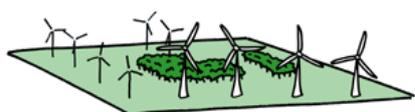


ÉTUDE DE DANGER DU PARC ÉOLIEN GIROLLES



SEPE Girolles
C/O INTERVENT
Tour de l'Europe
68100 MULHOUSE

INTERVENT
l'élan de l'énergie renouvelable



SOMMAIRE

1. PRÉAMBULE.....	1
1.1. Objectif de l'étude de dangers	1
1.2. Nomenclature des installations classées	1
2. INFORMATIONS GÉNÉRALES CONCERNANT L'INSTALLATION	2
2.1. Renseignements administratifs	2
2.2. Localisation du site	3
2.3. Définition de la zone d'étude	4
3. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION	6
3.1. Environnement humain.....	6
1.1.1. Zones urbanisées	6
1.1.2. Établissements recevant du public (ERP)	6
1.1.3. Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et installations nucléaires de base	6
3.2. Environnement naturel	8
3.2.1. Contexte climatique	8
1.1.1. Vents.....	8
3.3. Risques naturels.....	9
3.3.1. Retrait et gonflement des argiles	9
3.3.2. Sismicité	10
3.3.3. Remontée de nappe phréatique	11
3.3.4. Risque orageux, foudre	12
3.4. Environnement matériel.....	13
3.4.1. Voies de communication.....	13
3.4.2. Réseaux publics et privés.....	13
3.4.3. Cartographie de synthèse (voir cartes pages suivantes)	16
4. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION	21
4.1. Caractéristiques générales d'un parc éolien	21
4.1.1. Activité de l'installation.....	21
4.1.2. Composition de l'installation	21

4.2. Description d'une éolienne.....	23
4.2.1. Fondations - Emprises au sol	24
4.2.2. Mât.....	25
4.2.3. Rotor.....	26
4.2.4. Nacelle.....	27
4.2.5. Générateur	28
4.2.6. Intégration au réseau.....	28
4.2.7. Caractéristiques techniques des éoliennes	29
4.3. Certification des éoliennes.....	32
4.4. Fonctionnement de l'éolienne.....	32
4.4.1. Démarrage de l'éolienne	32
4.4.2. Fonctionnement normal.....	32
4.4.3. Fonctionnement en charge partielle	32
4.4.4. Fonctionnement de régulation	33
4.4.5. Mode de fonctionnement au ralenti	33
4.4.6. Arrêt de l'éolienne	33
4.4.7. Absence de vent.....	35
4.4.8. Tempête/Système « Storm Control ».....	35
4.4.9. Dévissage des câbles	36
4.5. Opérations de maintenance de l'éolienne.....	36
4.5.1. Inspection visuelle	37
4.5.2. Graissage d'entretien	37
4.5.3. Maintenance électrique	37
4.5.4. Maintenance mécanique	37
4.6. Principaux systèmes de sécurité de l'éolienne.....	38
4.6.1. Système de freinage.....	38
4.6.2. Système de détection de survitesse	38
4.6.3. Protection foudre	38
4.6.4. Protection incendie	39
4.6.5. Système de détection de givre/glace.....	40
4.6.6. Système de dégivrage de pale (option).....	41
1.1.1. Surveillance des principaux paramètres.....	43
4.7. Équipements et aménagements annexes	44
4.7.1. Chemins d'accès	44
4.7.2. Poste de livraison	46
4.7.3. Réseaux de l'installation.....	46

5. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION	49
5.1. Potentiels de dangers liés aux produits.....	49
5.1.1. Identification des potentiels de dangers liés aux produits	49
5.1.2. Phénomènes dangereux associés au caractère inflammable des huiles et des graisses	50
5.2. Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation.....	51
5.3. Réduction des potentiels de dangers à la source.....	52
5.3.1. Principales actions préventives	52
1.1.2. Utilisation des meilleures techniques disponibles	53
6. ANALYSE DES RETOURS D'EXPÉRIENCE	54
6.1. Inventaire des accidents et incidents en France.....	54
6.2. Inventaires des accidents et incidents à l'international	59
6.3. Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience.....	60
6.3.1. Analyse de l'évolution des accidents en France.....	60
6.3.2. Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents.....	61
6.3.3. Limites d'utilisation de l'accidentologie.....	61
7. ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES	62
7.1. Objectif de l'analyse préliminaire des risques	62
7.2. Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques	62
7.3. Recensement des agressions externes potentielles	63
7.3.1. Agressions externes liées aux activités humaines	63
7.3.2. Agressions externes liées aux phénomènes naturels	65
7.4. Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques.....	68
7.5. Effets dominos.....	72
7.6. Mise en place des mesures de sécurité	72
7.7. Conclusion de l'analyse préliminaire des risques	84
8. ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES	85
8.1. Rappel des définitions	85
8.1.1. Cinétique	85
8.1.2. Intensité	85

8.1.3. Gravité	86
8.1.4. Probabilité.....	87
8.2. Caractérisation des scénarios retenus	89
8.2.1. Effondrement de l'éolienne	89
8.2.2. Chute d'éléments de l'éolienne	94
8.2.3. Chute de glace	97
8.2.4. Projection de glace	100
8.2.5. Projection de pale ou de fragments de pale	104
8.3. Synthèse de l'étude détaillée des risques	108
8.3.1. Tableau de synthèse des paramètres de risques	108
8.3.2. Synthèse de l'acceptabilité des risques.....	109
1.1.3. Cartographie des risques	110
8.4. Moyens de secours et d'intervention	112
8.4.1. Moyens internes	112
8.4.2. Moyens externes	112
8.4.3. Traitement de l'alerte	112
8.4.4. Implantation des bases de maintenance	113
9. CONCLUSION	114

Introduction

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

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

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

Les objectifs par filière ont été déclinés dans des arrêtés de programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité (arrêtés PPI). L'éolien représente une des technologies les plus prometteuses pour atteindre les objectifs fixés par la France. Ainsi, l'arrêté du 15 décembre 2009, modifié par l'arrêté du 24 avril 2016, a fixé des objectifs ambitieux pour l'éolien :

- 10 500 MW terrestres et 1 000 MW en mer en 2012,
- 26 000 MW terrestres et 10 000 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).

Mi-2019, la puissance installée en France atteignait ainsi 15 757 MW, permettant la production de 26,1 TWh (contre 7,9 TWh en 2009). Le taux de couverture de la consommation électrique par la production éolienne a donc atteint 5,5 % sur l'année 2019.

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, 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, arrêts 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).

Contexte réglementaire

Application du régime des installations classées aux parcs éoliens

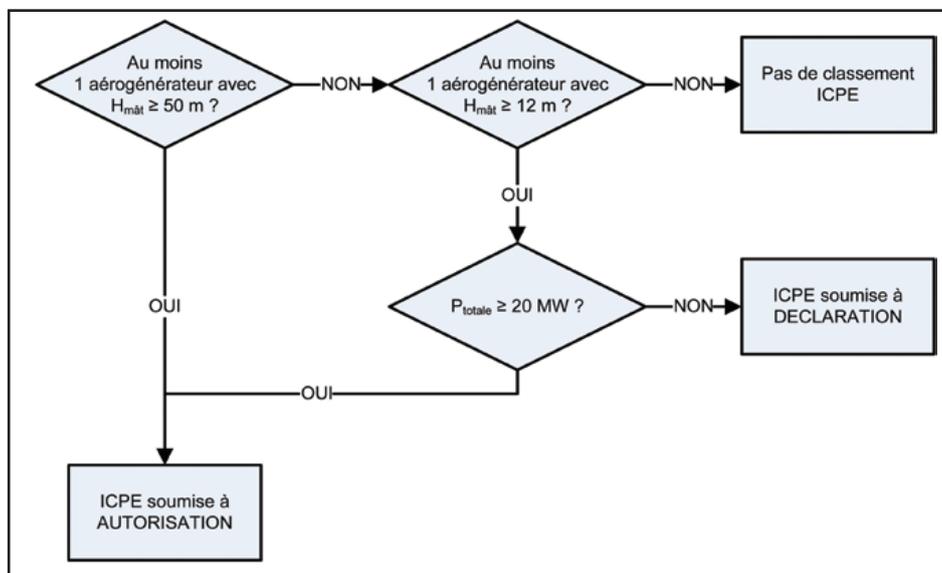
En application de la loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, dite loi Grenelle II, les éoliennes sont désormais soumises au régime des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

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 les installations qui présentent de graves dangers ou inconvénients pour les intérêts mentionnés à l'article L.511-1.

L'autorisation, dénommée autorisation environnementale, est délivrée dans les conditions prévues au chapitre unique du titre VIII du livre I^{er}.

Les intérêts visés à l'article L.511-1 sont la commodité du voisinage, la santé, la sécurité, la salubrité publique, 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 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 de l'installation. 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, 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. — (Abrogé)

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

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

- **Loi n°2003-699 du 30 juillet 2003** relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages
- **Décret n°2005-1170 du 13 septembre 2005** modifiant le décret n°77-1133 du 21 septembre 1977 pris pour application de la loi n°76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement
- **Arrêté du 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.

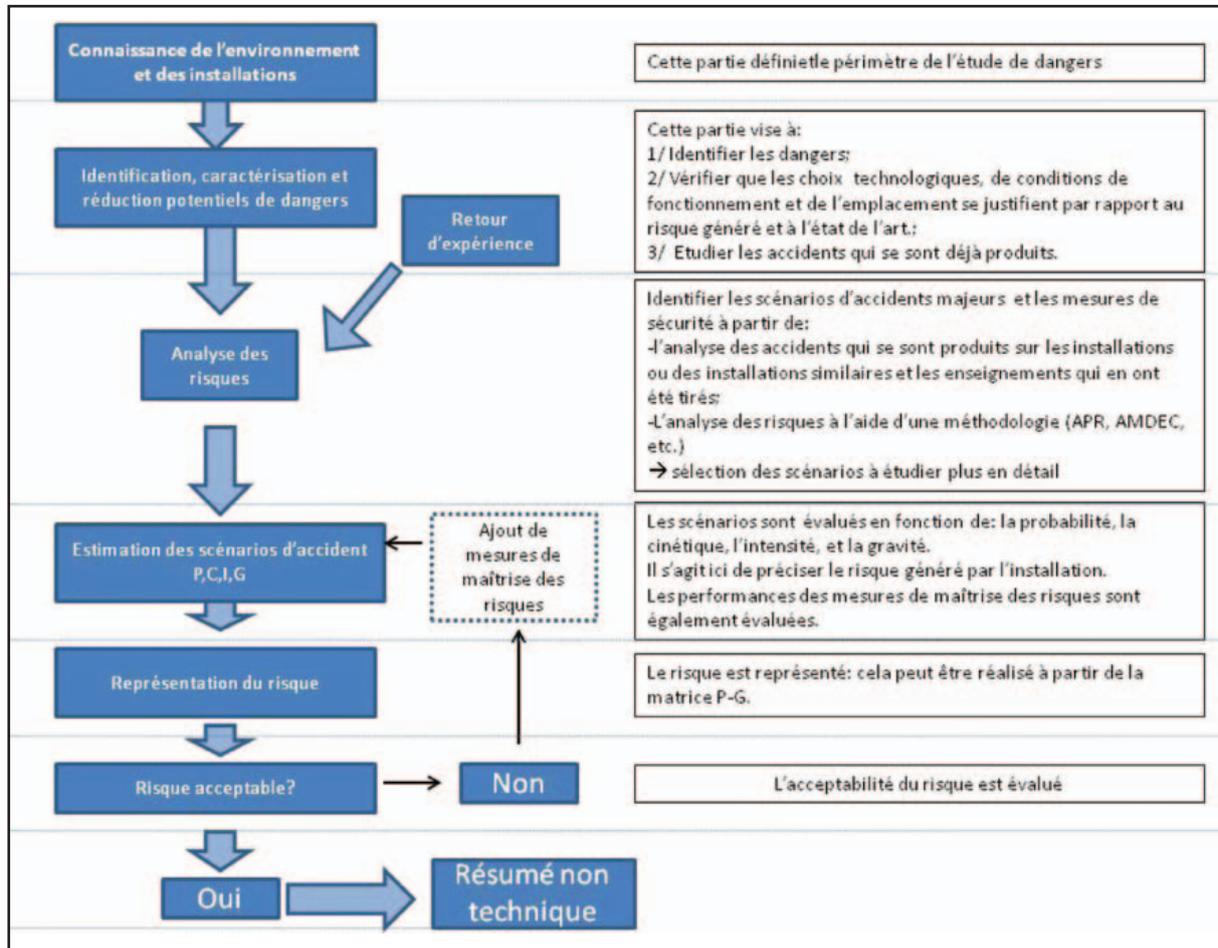
Démarche générale de l'étude de dangers

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, sont rappelées ci-dessous.

Elles sont énumérées ici dans l'ordre dans lequel elles sont présentées ensuite au sein de la trame type 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 danger.** Cette étape s'appuie sur un résumé non technique de l'étude de danger.

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



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

1. Préambule

1.1. Objectif de l'étude de dangers

La présente étude est réalisée sur la base du document fourni par le SER. L'étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par l'exploitant de l'installation pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du parc éolien Girolles, 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 Girolles. 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 Girolles, qui réduisent le risque à l'intérieur et à l'extérieur des éoliennes à un niveau jugé acceptable par l'exploitant.

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

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

1.2. 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 Girolles, comprend au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure 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 environnementale.

2. Informations générales concernant l'installation

2.1. Renseignements administratifs

Exploitant de l'installation

Nom:	Société d'Exploitation du Parc Éolien Girolles (SEPE Girolles)
Adresse du siège social:	3, Bd de l'Europe Tour de l'Europe 183 68100 MULHOUSE
Adresse du site:	Commune de Voué
Demandeur:	INTERVENT, <i>président</i>
Forme juridique:	Société par Actions Simplifiée
Capital:	5 000 euros
Numéro d'immatriculation:	En cours d'immatriculation

Rédacteurs de l'étude

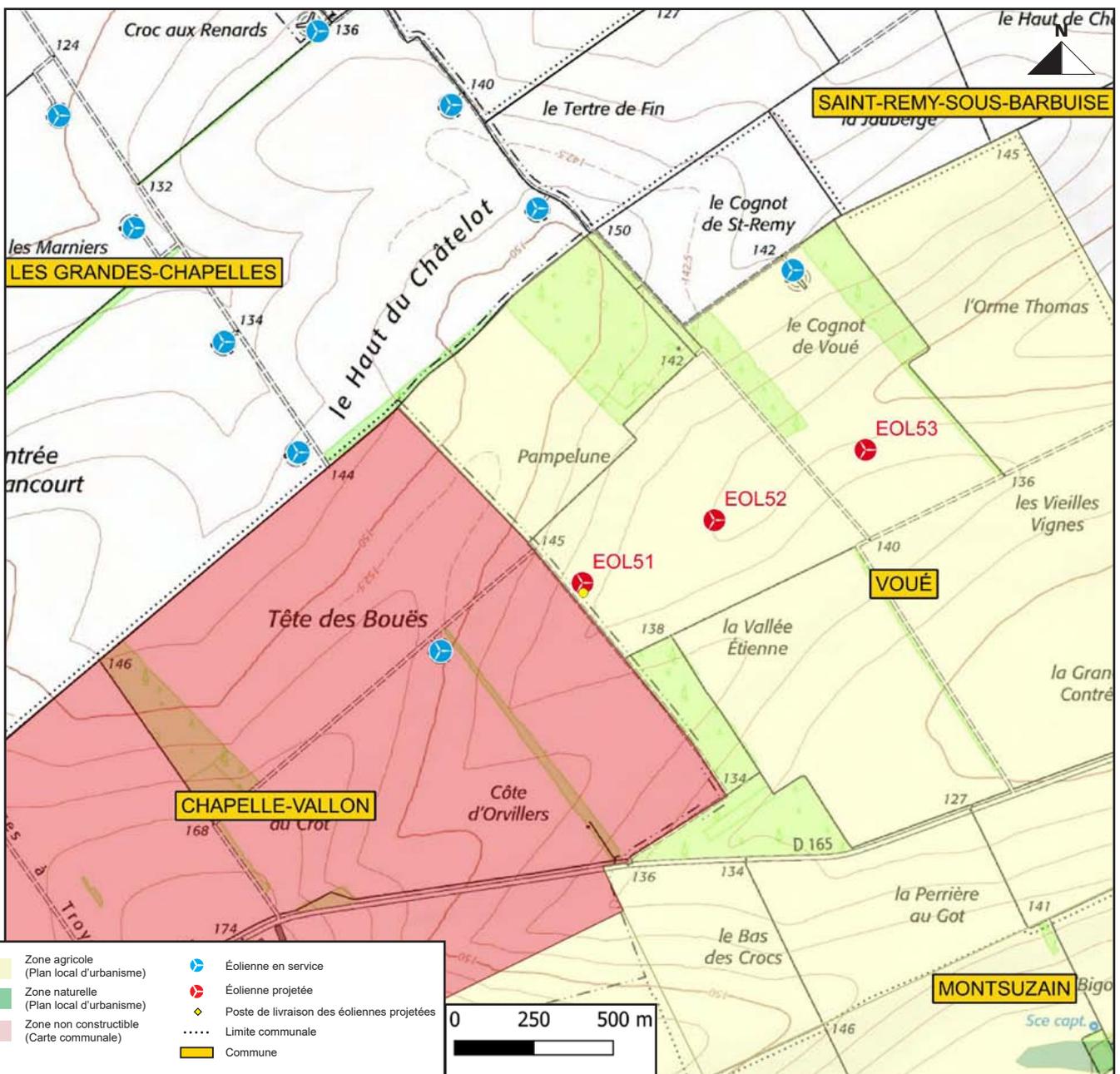
Nom:	INTERVENT, SAS	GÉONOMIE
Adresse du siège social:	3, Bd de l'Europe Tour de l'Europe 183 68100 MULHOUSE	309 rue Duguesclin 69007 LYON
Contact:	Fabrice Gourat, <i>président</i>	Pauline Desgaches, <i>chargée d'études</i>
Téléphone:	03.89.66.37.51	04.72.04.93.82
Forme juridique:	SAS	SARL
Capital:	1 546 230 euros	15 000 euros
Numéro d'immatriculation:	441 890 076	434 284 931

2.2. Localisation du site

Le projet de parc éolien Girolles prévoit la mise en place de 3 éoliennes et d'un poste de livraison sur la commune de Voué, dans le département de l'Aube (10), en région Grand Est.

