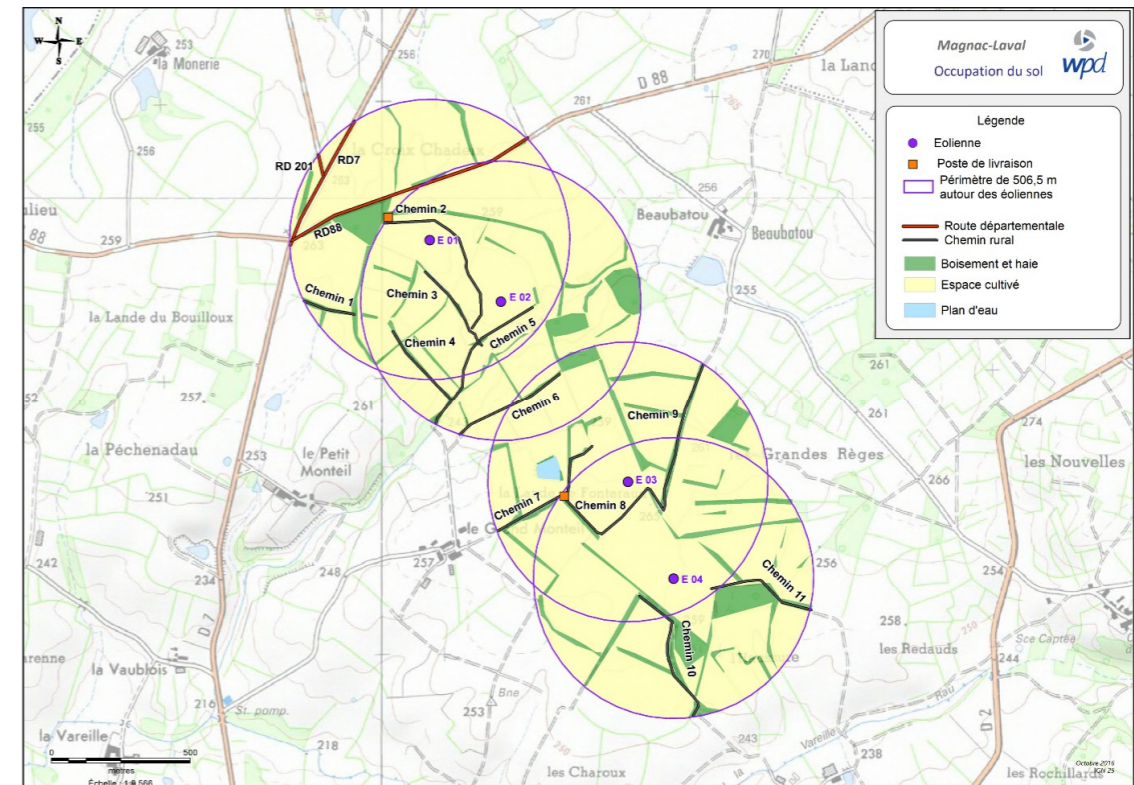
### III.3.2. RÉSEAUX PUBLICS ET PRIVÉS

On recense des ouvrages de canalisations d'eau potable enterrés le long des routes départementales 7 et 201 sur la zone d'étude.

### III.3.3. AUTRES OUVRAGES PUBLICS

Aucun autre ouvrage public n'a été répertorié dans le périmètre d'étude. Une cartographie des ouvrages présents à proximité du site de Magnac-Laval est présentée dans l'étude d'impact. Il est important de rappeler que le danger sur les infrastructures proche est faible lors de la phase d'exploitation du parc éolien. Il est un peu plus important pendant la phase de chantier, qui n'est pas traitée dans l'étude de dangers.

### III.4. CARTOGRAPHIE DE SYNTHÈSE



### IV. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

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

#### IV.1. CARACTÉRISTIQUES DE L'INSTALLATION

##### IV.1.1. CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES D'UN PARC ÉOLIEN

Un parc éolien est une centrale de production d'électricité à partir de l'énergie du vent. Il est composé de plusieurs aérogénérateurs et de leurs annexes (cf. schéma du raccordement électrique au paragraphe IV.3.1) :

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

#### ❖ Éléments constitutifs d'un aérogénérateur

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

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

- **Le rotor** est composé de trois pales construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu. Il se prolonge dans la nacelle pour constituer l'arbre lent.
- **Le mât** est composé de plusieurs tronçons en acier ou de plusieurs anneaux de bétons surmontés d'un ou plusieurs tronçons en acier.
- **La nacelle** abrite plusieurs éléments fonctionnels :
  - le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique ;
  - le multiplicateur ;
  - le système de freinage mécanique ;
  - le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent pour une production optimale d'énergie ;
  - les outils de mesure du vent (anémomètres) ;
  - le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique ;
  - le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique.

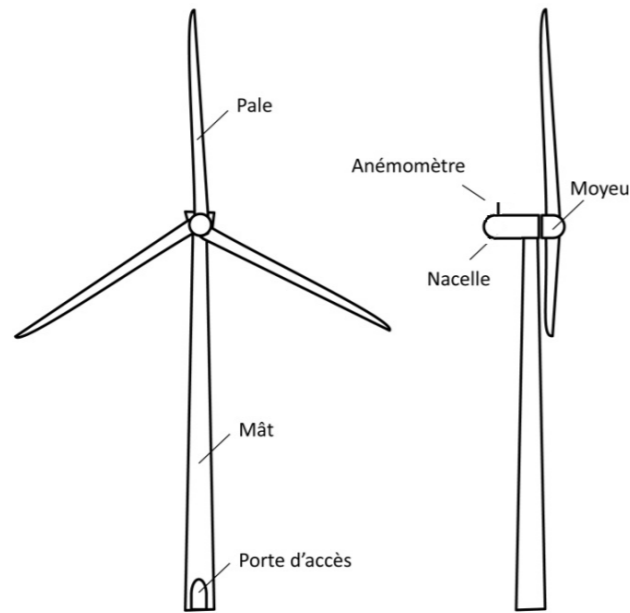


Figure 1 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

#### ❖ Emprise au sol

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

- **La surface de chantier** est une surface temporaire, durant la phase de construction, destinée aux manœuvres des engins et au stockage au sol des éléments constitutifs des éoliennes.

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

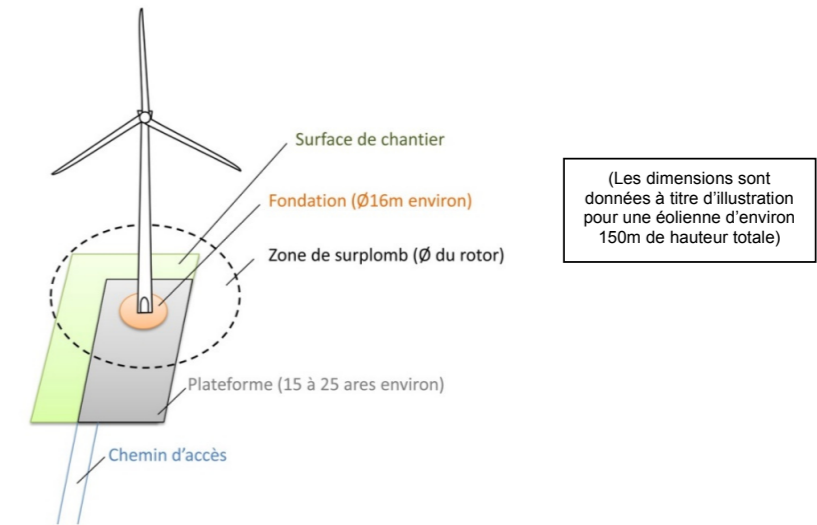


Figure 2 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne

#### ❖ Chemins d'accès

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

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

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

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

#### IV.1.2. ACTIVITÉ DE L'INSTALLATION

L'activité principale du parc éolien de Magnac-Laval est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur (mât + nacelle) de 180 m en bout de pale. Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

#### IV.1.3. COMPOSITION DE L'INSTALLATION

Le parc éolien de Magnac-Laval est composé de 4 aérogénérateurs et de deux postes de livraison. Il est envisagé, au moment de la rédaction de cette étude, 3 types d'aérogénérateurs différents :

- Vestas V 136, 112 m de mât et un diamètre de 136 m
- Nordex N 131, 114 m de mât et un diamètre de 131 m
- Enercon E141, 109,5 m de mât et un diamètre de 141 m

Dans un souci de maximisation des risques, l'étude de dangers est effectuée sur le modèle de la Enercon E141, éolienne présentant les critères majorant de rapprochement du sol et de superficie de rotor.

Les hauteurs des aérogénérateurs retenus sont présentées dans le tableau suivant :

Numéro d'éolienne	Hauteur au moyeu (en mètres)	Diamètre du rotor (en mètres)	Hauteur totale (en mètres)
E1	109,5	141	180
E2	109,5	141	180
E3	109,5	141	180
E4	109,5	141	180

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs et des postes de livraison (RGF93 Lambert 93) :

Numéro d'éolienne	Longitude (X)	Latitude (Y)	Altitude en mètres NGF maximale
E1	558950	6574824	440,27
E2	559202	6574596	436,93
E3	559647	6573933	443,8
E4	559804	6573581	441,57
PDL 1	558801	6574908	263,72
PDL 2	559416	6573885	264,73

## IV.2. FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

### IV.2.1. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT D'UN AÉROGÉNÉRATEUR ENERCON E141 – 4,2 MW

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

Les pales se mettent en mouvement lorsque l'**anémomètre** (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 2 m/s, et c'est seulement à partir de la vitesse de couplage au réseau que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor et l'arbre dit «lent» transmettent alors l'énergie mécanique à basse vitesse (entre 5 et 18 tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit «rapide» tourne environ 100 à 130 fois plus vite que l'arbre lent. La génératrice transforme l'énergie mécanique captée par les pales en énergie électrique.

La puissance électrique produite varie en fonction de la vitesse de rotation du rotor. Dès que le vent atteint la vitesse minimale nécessaire à la production maximale, appelée aussi production nominale.

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

Lorsque la mesure de vent, indiquée par l'anémomètre, dépasse la vitesse maximale de fonctionnement, l'éolienne cesse de fonctionner pour des raisons de sécurité. Deux systèmes de freinage permettront d'assurer la sécurité de l'éolienne :

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

E141 – 4,2 MW	
Vitesse de couplage au réseau	3 m/s
Vitesse minimale nécessaire à la production maximale	13 m/s
Vitesse maximale de fonctionnement	28 - 34 m/s (selon les modes)

#### Découpage fonctionnel de l'installation :

##### ❖ Fondations

Fonction	Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol
Description	<p>Le massif de fondation est composé de béton armé et conçu pour répondre aux prescriptions de l'Eurocode 2. Les fondations ont entre 2.5 et 3.5 mètres d'épaisseur pour un diamètre de l'ordre de 2 0 à 25 mètres. Ceci représente une masse de béton d'environ 1 000 tonnes. Un système constitué de tiges d'ancrage, dit « anchor cage » disposé au centre du massif de fondation, permet la fixation de la bride inférieure de la tour.</p> <p>Cette structure doit répondre aux calculs de dimensionnement des massifs qui prennent en compte les caractéristiques suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le type d'éolienne ;</li> <li>• La nature des sols ;</li> <li>• Les conditions météorologiques extrêmes ;</li> <li>• Les conditions de fatigue.</li> </ul>

##### ❖ Tour / mât

Fonction	Supporter la nacelle et le rotor
----------	----------------------------------



<b>Description</b>	<p>La tour des éoliennes (également appelée mât) est constituée de plusieurs sections tubulaires en acier, de plusieurs dizaines de millimètres d'épaisseur et de forme tronconique, qui sont assemblées entre elles par brides. Fixée par une bride aux tiges d'ancrage disposées dans le massif de fondation, la tour est autoportante.</p> <p>La hauteur de la tour, ainsi que ses autres dimensions, sont en relation avec le diamètre du rotor, la classe des vents, la topologie du site et la puissance recherchée.</p> <p>La tour permet le cheminement des câbles électriques de puissance et de contrôle et abrite :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Une échelle d'accès à la nacelle ;</li> <li>• Un élévateur de personnes ;</li> <li>• Une armoire de contrôle et des armoires de batteries d'accumulateurs (en point bas) ;</li> <li>• Les cellules de protection électriques.</li> </ul>
<b>Tension dans les câbles présents dans la tour</b>	Jusqu'à 690V

	Hauteur de la tour (au moyeu)	Nombre de sections de la tour	Masse*	Diamètre maximum à la base
E141 – 4,2 MW	109,5 m	4	Jusqu'à 2007 tonnes	13 m (au maximum)

❖ Nacelle

<b>Fonctions</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Supporter le rotor</li> <li>• Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité</li> </ul>
<b>Description</b>	<p>La nacelle se situe au sommet de la tour et abrite les composants mécaniques, hydrauliques, électriques et électroniques, nécessaires au fonctionnement de l'éolienne (voir figure ci-après).</p> <p>Elle est constituée d'une structure métallique habillée de panneaux en fibre de verre et est équipée de fenêtres de toit permettant d'accéder à l'extérieur.</p> <p>Le système de refroidissement assure le refroidissement des principaux éléments de l'éolienne et sert également de support pour les balisages lumineux et les capteurs de vent (voir la photo ci-après). Ces capteurs à ultrasons mesurent en permanence la vitesse et la direction du vent.</p> <p>Une sonde de température extérieure est placée sous la nacelle et reliée au contrôle commande.</p> <p>La nacelle n'est pas fixée de façon rigide à la tour. La partie intermédiaire entre la tour et la nacelle constitue le système d'orientation, appelé « yaw system », permettant à la nacelle de s'orienter face au vent, c'est-à-dire de positionner le rotor dans la direction du vent.</p> <p>Le système d'orientation est constitué de plusieurs dispositifs motoréducteurs solidaires de la nacelle. Ces dispositifs permettent la rotation de la nacelle et son maintien en position face au vent. La vitesse maximum d'orientation de la nacelle est de moins de 0,5 degrés par seconde soit environ une vingtaine de minutes pour faire un tour complet.</p> <p>Afin d'éviter une torsion excessive des câbles électriques reliant la génératrice au réseau public, il existe un dispositif de contrôle de rotation de la nacelle. Celle-ci peut faire 3 à 5 tours de part et d'autre d'une position moyenne. Au-delà, un dispositif automatique provoque l'arrêt de l'éolienne, le retour de la nacelle à sa position dite « zéro », puis la turbine redémarre.</p>
<b>Tension dans les armoires électriques</b>	Entre 0 et 1 200 V.

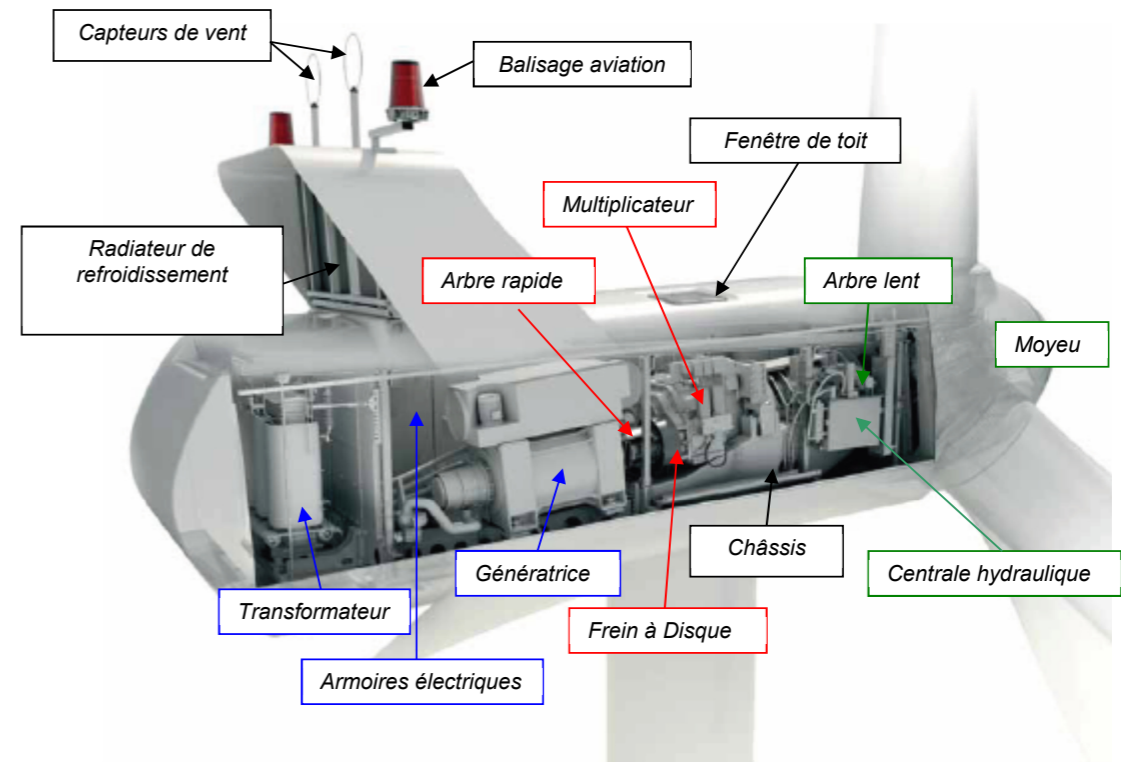
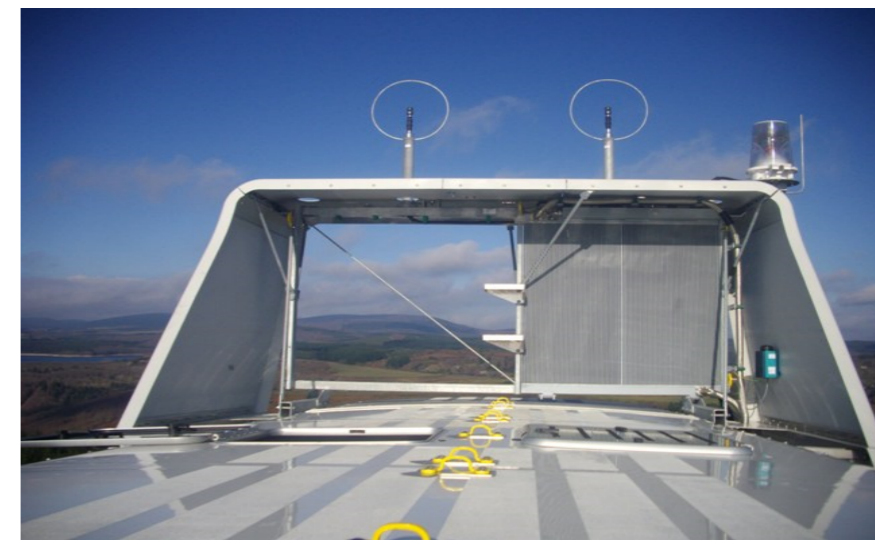
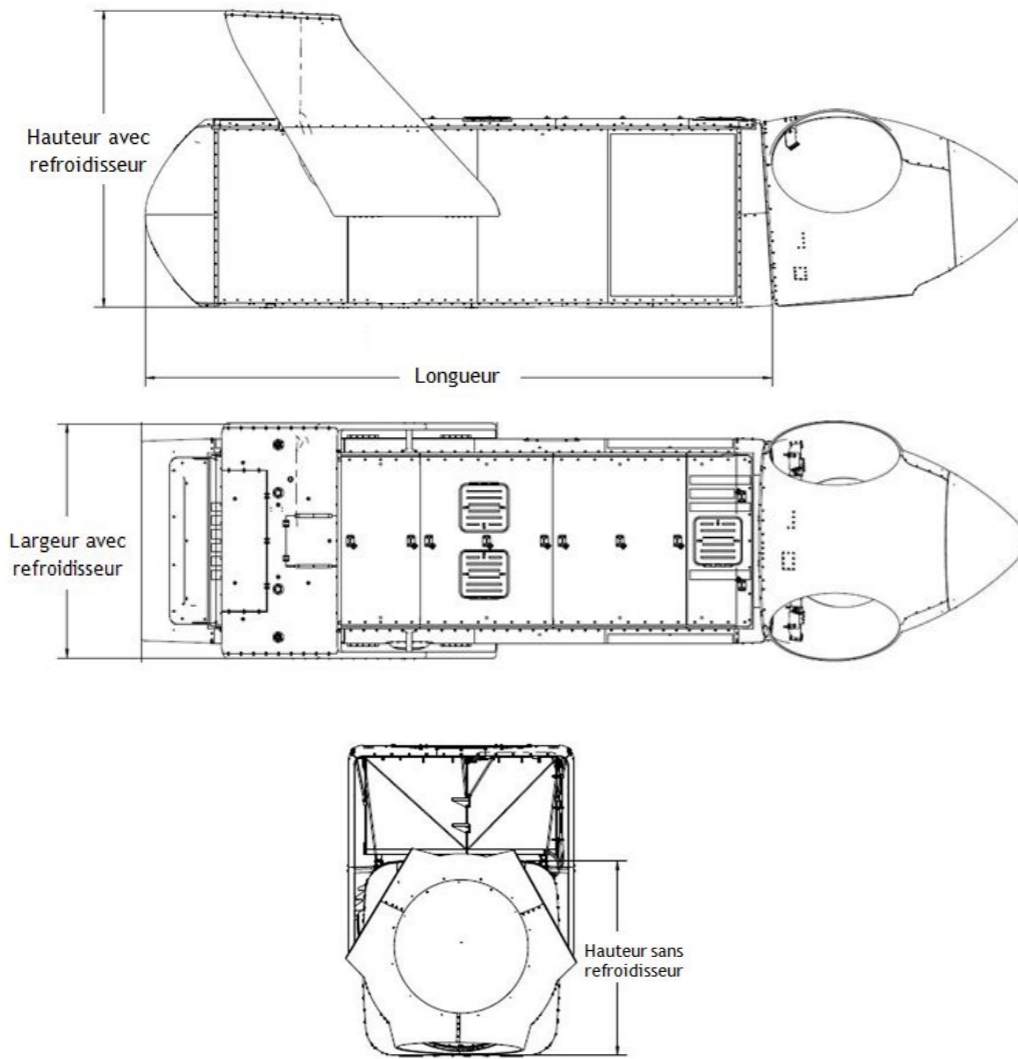


Figure 3: Composants de la nacelle





E141 – 4,2 MW	
Longueur	18,88 m*
Largeur	9,02 m*
Hauteur	9,37 m*
Poids	453 tonnes*

\*Données indicatives

❖ Rotor

<b>Fonction</b>	Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice
<b>Description du rotor</b>	Les rotors sont composés de trois pales fixées au moyeu via des couronnes à deux rangées de billes et double contact radial. La rotation du rotor permet de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Elle est transmise à la génératrice via le multiplicateur. Les pales peuvent pivoter d'environ 90 degrés sur leur axe grâce à des vérins hydrauliques montés dans le moyeu. La position des pales est alors ajustée par un système d'inclinaison. Ainsi, les variations de vitesse de vents sont constamment compensées par l'ajustement de l'angle d'inclinaison des pales. Dans le cas où la vitesse de vent devient trop importante risquant d'amener une usure prématurée des divers composants ou de conduire à un emballement du

	<p>rotor, le système d'inclinaison ramène les pales dans une position où elles offrent le moins de prise au vent, dite « en drapeau », conduisant à l'arrêt du rotor (freinage aérodynamique). Ce système comprend également la présence d'accumulateurs hydropneumatiques disposés au plus près des vérins. Ces accumulateurs permettent, même en cas de perte du système de contrôle, de perte d'alimentation électrique ou de défaillance du système hydraulique, de ramener les pales en drapeau.</p> <p>Chaque pale est indépendante et équipée de son propre pitch system afin de garantir un calage continu même en cas de dysfonctionnement du contrôle commande.</p> <p>Plusieurs notions caractérisent les pales :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La longueur, fonction de la puissance désirée ;</li> <li>• La corde (largeur maximale), fonction du couple nécessaire au démarrage et de celui désiré en fonctionnement ;</li> <li>• Les matériaux, fonction de la résistance souhaitée.</li> </ul> <p>La géométrie de la pale est légèrement vrillée autour de son axe longitudinal pour un meilleur rendement.</p>
--	--

ROTOR	
E141 – 4,2 MW	
Diamètre	141 m au maximum
Surface balayée	15 614,5 m <sup>2</sup> au maximum
Vitesse de rotation théorique	11 tours/min
PALES	
Longueur	66,7 m au maximum
Largeur maximale (corde)	4,75 m au maximum
Poids unitaire*	32 870 kg
Matériau	Fibre de verre renforcée avec époxy et fibre de carbone

❖ Multiplicateur (Gearbox)

<b>Fonction</b>	Multiplier la vitesse de rotation issue de l'arbre lent
<b>Description</b>	Le multiplicateur permet de multiplier la vitesse de rotation d'un facteur de l'ordre de 100 à 130 selon les modèles, de telle sorte que la vitesse de sortie (« arbre rapide ») est d'environ 1 500 tours par minute. Le multiplicateur est constitué d'un étage de train épicycloïdal et de deux arbres parallèles à roues dentées à dentures hélicoïdales. Le dispositif de transmission entre l'arbre rapide et la génératrice (coupling) est un dispositif flexible, réalisé en matériau composite afin de compenser les éventuels défauts d'alignement mais surtout afin de constituer une zone de moindre résistance et de pouvoir rompre en cas de blocage d'un des deux équipements. Sur l'arbre rapide du multiplicateur est monté un disque de frein, à commande hydraulique, utilisé pour l'arrêt de la turbine en cas d'urgence.

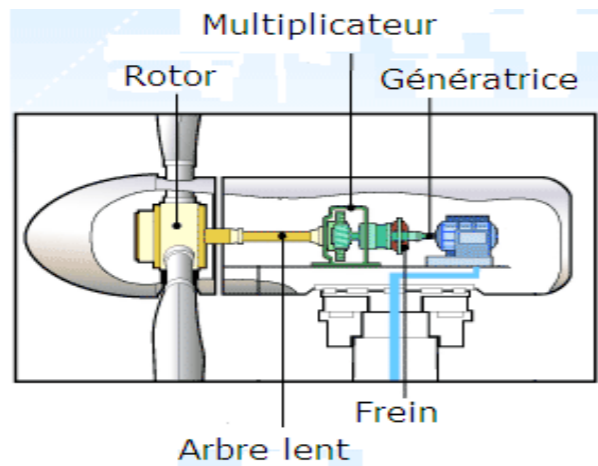


Figure 4 : Schéma simplifié de la chaîne cinématique

❖ Générateur et transformateur

<b>Fonctions</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Produire de l'énergie électrique à partir d'énergie mécanique</li> <li>• Elever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau</li> </ul>
<b>Description</b>	<p>Les éoliennes sont équipées d'un système générateur/transformateur fonctionnant à vitesse variable (et donc à puissance mécanique fluctuante).</p> <p>Le générateur convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. Il s'agit d'un générateur multipolaire à rotor bobiné avec alimentation électrique du stator au démarrage. Il délivre différents niveaux de tension dirigés vers le transformateur élévateur de tension.</p> <p>En sortie de générateur, les niveaux de tension sont élevés par un transformateur. Le courant de sortie est régulé par des dispositifs électroniques de façon à pouvoir être compatible avec le réseau public. Le transformateur est localisé dans une pièce fermée à l'arrière de la nacelle.</p>

❖ Connexion au réseau électrique public

<b>Fonction</b>	Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public
<b>Description</b>	<p>Les éoliennes d'un même champ éolien sont ensuite raccordées au réseau électrique de distribution (ERDF ou régies) ou de transport (RTE) via un ou plusieurs postes de livraison. Ces postes font ainsi l'interface entre les installations et le réseau électrique.</p> <p>Chaque poste est équipé d'appareils de comptage d'énergie indiquant l'énergie soutirée au réseau mais également celle injectée. Il comporte aussi la protection générale dont le but est de protéger les éoliennes et le réseau inter-éolien en cas de défaut sur le réseau électrique amont.</p> <p>Les liaisons électriques entre éoliennes et poste(s) de livraison sont assurées par des câbles souterrains.</p>
<b>Tension dans les câbles souterrains</b>	20 000 V
<b>Tensions dans les postes de livraison</b>	20 000 V et 230 V (pour l'éclairage et les prises)

#### IV.2.2. SÉCURITÉ DE L'INSTALLATION

##### ❖ Respect des principales normes applicables à l'installation

La liste des codes et standards appliqués pour la construction des éoliennes, présentée ci-après, n'est pas exhaustive (il y a en effet des centaines de standards applicables). Seuls les principaux standards sont présentés ci-dessous.

- La norme IEC61400-1 intitulée « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi, la nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard : IEC61400-1. Les pales respectent le standard IEC61400-1 ; 12 ; 23.
- La génératrice est construite suivant le standard IEC60034.
- La conception du multiplicateur répond aux règles fixées par la norme ISO81400-4.
- La protection foudre de l'éolienne répond au standard IEC61400-24 et aux standards non spécifiques aux éoliennes comme IEC62305-1, IEC62305-3 et IEC62305-4.
- Les éoliennes répondent aux réglementations qui concernent les ondes électromagnétiques, notamment la Directive 2004/108/EC du 15 décembre 2004.
- Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air. Le traitement anticorrosion des éoliennes répond à la norme ISO 12944.

	Partie extérieure	Partie intérieure
Nacelle	C5	Minimum C3
Moyeu	C5	C3
Tour	C5-I	C3

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

##### ❖ Organisation des secours en cas d'accident

Toutes les informations sont fournies en annexe dans la Procédure d'alerte aux services d'urgence dans un délai de quinze minutes, de wpd windmanager.

#### IV.2.3. OPÉRATIONS DE MAINTENANCE DE L'INSTALLATION

##### ❖ CONDUITE DU SYSTÈME

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

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

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

Par contre, en cas d'arrêt liés à des déclenchements de capteurs de sécurité (déclenchement VOG, déclenchement détecteur d'arc ou température haute, pression basse huile, ...), une intervention humaine sur l'éolienne est nécessaire pour examiner l'origine du défaut et acquiescer l'alarme avant de pouvoir relancer un démarrage.

La société wpd windmanager, prestataire de service avec laquelle wpd contractualise pour assurer la maintenance de ses parcs en exploitation, assure cette surveillance continue via le système idoine. Les techniciens sont basés à Boulogne-Billancourt et à Brême en Allemagne. Les numéros de téléphone à contacter en cas d'urgence sont indiqués au pied de chaque éolienne.

En cas d'intervention, des équipes de techniciens sont réparties sur le territoire afin de pouvoir réagir rapidement. Les interventions sont toujours faites par une équipe d'au moins deux personnes. Afin d'assurer la sécurité des équipes intervenantes, un dispositif de prise de commande locale de l'éolienne est disposé en partie basse de la tour. Ainsi, lors des interventions sur l'éolienne, les opérateurs basculent ce dispositif sur « commande locale » ce qui interdit toute action pilotée à distance.