Les 3 aérogénérateurs, de modèle E-82, présentent les caractéristiques suivantes :

Éoliennes	EOL51 et EOL52	EOL53
Hauteur de moyeu	68,91 m	58,91 m
Hauteur de mât au sens de la réglementation ICPE	71,31 m	61,31 m
Diamètre de rotor	82,00 m	82,00 m
Hauteur totale en bout de pale	110,00 m	100,00 m



Carte de localisation générale du site

2.3. Définition de la zone 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 zone d'étude par éolienne.

Chaque zone d'étude correspond à l'ensemble des points situés à une distance inférieure ou égale à 500 m à partir de l'emprise du mât de l'aérogénérateur. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection, telle que définie dans le paragraphe de « scénario de projection de pale » du chapitre « Étude détaillée des risques ».

La zone d'étude n'intègre pas les environs du poste 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.

Les coordonnées WGS 84 des installations sont données ci-après :

Éoliennes	Coordonnées géographiques de chaque éolienne en WGS84		Hauteur NGF	Hauteur éolienne ou poste de livraison	Cote sommitale en extrémité de pale (en mètre NGF)
	Nord	Est			
EOL 51	48.4535	4.0773	133 m	110 m	243
EOL 52	48.4550	4.0829	127 m	110 m	237
EOL 53	48.4573	4.0891	130 m	100 m	230
Poste de livraison	48.4531	4.0767	139 m	3,3 m	

La zone d'étude représentée par un rayon de 500 mètres autour de chaque éolienne comprend principalement des champs cultivés.

Plusieurs voies de communication non structurantes, c'est-à-dire dont le trafic journalier est inférieur à 2000 véhicules/jour sont présentes au sein de la zone d'étude. Il s'agit de chemins ruraux ou de chemins d'exploitation agricole.

3. Description de l'environnement de l'installation

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

3.1. Environnement humain

1.1.1. Zones urbanisées

La zone d'étude concerne 2 communes : Chapelle-Vallon et Voué, localisées dans le département de l'Aube. Le bâti de ces communes est principalement regroupé au sein des bourgs. Les fermes isolées sont rares.

Ces communes rurales possèdent les populations et densités suivantes :

Communes de la zone d'étude	Population légale de 2016 (entrée en vigueur au 01/01/2019)	Densité (nombre habitant/km ²)
Chapelle-Vallon	244	13
Voué	675	51

La densité de population de la commune de Voué est égale à celle du département de l'Aube (51 hab/km²).

Par respect de la loi n°2010-788 du 12 juillet 2012, aucune habitation ou zone destinée à l'habitation n'est située à moins de 500 m d'une éolienne.

Les habitations les plus proches du projet sont les suivantes :

Habitations	Éoliennes	Distance
Bourg de Voué	EOL53	2,33 km
Ferme de Bigot	EOL51	1,87 km

1.1.2. Établissements recevant du public (ERP)

Les bourgs des communes de la zone d'étude disposent de divers équipements publics (mairies, écoles, salle des fêtes...). Le bourg le plus proche du site d'implantation du projet éolien est celui de Voué, à environ 2 km à l'Est.

L'ERP le plus proche du projet est la salle des fêtes de Voué située à 2,2 km à l'Est de l'éolienne EOL53.

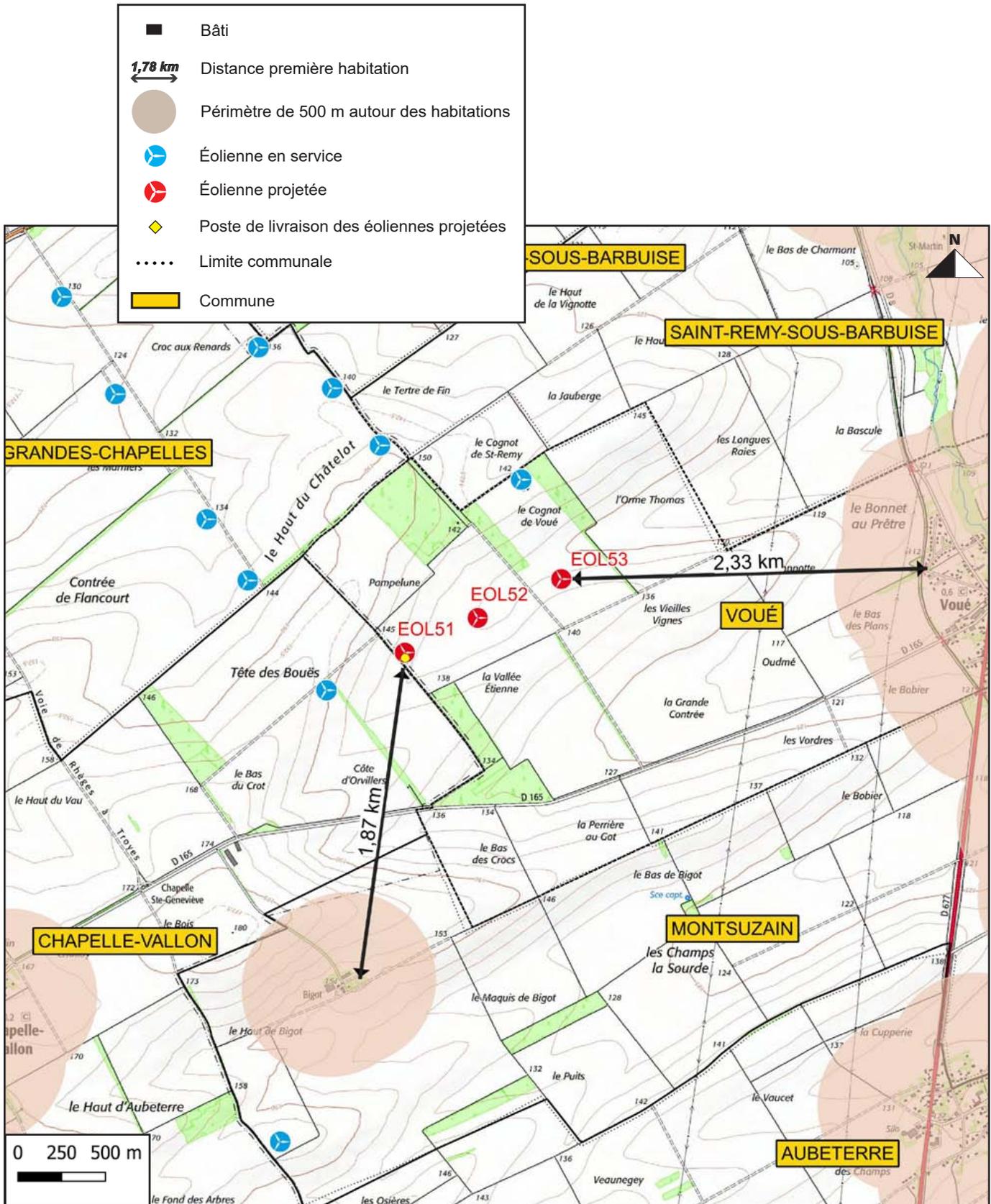
Aucun lieu de concentration de personnes n'est présent dans un périmètre proche du parc éolien Girolles.

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

Aucun établissement SEVESO, ni installation nucléaire de base, ni ICPE n'est présent dans les limites de la zone d'étude.

Aucune installation industrielle n'est située à proximité du site.

Les ICPE les plus proches sont les parcs éoliens de Banlées et de Grandes Chapelles situés à environ 675 m et 506 m du projet de parc éolien Girolles.



Carte de périmètre de 500 m autour des habitations les plus proches

3.2. Environnement naturel

3.2.1. Contexte climatique

Le site d'implantation du parc éolien Girolles est localisé dans une zone de transition, entre un climat océanique marqué par des intempéries venues de l'Ouest et un climat continental caractérisé par une forte différence de températures entre les saisons d'été et d'hiver.

La station météorologique la plus proche de la zone d'implantation du projet est celle Troyes-Barbère, localisée à 112 mètres d'altitude, à côté de l'aéroport de Troyes, à environ 15 km au Sud du projet.

A. Températures

Les variations de températures sur une année sont importantes.

Les hivers sont froids avec une moyenne en janvier de 3°C et la température culmine en juillet et en août avec 19 °C.

L'amplitude thermique de 16 °C est caractéristique de l'influence continentale.

B. Pluviométrie

La moyenne des précipitations annuelles est de 645 mm pour la période 1975-2018. Les précipitations sont réparties de manière assez homogène tout au long de l'année. Elles sont comprises entre 45 mm (valeur moyenne du mois de février) et 67 mm (valeur moyenne du mois de mai).

La moyenne du nombre jours de pluies par an est d'environ 130.

Les averses orageuses peuvent apporter plus de 50 mm d'eau en une journée; le record étant de 57,9 mm pour la journée du 2 mars 1982.

C. Neige, gel et brouillard

La ville de Troyes compte :

- 16 jours de neige par an, chiffre identique à la moyenne nationale,
- 71 jours avec gel par an, pour une moyenne nationale de 50 jours environ,
- 34 jours de brouillard contre 40 jours par an pour la moyenne nationale.

D. Ensoleillement

Avec en moyenne 1 816 heures annuelles, la durée d'ensoleillement à Troyes est relativement faible (moyenne nationale de 1 973 heures).

Le mois le plus ensoleillé est juin, avec 243 h en moyenne, tandis que décembre est le mois le moins ensoleillé, avec 60 h en moyenne.

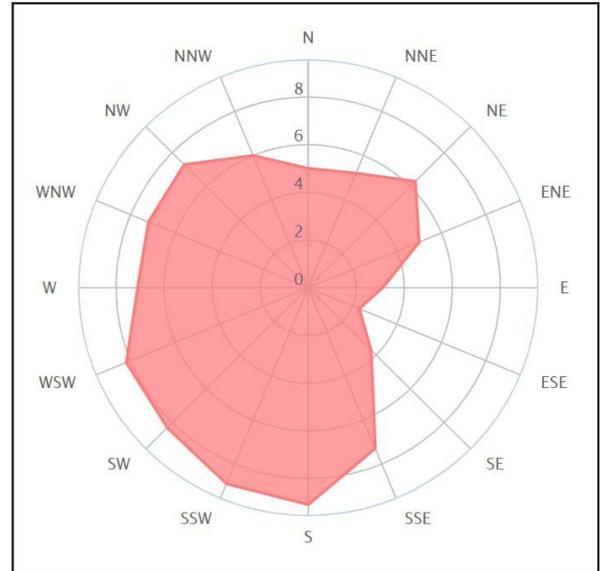
1.1.1. Vents

Concernant le potentiel éolien de la zone, d'après les données du Schéma Régional Éolien de l'ex-région Champagne-Ardenne, la vitesse moyenne du vent à 50 m de hauteur est comprise entre 5,00 et 5,50 m/s au niveau de la zone de projet.

Une évaluation plus précise du gisement éolien du site du parc éolien Girolles a été menée en tenant compte des mesures collectées par la station Météo France de Troyes Barbère.

La rose des vents de cette station météo est représentative du gisement éolien régional avec des vents provenant de deux directions préférentielles marquées :

- le flux de Sud-Ouest qui correspond au régime océanique dépressionnaire ;
- le flux de Nord-Est qui correspond au régime anticyclonique de bise.



Distribution de la direction du vent à Troyes Barberey de 2002 à 2019 (source : Météo France, Troyes Barberey, 2019)

La faible rugosité du site du projet (grande plaine céréalière) et l'absence de relief prononcé, en font un lieu idéal pour l'implantation d'éoliennes, en témoigne la présence de nombreux parcs éoliens en fonctionnement à proximité.

Cette tendance est confirmée localement, par les données mesurées pendant 2 ans sur le site. Un mât de mesure de 86 mètres a en effet été installé sur la commune de Saint-Étienne-sous-Barbuise et a permis d'analyser en détail le potentiel éolien de la zone (direction et vitesse du vent).

Les mesures effectuées indiquent une orientation principale du vent Sud-Ouest et une vitesse moyenne de vent de l'ordre de 6 m/s sur la période de mesure.

Ces valeurs sont très favorables à l'installation d'éoliennes sur le site du projet.

3.3. Risques naturels

3.3.1. Retrait et gonflement des argiles

Le matériau argileux présente la particularité de voir sa consistance se modifier en fonction de sa teneur en eau. Dur et cassant lorsqu'il est asséché, un certain degré d'humidité le fait se transformer en un matériau plastique et malléable. Ces modifications de consistance peuvent s'accompagner, en fonction de la structure particulière de certains minéraux argileux, de variations de volume plus ou moins conséquentes. Ce phénomène de retrait-gonflement des argiles engendre chaque année sur le territoire français des dégâts considérables aux bâtiments.

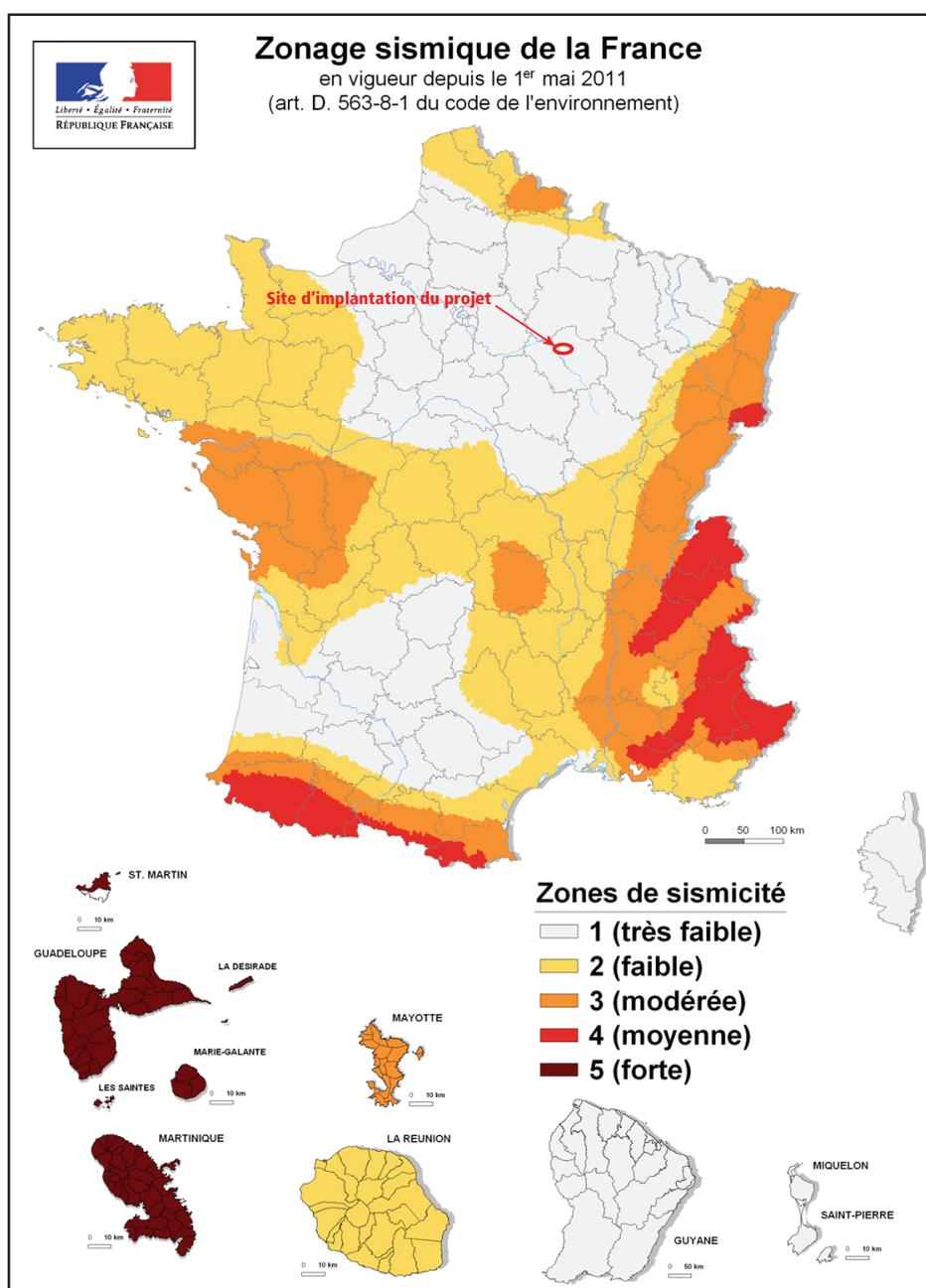
D'après le BRGM, les futures éoliennes sont localisées au niveau d'une zone où le risque de retrait-gonflement des argiles est moyen.