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

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

##### ❖ FORMATION DES PERSONNELS

Les personnels intervenant sur les éoliennes, tant pour leur montage, que pour leur maintenance, sont des personnels, formés au poste de travail et informés des risques présentés par l'activité.

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

##### ❖ ENTRETIEN PRÉVENTIF DU MATÉRIEL

L'inspection et l'entretien du matériel sont effectués par des opérateurs, formés pour ces interventions. La liste des opérations à effectuer sur les diverses machines ainsi que leur périodicité est définie par des procédures. Les principaux contrôles effectués sont présentés ci-après.

Composants	Opérations
Etat général	Vérification de la propreté de l'intérieur de l'éolienne Vérification qu'aucun matériau combustible ou inflammable n'est entreposé dans l'éolienne
Moyeu	Inspection visuelle du moyeu Vérification des boulons entre le moyeu et les supports de pale* Vérification des boulons maintenant la coque du moyeu
Pales	Vérification des roulements et du jeu Inspection visuelle des pales, de l'extérieur et de l'intérieur Vérification des boulons de chaque pale* Vérification des bandes paratonnerres
Système de transfert de courant foudre Moyeu / nacelle	Vérification des boulons et de l'absence d'impacts de foudre.
Arbre principal	Vérification des boulons fixant l'arbre principal et le moyeu* Inspection visuelle des joints d'étanchéité Vérification des dommages au niveau des boulons de blocage du rotor
Système d'orientation de la nacelle (Yaw system)	Vérification des boulons fixant le haut du palier d'orientation et la tour* Vérification du système de lubrification
Tour	Vérification de l'état du béton à l'intérieur et à l'extérieur de la tour Vérification des boulons entre la partie fondation et la tour, entre les sections de la tour et sur l'échelle* Vérification des brides et des cordons de soudure Vérification des plateformes Vérification du câble principal
Bras de couple	Vérification boulons
Système d'inclinaison des pales	Vérification des boulons du cylindre principal et du bras de manivelle Vérification des boulons de l'arbre terminal et des roulements
Multiplicateur	Vérification du niveau d'huile Vérification du niveau sonore lors du fonctionnement du multiplicateur Vérification des joints, de l'absence de fuite, etc...
Générateur	Vérification des câbles électriques dans le générateur Vérification des boulons
Système de refroidissement par eau	Vérification du fonctionnement des pompes à eau Vérifications des tubes et des tuyaux
Système de vérification	Vérification boulons Inspection visuelle de la surface Vérification des ailettes et nettoyage si nécessaire Vérification du niveau de liquide de refroidissement
Système hydraulique	Vérification d'absence de fuites dans la nacelle, l'arbre principal et le moyeu
Onduleur	vérification du fonctionnement de l'onduleur.
Nacelle	Vérification boulons Vérification d'absence de fissures autour des raccords Vérification des points d'ancrage et des fissures autour de ceux-ci
Extérieur	Vérification de la protection de surface Nettoyage des têtes de boulons et d'écrous, des raccords, etc.
Transformateur	Inspection du transformateur
Sécurité générale	Inspection des câbles électriques Vérification du système antichute Test du système de freinage Test du capteur de vibrations Test des boutons d'arrêt d'urgence**

Inspection après 3 mois de fonctionnement

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

\*\*Ces tests sont ensuite effectués tous les ans, conformément à l'arrêté du 26 août 2011.

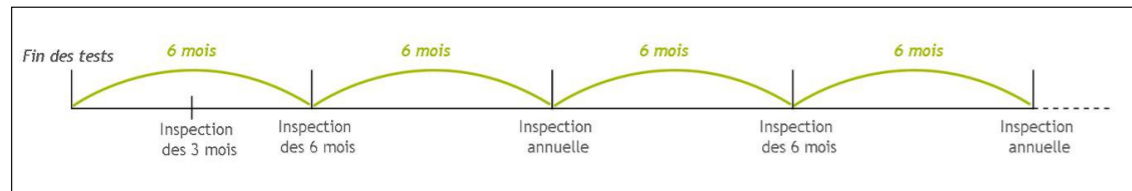
Ces opérations de maintenance courante seront répétées régulièrement selon le calendrier de maintenance. Les principales opérations de maintenance supplémentaires sont présentées ci-après.

Composants	Opérations	6 mois	1 an
Moyeu	Vérification de l'état de la fibre de verre Vérification des boulons Vérification des blocs parafoudre		x x x
Pales	Vérification des tubes de graissage et du bloc de distribution de graisse Vérification du système de lubrification Remplacement des bidons collecteurs de graisse usagée Vérification des bandes anti-foudre		x x x x
Arbre principal	Vérification du niveau sonore et vibratoire Vérification, lubrification des roulements principaux tous les 5 ans Lubrification des boulons de blocage du rotor	x x x	x x x
Générateur	Vérification du bruit des roulements Lubrification des roulements	x x	x x
Système d'inclinaison des pales	Vérification du bon fonctionnement du système d'inclinaison des pales Vérification des boulons tous les 3 ans Vérification des pistons des vérins hydrauliques		x x x
Bras de couple	Vérification des boulons entre le bras de couple et le bâti tous les 4 ans		
Multiplicateur	Vérification de l'absence de débris métalliques Vérification et remplacement (si nécessaire) des filtres à air Remplacement des filtres à air Inspection du multiplicateur Changement de l'huile Extraction d'un échantillon d'huile pour analyse Remplacement des tuyaux tous les 7 ans	x x x x x x	x x x x x x
Système de refroidissement par eau	Remplacement du liquide de refroidissement tous les 5 ans		
Système hydraulique	Changement d'huile selon les rapports d'analyse tous les 4 ans Remplacement des filtres (tous les ans, tous les 2 ans ou tous les 4 ans, selon le filtre) Remplacement des filtres (tous les ans, tous les 2 ans ou tous les 4 ans, selon le filtre) Vérification de la pression dans le système de freinage Extraction d'un échantillon d'huile pour analyse		x x
Système d'inspection	Inspection visuelle et des systèmes parafoudres	x	x
Onduleur	Vérification du bon fonctionnement de l'onduleur Remplacement des différents filtres des ventilateurs Remplacement des différents ventilateurs tous les 5 ans Remplacement de la batterie tous les 5 ans		x x
Capteur de vent	Inspection visuelle du capteur de vitesse de vent		x

Inspection après 6 mois et 1 an

Étude de dangers

Système de détection d'arc électrique	Test du capteur de détection d'arc électrique du jeu de barres et dans la salle du transformateur		X
Tour	Vérification des filtres de ventilation Maintenance de l'élévateur de personnes		X X
Armoire de contrôle en pied de tour	Test des batteries des processeurs et remplacement si nécessaire Remplacement des batteries de secours tous les 5 ans Remplacement des filtres à air	X	X
Sécurité générale	Test d'arrêt en cas de survitesse Vérification des équipements de sécurité Vérification de la date d'inspection des extincteurs Inspection du système de freinage	X	X X X X



Calendrier de maintenance

#### ❖ CONTRÔLES RÉGLEMENTAIRES PÉRIODIQUES

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

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

#### ❖ MAINTENANCE CURATIVE

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

#### ❖ PRISE EN COMPTE DU RETOUR D'EXPÉRIENCE

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

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

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

#### IV.2.4. STOCKAGE ET FLUX DE PRODUITS DANGEREUX

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

### IV.3. FONCTIONNEMENT DES RÉSEAUX DE L'INSTALLATION

#### IV.3.1. RACCORDEMENT ÉLECTRIQUE

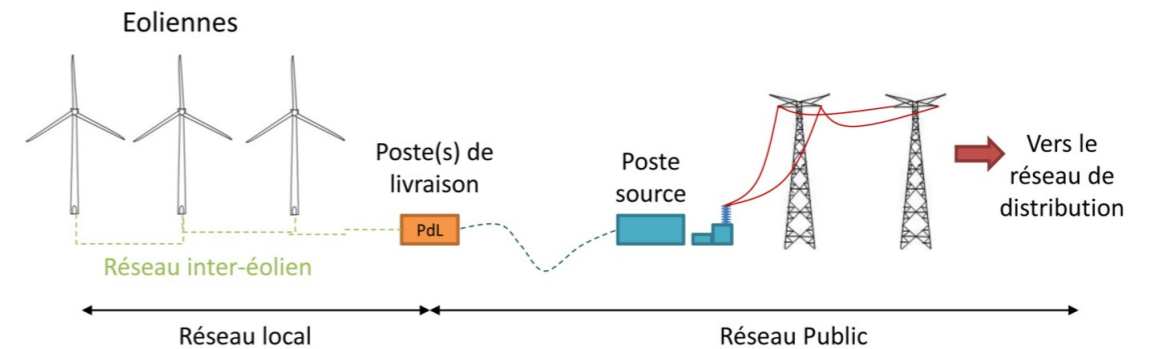


Figure 5 : Raccordement électrique des installations

#### ❖ Réseau inter-éolien

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur au point de raccordement avec le réseau public. Ce réseau comporte également une liaison de télécommunication qui relie chaque éolienne au terminal de télésurveillance. Ces câbles, dont la section en aluminium est de 240 mm<sup>2</sup>, constituent le réseau interne de la centrale éolienne et sont conçus suivant la norme NFC 33-226. Ils sont tous enfouis à une profondeur minimale de 80 cm conformément à la norme NFC 13-200.

#### ❖ Poste de livraison

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

La localisation exacte des emplacements du poste de livraison est fonction de la proximité du réseau inter-éolien et de la localisation du poste source vers lequel l'électricité est ensuite acheminée. Les installations électriques des postes de livraison sont conformes à la norme NFC 13-100.

#### ❖ Réseau électrique externe

Le réseau électrique externe relie le poste de livraison avec le poste source (réseau public de transport d'électricité). Ce réseau est réalisé par le gestionnaire du réseau de distribution (généralement ERDF-Électricité Réseau Distribution France). Il est lui aussi entièrement enterré. Les caractéristiques des câbles utilisés sont sensiblement les mêmes que celles décrites pour le réseau inter-éolien (suivant la norme NFC 33-226, tension nominale entre phases 20 kV, section alu de 240mm<sup>2</sup>).

#### IV.3.2. AUTRES RÉSEAUX

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

## V. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION

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

Il est réalisé notamment sur la base des Fiches de Données de Sécurité (FDS) des produits, de la nature et les 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.

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

### V.1. POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX PRODUITS

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

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

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

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

#### V.1.1. INVENTAIRE DES PRODUITS

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

- L'huile hydraulique (circuit haute pression) dont la quantité présente est de l'ordre de 260 litres. Le modèle d'huile utilisée est Texaco Rando WM 32 ;
- L'huile de lubrification du multiplicateur (environ 300 à 400 litres). Il s'agit de l'huile Mobil Gear SHCXMP 320 ;
- L'eau glycolée (mélange d'eau et d'éthylène glycol), qui est utilisée comme liquide de refroidissement, dont le volume total de la boucle est de 120 litres ;
- Les graisses pour les roulements et systèmes d'entraînements ;
- L'hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>), qui est le gaz utilisé comme milieu isolant pour les cellules de protection électrique. La quantité présente varie entre 1.5 kg et 2.15 kg suivant le nombre de caissons composant la cellule.

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

#### V.1.2. DANGERS 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 SF<sub>6</sub> est pour sa part ininflammable.

##### ❖ Toxicité pour l'homme

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

##### ❖ Dangérosité pour l'environnement

Vis-à-vis de l'environnement, le SF<sub>6</sub> possède un potentiel de réchauffement global (gaz à effet de serre) très important, mais les quantités présentes sont très limitées (seulement 1 à 2 kg de gaz dans les cellules de protection).

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

En conclusion, il ressort que les produits ne présentent pas de réel danger, si ce n'est lorsqu'ils sont soumis à un incendie, où ils vont entretenir cet incendie, ou s'ils sont déversés dans l'environnement générant un risque de pollution des sols ou des eaux. Les produits utilisés ne sont donc pas retenus comme source potentielle de danger pour le parc éolien.

### V.2. POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien de Magnac-Laval sont de cinq types :

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

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant :

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

### V.3. RÉDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS À LA SOURCE

#### V.3.1. PRINCIPALES ACTIONS PRÉVENTIVES

Cette partie explique les choix qui ont été effectués par le porteur de projet au cours de la conception du projet pour réduire les potentiels de danger identifiés et garantir une sécurité optimale de l'installation.

##### ❖ CHOIX DE L'EMPLACEMENT DES INSTALLATIONS

Les éoliennes sont situées au centre d'une plaine agricole, à plus de 500m des habitations situées aux abords. L'environnement immédiat jusqu'à une hauteur de chute de chaque éolienne est constitué principalement de terrains agricoles. La fréquentation liée aux activités agricoles ne représentera qu'une faible fréquentation du site. De plus, l'implantation s'éloigne au maximum des chemins et routes départementales.

##### ❖ AGRICOLES ET DES VOIES COMMUNALES, POUR ÉVITER LE PLUS POSSIBLE LE SURVOL PAR LES PALES. CHOIX DES CARACTÉRISTIQUES DES ÉOLIENNES

Les aérogénérateurs choisis pour le parc éolien de Magnac-Laval sont de type : Enercon E141. Ils possèdent des mâts de 109,5 m de hauteur, pour une hauteur totale de 180m. Le modèle a une puissance unitaire de 4,2 MW. Il possède des caractéristiques adaptées au régime de vent sur le site.

##### ❖ SUBSTITUTION DES PRODUITS PAR DES PRODUITS MOINS DANGEREUX ET RÉDUCTION 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 SF<sub>6</sub> est un très bon isolant et ne dispose pas à ce jour de produit de substitution présentant des qualités équivalentes. De plus, malgré son caractère de gaz à effet de serre, il ne présente pas de danger pour l'homme (inflammable et non toxique). Il n'est donc pas prévu de solution de substitution. Il faut rappeler que ce gaz est contenu dans les cellules d'isolement disposées en pied d'éolienne (cellules étanches) qui sont des matériels du commerce, et ne sont pas fabriqués par le constructeur.

##### ❖ SUBSTITUTION DES ÉQUIPEMENTS

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

Un autre danger est lié à la présence d'installations électriques avec des tensions élevées (jusqu'à 35 000 volts), 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 a priori de les substituer.