3.3.2. Sismicité

Le zonage sismique de la France, en vigueur depuis le 1^{er} mai 2011, a été défini par le décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010. Il découpe la France en 5 zones de sismicité croissante :

- zone 1 : sismicité très faible
- zone 2 : sismicité faible
- zone 3 : sismicité modérée
- zone 4 : sismicité moyenne
- zone 5 : sismicité forte.

La zone d'étude est située en zone 1, correspondant à un risque sismique très faible.

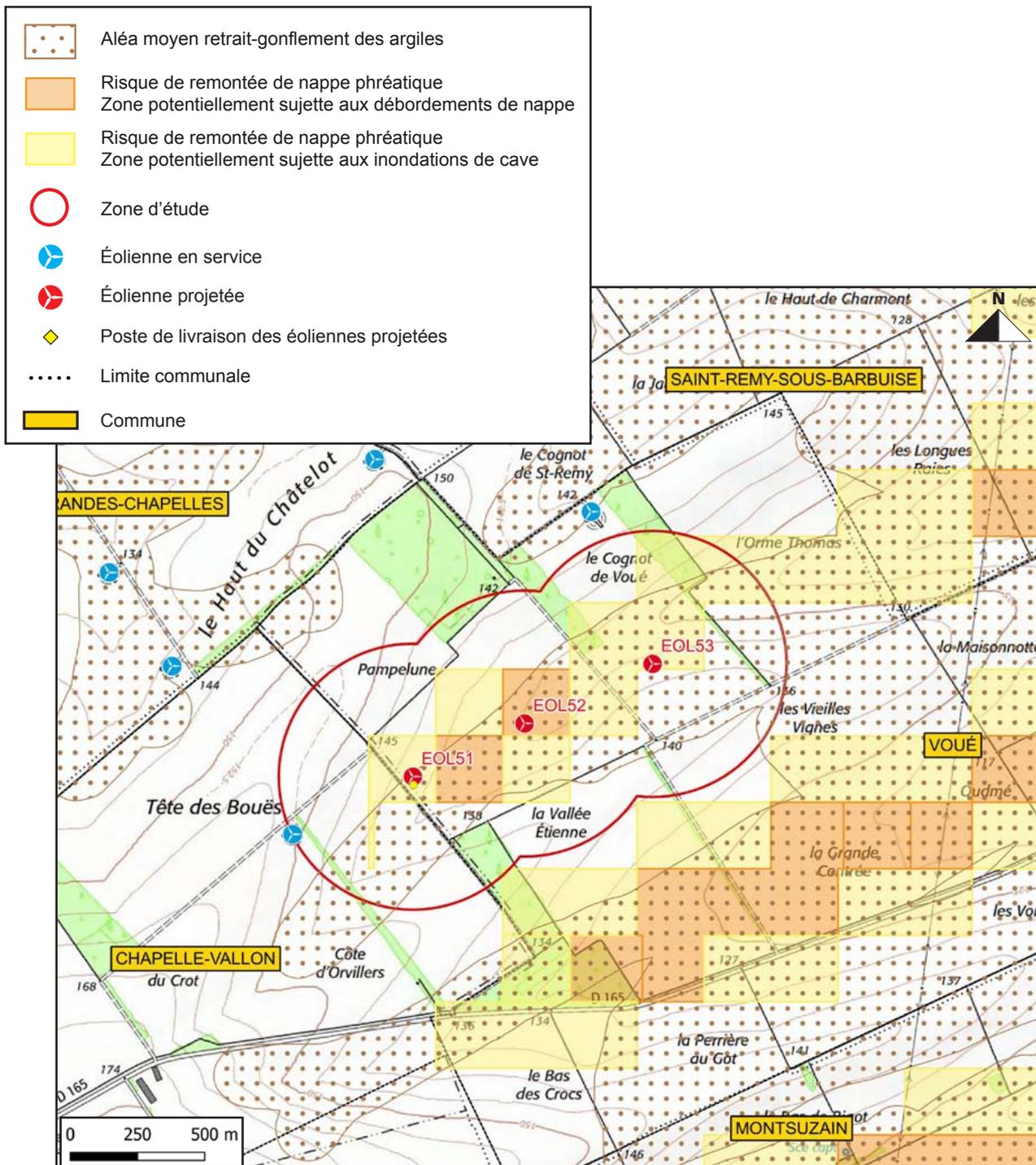


3.3.3. Remontée de nappe phréatique

La composition géologique de la région et la présence à une faible profondeur d'une nappe aquifère sont à l'origine d'un risque de « remontée de nappe phréatique ».

D'après le BRGM, ce risque concerne principalement les vallées de la Barbuise et de ses affluents.

L'éolienne EOL52 est potentiellement sujette aux débordements de nappe et les éoliennes EOL51 et EOL53 sont potentiellement sujettes aux inondations de cave. Les fondations sont prévues pour résister à ces événements.

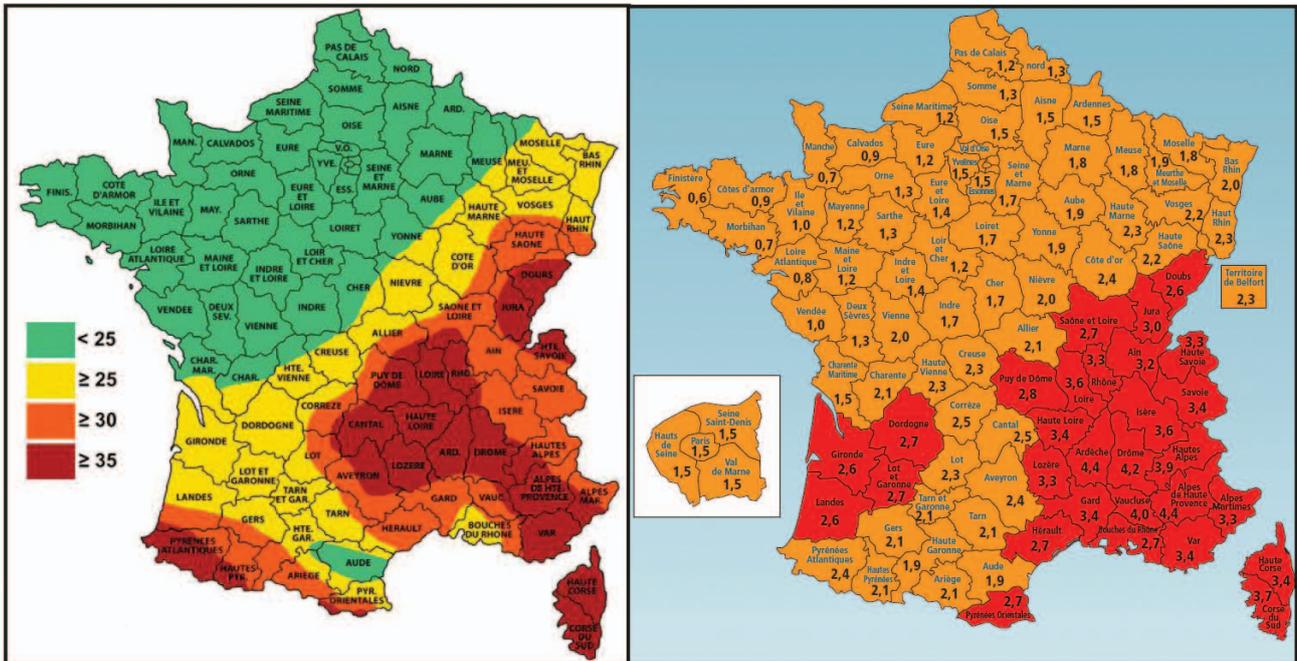


Carte des risques naturels

3.3.4. Risque orageux, foudre

Le risque orageux peut être apprécié grâce à deux types d'informations :

- le niveau kéraunique (Nk), qui est le nombre de jours par an où l'on entend gronder le tonnerre,
- la densité de foudroiement (Df) qui est le nombre de coup de foudre au sol/km²/par an.



Carte de France du niveau kéraunique et carte de France de la densité de foudroiement

Pour le département de l'Aube :

- le niveau kéraunique est de $Nk = 19$,
- la densité de foudroiement est de : $Df = 1,90$ en moyenne.

À titre indicatif, la moyenne en France est de :

- niveau kéraunique $Nk = 20$,
- densité de foudroiement $Df = 1,20$.

Au niveau de la zone d'implantation du parc éolien, le niveau kéraunique est très légèrement inférieur à la moyenne française et la densité de foudroiement est légèrement supérieure. Un risque orageux moyen est donc présent dans le secteur du projet.

3.4. Environnement matériel

3.4.1. Voies de communication

Les principaux axes routiers passant à proximité du projet sont les routes départementales n°8, 165 et 677. La RD165, la plus proche du projet, permet de relier les bourgs de Voué et de Chapelle-Vallon. Elle passe à environ 860 m de l'éolienne EOL51.

La voie ferrée reliant Troyes à Châlons-en-Champagne, passe à 1,9 km, à l'Est du projet et l'autoroute A26, dit autoroute des Anglais, se situe, à 5,1 km, à l'Est de l'éolienne EOL53.

Des chemins ruraux et des chemins d'exploitation agricole permettant l'accès aux parcelles sont présents sur le site.

Le projet éolien Girolles est concerné par plusieurs servitudes de transport aérien (voir chapitre suivant). Aucun cours d'eau navigable n'est présent à proximité du projet.

3.4.2. Réseaux publics et privés

A. Ligne électrique

Aucune ligne électrique haute tension ne traverse la zone d'étude. La plus proche, la ligne à 63 000 volts n°2 Arcis-sur-Aube - Creney, passe à 835 m à l'Est du projet.

B. Canalisation de gaz

Aucune canalisation de gaz n'est présente dans ou à proximité immédiate de la zone d'étude. La plus proche se situe à plus de 3,5 km à l'Ouest du projet.

C. Captage d'eau

D'après la réponse de l'ARS, en date du 26 novembre 2019, aucun périmètre de protection rapprochée ou éloignée de captages destinés à l'alimentation en eau potable et déclarés d'utilité publique n'est recensé à proximité immédiate du projet.

Aucune servitude de protection des eaux souterraines ne grève le territoire étudié.

D. Servitudes aéronautiques

Aviation civile

D'après la DGAC, le projet est implanté dans un secteur à l'aplomb duquel a été instaurée une altitude minimale de secteur liée aux procédures aux instruments de l'aérodrome de Châlons-Vatry. Cette altitude est fixée à la cote NGF 635 limitant ainsi, en respect de la marge de franchissement des obstacles réglementaires de 300 m, la cote sommitale des obstacles nouveaux à la cote NGF 335.

Les éoliennes seront implantées aux altitudes suivantes :

Éolienne	Hauteur totale en bout de pale	Hauteur NGF	Cote sommitale en extrémité de pale (en mètre NGF)
EOL51	110 m	133 m	243 m
EOL52	110 m	127 m	237 m
EOL53	100 m	130 m	230 m

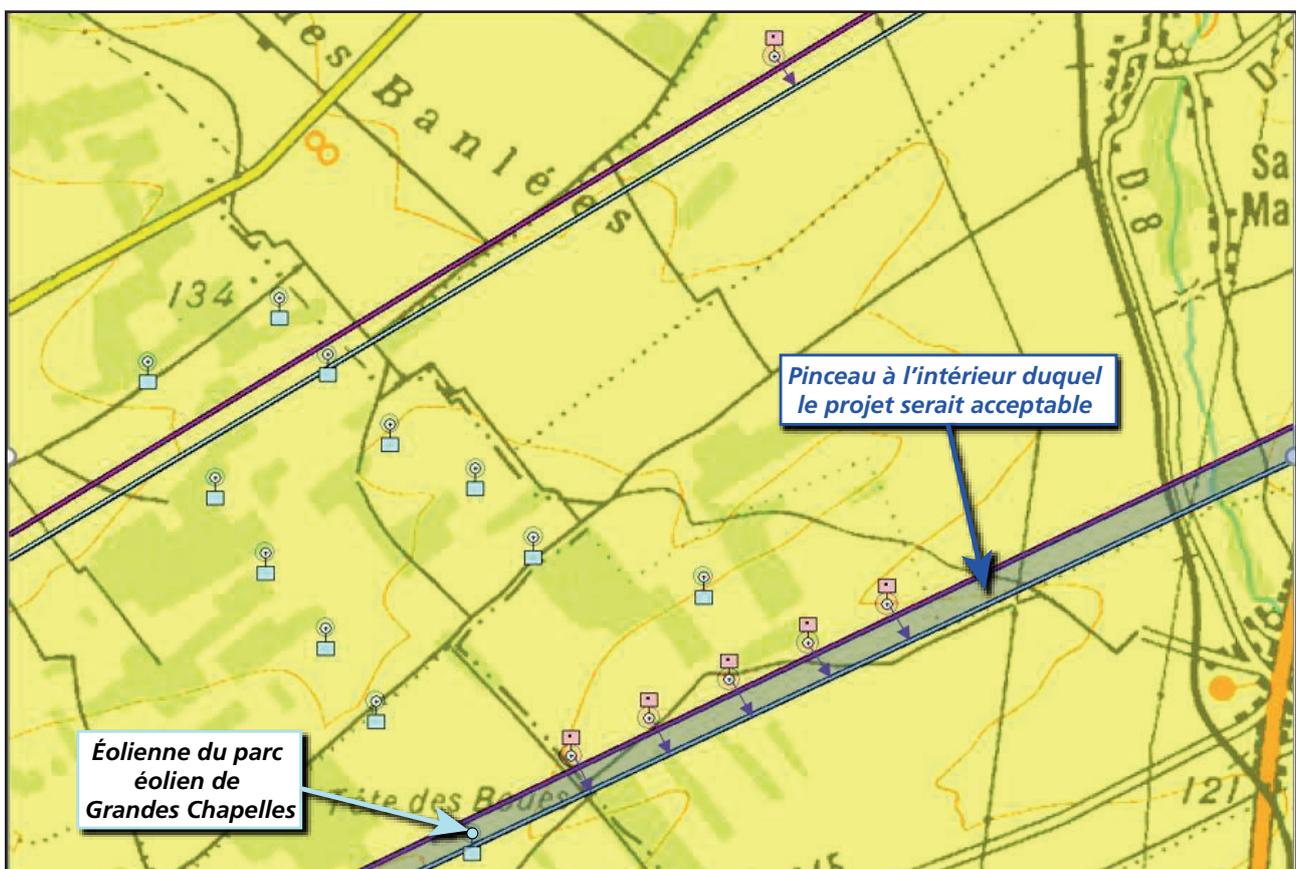
Le projet sera donc conforme aux recommandations de la DGAC.

Aviation militaire

D'après les services de l'armée de l'air, du point de vue des contraintes radioélectriques, le projet se situe dans les 20-30 km du radar des forces armées de Romilly, soit en zone de coordination à partir de l'altitude de 177,44 mètres NGF, où le nombre d'éoliennes et/ou leur disposition sont encadrés.

En effet, un nombre trop important d'éoliennes dans le même secteur angulaire du radar serait de nature à augmenter les perturbations induites sur celui-ci.

Les services de l'aviation militaire recommandent donc, dans l'avis transmis le 5 décembre 2018, de placer les futures éoliennes du projet de parc éolien Girolles dans le masque horizontal d'une éolienne existante appartenant au parc éolien de Grandes Chapelles vu depuis le radar de Romilly comme illustré sur la carte suivante :



Contrainte radioélectrique relative au radar de Romilly et à la limitation des perturbations induites sur ce radar

Le même avis demande à ne pas augmenter le masque vertical créé par l'éolienne déjà existante du parc de Grandes Chapelles. Cette dernière, d'une hauteur de 127,5 m en bout de pale, est implantée à une altitude de 151 m NGF. Sa cote sommitale en extrémité de pale est donc de 278,5 m NGF.

D'après le tableau page précédente, les futures éoliennes ne dépasseront pas la cote sommitale en extrémité de pale de l'éolienne du parc de Grandes Chapelles et seront implantées en ligne derrière cette dernière.