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

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

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

### V.3.2. UTILISATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

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

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

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

## VI. ANALYSE DES RETOURS D'EXPÉRIENCE

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

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

### VI.1. INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS EN FRANCE

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

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

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

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

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

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

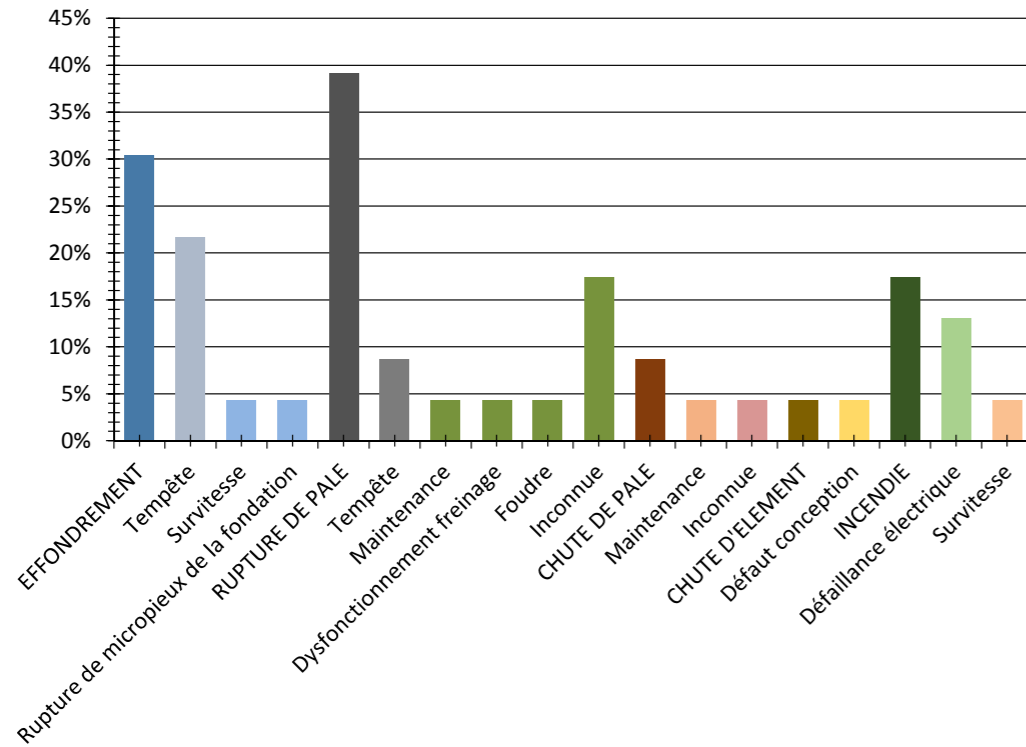
Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et 2011. Cette synthèse exclut les accidents du travail (maintenance, chantier de construction, etc.) et les événements qui n'ont pas conduit à des effets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



Dans ce graphique sont présentés :

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

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



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

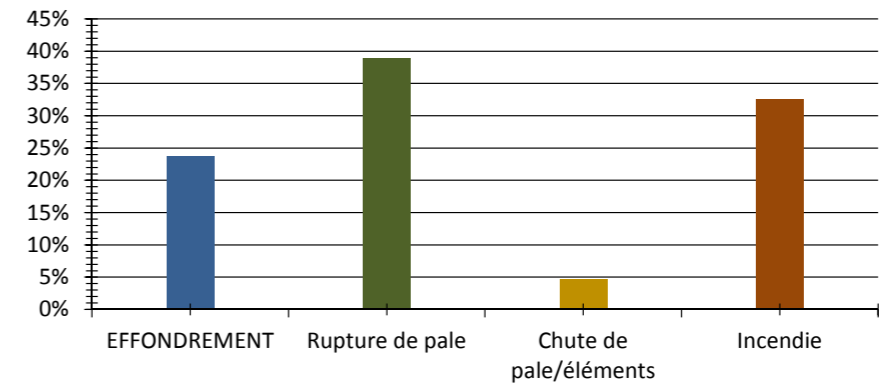
## VI.2. INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS À L'INTERNATIONAL

Un inventaire des incidents et accidents à l'international a également été réalisé. Il se base lui aussi sur le retour d'expérience de la filière éolienne fin 2010.

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

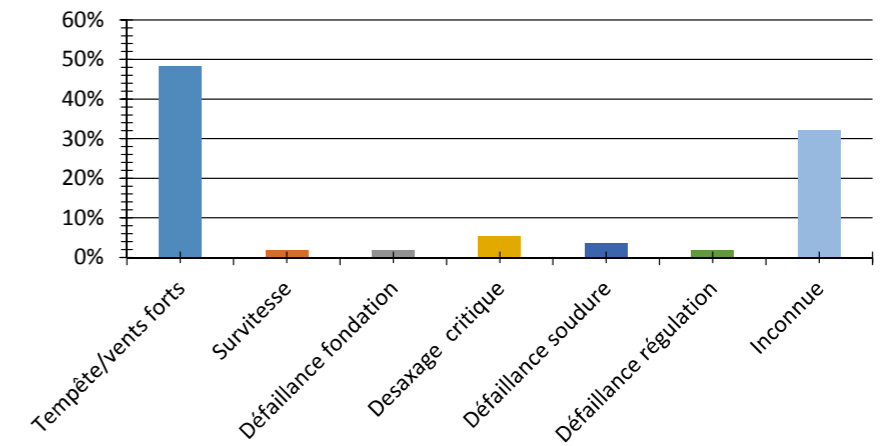
Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels par rapport à la totalité des accidents analysés.

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

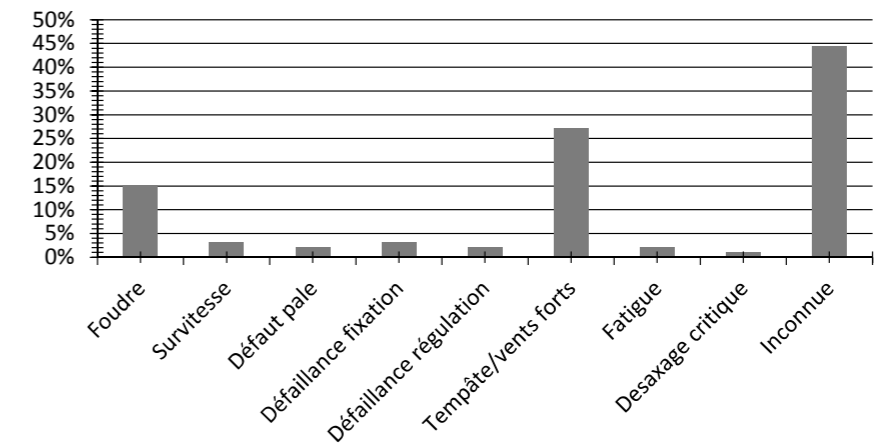


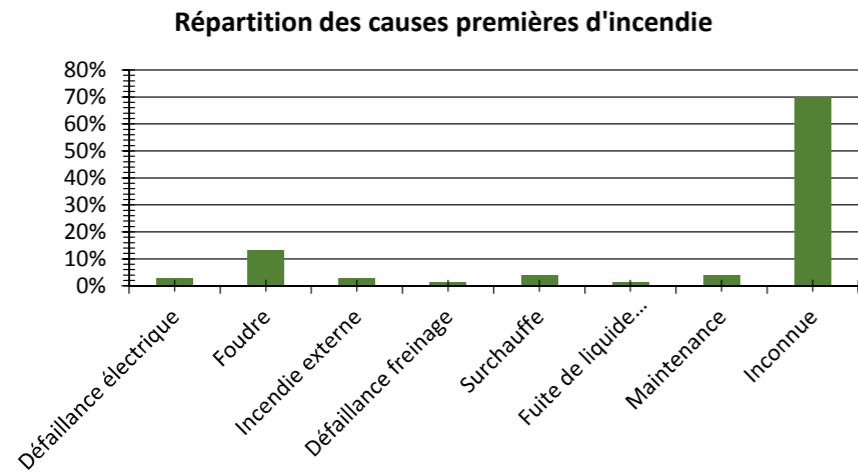
Ci-après, est présenté le recensement des causes premières pour chacun des événements accidentels recensés (données en répartition par rapport à la totalité des accidents analysés).

**Répartition des causes premières d'effondrement**



**Répartition des causes premières de rupture de pale**





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

### VI.3. INVENTAIRE DES ACCIDENTS MAJEURS SURVENUS SUR LES SITES DE L'EXPLOITANT

Aucun accident majeur n'est à déplorer sur le site à ce jour.

### VI.4. SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTÉS ISSUS DU RETOUR D'EXPÉRIENCE

#### VI.4.1. ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DES ACCIDENTS EN FRANCE

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

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

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

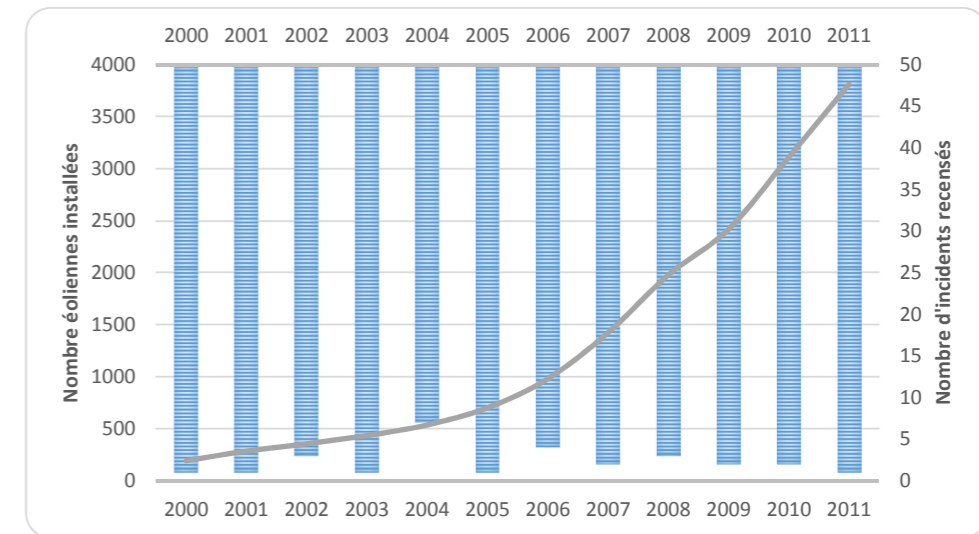


Figure 6 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées

On note bien l'essor de la filière française à partir de 2005, alors que le nombre d'accident reste relativement constant.

#### VI.4.2. ANALYSE DES TYPOLOGIES D'ACCIDENTS LES PLUS FRÉQUENTS

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

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

#### VI.5. LIMITES D'UTILISATION DE L'ACCIDENTOLOGIE

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

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

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

## VII. ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

### VII.1. OBJECTIF DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

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

### VII.2. RECENSEMENT DES ÉVÉNEMENTS INITIATEURS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES

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

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

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

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

### VII.3. RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES

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

Traditionnellement, deux types d'agressions externes sont identifiés :

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

Les tableaux suivants constituent une synthèse des agressions externes possibles.

### VII.3.1. AGRESSIONS EXTERNES LIÉES AUX ACTIVITÉS HUMAINES

Le tableau ci-dessous synthétise les principales agressions externes liées aux activités humaines qui sont principalement présentes à proximité des éoliennes 1 et 2 :

Infrastructure	Fonction	Événement redouté	Danger potentiel	Distance par rapport au mât des éoliennes (en m)	
				E1	E2
Routes départementales	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	RD 201 - 447,1 m RD 7 - 435,0 m RD 88 - 191,3 m	RD 201 - 783,1 m RD 7 - 766,5 m RD 88 - 482,1 m

### VII.3.2. AGRESSIONS EXTERNES LIÉES AUX PHÉNOMÈNES NATURELS

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

Agression externe	Intensité
Vents et tempête	Sur la station météorologique de Limoges-Bellegarde, la rafale maximale de vent a été observée lors de la tempête de 1999, avec une vitesse de 147,6km/h. Le projet n'est pas compris dans une zone affectée par les cyclones tropicaux.
Foudre	Les éoliennes sont équipées d'un système de protection contre la foudre conçu pour répondre à la classe de protection I de la norme internationale IEC 61 400-24.
Glissement de sols/ affaissement miniers	Le parc éolien de Magnac-Laval n'est pas soumis au risque de mouvement de terrain ni de cavité souterraine.

Comme il a été précisé précédemment, les agressions externes liées à des inondations, à des incendies de forêt ou de cultures ou à des séismes ne sont pas considérées dans ce tableau dans le sens où les dangers qu'elles pourraient entraîner sont largement inférieurs aux dommages causés par le phénomène naturel lui-même.

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

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

**VII.4. SCÉNARIOS ÉTUDIÉS DANS L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES**

Après avoir recensé, dans un premier temps, les potentiels de danger des installations, qu'ils soient constitués par des substances dangereuses ou des équipements dangereux (voir paragraphes V.1 et V.2), l'APR doit identifier l'ensemble des séquences accidentelles et phénomènes dangereux associés pouvant déclencher la libération du danger.

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

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

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

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

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

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

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
I03	Survitesse	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3) Prévenir la survitesse (N°4)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I04	Désaxage de la génératrice / Pièce défectueuse / Défaut de lubrification	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I05	Conditions climatiques humides	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I06	Rongeur	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I07	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2
F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur Fuite transformateur	Ecoulement hors de la nacelle et le long du mât, puis sur le sol avec infiltration	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Ecoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
C01	Défaut de fixation	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	1
C02	Défaillance fixation anémomètre	Chute anémomètre	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
C03	Défaut fixation nacelle – pivot central – mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop importante sur les pales	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Impact sur cible	2
P03	Serrage inapproprié Erreur maintenance – desserrage	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	2
E01	Effets dominos autres installations	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
E02	Glissement de sol	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E03	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E04	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du plan de prévention (N°14)	Chute fragments et chute mât	2
E05	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°12) Dans les zones cycloniques, mettre en place un système de prévision cyclonique et équiper les éoliennes d'un dispositif d'abattage et d'arrimage au sol (N°13)	Projection/chute fragments et chute mât	2

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
E06	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E07	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

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

Des précisions sur les différents scénarios décrits dans ce tableau sont disponibles en annexe 4 de la présente trame.

#### VII.5. EFFETS DOMINOS

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

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

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

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

Dans le cadre des études de dangers éoliennes, il est proposé de limiter l'évaluation de la probabilité d'impact d'un élément de l'aérogénérateur sur une autre installation ICPE que lorsque celle-ci se situe dans un rayon de 100 mètres. C'est la raison pour laquelle, il est proposé de négliger les conséquences des effets dominos dans cette étude.

#### VII.6. MISE EN PLACE DES MESURES DE SÉCURITÉ

La troisième étape de l'analyse préliminaire des risques consiste à identifier les barrières de sécurité installées sur les aérogénérateurs et qui interviennent dans la prévention et/ou la limitation des phénomènes dangereux listés dans le tableau APR et de leurs conséquences.

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les fonctions de sécurité identifiées sur les éoliennes.

Un principe clé du processus d'élaboration d'une étude de dangers est qu'elle doit être proportionnelle au niveau de risques engendrés par les éoliennes sur leur environnement. Dans ce cadre, il est proposé aux exploitants de conduire une description simple des mesures de sécurité mises en œuvre sur leurs machines, et de leurs critères de défaillance. En particulier, il n'est pas demandé de conduire les analyses poussées demandées aux installations classées soumises à autorisation avec servitudes (AS).