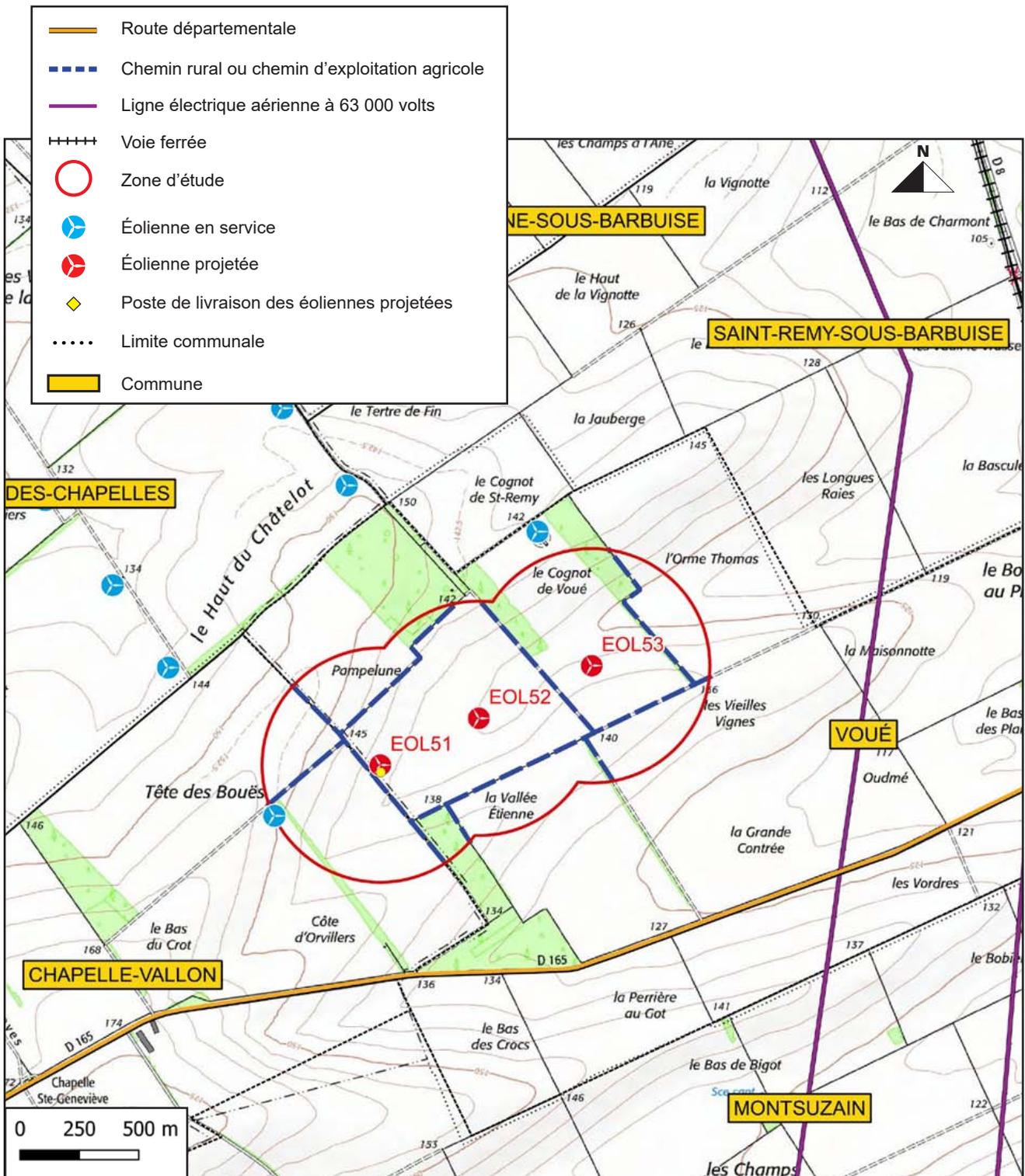
Le projet sera donc conforme aux recommandations de l'armée de l'air.

E. Météo France

Le projet de parc éolien Girolles, localisé à environ 17 km du radar météorologique d'Arcis, se situe dans la zone de contraintes et de coordination de ce radar.

Par conséquent, une évaluation des impacts potentiels des futures éoliennes sur le radar a été réalisée par la société QuinetiQ Ltd.

D'après cette évaluation, aucune des éoliennes projetées n'est visible depuis le radar d'Arcis. **En conséquence, l'impact du projet sur le radar est acceptable.**



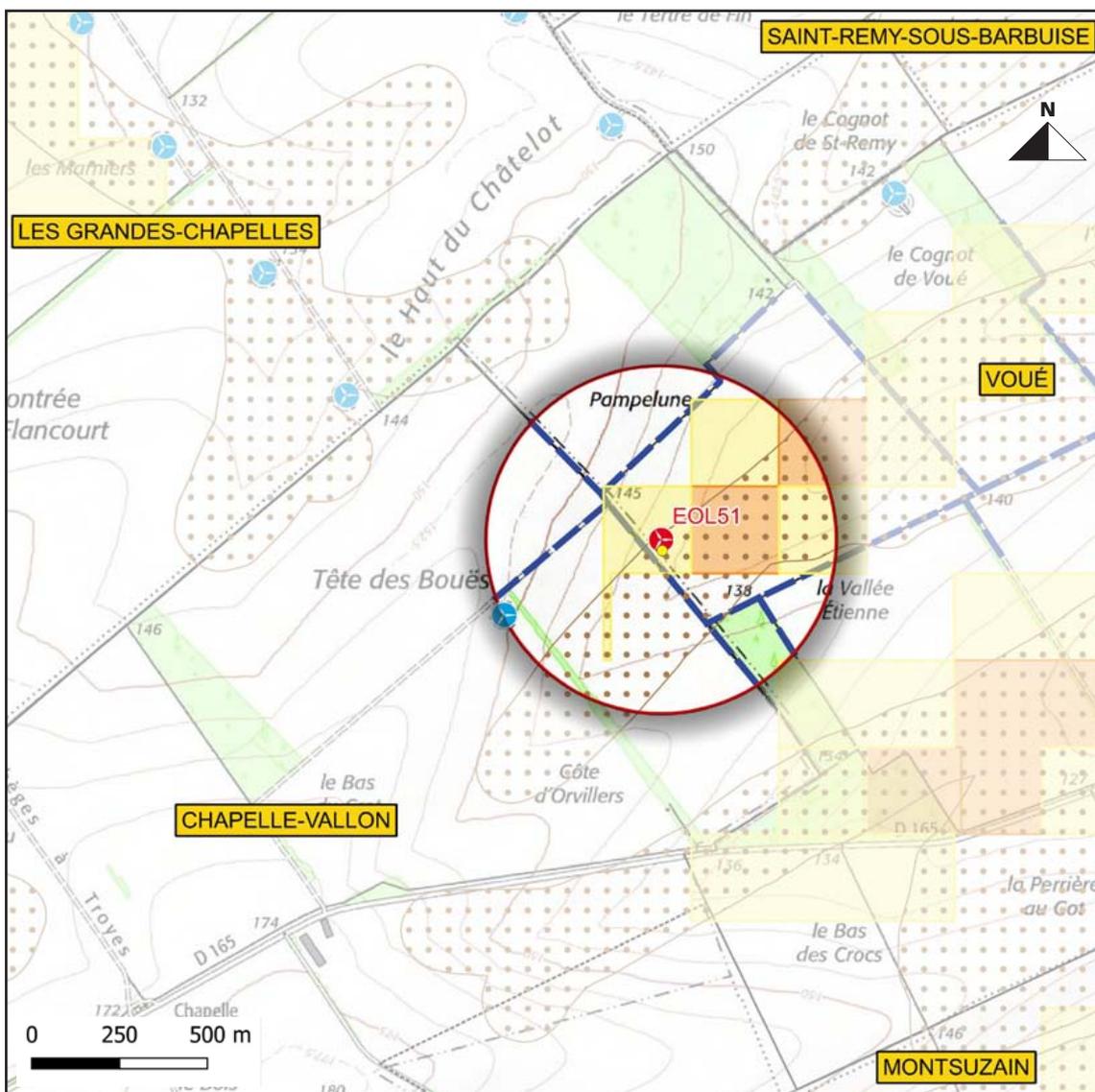
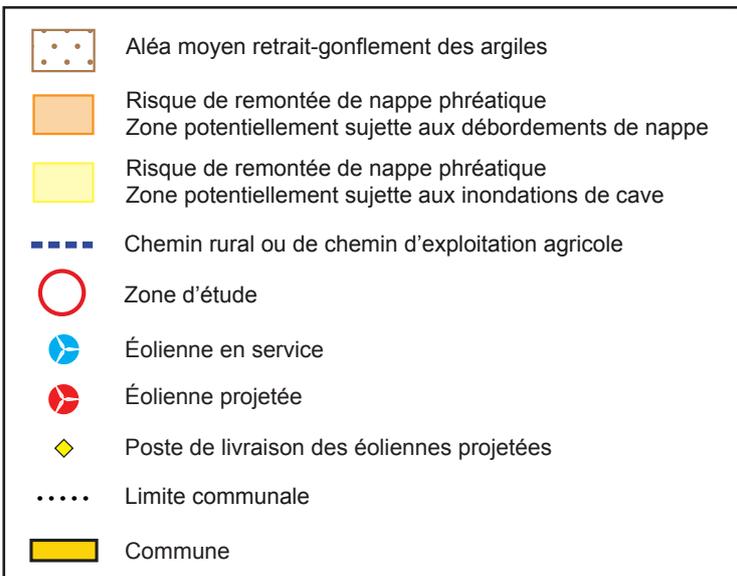
Carte des infrastructures

3.4.3. Cartographie de synthèse (voir cartes pages suivantes)

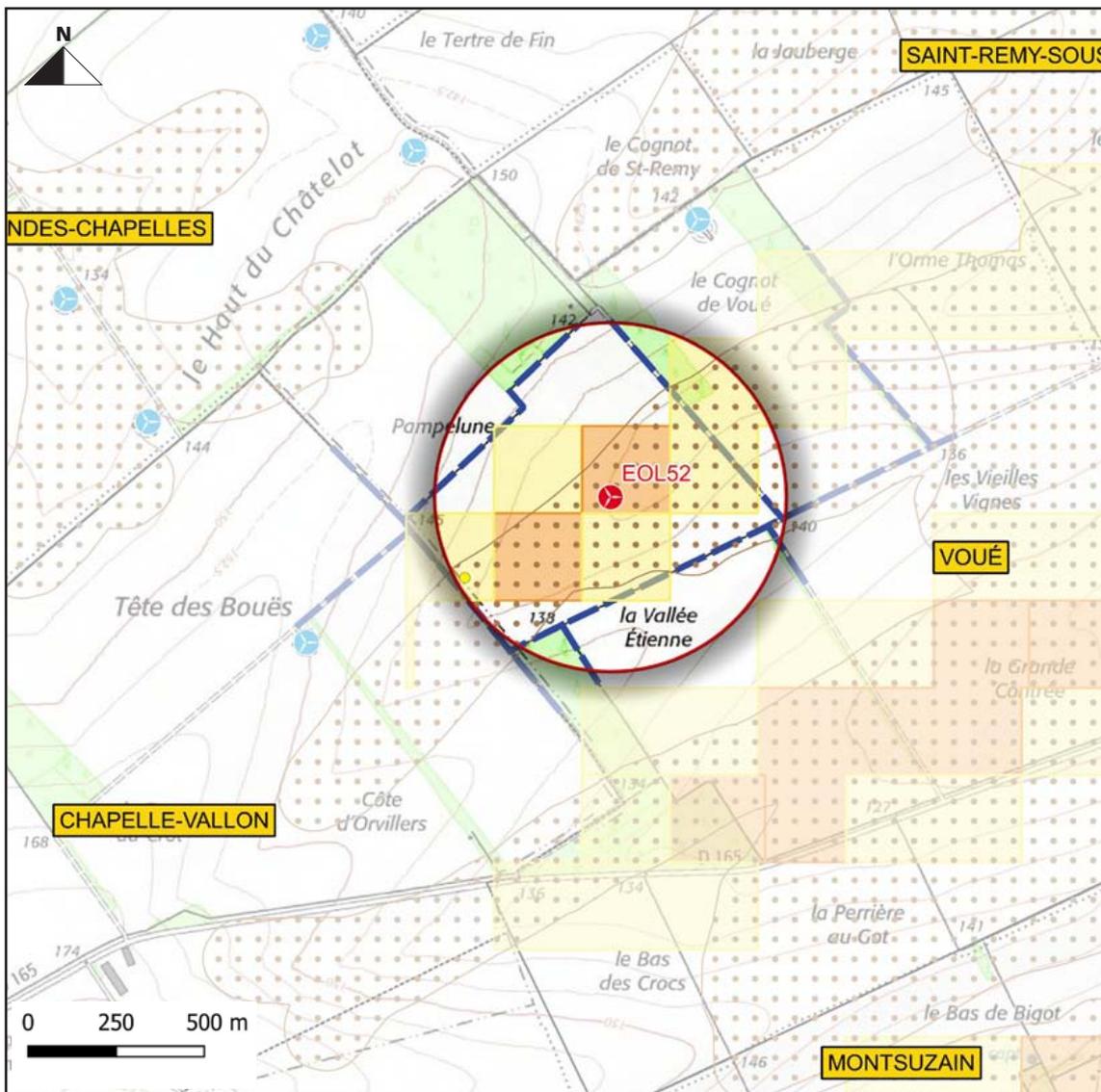
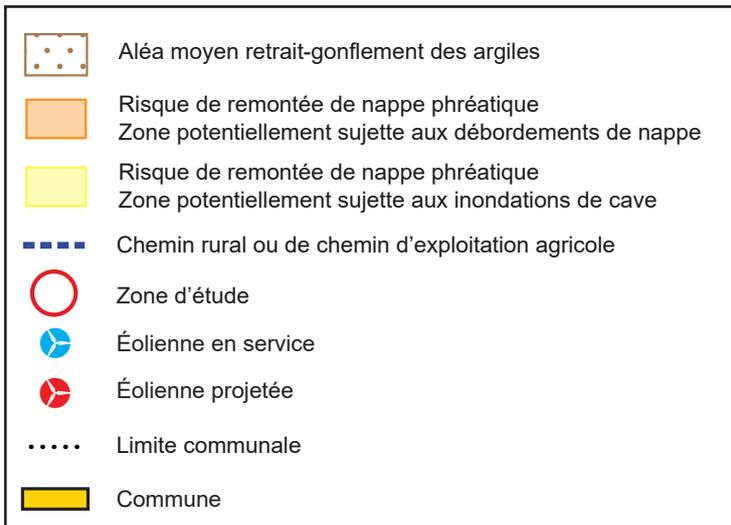
Toutes les voies de communication présentes sur le site ont un trafic journalier inférieur à 2000 véhicules/jour. Elles sont donc non structurantes et le nombre de personnes permanentes équivalent est de 1 personne/10 ha.

La zone est essentiellement constituée de champs dont le nombre équivalent de personnes permanentes est de 1 personne/100 ha.