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

- **Fonction de sécurité** : il est proposé ci-dessous un tableau par fonction de sécurité. Cet intitulé décrit l'objectif de la ou des mesure(s) de sécurité : il s'agira principalement de « empêcher, éviter, détecter, contrôler ou limiter » et sera en relation avec un ou plusieurs événements conduisant à un accident majeur identifié dans l'analyse des risques. Plusieurs mesures de sécurité peuvent assurer une même fonction de sécurité.
- **Numéro de la fonction de sécurité** : ce numéro vise à simplifier la lecture de l'étude de dangers en permettant des renvois à l'analyse de risque par exemple.
- **Mesures de sécurité** : cette ligne permet d'identifier les mesures assurant la fonction concernée. Dans le cas de systèmes instrumentés de sécurité, tous les éléments de la chaîne de sécurité sont présentés (détection + traitement de l'information + action).
- **Description** : cette ligne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires.
- **Indépendance** (« oui » ou « non ») : cette caractéristique décrit le niveau d'indépendance d'une mesure de maîtrise des risques vis-à-vis des autres systèmes de sécurité et des scénarios d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner « oui ») ou non (renseigner « non »).
- **Temps de réponse** (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité. Il s'agit ici de vérifier que la mesure de maîtrise des risques agira « à temps » pour prévenir ou pour limiter les accidents majeurs. Dans le cadre d'une étude de dangers éolienne, l'estimation de ce temps de réponse peut être simplifiée et se contenter d'une estimation d'un temps de réponse maximum qui doit être atteint. Néanmoins, et pour rappel, la réglementation impose les temps de réponse suivants :
  - une mesure de maîtrise des risques remplissant la fonction de sécurité « limiter les conséquences d'un incendie » doit permettre de détecter un incendie et de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes ;
  - une seconde mesure maîtrise des risques remplissant la fonction de sécurité « limiter les conséquences d'un incendie » doit permettre de détecter un incendie et de mettre en œuvre une procédure d'arrêt d'urgence dans un délai de 60 minutes ;
- **Efficacité** (100% ou 0%) : l'efficacité mesure la capacité d'une mesure de maîtrise des risques à remplir la fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation.
- **Test (fréquence)** : dans ce champ sont rappelés les tests/essais qui seront réalisés sur les mesures de maîtrise des risques. conformément à la réglementation, un essai d'arrêt, d'arrêt d'urgence et d'arrêt à partir d'une situation de survitesse seront réalisés avant la mise en service de l'aérogénérateur. Dans tous les cas, les tests effectués sur les mesures de maîtrise des risques seront tenus à la disposition de l'inspection des installations classées pendant l'exploitation de l'installation.
- **Maintenance (fréquence)** : ce critère porte sur la périodicité des contrôles qui permettront de vérifier la performance de la mesure de maîtrise des risques dans le temps. Pour rappel, la réglementation demande qu'à minima : un contrôle tous les ans soit réalisé sur la performance des mesures de sécurité permettant de mettre à l'arrêt, à l'arrêt d'urgence et à l'arrêt à partir d'une situation de survitesse et sur tous les systèmes instrumentés de sécurité.

*Note 1 : Pour certaines mesures de maîtrise des risques, certains de ces critères peuvent ne pas être applicables. Il convient alors de renseigner le critère correspondant avec l'acronyme « NA » (Non Applicable).*

*Note 2 : Certaines mesures de maîtrise des risques ne remplissent pas les critères « efficacité » ou « indépendance » : elles ont une fiabilité plus faible que d'autres mesures de maîtrise des risques. Celles-ci peuvent néanmoins être décrites dans le tableau ci-dessous dans la mesure où elles concourent à une meilleure sécurité sur le site d'exploitation.*

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1-a
<b>Mesures de sécurité</b>	Système de déduction de la formation de glace.		
<b>Description</b>	Ce système déduit la formation de glace sur les pales à partir des données de température et de rendement de l'éolienne (l'accumulation de glace alourdit les pales et diminue le rendement de la turbine). Une configuration du système permet d'alerter les opérateurs par un message type « Ice Climate ». Une mise à l'arrêt est ensuite effectuée de manière automatique ou manuelle, selon le type de contrat. Les procédures de redémarrage sont définies par l'exploitant.		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	Mise à l'arrêt de la turbine < 1 min		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	NA		
<b>Maintenance</b>	Surveillance via la maintenance prédictive		
Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité	2
<b>Mesures de sécurité</b>	Signalisation du risque en pied de machine Eloignement des zones habitées et fréquentées		
<b>Description</b>	Mise en place de panneaux de signalisation en pied de machines du risque de chute de glace (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011).		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	NA		
<b>Efficacité</b>	100 %. Nous considérerons que compte tenu de l'implantation des panneaux et de l'entretien prévu, l'information des promeneurs sera systématique.		
<b>Tests</b>	NA		
<b>Maintenance</b>	Vérification de l'état général du panneau, de l'absence de détérioration, entretien de la végétation afin que le panneau reste visible.		

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
<b>Mesures de sécurité</b>	Sondes de température sur pièces mécaniques Suivant les niveaux d'alarme et les capteurs, la machine peut être bridée ou mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement. Le redémarrage peut être effectué à distance, si les seuils de température sont au-dessous des seuils d'alarme.		
<b>Description</b>	Des sondes de température sont mises en place sur les équipements ayant de fortes variations de température au cours de leur fonctionnement (paliers et roulements des machines tournantes, enroulements du générateur et du transformateur). Ces sondes ont des seuils hauts qui, une fois dépassés, conduisent à une alarme et à une mise à l'arrêt du rotor.		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	Surveillance via la maintenance prédictive, avec détection de la déviation de températures de chaque capteur.		

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

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4-a
<b>Mesures de sécurité</b>	Détection de vent fort et freinage aérodynamique par le système de contrôle.		
<b>Description</b>	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale de 28 m/s pour la E141. Cet arrêt est réalisé par le frein aérodynamique de l'éolienne avec mise en drapeau des pales (le freinage est effectué en tournant ensemble les 3 pales à un angle de 85 à 90°, afin de positionner celles-ci en position où elles offrent peu de prise au vent). Cette mise en drapeau est effectuée par le système d'orientation des pales		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011.		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procédure d'arrêt en cas de survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011. Tests à chaque maintenance préventive.		
<b>Maintenance</b>	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 (notamment de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence.) Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		
Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4-b
<b>Mesures de sécurité</b>	Détection de survitesse du générateur		
<b>Description</b>	Les vitesses de rotation du générateur et de l'arbre lent sont mesurées et analysées en permanence par le système de contrôle. Cette mesure redondante permet de limiter les défaillances liées à un seul capteur. En cas de discordance des mesures, l'éolienne est mise à l'arrêt. Si la vitesse de rotation est supérieure à la vitesse d'alarme, l'éolienne est considérée comme étant en survitesse et est donc mise à l'arrêt.		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011.		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procédure d'arrêt en cas de survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs conformément à l'article		

	15 de l'arrêté du 26 août 2011. Tests à chaque maintenance préventive (tous les ans).		
<b>Maintenance</b>	Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		
<b>Fonction de sécurité</b>	<b>Prévenir la survitesse</b>	<b>N° de la fonction de sécurité</b>	<b>4-c</b>
<b>Mesures de sécurité</b>	Contrôle de la vitesse de rotation		
<b>Description</b>	<p>En complément aux capteurs de mesure de vitesse, un système instrumenté de sécurité est présent (automate totalement indépendant de l'automate de conduite utilisé pour la fonction 4-b), et dispose d'un capteur de vitesse de rotation disposé sur l'arbre lent. Le dépassement d'une vitesse de 17 tours par minute sur l'arbre lent conduit à la mise à l'arrêt de la machine par mise en drapeau des pales (cette mise en drapeau est assurée par le circuit hydraulique avec l'assistance complémentaire des accumulateurs disposés sur les vérins).</p> <p>En cas d'arrêt par survitesse (déclenchement du VOG), l'éolienne ne peut pas être redémarrée à distance. Il est nécessaire de venir acquitter localement le défaut et d'effectuer un contrôle de la machine avant de relancer l'éolienne.</p>		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	<p>Temps de détection &lt; 1 min</p> <p>Le couplage du système de détection de survitesse au système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant. L'exploitant sera ainsi en mesure de transmettre l'alerte aux services d'Urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément à l'article 23 de l'arrêté du 26 août 2011.</p>		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	Lors de la mise en service de l'aérogénérateur, une série de tests (arrêts simples, d'urgence et de survitesse) est réalisée afin de s'assurer du fonctionnement et de la sécurité de l'éolienne conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011.		
<b>Maintenance</b>	<p>Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 6 mois suivant les manuels de maintenance. Ces vérifications sont consignées dans le document IRF.</p> <p>Maintenance conforme aux dispositions des articles 15 et 18 de l'arrêté du 26 août 2011.</p>		
<b>Fonction de sécurité</b>	<b>Prévenir les courts-circuits</b>	<b>N° de la fonction de sécurité</b>	<b>5</b>
<b>Mesures de sécurité</b>	Détecteur d'arc avec coupure électrique (salle transfo et armoires électriques).		
<b>Description</b>	<p>Outre les protections traditionnelles contre les surintensités et les surtensions, les armoires électriques disposées dans les nacelles (qui abritent notamment les divers jeux de barres), sont équipées de détecteurs d'arc. Ce système de capteurs photosensibles a pour objectif de détecter toute formation d'un arc électrique (caractéristique d'un début d'amorçage) qui pourrait conduire à des phénomènes de fusion de conducteurs et de début d'incendie.</p> <p>Le fonctionnement de ce détecteur commande le déclenchement de la cellule HT située en pied de mât, conduisant ainsi à la mise hors tension de la machine.</p> <p>La remise sous tension puis le recouplage de la machine ne peuvent être faits qu'après inspection visuelle des éléments HT de la nacelle, puis du réarmement du détecteur d'arc et de l'acquiescement manuel du défaut.</p>		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	50 millisecondes		

	Le couplage du système de détection d'arc électrique avec le système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant.
<b>Efficacité</b>	100 %
<b>Tests</b>	Test des détecteurs d'arc à la mise en service puis tous les 6 mois.
<b>Maintenance</b>	<p>Les installations électriques font l'objet d'un contrôle avant la mise en service industrielle du parc éolien, puis annuellement conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011. Ce contrôle donne lieu à un rapport, dit rapport de vérification annuel, réalisé par un organisme agréé.</p> <p>Des vérifications de tous les équipements électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrés dans le manuel de maintenance préventive.</p>

<b>Fonction de sécurité</b>	<b>Prévenir les effets de la foudre</b>	<b>N° de la fonction de sécurité</b>	<b>6</b>
<b>Mesures de sécurité</b>	Système de protection contre la foudre conçu pour répondre à la classe de protection I de la norme internationale IEC 61400.		
<b>Description</b>	<p>Compte tenu de leur situation et des matériaux de construction, les pales sont les éléments les plus sensibles à la foudre. Des pastilles métalliques en acier inoxydable permettant de capter les courants de foudre sont disposées à intervalles réguliers sur les deux faces des pales. Elles sont reliées entre elles par une tresse en cuivre, interne à la pale. Le pied de pale est muni d'une plaque métallique en acier inoxydable, sur une partie de son pourtour, raccordée à la tresse de cuivre. Un dispositif métallique flexible (nommé LCTU – Lightning Current Transfer Unit) assure la continuité électrique entre la pale et le châssis métallique de la nacelle (il s'agit d'un système de contact glissant comportant deux points de contact par pale). Ce châssis est relié électriquement à la tour, elle-même reliée au réseau de terre disposé en fond de fouille.</p> <p>En cas de coup de foudre sur une pale, le courant de foudre est ainsi évacué vers la terre via la fondation et des prises profondes.</p> <p>L'aérogénérateur peut être équipé en option de « copper cap », c'est à dire d'un habillage de l'extrémité de la pale d'une plaque de cuivre qui améliore le captage de l'arc de foudre et assure ainsi une meilleure protection de la pale.</p>		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	Immédiat, dispositif passif		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	Avant la première mise en route de l'éolienne, une mesure de mise à la terre est effectuée.		
<b>Maintenance</b>	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011.		

<b>Fonction de sécurité</b>	<b>Protection et intervention incendie</b>	<b>N° de la fonction de sécurité</b>	<b>7</b>
<b>Mesures de sécurité</b>	<p>1. Sondes de température sur pièces mécaniques.</p> <p>Suivant les niveaux d'alarme et les capteurs, la machine peut être bridée ou mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement.</p> <p>Le redémarrage peut être effectué à distance, si les seuils de température sont au-dessous des seuils d'alarme.</p> <p>2. Système de détection incendie</p>		
<b>Description</b>	1. Des sondes de température sont mises en place sur les équipements ayant de fortes variations de température au cours de leur fonctionnement (paliers et roulements des machines tournantes, enroulements du générateur et du		



	<p>transformateur). Ces sondes ont des seuils hauts qui, une fois dépassés, conduisent à une alarme et à une mise à l'arrêt du rotor.</p> <p>2. Les éoliennes sont équipées par défaut d'un système autonome de détection composé de plusieurs capteurs de fumée et de chaleur disposés aux possibles points d'échauffements tels que :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La chambre du transformateur</li> <li>- Le générateur</li> <li>- La cellule haute tension</li> <li>- Le convertisseur</li> <li>- Les armoires électriques principales</li> <li>- Le système de freinage.</li> </ul> <p>En cas de détection, une sirène est déclenchée, l'éolienne est mise à l'arrêt en « emergency stop » et isolement électrique par ouverture de la cellule en pied de mât. De façon concomitante un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance via le système de contrôle commande.</p> <p>Le système de détection incendie est alimenté par le réseau secours (UPS).</p> <p>Vis-à-vis de la protection incendie, deux extincteurs sont présents dans la nacelle et un extincteur est disponible en pied de tour (utilisables par le personnel sur un départ de feu).</p>
<b>Indépendance</b>	oui
<b>Temps de réponse</b>	<p>Temps de détection de l'ordre de la seconde.</p> <p>Le couplage des éléments de détection de fumée au système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant.</p> <p>L'exploitant sera ainsi en mesure de transmettre l'alerte aux services d'Urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément à l'article 23 de l'arrêté du 26 août 2011.</p>
<b>Efficacité</b>	100%
<b>Tests</b>	Test des détecteurs de fumée à la mise en service puis tous les ans.
<b>Maintenance</b>	<p>Contrôle tous les 6 mois du système de détection incendie pour être conforme à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2012</p> <p>Le matériel incendie (extincteurs) est contrôlé périodiquement par un organisme spécialisé.</p> <p>Maintenance prédictive sur les capteurs de température</p>

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
<b>Mesures de sécurité</b>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Détecteurs de niveau d'huile et capteurs de pression</li> <li>2. Capteur de niveau du circuit de refroidissement (niveau bas alarmé avec arrêt après temporisation)</li> <li>3. Procédure d'urgence</li> <li>4. Kit antipollution</li> <li>5. Nacelle et dernière plateforme de la tour formant rétention</li> </ol>		
<b>Description</b>	<p>1. Le circuit hydraulique est équipé de capteurs de pression (une mesure de pression dans le bloc hydraulique de chaque pale) permettant de s'assurer de son bon fonctionnement. Toute baisse de pression au-dessous d'un seuil préalablement déterminé, conduit au déclenchement de l'arrêt du rotor (mise en drapeau des pales). Afin de pouvoir assurer la manœuvre des pales en cas de perte du groupe de mise en pression ou en cas de fuite sur le circuit, chaque bloc hydraulique (situé au plus près du vérin de pale) est équipé d'un accumulateur hydropneumatique (pressurisé à l'azote) qui permet la mise en drapeau de la pale.</p>		