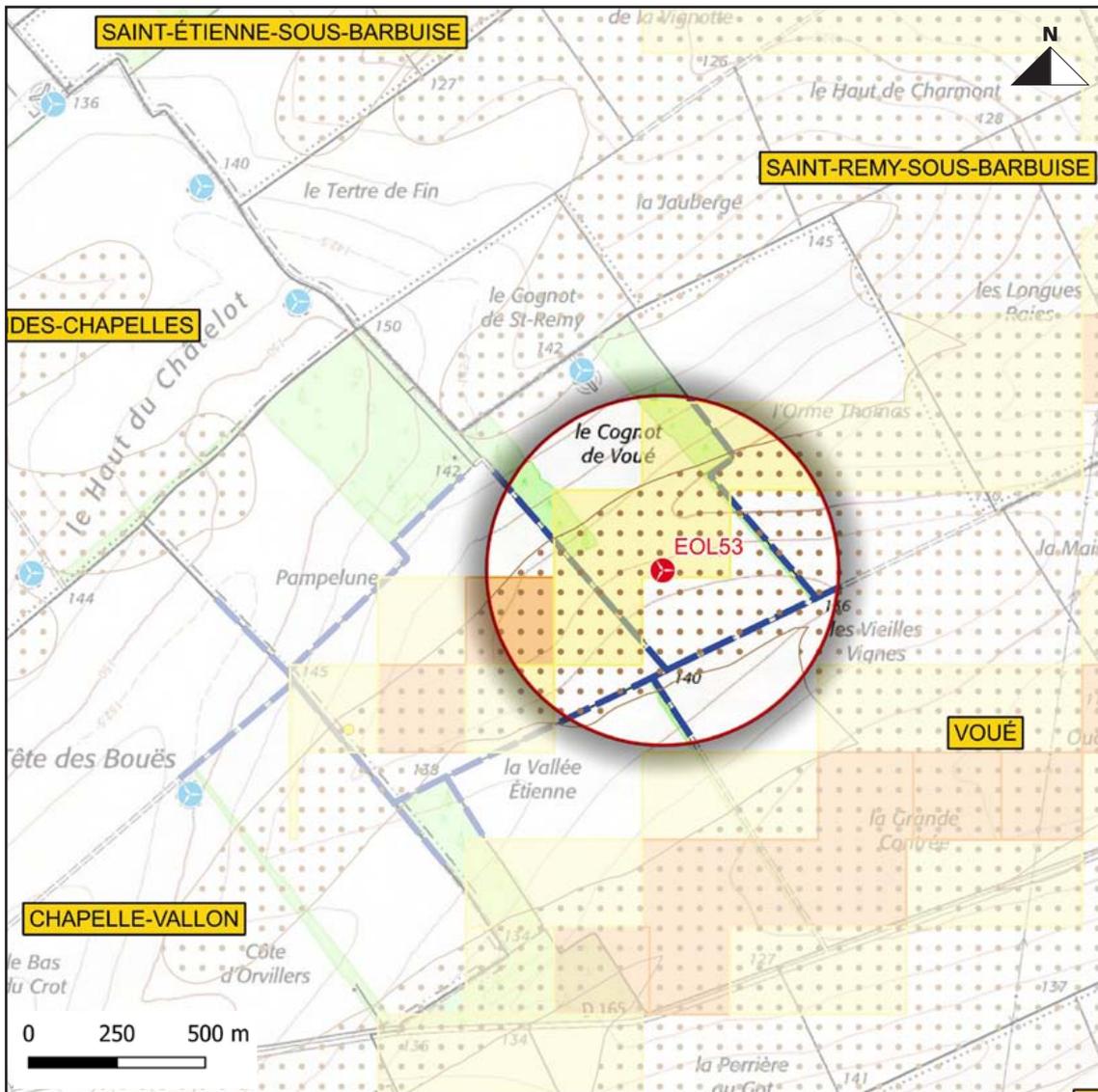
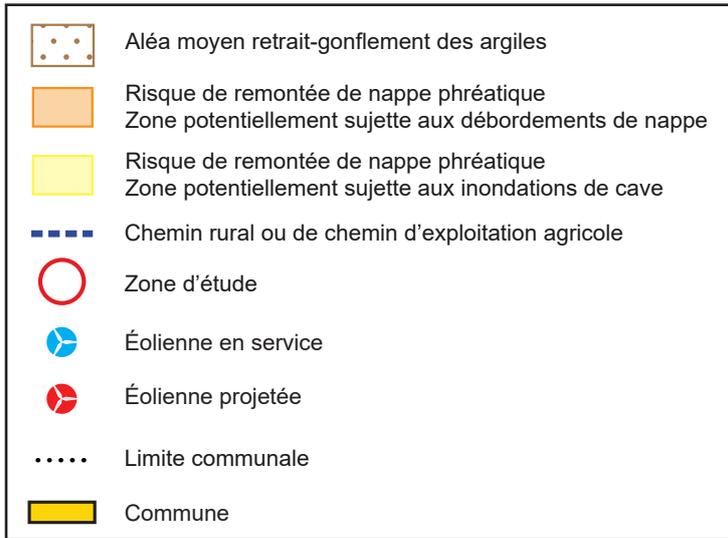
En conclusion de ce chapitre, la cartographie suivante présente les enjeux à protéger dans la zone d'étude pour chaque aérogénérateur.



Carte de synthèse des éléments significatifs présents dans la zone d'étude de l'éolienne EOL51



Carte de synthèse des éléments significatifs présents dans la zone d'étude de l'éolienne EOL52



Carte de synthèse des éléments significatifs présents dans la zone d'étude de l'éolienne EOL53

4. Description de l'installation

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

Les descriptions techniques faites dans les paragraphes suivants ont été rédigées en concertation avec ENERCON ainsi que sur la base des documents techniques ENERCON.

4.1. 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 :

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

4.1.1. Activité de l'installation

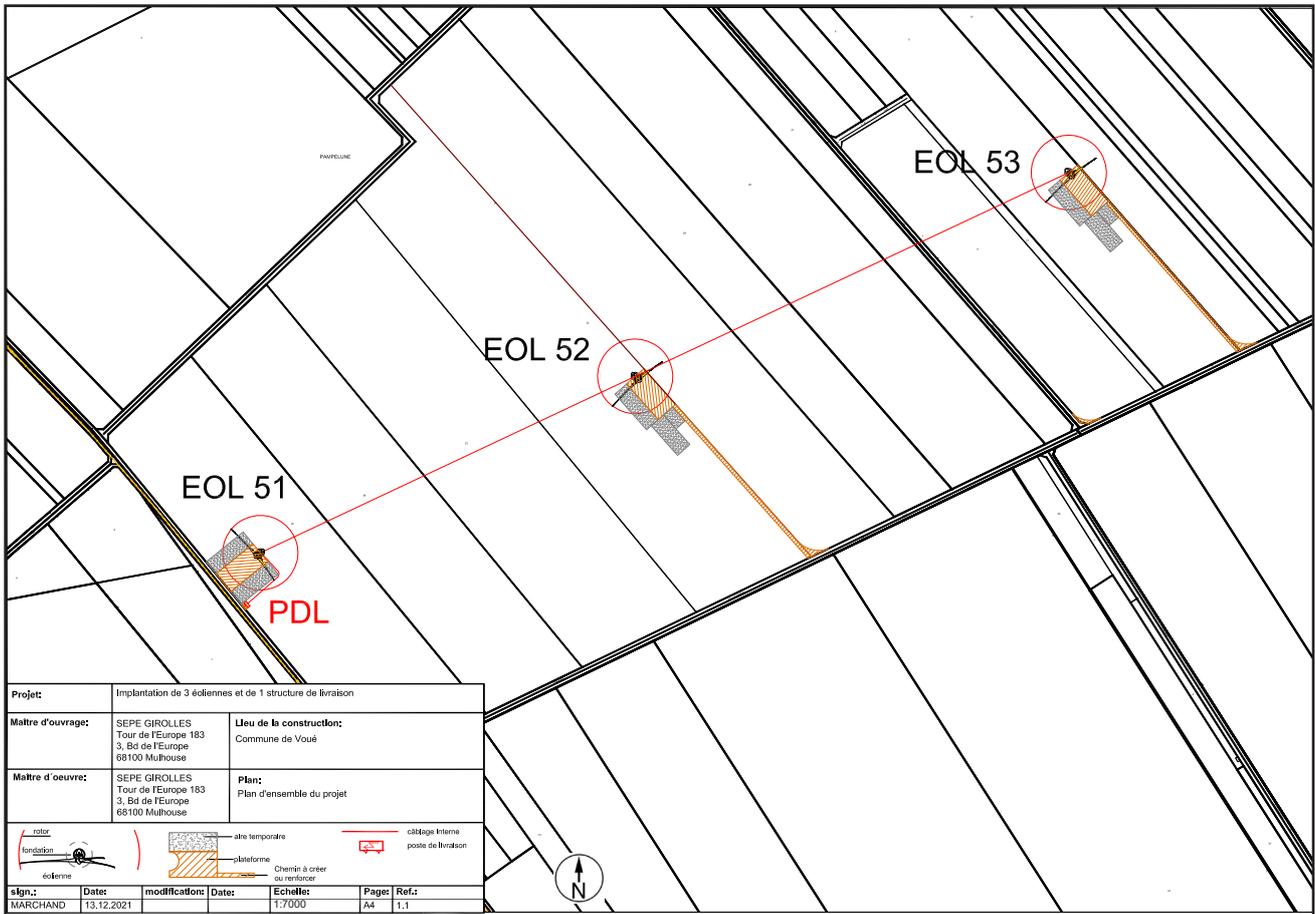
L'activité principale du parc éolien Girolles est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur de mât au sens de la réglementation ICPE (mât + nacelle) de 71,31 m pour les éoliennes EOL51 et EOL52 et de 61,31 m pour l'éolienne EOL53. Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

4.1.2. Composition de l'installation

Le parc éolien Girolles est composé de 4 aérogénérateurs et d'un poste de livraison.

Le tableau suivant indique les caractéristiques et les coordonnées géographiques des aérogénérateurs et du poste de livraison.

Éoliennes et poste de livraison	Hauteur de moyeu	Hauteur de mât au sens de la réglementation ICPE	Diamètre de rotor	Hauteur totale en bout de pale	Coordonnées géographiques (en WGS)		Hauteur NGF
					Nord	Est	
EOL51	68,91 m	71,31 m	82 m	110 m	48,453639	4,076986	139 m
EOL52	68,91 m	71,31 m	82 m	110 m	48,455386	4,082658	135 m
EOL53	58,91 m	61,31 m	82 m	100 m	48,457342	4,089158	135 m
PDL					48,453100	4,076700	139 m



Carte du plan parcellaire

4.2. Description d'une éolienne

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 éoliennes sont des machines utilisant la force motrice du vent pour produire de l'électricité. On parle de parc éolien ou de ferme éolienne pour décrire les unités de productions groupées. Une éolienne comprend les principaux éléments suivants :

- **Le rotor** qui est composé de trois pales construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu.
- **La nacelle** abrite plusieurs éléments fonctionnels dont le générateur.
- **Le mât** est généralement composé de plusieurs tronçons en béton et/ou en acier.

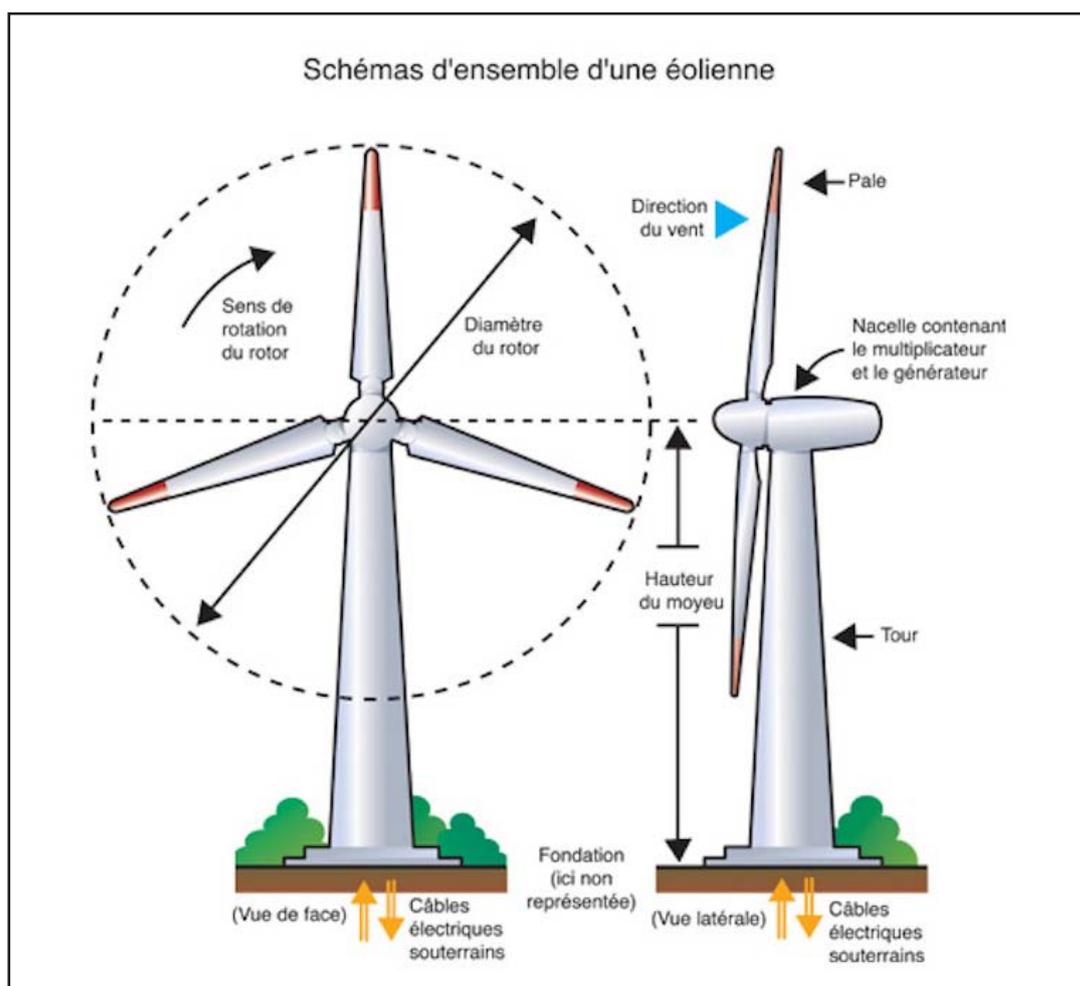


Schéma type des principaux éléments d'une éolienne

4.2.1. Fondations - Emprises au sol

ENERCON propose 3 types de fondation standard (deux superficielles et une profonde), choisie selon les caractéristiques du terrain. Il est également possible de modifier le sol. Cette opération est parfois nécessaire, lorsque les caractéristiques ne permettent pas de garantir une fondation stable pendant 20 ans. Pour cela plusieurs techniques sont fréquemment utilisées: la substitution par apport de matériaux, les colonnes ballastées, les inclusions rigides ou encore les colonnes à modules mixtes. Des études géotechniques sont effectuées à l'emplacement de l'éolienne préalablement afin de déterminer la fondation adéquate.

En résumé, plusieurs emprises au sol sont définies 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 en partie 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 ;
- Les chemins d'accès pour accéder à chaque aérogénérateur sont aménagés 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.

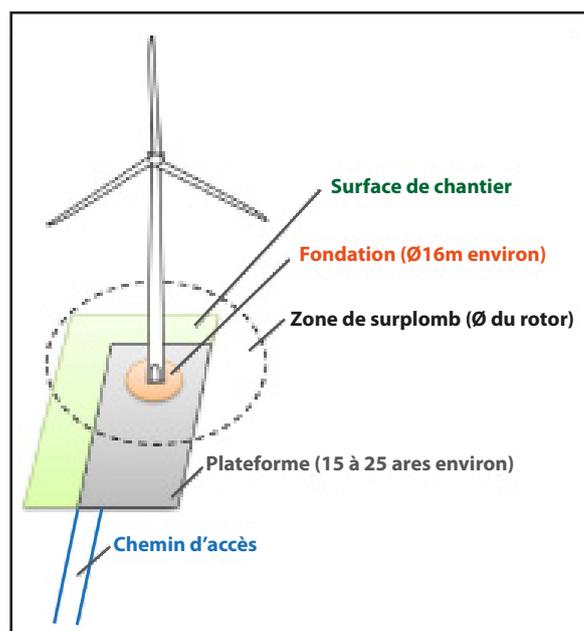


Illustration schématique des emprises au sol d'une éolienne
 (les dimensions sont données à titre d'illustration pour une éolienne d'environ 150 m de hauteur totale)

4.2.2. Mât

ENERCON commercialise des mâts en acier jusqu'à une hauteur de moyeu de 85 m. À partir de cette hauteur les mâts sont composés de sections en béton et d'une ou de deux sections en acier (dépend de la hauteur).

Les sections en béton préfabriqué ENERCON sont exécutées selon une méthode appelée « technique de l'acier de précontrainte » qui consiste à faire passer les câbles de précontrainte dans des gaines à l'intérieur même de la paroi en béton du mât. Ce faisant, les différentes sections du mât et la fondation sont réunies en une seule unité indissociable.

Les mâts en béton dits « nouvelle génération », utilisent la même technique à ceci près que les câbles de précontraintes ne sont plus dans mais sur la paroi du mât et visibles depuis l'intérieur de celui-ci. Sur ces mâts, les sections en deux parties sont assemblées par boulonnage, ce qui facilite le démontage.

La coplanarité et l'étanchéité ne sont plus assurées par des cales en acier et un joint de colle en résine, mais par un joint directement fabriqué en usine.



Exemple de montage d'un mât

4.2.3. Rotor

Le rotor de l'éolienne est équipé de trois pales en matière synthétique (résine époxy) renforcée de fibres de verre ce qui joue un rôle important dans le rendement de l'éolienne et dans son comportement sonore.

À l'extérieur, les pales du rotor sont protégées des intempéries par un revêtement de surface. Ce revêtement à base de polyuréthane est robuste et très résistant à l'abrasion, aux facteurs chimiques et aux rayons du soleil.

Les pales de l'éolienne sont conçues pour fonctionner à angle et à vitesse variables. Le réglage d'angle individuel de chaque pale du rotor est assuré par trois systèmes indépendants et commandés par microprocesseurs. L'angle de chaque pale est surveillé en continu par une mesure d'angle des pales, et les trois angles sont synchronisés entre eux. Ce principe permet d'ajuster rapidement et avec précision l'angle des pales aux conditions du vent (ce qui limite la vitesse du rotor et la force engendrée par le vent). La puissance fournie par l'éolienne est ainsi limitée exactement à la puissance nominale, même pour des courtes durées.