	<p>Le système hydraulique, et notamment le maintien en pression des accumulateurs, est testé avant chaque démarrage de l'éolienne.</p> <p>La pression du circuit de lubrification du multiplicateur fait également l'objet d'un contrôle, asservissant le fonctionnement de l'éolienne.</p> <p>Les niveaux d'huile sont surveillés d'une part au niveau du multiplicateur et d'autre part au niveau du groupe hydraulique. L'atteinte du niveau bas sur le multiplicateur ou sur le groupe hydraulique, déclenche une alarme et conduit à la mise à l'arrêt du rotor.</p> <p>2. Le circuit de refroidissement (eau glycolée) est équipé d'un capteur de niveau bas, qui en cas de déclenchement conduit à l'arrêt de l'éolienne.</p> <p>3. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange. Une procédure en cas de pollution accidentelle du sol est communiquée au personnel intervenant dans les aérogénérateurs.</p> <p>4. En cas de fuite, les véhicules de maintenance sont équipés de kits de dépollution composés de grandes feuilles absorbantes. Ces kits d'intervention d'urgence permettent :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• de contenir et arrêter la propagation de la pollution ;</li> <li>• d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...) ;</li> <li>• de récupérer les déchets absorbés.</li> </ul> <p>Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, le constructeur se charge de faire intervenir une société spécialisée qui récupérera et traitera la terre souillée via les filières adéquates.</p> <p>5. La nacelle et la dernière plateforme de la tour font office de bacs de rétention en cas de fuite d'huile.</p>
<b>Indépendance</b>	Oui
<b>Temps de réponse</b>	<p>Temps de détection de l'ordre de la seconde</p> <p>Mise en pause de la turbine &lt; 1 min</p>
<b>Efficacité</b>	100%
<b>Tests</b>	Tests des systèmes hydrauliques à la mise en service, au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les ans suivant les manuels de maintenance. Ces vérifications sont consignées dans le document IRF du constructeur. Dépendant du débit de fuite.
<b>Maintenance</b>	<p>Les vérifications d'absence de fuites sont effectuées à chaque service planifié.</p> <p>Surveillance des niveaux d'huile via des outils d'analyses instantanées ou hebdomadaires. Inspection et maintenance curative en fonction du type de déclenchement d'alarme.</p>

Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	N° de la fonction de sécurité	9
<b>Mesures de sécurité</b>	<p>Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblage (ex : brides, joints, etc.)</p> <p>Procédures et contrôle qualité</p>		

<b>Description</b>	La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Le constructeur remet à chacun de ses clients, un document « Type certificate » qui atteste de la conformité de l'éolienne fournie au standard IEC 61400-1 (édition 2005). Ainsi la nacelle, le moyeu, les fondations et la tour répondent aux standards IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400 -1 ; 12 ; 23. De plus, des organismes compétents externes, mandatés par l'exploitant du parc, produisent des rapports attestant de la conformité de nos turbines à la fin de la phase d'installation. L'article R111-38 du code de la construction et de l'habitation fait référence au contrôle technique de construction. Il est obligatoire, à la charge de l'exploitant et réalisé par des organismes agréés par l'État. Ce contrôle assure la solidité des ouvrages ainsi que la sécurité des biens et des personnes. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223.
<b>Indépendance</b>	oui
<b>Temps de réponse</b>	NA
<b>Efficacité</b>	100%
<b>Tests</b>	NA
<b>Maintenance</b>	Le plan de maintenance prévoit le contrôle des brides de fixation, des brides de mât, des fixations des pales et le contrôle visuel du mât trois mois puis un an après la mise en service industrielle puis tous les trois ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011

Fonction de sécurité	Prévenir les erreurs de maintenance	N° de la fonction de sécurité	10
<b>Mesures de sécurité</b>	Procédure de maintenance.		
<b>Description</b>	Préconisation du manuel de maintenance Formation du personnel		
<b>Indépendance</b>	oui		
<b>Temps de réponse</b>	NA		
<b>Efficacité</b>	100%		
<b>Tests</b>	Traçabilité : rapport de service		
<b>Maintenance</b>	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	N° de la fonction de sécurité	11
<b>Mesures de sécurité</b>	1. Procédure de contrôle des équipements lors des maintenances planifiées. 2. Suivi de données mesurées par les capteurs et sondes présentes dans les éoliennes		

<b>Description</b>	1. Ce point est détaillé dans le chapitre dédié aux maintenances planifiées. 2. L'intégralité des données mesurées par les capteurs et sondes présentes dans les éoliennes est suivie et enregistrée dans une base de données unique. Ces données sont traitées par des algorithmes en permanence afin de détecter, au plus tôt, les dégradations des équipements. Lorsqu'elle est nécessaire, une inspection de l'équipement soupçonné de se dégrader est planifiée. Les algorithmes de détection et de génération d'alarmes sont en amélioration continue.
<b>Indépendance</b>	Oui
<b>Temps de réponse</b>	Entre 12 heures et 6 mois selon le type de dégradation
<b>Efficacité</b>	NA
<b>Tests</b>	Traçabilité : rapport de service
<b>Maintenance</b>	NA

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	12
<b>Mesures de sécurité</b>	1. Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents 2. Mise à l'arrêt sur détection de vent fort et freinage aérodynamique par le système de contrôle		
<b>Description</b>	1. En France, la classification de vents des éoliennes fait référence à la norme « IEC 61400-1 ». Les éoliennes sont dimensionnées pour chacune de ces classes. Il est donc important de faire correspondre la classe du site avec la classe de la turbine 2. Les éoliennes sont mises à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale de 28 m/s pour la E141 Cet arrêt est réalisé par le frein aérodynamique de l'éolienne avec mise en drapeau des pales. Cette mise en drapeau est effectuée par le système d'orientation des pales		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	Temps de détection de l'ordre de la seconde. Mise drapeau des pales < 1 min		
<b>Efficacité</b>	100%		
<b>Tests</b>	Pitch system testé tous les ans lors des maintenances préventives.		
<b>Maintenance</b>	Tous les ans.		

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

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

#### VII.7. CONCLUSION DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

A l'issue de l'analyse préliminaire des risques, l'étude de dangers doit préciser quels scénarios sont retenus en vue de l'analyse détaillée des risques. Ne sont retenus que les séquences accidentelles dont l'intensité est telle que l'accident peut avoir des effets significatifs sur la vie humaine.

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

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m <sup>2</sup> n'est pas atteinte. Dans le cas d'un incendie au niveau du mât les effets sont également mineurs et l'arrêté du 26 Août 2011 encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques. Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.
Incendie du poste de livraison ou du transformateur	En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 août 2011 [9] et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200)
Chute et projection de glace dans les cas particuliers où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C	Lorsqu'un aérogénérateur est implanté sur un site où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C, il peut être considéré que le risque de chute ou de projection de glace est nul. Des éléments de preuves doivent être apportés pour identifier les implantations où de telles conditions climatiques sont applicables.
Infiltration d'huile dans le sol	En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs. Ce scénario peut ne pas être détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques sauf en cas d'implantation dans un périmètre de protection rapprochée d'une nappe phréatique.

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

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

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

### VIII. ETUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

L'étude détaillée des risques vise à caractériser les scénarios retenus à l'issue de l'analyse préliminaire des risques en termes de probabilité, cinétique, intensité et gravité. Son objectif est donc de préciser le risque généré par l'installation et d'évaluer les mesures de maîtrise des risques mises en œuvre. L'étude détaillée permet de vérifier l'acceptabilité des risques potentiels générés par l'installation.

#### VIII.1. RAPPEL DES DÉFINITIONS

Les règles méthodologiques applicables pour la détermination de l'intensité, de la gravité et de la probabilité des phénomènes dangereux sont précisées dans l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005. Cet arrêté ne prévoit de détermination de l'intensité et de la gravité que pour les effets toxiques, de surpression ou de rayonnement thermique.

Cet arrêté est complété par la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source

et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.

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

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

Afin de pouvoir présenter des éléments au sein de cette étude de dangers, il est proposé de recourir à la méthode ad hoc préconisée par le guide technique nationale relatif à l'étude de dangers dans le cadre d'un parc éolien dans sa version de mai 2012. Cette méthode est inspirée des méthodes utilisées pour les autres phénomènes dangereux des installations classées, dans l'esprit de la loi du 30 juillet 2003.

Cette première partie de l'étude détaillée des risques consiste donc à rappeler les définitions de chacun de ces paramètres, en lien avec les références réglementaires correspondantes.

#### VIII.1.1. CINÉTIQUE

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

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

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

#### VIII.1.2. INTENSITÉ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### VIII.1.3. GRAVITÉ

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

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

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

### VIII.1.4. PROBABILITÉ

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

Niveaux	Echelle qualitative	Echelle quantitative (probabilité annuelle)
<b>A</b>	<b>Courant</b> Se produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie des installations, malgré d'éventuelles mesures correctives.	$P > 10^{-2}$
<b>B</b>	<b>Probable</b> S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations.	$10^{-3} < P \leq 10^{-2}$
<b>C</b>	<b>Improbable</b> Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité.	$10^{-4} < P \leq 10^{-3}$

<b>D</b>	<b>Rare</b> S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité.	$10^{-5} < P \leq 10^{-4}$
<b>E</b>	<b>Extrêmement rare</b> Possible mais non rencontré au niveau mondial. N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles.	$\leq 10^{-5}$

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

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

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

Cependant, on pourra rappeler que la probabilité qu'un accident sur une personne ou un bien se produise est très largement inférieure à la probabilité de départ de l'événement redouté. La probabilité d'accident est en effet le produit de plusieurs probabilités :

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

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

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

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

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

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

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

## VIII.2. CARACTÉRISATION DES SCÉNARIOS RETENUS

### VIII.2.1. EFFONDREMENT DE L'ÉOLIENNE

#### ❖ Zone d'effet

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 180 m dans le cas des éoliennes du parc éolien de Magnac-laval.

Pour rappel, le type de machine proposée dans le cadre du calcul est :

- E141 – 109,5 m

	Classe de vent	Hauteur de moyeu	Hauteur totale de l'éolienne en bout de pale (H)
E141 – 4,2 MW	IECIII A	109,5 m	180 m

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

#### ❖ Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Magnac-Laval.

Les calculs sont effectués en considérant que la pale est triangulaire avec une base de largeur C, qui correspond à la largeur maximale de la pale. La zone d'impact et donc le degré d'exposition calculés sont donc supérieurs à la réalité.

	Hauteur du mât H	Largeur moyenne de mât L	Longueur d'une pale R	Corde d'une pale C
E141 – 4,2 MW	109,5 m	13 m	66,7 m	4,75 m

	Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)				Intensité
	Hauteur de moyeu	Zone d'impact en m <sup>2</sup>	Zone d'effet du phénomène étudié en m <sup>2</sup>	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	
	H	$H \times L + 3 \times R \times LB/2$	$\pi \times (H+D/2)^2$		
E141 – 4,2 MW	109,5 m	1 925,8	109 216	1,76 %	Exposition forte

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

#### ❖ Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène d'effondrement, dans le rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne :

Si le phénomène de chute d'élément a engendré une zone d'exposition modérée :

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

Si le phénomène de chute d'élément engendré une zone d'exposition forte :

- Plus de 100 personnes exposées → « Désastreux »
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Catastrophique »
- Entre 1 et 10 personnes exposées → « Important »
- Au plus 1 personne exposée → « Sérieux »
- Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement → « Modéré »
- Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène d'effondrement et la gravité associée :

Cette donnée sera rajoutée lorsque la zone d'effet du phénomène englobe tout ou partie la bergerie.

Eolienne	Superficies concernées par la zone d'effet		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
	Terrains non aménagés en ha (1 pers. / 100 ha)	Terrains aménagés peu fréquentés en ha (1 pers. / 10 ha)		
E1	10,82	0,1	0,119	Sérieuse
E2	10,74	0,2	0,126	Sérieuse
E3	10,73	0,2	0,127	Sérieuse
E4	10,84	0,09	0,117	Sérieuse

Par exemple pour l'éolienne E1, on a : Nombre de personnes permanentes = Nombre personnes en zone cultivée + Nombre personnes en terrains aménagés peu fréquentés, soit  $10,82/100 + 0,1/10 = 0,119$

#### ❖ Probabilité

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

Source	Fréquence	Justification
Guide for risk based zoning of wind turbines [5]	$4,5 \times 10^{-4}$	Retour d'expérience
Specification of minimum distances [6]	$1,8 \times 10^{-4}$ (effondrement de la nacelle et de la tour)	Retour d'expérience

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

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C ». En effet, il a été recensé seulement 7 événements pour 15 667 années d'expérience<sup>2</sup>, soit une probabilité de  $4,47 \times 10^{-4}$  par éolienne et par an.

<sup>2</sup> Une année d'expérience correspond à une éolienne observée pendant une année. Ainsi, si on a observé une éolienne pendant 5 ans et une autre pendant 7 ans, on aura au total 12 années d'expérience.

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

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

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

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

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

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

❖ **Acceptabilité**

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

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Sérieuse	Acceptable
E2	Sérieuse	Acceptable
E3	Sérieuse	Acceptable
E4	Sérieuse	Acceptable

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

**VIII.2.2. CHUTE DE GLACE**

❖ **Considérations générales**

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

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

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

❖ **Zone d'effet**

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne. Pour le parc éolien de Magnac-Laval, la zone d'effet a donc un rayon de 70,5 mètres. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

	<b>E141 – 4,2 MW</b>
<b>Rayon de la zone d'effet r</b>	<b>70,5 m</b>

❖ **Intensité**

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace dans le cas du parc éolien de Magnac-Laval.  $Z_I$  est la zone d'impact,  $Z_E$  est la zone d'effet,  $R$  est la longueur de pale et  $SG$  est la surface du morceau de glace majorant ( $SG= 1 \text{ m}^2$ ).

Le degré d'exposition est calculé pour un morceau de glace d'une surface de  $1\text{m}^2$  de façon à majorer la zone d'impact et donc le degré d'exposition.

	Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à $D/2 =$ zone de survol)			
	Zone d'impact en $\text{m}^2$	Zone d'effet du phénomène étudié en $\text{m}^2$	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_I = SG$	$Z_E = \pi \times r^2$	$d = Z_I / Z_E$	
E141 – 4,2 MW	1,0	15606,59	0,01%	Exposition modérée

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

❖ **Gravité**

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute de glace, dans la zone de survol de l'éolienne :

- Plus de 1000 personnes exposées → « Désastreux »
- Entre 100 et 1000 personnes exposées → « Catastrophique »
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Important »

- Moins de 10 personnes exposées → « Sérieux »
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré »

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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)				
Eolienne	Superficies concernées par la zone d'effet		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
	Terrains non aménagés en ha (1 pers. / 100 ha)	Terrains aménagés peu fréquentés en ha (1 pers. / 10 ha)		
1	1,55	0,013249	0,017	Modérée
2	1,56		0,016	Modérée
3	1,56	0,00336	0,016	Modérée
4	1,56		0,016	Modérée

Dans le cadre du projet éolien de Magnac-Laval, la zone de survol de l'éolienne est principalement un terrain non aménagé et très peu fréquenté (1 personne pour 100 ha d'après la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010).

#### ❖ Probabilité

De façon conservatrice, il est considéré que la probabilité est de classe « A », c'est-à-dire une probabilité supérieure à 10<sup>-2</sup>.

#### ❖ Acceptabilité

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

Dans le cas contraire, l'exploitant devra démontrer que des mesures de sécurité supplémentaires sont mises en place afin d'améliorer l'acceptabilité de ce risque.

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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
1	Modérée	Acceptable
2	Modérée	Acceptable
3	Modérée	Acceptable
4	Modérée	Acceptable

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

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

### VIII.2.3. CHUTE D'ÉLÉMENTS DE L'ÉOLIENNE

#### ❖ Zone d'effet

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

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

#### ❖ 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 Magnac-Laval.  $d$  est le degré d'exposition,  $Z_I$  la zone d'impact,  $Z_E$  la zone d'effet,  $R$  la longueur de pale,  $LB$  la largeur de la base de la pale et  $D$  est le diamètre du rotor.

Les calculs sont effectués en considérant que la pale est triangulaire avec une base de largeur  $LB$ , qui correspond à la largeur maximale de la pale. La zone d'impact et donc degré d'exposition calculés sont donc supérieurs à la réalité.

	Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)			
	Zone d'impact en m <sup>2</sup>	Zone d'effet du phénomène étudié en m <sup>2</sup>	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_I = R * LB / 2$	$Z_E = \pi * D^2 / 4$	$d = Z_I / Z_E$	
E141 – 4,2 MW	167,44	15606,59	1,07%	Exposition forte

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

#### ❖ Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute de glace, dans la zone de survol de l'éolienne :

- Plus de 100 personnes exposées → « Désastreux »
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Catastrophique »
- Entre 1 et 10 personnes exposées → « Important »
- Au plus 1 personne exposée → « Sérieux »
- Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement → « Modéré »

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

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)				
Eolienne	Superficies concernées par la zone d'effet		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
	Terrains non aménagés en ha (1 pers. / 100 ha)	Terrains aménagés peu fréquentés en ha (1 pers. / 10 ha)		
1	1,55	0,013249	0,017	Sérieuse
2	1,56		0,016	Sérieuse
3	1,56	0,00336	0,016	Sérieuse
4	1,56		0,016	Sérieuse

❖ **Probabilité**

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

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

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

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

❖ **Acceptabilité**

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

Dans le cas contraire, l'exploitant devra démontrer que des mesures de sécurité supplémentaires sont mises en place afin d'améliorer l'acceptabilité de ce risque.

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

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
1	Sérieuse	Acceptable
2	Sérieuse	Acceptable
3	Sérieuse	Acceptable
4	Sérieuse	Acceptable

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

**VIII.2.4. PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES**

❖ **Zone d'effet**

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

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

L'analyse de ce recueil d'accidents indique une distance maximale de projection de l'ordre de 500 mètres à deux exceptions près :

- 1300 m rapporté pour un accident à Hundhammerfjellet en Norvège le 20/01/2006
- 1000 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 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 [5] et [6].

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

❖ **Intensité**

Pour le phénomène de projection de pale ou de fragment de pale, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un élément (cas majorant d'une pale entière) et la superficie de la zone d'effet du phénomène (506,5 m).

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Magnac-Laval.  $d$  est le degré d'exposition,  $Z_I$  la zone d'impact,  $Z_E$  la zone d'effet,  $R$  la longueur de pale et  $LB$  la largeur de la base de la pale.

Ce cas est majorant, la projection peut concerner uniquement des fragments et non la pale entière.

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de r=506,5 m autour de chaque éolienne)				
	Zone d'impact en m <sup>2</sup>	Zone d'effet du phénomène étudié en m <sup>2</sup>	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_I=R*LB/2$	$Z_E=\pi \times r^2$	$d=Z_I/Z_E$	
E141 – 4,2 MW	167,4375	805 543	0,02%	Exposition modérée



#### ❖ Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe VIII.1.3., il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection, dans la zone de 500 m (506,5 m zone maximisante) autour de l'éolienne :

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

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

Eolienne	Superficies concernées par la zone d'effet		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
	Terrains non aménagés en ha (1 pers. / 100 ha)	Terrains aménagés peu fréquentés en ha (1 pers. / 10 ha)		
1	78,47	2,1	0,993	Modérée
2	79,59	1,0	0,892	Modérée
3	79,72	0,8	0,880	Modérée
4	79,83	0,719775	0,870	Modérée

Si la zone d'effet est constituée de terrains aménagés mais peu fréquentés avec des voies de communications non structurantes, le nombre équivalent de personnes permanentes exposées reste alors inférieur à 1.

Etant donné que le parc est situé dans des terrains non aménagés et aménagés mais peu fréquentés avec ou sans voies de communications non structurantes, le niveau de gravité est « Modéré ».

#### ❖ Probabilité

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

#### ❖ Acceptabilité

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

Si le nombre de personnes permanentes (ou équivalent) est supérieur à ces chiffres, l'exploitant peut engager une étude supplémentaire pour déterminer le risque d'atteinte de l'enjeu à l'origine de ce niveau de gravité et vérifier l'acceptabilité du risque.

Le cas échéant, des mesures de sécurité supplémentaires pourront être mises en place pour améliorer l'acceptabilité du risque.

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

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 506,5 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
1	Modérée	Acceptable
2	Modérée	Acceptable
3	Modérée	Acceptable
4	Modérée	Acceptable

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

### VIII.2.5. PROJECTION DE GLACE

#### ❖ Zone d'effet

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

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

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

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

	Hauteur de moyeu	Diamètre de rotor	Distance d'effet $R_{PG}$
E141 – 4,2 MW	109,5 m	141 m	375,75m

#### ❖ 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 m<sup>2</sup>) et la superficie de la zone d'effet du phénomène. Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du parc éolien de Magnac-Laval.  $d$  est le degré d'exposition,  $Z_I$  la zone d'impact,  $Z_E$  la zone d'effet,  $H$  la hauteur au moyeu et  $SG$  la surface majorante d'un morceau de glace.

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+D)$ autour de l'éolienne)					
	Hauteur de moyeu en m	Zone d'effet du phénomène étudié en m <sup>2</sup>	Zone d'impact en m <sup>2</sup>	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$H$	$Z_E = \pi \times R_{PG}^2$	$Z_I = SG$		
E141 – 4,2 MW	109,5	1	443330,5 2	0,0002%	Exposition modérée

#### ❖ Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe VIII.1.3., il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection de glace, dans la zone d'effet de ce phénomène :

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

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

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

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)				
Eolienne	Superficies concernées par la zone d'effet		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
	Terrains non aménagés en ha (1 pers. / 100 ha)	Terrains aménagés peu fréquentés en ha (1 pers. / 10 ha)		
1	43,45	0,8812	0,523	Modérée
2	43,92	0,42	0,481	Modérée
3	43,78	0,548298	0,493	Modérée
4	43,86	0,474759	0,486	Modérée

#### ❖ Probabilité

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

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

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

#### ❖ Acceptabilité

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

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

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
1	Modéré	Acceptable
2	Modéré	Acceptable
3	Modéré	Acceptable
4	Modéré	Acceptable

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

### VIII.3. SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

#### VIII.3.1. TABLEAUX DE SYNTHÈSE DES SCÉNARIOS ÉTUDIÉS

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

Il est important de noter que l'agrégation des éoliennes au sein d'un même profil de risque ne débouche pas sur une agrégation de leur niveau de probabilité ni du nombre de personnes exposées car les zones d'effet sont différentes.

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Chute d'éléments de l'éolienne	Zone de survol	Rapide	Exposition forte	C	Sérieuse pour toutes les éoliennes
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale	Rapide	Exposition forte	D	Sérieuse pour toutes les éoliennes
Chute de glace	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	A	Modérée pour toutes les éoliennes
Projection de pales	500 m autour du mât de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D	Modérée pour toutes les éoliennes
Projection de glace	1,5 x (H + 2R) autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	B	Modérée pour toutes les éoliennes

**VIII.3.2. SYNTHÈSE DE L'ACCEPTABILITÉ DES RISQUES**

Enfin, la dernière étape de l'étude détaillée des risques consiste à rappeler l'acceptabilité des accidents potentiels pour chacun des phénomènes dangereux étudiés. Pour conclure à l'acceptabilité, la matrice de criticité ci-dessous, adaptée de la circulaire du 29 septembre 2005 reprise dans la circulaire du 10 mai 2010 mentionnée ci-dessus sera utilisée.

Récapitulatif					
Gravité <i>(traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)</i>	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		<i>EE1 EE2 EE3 EE4</i>	<i>CE1 CE2 CE3 CE4</i>		
Modérée		<i>FP1 FP2 FP3 FP4</i>		<i>PG1 PG2 PG3 PG4</i>	<i>CG1 CG2 CG3 CG4</i>

*EE : Effondrement Eolienne*  
*CE : Chute d'Elément*  
*CG : Chute de Glace*  
*PG : Projection de Glace*  
*FP : Projection de pale ou Fragment de Pale*

Légende de la matrice

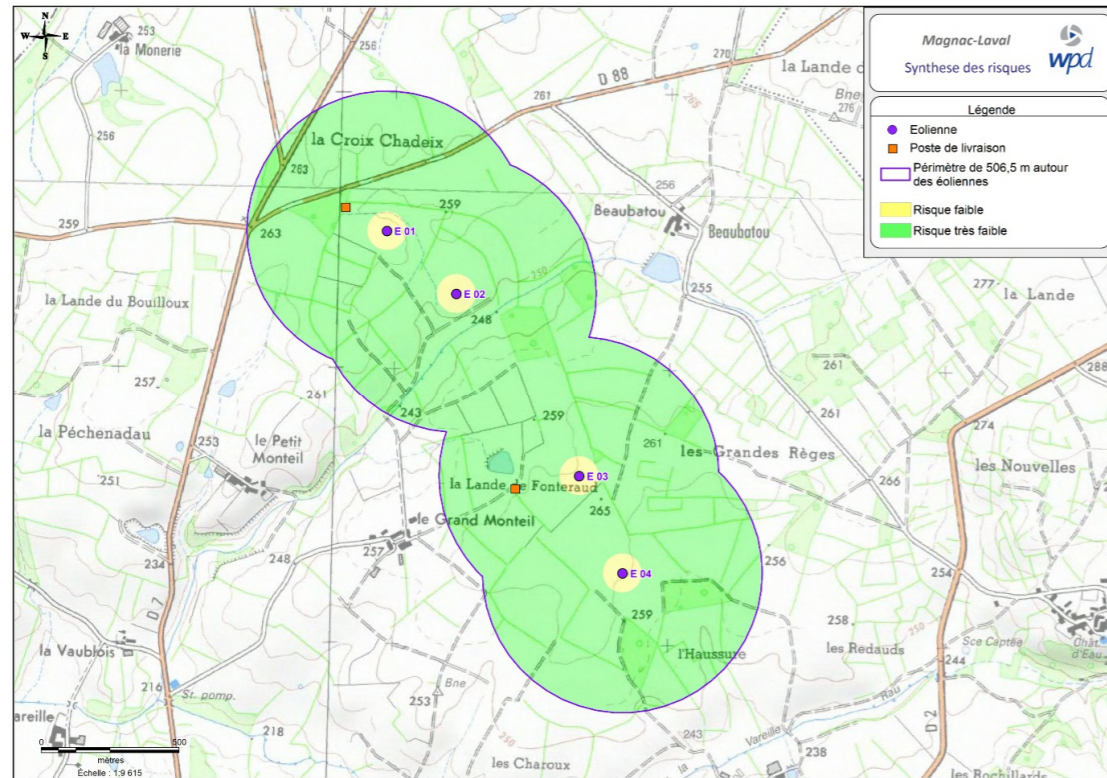
Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible		acceptable
Risque faible		acceptable
Risque important		non acceptable

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice
- certains accidents figurent en case jaune. Pour ces accidents, il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie VII.6 sont mises en place.

**VIII.3.3. CARTOGRAPHIE DES RISQUES**

La carte ci-dessous représente la synthèse des risques :



Carte de synthèse des risques

## IX. CONCLUSION

Les mesures de maîtrise des risques mises en place par le constructeur et par l'exploitant du parc éolien permettent de prévenir et de limiter les risques pour la sécurité des personnes et des biens sur la zone d'implantation du projet éolien de Magnac-Laval. De plus, le caractère très peu aménagé et peu fréquenté du site, ainsi que la distance par rapport aux premiers enjeux humains (premières habitations à 643 m) permettent de limiter la probabilité et la gravité des accidents majeurs, qui sont tous acceptables pour l'ensemble du parc éolien.

Ainsi, les résultats montrent que deux événements accusent des risques d'exposition forte :

- **L'effondrement de l'éolienne** : Ce risque correspond à un degré d'exposition « forte » et donc à une gravité « sérieuse » pour toutes les éoliennes. Le risque d'accident est jugé très faible pour l'ensemble des éoliennes.
- **La chute d'éléments** : Ce risque correspond à un degré d'exposition « forte » et donc à une gravité « sérieuse ». Le risque d'accident est jugé faible pour l'ensemble des éoliennes.

Trois autres événements sont susceptibles d'impacter la proximité autour des éoliennes et ce jusqu'à un rayon de 500m :

- **Chute de glace** : ce risque concerne une zone d'effet de 70,5 m autour de l'éolienne. La probabilité d'occurrence de l'évènement est modérée tout comme son intensité. Le risque d'accident est jugé faible pour l'ensemble des éoliennes. De plus, conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011, un panneau préventif informant des risques de chute de glace au pied des éoliennes sera mis en place afin de limiter les risques pour le public.
- **La projection de pale ou de fragment de pale** : ce risque concerne les chemins ruraux et les voies agricoles. Ce risque correspond à un degré d'exposition « modéré » et à une gravité « modérée ». La zone d'effet est de 506,5 m autour du mât. Le risque d'accident est jugé très faible pour l'ensemble des éoliennes.
- **La projection de glace** : ce risque concerne les chemins ruraux et les voies agricoles. Ce risque correspond à un degré d'exposition « modéré » et à une gravité modérée. La zone d'effet est de 375,75 m autour du mât. Le risque d'accident est jugé très faible pour l'ensemble des éoliennes.

Les terrains sont globalement peu fréquentés puisqu'il s'agit pour la plupart de terres agricoles cultivées. La présence de chemins ruraux et de voies agricoles augmente légèrement la fréquentation théorique.

Les autres événements redoutés constituent des risques très faibles. Les risques pour les infrastructures sont en général inexistantes à très faibles pendant la phase d'exploitation des parcs éoliens.

**Les accidents majeurs susceptibles de se produire sur le parc éolien de Magnac-Laval sont tous acceptables pour l'ensemble du parc éolien au vu de l'analyse menée dans la présente étude de dangers.**

Scénario	Probabilité	Gravité	Mesures de maîtrise des risques	Acceptabilité
Chute d'élément de l'éolienne	C	Sérieuse pour toutes les éoliennes	Contrôles réguliers des assemblages de structure Procédures et contrôle qualité Procédure maintenance Prévention des courts-circuits et incendies	Acceptable
Effondrement de l'éolienne	D	Sérieuse pour toutes les éoliennes	Contrôles réguliers des fondations et des assemblages de structure Procédure maintenance Actions de prévention dans le cadre du plan de prévention Prévention de la dégradation de l'état des équipements	Acceptable
Chute de glace	A	Modérée pour toutes les éoliennes	Signalisation en pied de machine Eloignement des zones habitées et fréquentées Dégivrage des pales*	Acceptable
Projection de pales	D	Modérée pour toutes les éoliennes	Détection de vent fort et freinage aérodynamique Détection de survitesse du générateur Classe d'éolienne adaptée Contrôles réguliers des assemblages de structure Procédures et contrôle qualité	Acceptable
Projection de glace	B	Modérée pour toutes les éoliennes	Système de déduction de glace	Acceptable

### ANNEXE 1 – MÉTHODE DE COMPTAGE DES PERSONNES POUR LA DÉTERMINATION DE LA GRAVITÉ POTENTIELLE D'UN ACCIDENT À PROXIMITÉ D'UNE ÉOLIENNE

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

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

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

#### TERRAINS NON BÂTIS

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

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

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

#### VOIES DE CIRCULATION

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

#### VOIES DE CIRCULATION AUTOMOBILES

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

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

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

**VOIES FERROVIAIRES**

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

**VOIES NAVIGABLES**

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

**CHEMINS ET VOIES PIÉTONNES**

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

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

**LOGEMENTS**

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

**ETABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC (ERP)**

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

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

– compter 10 personnes par magasin de détail de proximité (boulangerie et autre alimentation, presse et coiffeur) ;

– compter 15 personnes pour les tabacs, cafés, restaurants, supérettes et bureaux de poste.