L'inclinaison des pales du rotor en position dite de drapeau stoppe le rotor sans que l'arbre d'entraînement ne subisse les effets occasionnés par un frein mécanique.



Assemblage et montage d'un rotor ENERCON

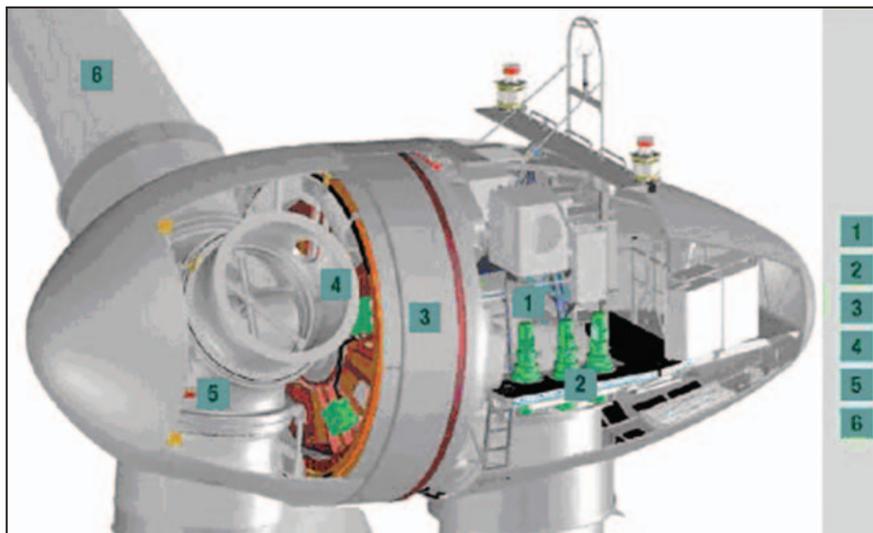
4.2.4. Nacelle

L'éolienne possède un dispositif de mesure mixte installé sur le dessus de la nacelle, composé :

- d'une girouette qui relève la direction du vent,
- d'un anémomètre qui mesure la vitesse.

Le palier d'orientation de la nacelle, muni d'une couronne, est monté directement sur la connexion supérieure de la tour. Il permet la rotation de l'éolienne et ainsi de l'orienter face au vent.

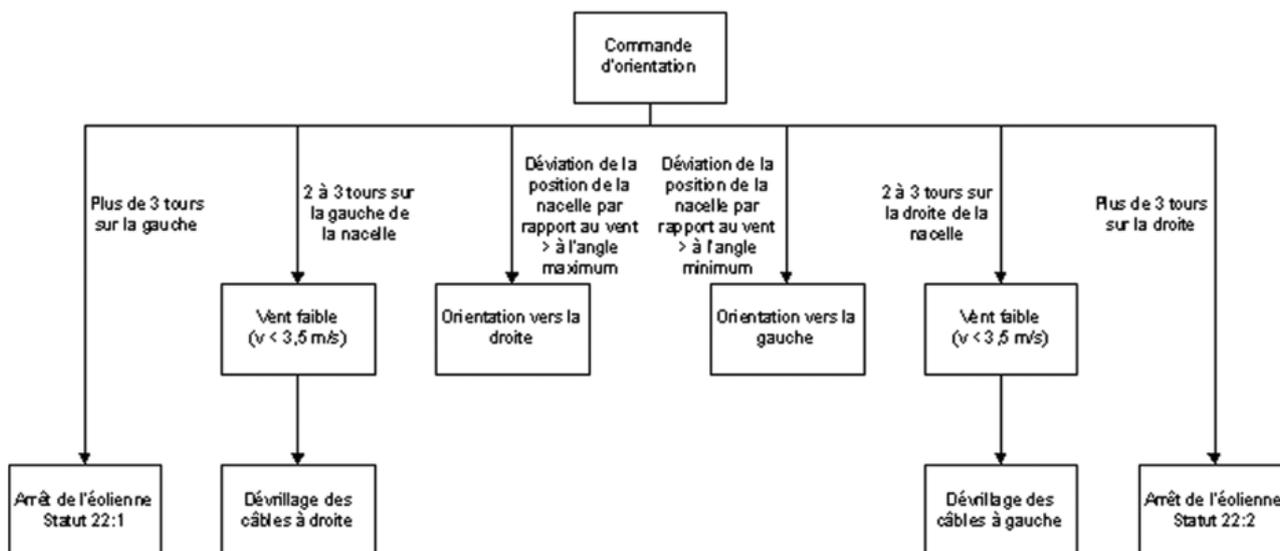
Les moteurs équipés de roues dentées (« moteurs d'orientation » ou moteurs de « Yaw ») s'engagent dans la couronne pour faire tourner la nacelle et l'orienter en fonction du vent.



Dessin schématique de la nacelle

Le poids de la nacelle est absorbé par le mât, par l'intermédiaire du palier d'orientation. Le support principal est fixé directement sur le palier d'orientation.

La commande d'orientation de l'éolienne commence à fonctionner même lorsque la vitesse du vent est faible. Même à l'arrêt, en raison, par exemple, d'une trop grande vitesse du vent, l'éolienne est tournée face au vent.



Orientation de l'éolienne (source : ENERCON)

Le processus d'orientation est déterminé par le décompte des rotations du moteur d'inclinaison. Si le système de commande détecte des anomalies dans la commande d'orientation ou le vrillage des câbles, il déclenche une procédure d'arrêt.

4.2.5. Générateur

La nacelle est le cœur de l'éolienne. Sous l'habillage aérodynamique, elle contient :

- Une plateforme de travail et de montage,
- Un générateur,
- Un moyeu.

Le générateur annulaire de l'éolienne est directement entraîné par le rotor (donc par les pales du rotor). Le générateur ENERCON multipolaire repose sur le principe d'une machine synchrone.

La partie rotative du générateur annulaire ENERCON et le rotor forment une unité. Ces pièces sont fixées directement sur le moyeu, de sorte qu'elles tournent à la même vitesse de rotation (vitesse lente). Grâce à l'absence de boîte de vitesses et d'autres pièces à grande vitesse de rotation, les pertes d'énergie entre le rotor et le générateur, les bruits émis, la consommation d'huile à engrenages et l'usure mécanique se trouvent considérablement réduits.

En raison de la faible vitesse de rotation et de la grande section transversale du générateur, le niveau de température reste relativement bas en service et ne subit que de faibles variations. De faibles fluctuations de température pendant le fonctionnement et des variations de charges relativement rares réduisent les tensions mécaniques et le vieillissement des matériaux.

L'énergie produite par le générateur est acheminée dans le réseau de l'exploitant par le système ENERCON de connexion au réseau.

Ce concept de raccordement au réseau par le biais d'un transformateur permet d'exploiter le rotor de l'éolienne à une vitesse de rotation variable. Le rotor tourne lentement en présence de vents lents, et à grande vitesse si les vents sont forts.

4.2.6. Intégration au réseau

Pour garantir la compatibilité au réseau, les grandeurs électriques (tension et courant) sont mesurées en temps réel et transmises au système de contrôle de l'éolienne qui adapte le comportement du convertisseur. Cette connexion au réseau au travers de l'électronique de puissance permet d'injecter de façon optimale l'énergie produite sur le réseau. En effet, ce design permet de minimiser les interactions réciproques néfastes que peut avoir la production issue de la génératrice vers le réseau et celle du réseau vers la génératrice.

D'un côté l'effet indésirable des rafales de vent sur le réseau est atténué par une injection de puissance maîtrisée (minimisant les perturbations de type « flickers »); de l'autre, les défauts ou court-circuit émanant du réseau sont (et contrairement aux autres technologies sans convertisseur électronique intégral) sans impact sur la génératrice (pas de stress mécanique).

Le générateur annulaire est connecté au système d'injection dans le réseau, qui se compose de redresseurs, d'une liaison en courant continu (DC link) et d'onduleurs.

L'énergie produite par les éoliennes est redirigée vers un poste de livraison, qui est le nœud de raccordement de toutes les éoliennes, avant que l'électricité ne soit injectée dans le réseau public.

Le câblage des éoliennes jusqu'au poste de livraison correspond au réseau électrique interne. Il se fera en souterrain.

Les tranchées nécessaires seront de minimum 80 cm de profondeur, en parallèle avec la pose des câbles, il sera mis en place un réseau de fibre optique afin de permettre la surveillance et le contrôle du parc éolien.

4.2.7. Caractéristiques techniques des éoliennes

Les différentes configurations d'éoliennes ENERCON disponibles en France sont les suivantes :

Plateforme	Type éolienne	Puissance nominale	Classe de vent IEC	Type de mât	Hauteur de moyeu	Hauteur totale	Diamètre à la base du mât	Durée de vie certifiée	Trailing Edge Serrations	Puissance acoustique maximale
EP1	E-44	900 kW	IA	acier	45.0 m 55.0 m	67.0 m 77.0 m	3.3 m 3.3 m	20 ans	Non	103 dB(A)
	E-53	800 kW	S Vm 6.6 m/s Vext 55 m/s S Vm 7.72 m/s Vext 57 m/s	acier	50.0 m	76.5 m	3.5 m	20 ans	Non	102.5 dB(A)
					60.0 m	86.5 m	3.3 m			
					73.3 m	99.7 m	4.1 m			
EP2	E-70 E4 Livraison 12/2022 (IA) 12/2021 (IIA)	2 300 kW	IA	acier	54.3 m	89.8 m	4.1 m	20 ans	Option	104.5 dB(A) TES: 103.3 dB(A)
					64.0 m	99.5 m	4.1 m			
					74.5 m	110.0 m	4.6 m			
			IIA	hybride	85.0 m	120.5 m	4.3 m			
			IIA/S Vm 9.5 m/s Vext 65 m/s		84.5 m	120.0 m	6.4 m			
	IIA	98.2 m	133.7 m	7.5 m						
	E-82 E2	2 000 et 2 300 kW	IIA	acier	78.3 m	119.3 m	4.5 m	20 ans	Option	104 dB(A) TES : 102 dB(A)
					84.6 m	125.6 m	4.9 m			
				hybride	84.0 m	125.0 m	6.1 m			
					98.4 m	139.4 m	6.8 m			
					108.4 m	149.4 m	7.7 m			
	138.4 m	179.4 m	13.2 m							
	E-82 E4	2 350 kW	IIA	acier	58.9 m	99.9 m	4.5 m	25 ans	Option	104 dB(A) TES : 102 dB(A)
					68.9 m	109.9 m	4.5 m			
		hybride	IA	78.3 m	119.3 m	5.0 m				
			84.0 m	125.0 m	6.1 m					
	3 000 kW	IIA	acier	68.9 m	109.9 m	4.5 m	25 ans	Option	106 dB(A) TES : 104 dB(A)	
				78.3 m	119.3 m	5.0 m				
	84.0 m	125.0 m	6.1 m							
	E-92 Livraison 12/2023	2 000 et 2 350 kW	IIA	acier	68.9 m	114.9 m	4.5 m	25 ans	Standard	TES : 105 dB(A)
					78.3 m	124.3 m	4.5 m			
					84.6 m	130.6 m	4.6 m			
hybride				84.0 m	130.0 m	6.1 m				
				98.4 m	144.4 m	6.8 m				
				103.9 m	149.9 m	7.7 m				
				108.8 m	154.4 m	8.1 m				
138.4 m	184.4 m	10.7 m								
E-103 EP2	2 000 et 2 350 kW	IIIA	acier	78.3 m	129.8 m	4.5 m	25 ans	Standard	TES : 105 dB(A)	
				84.6 m	136.1 m	4.6 m				
		IIIA/S Vm 8.6 m/s Vext 53.2 m/s	98.0 m	149.5 m	5.2 m					
		IIIA	hybride	98.4 m	149.9 m	6.0 m				
				108.4 m	159.9 m	8.1 m				
138.4 m	189.9 m	10.7 m								

I Vm 10 m/s

Vext 70 m/s (rafales 3 s)

II Vm 8.5 m/s

Vext 59.5 m/s (rafales 3 s)

III Vm 7.5 m/s

Vext 52.5 m/s (rafales 3 s)

* Données susceptibles d'évoluer


Data Sheet
Technical Specifications E-82 E4 2.35 MW/3 MW
Technical specifications E-82 E4

General	
Manufacturer	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Germany
Type designation	E-82 E4
Nominal power	2350/3000 kW
Hub heights	58.91 m; 68.91 m; 78.33 m; 83.99 m
Rotor diameter	82 m
IEC wind class (ed. 3)	IIA and IA
Extreme wind speed at hub height (10-min. mean)	IA 50 m/s; IIA 42,5 m/s Corresponds to a load equivalent of approx. 70 m/s (3-sec. gust, IA) or 59.5 m/s (3-sec. gust, IIA)
Annual average wind speed at hub height	IA 10 m/s; IIA 8,5 m/s

Overview of nominal power, hub height and wind class				
Nominal power	2350 kW	2350 kW 3000 kW	2350 kW 3000 kW	2350 kW 3000 kW
Hub height	58.91 m	68.91 m	78.33 m	83.99 m
IEC wind class (ed. 3)	IIA	IIA	IA	IA

Rotor with pitch control	
Type	Upwind rotor with active pitch control
Rotational direction	Clockwise
Number of rotor blades	3
Rotor blade length	38.8 m
Swept area	5281 m ²
Rotor blade material	GRP/epoxy resin/wood
Lowest power feed speed to nominal speed	5.5 - 17.5 rpm
Tip speed	Up to 77.28 m/s
Power reduction wind speed	28 - 34 m/s (with optional ENERCON storm control)
Conical angle	0°
Rotor axis angle	5°
Pitch control	One independent electrical pitch system per rotor blade with dedicated emergency power supply

Data Sheet

Technical Specifications E-82 E4 2.35 MW/3 MW



Drive train with generator	
WEC concept	Gearless; variable speed; full-scale converter
Hub	Rigid
Storage	Double-row tapered/cylindrical roller bearing
Generator	Direct-drive ENERCON annular generator
Grid feed	ENERCON inverters with high-frequency IGBT switching and sinusoidal current
IP Code/insulation class	IP 23/F

Brake system	
Aerodynamic brake	Three independent pitch systems with emergency power supply
Rotor brake	Electromechanical
Rotor lock	Latching every 15°

Yaw control	
Type	Electrical with yaw motors
Control system	Active via yaw gears

Control system	
Type	Microprocessor
Grid feed	ENERCON inverter
Remote monitoring system	ENERCON SCADA
Uninterruptible power supply (UPS)	Integrated

Tower variants			
Hub height	Total height	Design	Wind class
58.91 m (only 2350 kW)	99.91 m (only 2350 kW)	Steel tower with foundation basket	IEC IIA IEC S ¹
68.91 m	109.91 m	Steel tower with foundation basket	IEC IIA IEC S ¹
78.33 m	119.33 m	Steel tower with foundation basket	IEC IA IEC S ²
83.99 m	124.99 m	Precast concrete tower with steel section (external prestressing)	IEC IA IEC S ²

¹ Applies to Cold Climate: $v_{ave} = 8.5$ m/s (at HH) and $v_{ext} = 59.5$ m/s

² Applies to Cold Climate: $v_{ave} = 10$ m/s (at HH) and $v_{ext} = 70$ m/s

4.3. Certification des éoliennes

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

4.4. Fonctionnement de l'éolienne

Les données telles que la direction et la vitesse du vent sont mesurées en continu pour adapter le mode de fonctionnement de l'éolienne en conséquence.

La commande d'orientation de l'éolienne commence à fonctionner même en dessous de la vitesse de démarrage.

La direction du vent est mesurée en continu par la girouette. Si la déviation entre l'axe du rotor et la direction mesurée du vent est trop grande, la position de la nacelle est corrigée par la commande d'orientation.

L'ampleur de la rotation et le temps imparti avant que la nacelle ne soit mise dans la bonne position dépendent de la vitesse du vent.

Si l'éolienne a été arrêtée manuellement ou par son système de commande, les pales sont mises progressivement en position drapeau, réduisant la surface utile des pales exposée au vent. L'éolienne continue de tourner et passe progressivement en fonctionnement au ralenti.

4.4.1. Démarrage de l'éolienne

90 secondes après le démarrage de l'éolienne, les pales du rotor sont sorties de la position drapeau et sont mises en mode de « fonctionnement au ralenti ». L'éolienne tourne alors à faible vitesse.

La procédure de démarrage automatique est lancée lorsque la vitesse moyenne du vent mesurée pendant 3 minutes consécutives est supérieure à la vitesse de vent requise pour le démarrage.

L'énergie produite est injectée sur le réseau de distribution dès que la limite inférieure de la plage de vitesse est atteinte. La connexion au réseau par le biais d'un circuit intermédiaire de courant continu et de convertisseurs évite les courants de démarrage élevés pendant la procédure de démarrage.