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

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

**ZONES D'ACTIVITÉ**

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

**ANNEXE 2 – TABLEAU DE L'ACCIDENTOLOGIE FRANÇAISE**

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

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Effondrement	Novembre 2000	Port la Nouvelle	Aude	0,5	1993	Non	Le mât d'une éolienne s'est plié lors d'une tempête suite à la perte d'une pale (coupure courant prolongée pendant 4 jours suite à la tempête)	Tempête avec foudre répétée	Rapport du CGM Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2001	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts)	?	Site Vent de Colère	Information peu précise
Effondrement	01/02/2002	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris d'hélice et mât plié	Tempête	Rapport du CGM Site Vent du Bocage	-
Maintenance	01/07/2002	Port la Nouvelle – Sigean	Aude	0,66	2000	Oui	Grave électrisation avec brûlures d'un technicien	Lors de mesures pour caractériser la partie haute d'un transformateur 690V/20kV en tension. Le mètre utilisé par la victime, déroulé sur 1,46m, s'est soudainement plié et est entré dans la zone du transformateur, créant un arc électrique.	Rapport du CGM	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	28/12/2002	Néviau - Grande Garrigue	Aude	0,85	2002	Oui	Effondrement d'une éolienne suite au dysfonctionnement du système de freinage	Tempête + dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Site Vent de Colère Article de presse (Midi Libre)	-
Rupture de pale	25/02/2002	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pale en bois (avec inserts) sur une éolienne bipale	Tempête	Article de presse (La Dépêche du 26/03/2003)	Information peu précise

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	05/11/2003	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts) sur trois éoliennes. Morceaux de pales disséminés sur 100 m.	Dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Article de presse (Midi Libre du 15/11/2003)	-
Effondrement	01/01/2004	Le Portel – Boulogne sur Mer	Pas de Calais	0,75	2002	Non	Cassure d'une pale, chute du mât et destruction totale. Une pale tombe sur la plage et les deux autres dérivent sur 8 km.	Tempête	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (Windpower Monthly May 2004, La Voix du Nord du 02/01/2004)	-
Effondrement	20/03/2004	Loon Plage – Port de Dunkerque	Nord	0,3	1996	Non	Couchage du mât d'une des 9 éoliennes suite à l'arrachement de la fondation	Rupture de 3 des 4 micropioux de la fondation, erreur de calcul (facteur de 10)	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (La Voix du Nord du 20/03/2004 et du 21/03/2004)	-
Rupture de pale	22/06/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50 m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	-
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	Incident identique à celui s'étant produit 15 jours auparavant
Rupture de pale	2004	Escalles-Cornillac	Aude	0,75	2003	Non	Bris de trois pales	Site Vent de Colère	Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale + incendie	22/12/2004	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne (survitesse de plus de 60 tr/min)	Survitesse due à une maintenance en cours, problème de régulation, et dysfonctionnement du système de freinage	Base de données ARIA Article de presse (La Tribune du 30/12/2004) Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2005	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris de pale	Site Vent de Colère	Site Vent de Colère	Information peu précise

89

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	08/10/2006	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2004	Non	Chute d'une pale de 20 m pesant 3 tonnes	Allongement des pales et retrait de sécurité (débridage), pas de REX suite aux précédents accidents sur le même parc	Site FED Articles de presse (Ouest France) Journal FR3	-
Incendie	18/11/2006	Roquetallade	Aude	0,66	2001	Oui	Acte de malveillance: explosion de bonbonne de gaz au pied de 2 éoliennes. L'une d'entre elles a mis le feu en pieds de mât qui s'est propagé jusqu'à la nacelle.	Malveillance / incendie criminel	Communiqués de presse exploitant Articles de presse (La Dépêche, Midi Libre)	-
Effondrement	03/12/2006	Bondues	Nord	0,08	1993	Non	Sectionnement du mât puis effondrement d'une éolienne dans une zone industrielle	Tempête (vents mesurés à 137km/h)	Article de presse (La Voix du Nord)	-
Rupture de pale	31/12/2006	Ally	Haute-Loire	1,5	2005	Oui	Chute de pale lors d'un chantier de maintenance visant à remplacer les rotors	Accident faisant suite à une opération de maintenance	Site Vent de Colère	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident pendant la phase chantier)
Rupture de pale	03/2007	Citourps	Manche	0,66	2005	Oui	Rupture d'un morceau de pale de 4 m et éjection à environ 80 m de distance dans un champ	Cause pas éclaircie	Site FED Interne exploitant	-
Chute d'élément	11/10/2007	Plouvien	Finistère	1,3	2007	Non	Chute d'un élément de la nacelle (trappe de visite de 50 cm de diamètre)	Défaut au niveau des charnières de la trappe de visite. Correctif appliqué et retrofit des boulons de charnières effectué sur toutes les machines en exploitation.	Article de presse (Le Télégramme)	-
Emballlement	03/2008	Dinéault	Finistère	0,3	2002	Non	Emballlement de l'éolienne mais pas de bris de pale	Tempête + système de freinage hors service (boulon manquant)	Base de données ARIA	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (événement unique et sans répercussion potentielle sur les personnes)

90

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Collision avion	04/2008	Plouguin	Finistère	2	2004	Non	Léger choc entre l'aile d'un bimoteur Beechcraft (liaison Quessant-Brest) et une pale d'éolienne à l'arrêt. Perte d'une pièce de protection au bout d'aile. Mise à l'arrêt de la machine pour inspection.	Mauvaise météo, conditions de vol difficiles (sous le plafond des 1000m imposé par le survol de la zone) et faute de pilotage (altitude trop basse)	Articles de presse (Le Télégramme, Le Post)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident aéronautique)
Rupture de pale	19/07/2008	Erize-la-Brûlée - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale et projection de morceaux de pale suite à un coup de foudre	Foudre + défaut de pale	Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain 22/07/2008)	-
Incendie	28/08/2008	Vauvillers	Somme	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Problème au niveau d'éléments électroniques	Dépêche AFP 28/08/2008	-
Rupture de pale	26/12/2008	Raival - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale		Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain)	-
Maintenance	26/01/2009	Clastres	Aisne	2,75	2004	Oui	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance	Accident électrique (explosion d'un convertisseur)	Base de données ARIA	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Rupture de pale	08/06/2009	Bollène	Vaucluse	2,3	2009	Oui	Bout de pale d'une éolienne ouvert	Coup de foudre sur la pale	Interne exploitant	Non utilisable dans les chutes ou les projections (la pale est restée accrochée)
Incendie	21/10/2009	Froidfond - Espinassière	Vendée	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit dans transformateur sec embarqué en nacelle ?	Article de presse (Ouest-France) Communiqué de presse exploitant Site FED	-
Incendie	30/10/2009	Freyssenet	Ardèche	2	2005	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit faisant suite à une opération de maintenance (problème sur une armoire électrique)	Base de données ARIA Site FED Article de presse (Le Dauphiné)	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Maintenance	20/04/2010	Toufflers	Nord	0,15	1993	Non	Décès d'un technicien au cours d'une opération de maintenance	Crise cardiaque	Article de presse (La Voix du Nord 20/04/2010)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	30/05/2010	Port la Nouvelle	Aude	0,2	1991	Non	Effondrement d'une éolienne	Le rotor avait été endommagé par l'effet d'une survitesse. La dernière pale (entière) a pris le vent créant un balourd. Le sommet de la tour a plié et est venu buter contre la base entraînant la chute de l'ensemble.	Interne exploitant	-
Incendie	19/09/2010	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Emballement de deux éoliennes et incendie des nacelles.	Maintenance en cours, problème de régulation, freinage impossible, évacuation du personnel, survitesse de +/- 60 tr/min	Articles de presse Communiqué de presse SER-FEE	-
Maintenance	15/12/2010	Pouillé-les-Côteaux	Loire Atlantique	2,3	2010	Oui	Chute de 3 m d'un technicien de maintenance à l'intérieur de l'éolienne. L'homme de 22 ans a été secouru par le GRIMP de Nantes. Aucune fracture ni blessure grave.		Interne SER-FEE	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Transport	31/05/2011	Mesvres	Saône-et-Loire	-	-	-	Collision entre un train régional et un convoi exceptionnel transportant une pale d'éolienne, au niveau d'un passage à niveau Aucun blessé		Article de presse (Le Bien Public 01/06/2011)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident de transport hors site éolien)



Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	14/12/2011	Non communiqué	Non communiqué	2.5	2003	Oui	Pale endommagée par la foudre. Fragments retrouvés par l'exploitant agricole à une distance n'excédant pas 300 m.	Foudre	Interne exploitant	Information peu précise sur la distance d'effet
Incendie	03/01/2012	Non communiqué	Non communiqué	2.3	2006	Oui	Départ de feu en pied de tour. Acte de vandalisme : la porte de l'éolienne a été découpée pour y introduire des pneus et de l'huile que l'on a essayé d'incendier. Le feu ne s'est pas propagé, dégâts très limités et restrictifs au pied de la tour.	Malveillance / incendie criminel	Interne exploitant	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'incendie)
Rupture de pale	05/01/2012	Widhem	Pas-de-Calais	0,75	2000	Non	Bris de pales, dont des fragments ont été projetés jusqu'à 380 m. Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne).	Tempête + panne d'électricité	Article de presse (La Voix du Nord 06/01/2012) Vidéo DailyMotion Interne exploitant	-
Rupture de pale	15/05/2012	Chemin d'Abilis	Eure-et-Loir	2	2008	Oui	Chute d'une pale de 9 tonnes et rupture du roulement raccordant la pale au hub	Traces de corrosion dans les trous d'alésage traversant une des bagues du roulement	Articles de presse (leFigaro 22/05/2012) et ARIA (n°42919)	-
Effondrement de la tour	30/05/2012	Non communiqué	Aude	0.2	1991	Non	Effondrement de la tour en treillis de 30 m de haut	Rafales de vent à 130 km/h observées durant la nuit	ARIA (n°43110)	-

93

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Projection d'un élément de la pale	01/11/2012	Non communiqué	Cantal	2.5	2011	Oui	Projection d'un élément de 400 g constituant d'une pale dréolienne à 70 m du mât		ARIA (n°43120)	-
Incendie	05/11/2012	Non communiqué	Aude	0,66	-	-	Projections incandescentes enflammant 80 m² de garrigue environnante	Câbles électriques non résistants au feu à l'intérieur du mât	ARIA (n°43228)	-
Incendie	17/03/2013		Marne		2011	Oui	Feu dans la nacelle d'une éolienne. Une des pales tombe au sol, une autre menace de tomber.	Défaillance électrique	ARIA (n°43630)	L'exploitant et la société chargée de la maintenance étudient la possibilité d'installer des détecteurs de fumées dans les éoliennes.
Incendie	09/01/2014		Champagne-Ardenne	2.5	-	-	Feu se déclarant vers 18 h au niveau de la partie moteur d'une éolienne.	Incident électrique	ARIA (n°44831)	-
Rupture de pale	20/01/2014		Aude				Chute de pale liées à la rupture d'une pièce à la base de la pale	Usure prématurée	ARIA (n°44870)	Changement du design des pièces

94

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	14/11/2014	Sources de la Loire	Ardèche				Chute d'une pale un jour d'orage ou les vents atteignent 130km/h		ARIA (n°45960)	
Projection d'un élément de la pale	05/12/2014		Aude				Lors d'une inspection, des techniciens de maintenance constatent le détachement de l'extrémité d'une pale	Défaillance matérielle ou à un décollage sur les plaques en fibre de verre	ARIA (n°46030)	
Incendie	24/08/2015		Eure-et-Loire		2007		Le moteur d'une éolienne a pris feu		Article de presse (la république du centre 24/08/2015)	
Chute d'élément	10/11/2015	Ménil-la-Horgne	Meuse	10.5	2007		Chute des trois pales et du rotor d'une éolienne		Article de presse (France 3 Lorraine 14/11/2015 et L'est républicain 13/11/2015)	

### ANNEXE 3 – SCÉNARIOS GÉNÉRIQUES ISSUS DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

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

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

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

#### SCÉNARIOS RELATIFS AUX RISQUES LIÉS À LA GLACE (G01 ET G02)

##### SCÉNARIO G01

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

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

- Système de déduction de la formation de glace
- Système de détection de glace sur la nacelle (en option)
- Système de détection de glace sur les pales (en option)
- Arrêt préventif en cas de déséquilibre du rotor
- Arrêt préventif en cas de givrage de l'anémomètre.

##### SCÉNARIO G02

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

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

#### SCÉNARIOS RELATIFS AUX RISQUES D'INCENDIE (I01 À I07)

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

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

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

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

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

- Concernant le défaut de conception et fabrication : Contrôle qualité
- Concernant le non-respect des instructions de montage et/ou de maintenance : Formation du

personnel intervenant, Contrôle qualité (inspections)

- Concernant les causes externes dues à l'environnement : Mise en place de solutions techniques visant à réduire l'impact. Certains dispositifs sont de série ou en option. Le choix des options est effectué par l'exploitant en fonction des caractéristiques du site.

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

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

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

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

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

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

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

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

#### SCÉNARIOS RELATIFS AUX RISQUES DE FUITES (F01 À F02)

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

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

##### SCÉNARIO F01

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

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

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

Deux événements peuvent être aggravants :

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

#### SCÉNARIO F02

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

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

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

Ce scénario est à adapter en fonction des produits utilisés.

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

#### SCÉNARIOS RELATIFS AUX RISQUES DE CHUTE D'ÉLÉMENTS (C01 À C03)

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

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

#### SCÉNARIOS RELATIFS AUX RISQUES DE PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES (P01 À P06)

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

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

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

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

##### SCÉNARIO P01

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

##### SCÉNARIO P02

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

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

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

##### SCÉNARIOS P03

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

**SCÉNARIOS RELATIFS AUX RISQUES D'EFFONDREMENT DES ÉOLIENNES (E01 À E10)**

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

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

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

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

**ANNEXE 4 – PROBABILITE D'ATTEINTE ET RISQUE INDIVIDUEL**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## ANNEXE 5 –GLOSSAIRE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Indépendance d'une mesure de maîtrise des risques** : Faculté d'une mesure, de par sa conception, son exploitation et son environnement, à ne pas dépendre du fonctionnement d'autres éléments et notamment d'une part d'autres mesures de maîtrise des risques, et d'autre part, du système de conduite

de l'installation, afin d'éviter les modes communs de défaillance ou de limiter leur fréquence d'occurrence.

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

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

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

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

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

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

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

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

Attention aux confusions possibles :

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

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

- Réduction de la probabilité : par amélioration de la prévention, par exemple par ajout ou fiabilisation des mesures de sécurité
- Réduction de l'intensité :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**ICPE** : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

**SER** : Syndicat des Energies Renouvelables

**FEE** : France Energie Eolienne (branche éolienne du SER)

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

**EDD** : Etude de dangers

**APR** : Analyse Préliminaire des Risques

**ERP** : Etablissement Recevant du Public

## ANNEXE 6 – BIBLIOGRAPHIE ET RÉFÉRENCES UTILISÉES

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

## ANNEXE 7 – TABLE DES FIGURES

Figure 1 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur.....	25
Figure 2 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne .....	26
Figure 3: Composants de la nacelle .....	30
Figure 4 : Schéma simplifié de la chaîne cinématique .....	33
Figure 5 : Raccordement électrique des installations .....	40
Figure 6 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées .....	48