4.4.2. Fonctionnement normal

Dès que la phase de démarrage de l'éolienne est terminée, l'éolienne est en fonctionnement normal. Les conditions de vent sont relevées en permanence pendant ce temps. La vitesse de rotation, le débit de puissance et l'angle des pales sont constamment adaptés aux changements du régime des vents, la position de la nacelle est ajustée en fonction de la direction du vent et l'état de tous les capteurs est enregistré. La puissance électrique est contrôlée par l'excitation du générateur. Au-dessus de la vitesse nominale du vent, la vitesse de rotation est également maintenue à une valeur nominale par le réglage de l'angle des pales.

En cas de températures extérieures et de vitesses de vent élevées, le système de refroidissement se met en route.

4.4.3. Fonctionnement en charge partielle

En fonctionnement en charge partielle, la vitesse et la puissance sont adaptées en permanence aux changements du régime des vents. Dans la plage supérieure de charge partielle, l'angle des pales du rotor est modifié de quelques degrés pour éviter une distorsion de l'écoulement (effet de décrochage).

Le régime de rotation et la puissance augmentent au fur et à mesure de l'augmentation de la vitesse du vent.

4.4.4. Fonctionnement de régulation

Au-dessus de la vitesse nominale du vent, la vitesse de rotation est maintenue à peu près à sa valeur nominale grâce au réglage de l'angle des pales, et la puissance prélevée dans le vent est limitée (« mode de commande automatique »).

Le changement requis de l'angle des pales est déterminé après analyse du régime de rotation et de l'accélération, puis transmis à l'entraînement d'inclinaison des pales. La puissance conserve ainsi sa valeur nominale.

L'éolienne s'arrête si la vitesse du vent atteint 25 m/s (cf. « Arrêt automatique »).

4.4.5. Mode de fonctionnement au ralenti

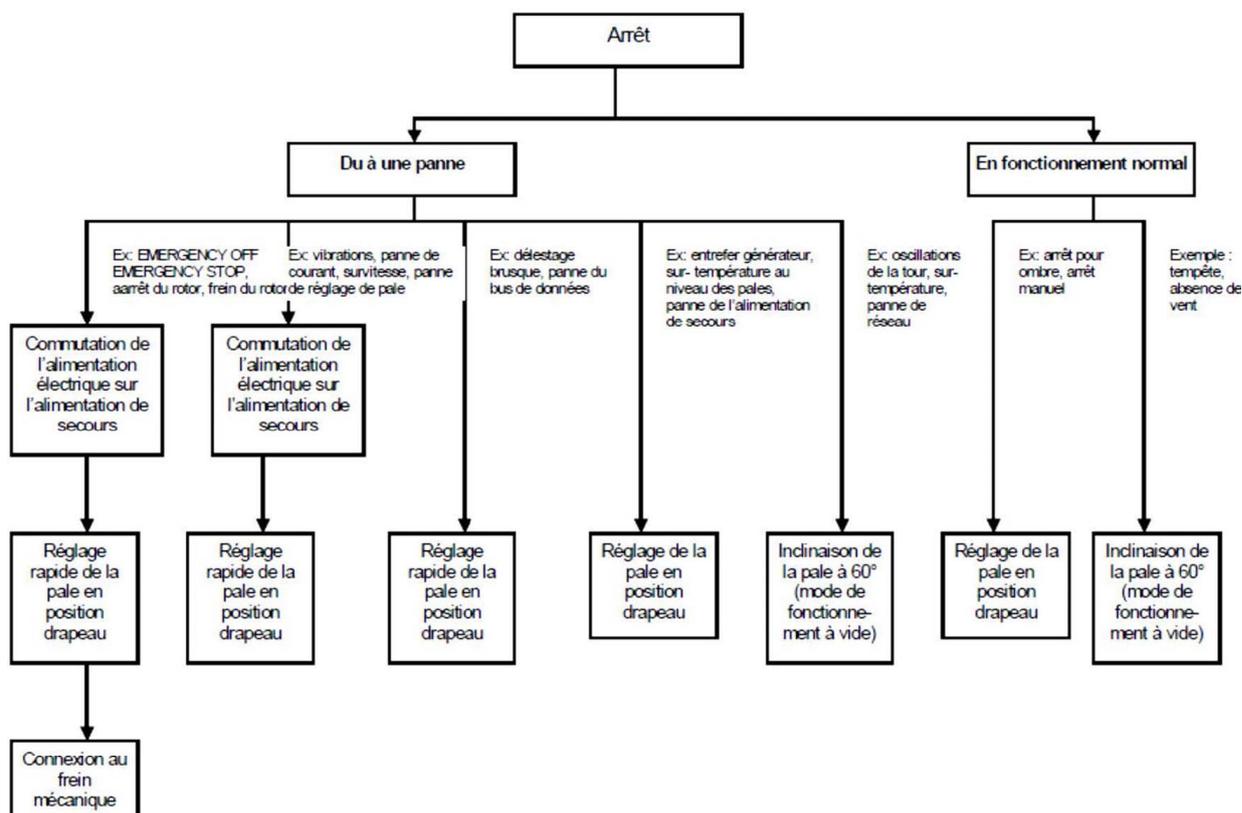
Si l'éolienne est arrêtée (par exemple en raison de l'absence de vent ou suite à un dérangement), les pales se mettent généralement dans une position de 60° par rapport à leur position opérationnelle.

L'éolienne tourne alors à faible vitesse. Si la vitesse de ralenti est dépassée (environ 3 tr/mn), les pales de rotor s'inclinent pour se mettre en position drapeau. Ces conditions portent le nom de « fonctionnement au ralenti ».

Le fonctionnement au ralenti réduit les charges et permet à l'éolienne de redémarrer dans de brefs délais. Un message d'état indique la raison pour laquelle l'éolienne a été arrêtée, passant donc en fonctionnement au ralenti.

4.4.6. Arrêt de l'éolienne

L'éolienne peut être arrêtée manuellement (interrupteur Marche/Arrêt) ou en actionnant le bouton d'arrêt d'urgence. Le système de commande arrête l'éolienne en cas de dérangement, ou encore si les conditions de vent sont défavorables.



Arrêt de l'éolienne (source : ENERCON)

A. Arrêt automatique

En mode automatique, les éoliennes sont freinées de façon aérodynamique par la seule inclinaison des pales. Les pales du rotor inclinées réduisent les forces aérodynamiques, freinant ainsi ce dernier. Les dispositifs d'inclinaison des pales (Pitch) peuvent décrocher les pales du vent en l'espace de quelques secondes seulement en les mettant en position drapeau.

L'éolienne s'arrête si la vitesse du vent est de 25 m/s avec une valeur moyenne de 3 minutes ou si elle est de 30 m/s avec une valeur moyenne de 30 secondes. Si nécessaire, ces limites peuvent être modifiées dans le système de contrôle de l'éolienne. Pour des raisons de protection de l'éolienne l'augmentation des vitesses de coupure est cependant limitée assez rigoureusement. L'éolienne redémarre dès que les conditions correspondantes aux 10 minutes (réglage standard) ne sont plus détectées. Si nécessaire on peut adapter cette période dans le système de contrôle de l'éolienne.

L'éolienne s'arrête également automatiquement en cas de défaillance, et lors de certains événements. Certaines défaillances entraînent une coupure rapide par les alimentations de secours des pales, d'autres pannes conduisent à un arrêt normal de l'éolienne. Selon le type de défaillance, l'éolienne peut redémarrer automatiquement. Dans tous les cas, les convertisseurs sont découplés galvaniquement du réseau pendant la procédure d'arrêt.

Lorsqu'un capteur de sécurité signale un défaut ou qu'un interrupteur correspondant se déclenche, l'éolienne est immédiatement stoppée. Les armoires de commande des pales dissocient chaque moteur de réglage des pales. Ces armoires permettent également de commuter les contacteurs présents dans chaque boîtier du rotor via des armoires de condensateurs. Les pales se mettent alors en drapeau indépendamment les unes des autres.

Lors d'un freinage d'urgence du rotor, en cas d'incendie par exemple, un frein rotor électromécanique est utilisé en plus. Un arrêt du rotor depuis sa puissance nominale s'effectue en 10 à 15 secondes.

B. Arrêt manuel

L'éolienne peut être arrêtée à l'aide de l'interrupteur Marche/Arrêt (armoire de commande). Le système de commande tourne alors les pales du rotor pour les décrocher du vent et l'éolienne ralentit puis s'arrête. Le frein d'arrêt n'est pas activé et la commande des yaw (moteur d'orientation) reste active. L'éolienne peut donc continuer à s'adapter avec précision au vent.

C. Arrêt manuel d'urgence

Si nécessaire, l'éolienne peut être stoppée immédiatement, en appuyant sur le bouton d'arrêt d'urgence (armoire de commande). Ce bouton déclenche un freinage d'urgence sur le rotor, avec une inclinaison rapide par l'intermédiaire des unités de réglage des pales et de freinage d'urgence. Le frein d'arrêt mécanique est actionné simultanément. L'alimentation électrique de tous les composants reste assurée.

Une fois l'urgence passée, le bouton d'arrêt d'urgence doit être réarmé pour permettre le redémarrage de l'éolienne.

Si l'interrupteur principal de l'armoire de commande est mis en position d'arrêt, tous les composants de l'éolienne, à l'exception de l'éclairage du mât et de l'armoire électrique, ainsi que les différents interrupteurs d'éclairage et les connecteurs mobiles, sont déconnectés. L'éolienne déclenche l'inclinaison rapide des pales par l'intermédiaire des dispositifs d'inclinaison d'urgence. Le frein d'arrêt mécanique n'est pas activé lorsque l'interrupteur principal est actionné.

4.4.7. Absence de vent

Si l'éolienne est en service, mais que l'absence de vent fait trop ralentir le rotor, l'éolienne passe en mode de fonctionnement au ralenti par l'inclinaison lente des pales du rotor dans une direction de 60°. L'éolienne reprend automatiquement son fonctionnement une fois que la vitesse de vent de démarrage est de nouveau atteinte.

Si l'anémomètre risque de geler par des températures basses (< 3°C), l'éolienne tente de redémarrer toutes les heures pour vérifier si la vitesse du vent est suffisante, à condition que la girouette fonctionne. Lorsque l'éolienne redémarre et produit de l'électricité, elle repasse en mode de fonctionnement normal. Dans ce cas, les vitesses du vent ne sont toutefois pas correctement saisies, le capteur gelé ne pouvant transmettre des données exactes.

À partir de 2012 ENERCON utilise sur l'ensemble de sa gamme des anémomètres à ultrason, supprimant ainsi les difficultés liées au gel de l'anémomètre.

4.4.8. Tempête/Système « Storm Control »

Les éoliennes ENERCON disposent d'un système de contrôle spécial leur permettant de fonctionner par temps de tempête. Ceci signifie que, par vents très forts, l'éolienne travaille en mode bridé, ce qui évite les arrêts qui conduiraient à des pertes de production considérables.

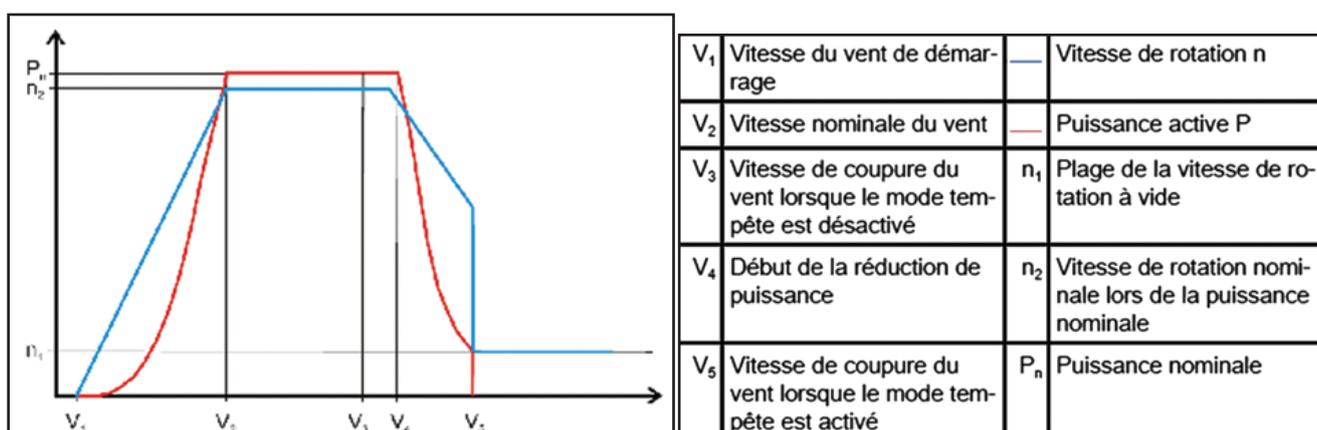
Lorsque le mode tempête est activé la vitesse nominale est réduite linéairement pendant une vitesse de vent définie pour chaque type d'éolienne. La limitation de la vitesse nominale a comme conséquence la réduction de la puissance à partir d'une autre vitesse de vent spécifique au type d'éolienne. L'éolienne est uniquement arrêtée à partir d'une vitesse de vent supérieure à 34 m/s (valeur moyenne sur 10 minutes). A titre de comparaison, lorsque le mode tempête est désactivé l'éolienne est arrêtée à une vitesse de vent de 25 m/s (valeur moyenne de 3 mn).

À part une croissance du rendement, le mode tempête ENERCON a une influence positive sur la stabilité du réseau électrique vu que les éoliennes ENERCON réduisent graduellement la puissance injectée en évitant de la suspendre brusquement.

Lorsque le mode tempête est activé, il est possible de sélectionner la possibilité de réglage nommée ci-dessus, cependant elle sera analysée par le système de commande. Puis la vitesse est réduite linéairement depuis une vitesse de vent définie pour chaque type d'éolienne. Le temps de rapport de la vitesse du vent est de 12 secondes. Lors de rafales positives qui dépassent de plus de 3 m/s (moyenne par seconde) la valeur moyenne de 12 secondes, alors la valeur moyenne de 12 secondes est spontanément adaptée à la valeur moyenne par seconde.

La limitation de la vitesse a comme conséquence la réduction de la puissance à partir d'une vitesse de vent spécifique au type d'éolienne (V4).

L'éolienne s'arrête à partir d'une vitesse de vent V5 de 34 m/s (valeur moyenne sur 10 minutes).



Modes de fonctionnement : courbes de puissance en fonction de la vitesse du vent

4.4.9. Dévissage des câbles

Les câbles de puissance et de commande de l'éolienne se trouvant dans le mât sont passés depuis la nacelle sur un dispositif de guidage et fixés aux parois du mât.

Les câbles ont suffisamment de liberté de mouvement pour permettre à la nacelle de tourner plusieurs fois dans la même direction autour de son axe, ce qui entraîne toutefois progressivement une torsion des câbles. Le système de commande de l'éolienne fait en sorte que les câbles vrillés soient automatiquement dévissés.

Lorsque les câbles ont tourné deux ou trois fois autour d'eux-mêmes, le système de commande utilise la prochaine période de vent faible pour les dévissés. Si le régime des vents rend cette opération impossible, et si les câbles se sont tournés plus de trois fois autour d'eux-mêmes, l'éolienne s'arrête et les câbles sont dévissés indépendamment de la vitesse du vent. Le dévissage des câbles prend environ une demi-heure. L'éolienne redémarre automatiquement une fois les câbles dévissés.

Les capteurs chargés de surveiller la torsion des câbles se trouvent dans l'unité de contrôle de la torsion des câbles. Le capteur est connecté à la couronne d'orientation par une roue de transmission et une boîte de vitesse. Toute variation de la position de la nacelle est transmise au système de commande.

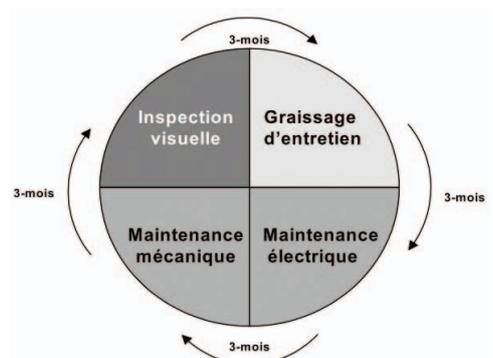
En outre, deux interrupteurs de fin de course, un de chaque côté, gauche et droit, signalent tout dépassement de la plage opérationnelle autorisée dans une direction ou dans l'autre. Cela évite que les câbles du mât vrillent encore davantage.

L'éolienne s'arrête et ne peut être redémarrée automatiquement.

4.5. Opérations de maintenance de l'éolienne

Maintenance et inspections périodiques sur les éoliennes :

- Inspection visuelle : 1 fois par an,
- Graissage d'entretien : 1 fois par an,
- Maintenance électrique : 1 fois par an,
- Maintenance mécanique : 1 fois par an,
- Tests de commissioning : les tests réalisés lors du commissioning prévoient notamment un essai de survitesse,
- Maintenance des 300 heures : la première maintenance après la mise en service a lieu après 300 heures. Au cours de cette opération, l'intégralité des opérations de maintenance précédemment mentionnées est effectuée.



Phases de maintenance ENERCON

Chaque éolienne dispose d'un carnet de maintenance dans lequel sont consignées les différentes opérations réalisées.

De plus, une inspection visuelle de l'état général de l'éolienne est effectuée lors de chaque opération de maintenance. Ces opérations de maintenance garantissent le suivi et la durabilité des éoliennes dans le temps.

4.5.1. Inspection visuelle

Lors des inspections visuelles, les points particuliers de vigilance sont axés sur les aspects suivants :

- Corrosion,
- Dommages mécaniques (par ex. fissures, déformation, écaillage, câbles usés),
- Fuites (huile, eau),
- Unités incomplètes,
- Encrassements/corps étrangers.

Ces opérations d'inspections sont faites au moins une fois par an.

4.5.2. Graissage d'entretien

Les opérations de graissage visent à s'assurer du bon état des pièces mobiles et d'assurer un appoint ou de vidanger les huiles et lubrifiants.

L'ensemble des points à vérifier est précisé dans le Plan de Maintenance relatif au graissage défini pour chaque modèle.

4.5.3. Maintenance électrique

Les opérations de maintenance électrique visent à s'assurer du bon fonctionnement de tous les équipements électrique actifs (transformateurs, éclairage, mises à jour logiciels,...) et passifs (mises à la terre,...).

L'ensemble des points à vérifier est précisé dans le Plan de Maintenance Électrique défini pour chaque modèle.

4.5.4. Maintenance mécanique

Lors des opérations de maintenance mécanique, les points particuliers de vigilance sont axés sur les aspects suivants :

- Panneaux d'avertissement,
- Pied du mât/local des armoires électriques,
- Fondations,
- Mât : Échelle de secours, ascenseurs de service, Plateformes et accessoires, Chemin et fixation de câbles, Assemblages à vis,
- Nacelle : treuil à chaîne, extincteurs et trousse de secours, système de ventilation, câbles, trappes, support principal, arbre de moyeu, Transmissions d'orientation, Contrôle d'orientation (« yaw »), Couronne d'orientation, Entrefer du générateur, Groupe hydraulique, Frein électromécanique, Dispositif de blocage du rotor, Assemblages à vis,...,
- Tête du rotor : Rotor, Câbles et lignes, Générateur, moyeu du rotor et adaptateur de pale, engrenage de réglage des pales (« pitch »), Système de graissage centralisé, vis des pales du rotor, pales de rotor,...,
- Système parafoudre,
- Anémomètre,
- ...

Ces opérations d'inspections sont faites au moins une fois par an.

4.6. Principaux systèmes de sécurité de l'éolienne

4.6.1. Système de freinage

En fonctionnement, les éoliennes sont exclusivement freinées d'une façon aérodynamique par inclinaison des pales en position drapeau. Pour ceci, les trois entraînements de pales indépendants mettent les pales en position de drapeau (c'est-à-dire « les décrochent du vent ») en l'espace de quelques secondes. La vitesse de l'éolienne diminue sans que l'arbre d'entraînement ne soit soumis à des forces additionnelles.

Bien qu'une seule pale en drapeau (frein aérodynamique) suffise à stopper l'éolienne, cette dernière possède 3 freins aérodynamiques indépendants (un frein par pale).

Le rotor n'est pas bloqué même lorsque l'éolienne est à l'arrêt, il peut continuer de tourner librement à très basse vitesse. Le rotor et l'arbre d'entraînement ne sont alors exposés à pratiquement aucune force. En fonctionnement au ralenti, les paliers sont moins soumis aux charges que lorsque le rotor est bloqué.

L'arrêt complet du rotor n'a lieu qu'à des fins de maintenance et en appuyant sur le bouton d'arrêt d'urgence. Dans ce cas, un frein d'arrêt supplémentaire se déclenche lorsque le rotor freine partiellement, les pales s'étant inclinées. Le dispositif de blocage du rotor ne peut être actionné que manuellement et en dernière sécurité, à des fins de maintenance.

En cas d'urgence (par exemple, en cas de coupure du réseau), chaque pale du rotor est mise en sécurité en position de drapeau par son propre système de réglage de pale d'urgence alimenté par batterie. L'état de charge et la disponibilité des batteries sont garantis par un chargeur automatique.

4.6.2. Système de détection de survitesse

La machine possède 3 capteurs placés dans le support du rotor de la génératrice. Ce capteur est une masselotte montée sur ressort. Lorsque la force centrifuge du rotor est trop importante (cas de la survitesse), le déplacement de cette masselotte atteint un capteur situé en bout de course.

La détection de survitesse est alors enclenchée et les pales reviennent en position drapeau (le système coupe l'alimentation électrique des pitchs. Les condensateurs électriques du système de sécurité des pitchs se déchargent alors et activent la mise en drapeau des pales).

Les condensateurs sont contrôlés périodiquement et des tests de survitesse sont réalisés tous les ans.

Le redémarrage de l'éolienne suite à un arrêt par action du système de détection de survitesse nécessite un réenclenchement manuel dans la nacelle, après identification des causes.

Ce système intervient en plus des systèmes de sécurité prévenant un fonctionnement avec une défaillance sur la génératrice (plus de force contre électromotrice) ainsi que du système « storm control ».

4.6.3. Protection foudre

L'éolienne est équipée d'un système parafoudre fiable afin d'éviter que l'éolienne ne subisse de dégâts.

Pour la protection parafoudre extérieure, la pointe de la pale est en aluminium moulé, le bord d'attaque et le bord de fuite de la pale du rotor sont équipés de profilés aluminium, reliés par un anneau en aluminium à la base de la pale. Un coup de foudre est absorbé en toute sécurité par ces profilés et le courant de foudre est dévié vers la terre entourant la base de l'éolienne.

Pour la protection interne de la machine, les composants principaux tels l'armoire de contrôle et la génératrice sont protégés par des parasurtenseurs. Toutes les autres platines possédant leur propre alimentation sont équipées de filtres à hautes absorptions. Aussi, la partie telecom est protégée par des parasurtenseurs de lignes et une protection galvanique. Enfin, une liaison de communication télécom en fibre optique entre les machines permet une insensibilité à ces surtensions atmosphériques ou du réseau.

De même, l'anémomètre est protégé et entouré d'un arceau.

4.6.4. Protection incendie

Tous les composants mécaniques et électriques de l'éolienne dans lesquels un incendie pourrait potentiellement se déclencher en raison d'une éventuelle surchauffe ou de court-circuit, sont continuellement surveillés par des capteurs lors du fonctionnement, et cela en premier lieu afin de s'assurer de leur bon fonctionnement.

Si le système de commande détecte un état non autorisé, l'éolienne est stoppée ou continue de fonctionner mais avec une puissance réduite. Le choix des matériaux est également un aspect clé de la protection incendie, par la conception en matériaux ignifuges, difficilement, ou non inflammables pour certains composants.

Les composants dédiés à la protection contre l'incendie dans l'éolienne sont les suivants :

Modèles	Détection	Extinction
E-53, E-70, E-82, E-92, E-101, E-103, E-115	Système de capteurs de température des équipements	- un extincteur manuel CO ₂ dans la nacelle, - un extincteur manuel CO ₂ au pied du mât
E-126	- Système de capteurs de température des équipements - Détecteurs de fumée dans la nacelle et dans le mât	- un extincteur manuel CO ₂ dans la nacelle, - un extincteur manuel CO ₂ au pied du mât, - extinction automatique (extincteur à aérosols) dans les principales armoires de commande de la nacelle

Par ailleurs, lors des interventions, les techniciens emmènent également un extincteur dans leur véhicule de service.

Lorsqu'un capteur de sécurité signale un défaut ou qu'un interrupteur correspondant se déclenche, l'éolienne est immédiatement stoppée (cf. « Arrêt automatique »).

Les détecteurs de fumée et/ou les capteurs de température émettent des signaux qui sont immédiatement transmis au Service ENERCON par le système de surveillance à distance SCADA qui alerte alors immédiatement l'exploitant, par un message SMS et/ou Email, qui prévient alors les pompiers. Ces derniers décident sur place des actions à entreprendre. Le centre de service ENERCON est occupé 24h/24, 7j/7 et par conséquent joignable à tout moment.

4.6.5. Système de détection de givre/glace

Dans certaines conditions météorologiques, les pales peuvent se recouvrir de glace, de givre ou d'une couche de neige. Ceci arrive le plus souvent lorsque l'air est très humide, ou en cas de pluie ou de neige et à des températures proches de 0°C.

Les dépôts de glace et de givre peuvent réduire le rendement et accroître la sollicitation du matériel (déséquilibre du rotor) et la nuisance sonore. La glace formée peut également présenter un danger pour les personnes et les biens en cas de chute ou de projection.

La commande de l'éolienne mesure, à l'aide de deux sondes de température indépendantes, la température de l'air sur la nacelle et en pied du mât, afin de détecter si les conditions sont propices à la formation de givre.

Les caractéristiques aérodynamiques des pales de rotor sont très sensibles aux modifications des contours et de la rugosité des profils de pale causées par le givre ou la glace. Le système de détection de givre/glace utilise la modification importante des caractéristiques de fonctionnement de l'éolienne (rapport vent/vitesse de rotation/puissance/angle de pale) en cas de formation de givre ou de glace sur les pales du rotor.

Lorsque la température dépasse +2 °C sur la nacelle, les rapports de fonctionnement spécifiques à l'éolienne (vent/puissance/angle des pales) sont identifiés comme étant des valeurs moyennes à long terme. Pour des températures inférieures à +2 °C (conditions de givre), les données de fonctionnement mesurées sont comparées aux valeurs moyennes à long terme.

Pour cela, une plage de tolérance, déterminée de manière empirique, est définie autour de la courbe de puissance de l'éolienne et de la courbe d'angle de pale. Celle-ci se base sur des simulations, des essais et plusieurs années d'expérience sur un grand nombre d'éoliennes de types variés. Si les données de fonctionnement concernant la puissance ou l'angle de pale sont hors de la plage de tolérance, l'éolienne est stoppée.

En cas de détection d'écarts de comportement de la machine, un compteur est incrémenté pour chaque mesure hors tolérance, à raison de 1 mesure par minute. Lorsque 30 mesures sont en dehors des tolérances, la machine s'arrête automatiquement pour détection de glace et envoi une alerte via le SCADA.

Les paramètres analysés par le système de sécurité sont :

- La vitesse de vent pour une puissance donnée*. La détection, l'alerte et l'arrêt se font dès la sortie de la machine de ces tolérances (comme expliqué ci-dessus);
- La puissance produite, lorsque la machine fonctionne à sa puissance nominale**.

Grâce à l'étroitesse de la plage de tolérance, la coupure a lieu généralement en moins d'une heure, avant que l'épaisseur de la couche de glace ne constitue un danger pour l'environnement de l'éolienne. La plausibilité de toutes les mesures liées à l'éolienne est contrôlée en permanence par la commande de l'éolienne. Une modification non plausible d'une valeur de mesure est interprétée comme un dépôt de glace par la commande et l'éolienne est stoppée.

* Détection efficace pour la partie de courbe correspondant à la montée en puissance vers sa valeur nominale (détection d'écart standard : +/- 1,2 m/s). Les paramètres de tolérances sont ajustables dans une plage de +/- 0,6 m/s à +/- 3 m/s.

** Une fois que la machine fonctionne à sa puissance nominale, la courbe de puissance présente un plateau sur une large plage de vitesse de vent, rendant inopérante la tolérance définie précédemment pour la détection de glace ou de givre. Ainsi, pour les vitesses de vent supérieures à 10,5 m/s une tolérance sur la puissance produite permet donc de détecter les comportements déviant de la courbe de puissance normale (valeur de tolérance standard : 75 % ; minimale : 100 % ; maximale : 50 %).

4.6.6. Système de dégivrage de pale (option)

ENERCON propose, en option, pour les éoliennes de série E-44, E-48, E-53, E-70, E-82, E-92, E-101, E-103 et E-115, un système de dégivrage de pale par circulation d'air. Le système de dégivrage des pales n'empêche pas la formation de glace/givre, mais permet de réduire le temps de dégivrage (éolienne arrêtée).

Lorsque le système de dégivrage de pale fonctionne, il est possible qu'un dépôt de glace se détache et tombe des pales.

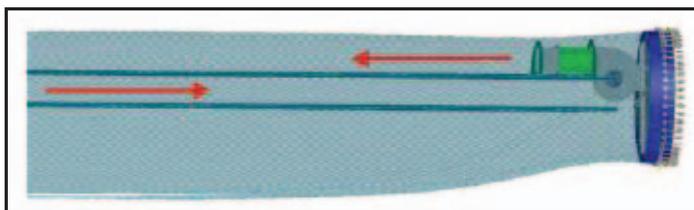
A. Principe de fonctionnement

L'air dans les pales est chauffé jusqu'à 72 °C, par un ventilateur de chauffage installé à proximité de la bride de pale.

Les pales du rotor ENERCON sont cloisonnées par des traverses. Ces traverses servent à faire circuler l'air chaud à travers la pale. L'air chaud passe par le ventilateur de chauffage directement le long du bord d'attaque de la pale au-dessus de la pointe de pale et repasse entre les traverses principales vers la bride de pale. Le retour d'air est réchauffé et ensuite propulsé vers la pointe de la pale. De cette manière, le bord d'attaque de la pale est réchauffé à une température au-dessus de 0°C, permettant de faire fondre le dépôt de glace sur la pale.

Chaque pale est équipée de son propre système de dégivrage de pale.

En mode automatique, le système de dégivrage de pale est enclenché après détection de dépôt de glace/givre lorsque l'éolienne fonctionne.



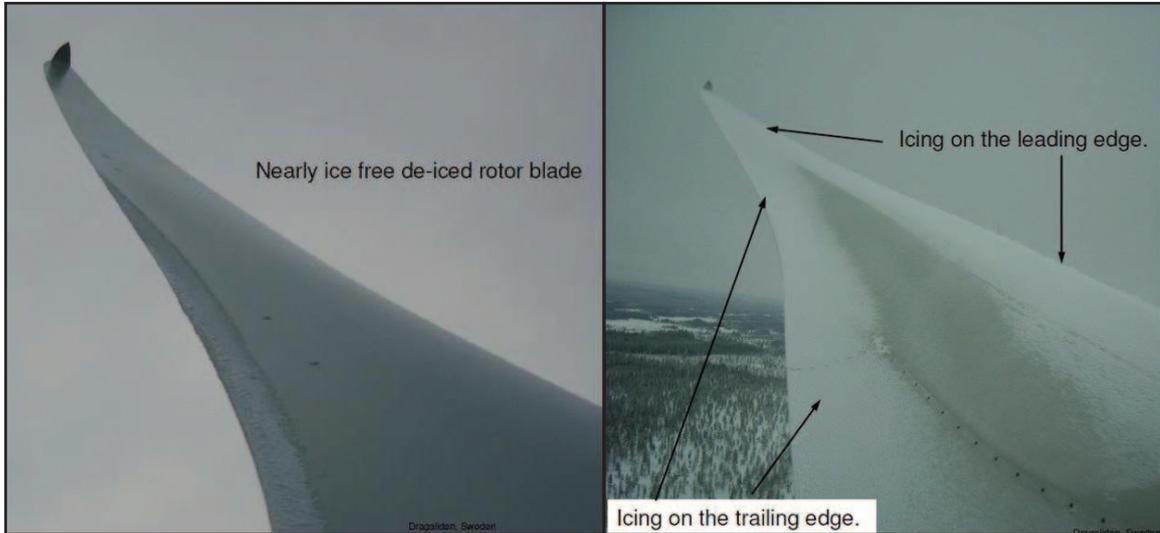
Le système de dégivrage de pale est activé dans ce cas par un système de détection de glace/givre (différent du système standard de détection qui entraîne l'arrêt de l'éolienne). Par conséquent, des couches fines de dépôt de glace/givre sont déjà détectées et dégivrées de manière précoce. Si les conditions météorologiques extrêmes (par exemple pluie verglaçante) entraînent un accroissement de la couche de glace, malgré le fonctionnement du système de dégivrage de pale, l'éolienne est arrêtée par déclenchement du système de détection standard de glace/givre.

Le système de dégivrage de pale reste encore en fonctionnement pour 20 minutes supplémentaires (fonctionnement par inertie), une fois que le système de détection de glace/givre ne constate plus de dépôt de glace/givre. Le processus de dégivrage se répète, dès qu'un dépôt de glace/givre est à nouveau détecté.

Un mode manuel est également possible lorsque l'éolienne fonctionne. Le système de dégivrage de pale doit ici être enclenché manuellement. Le système de dégivrage de pale fonctionne ensuite pendant une période préalablement définie puis se coupe automatiquement.

Le fonctionnement du système de dégivrage de pale permet de réduire la couche de givre ou de glace qui se forme sur les pales du rotor.

Le fonctionnement du système de dégivrage est illustré sur les 2 photos ci-après.



Comparaison de deux systèmes : avec et sans système de chauffage de pale (illustration des expériences menées en Suède et en République tchèque)

L'efficacité de ce système a fait l'objet d'une étude sur des modèles ENERCON E-82, réalisée par Deutsche WindGuard. Les modèles testés se situaient en Suède et en République tchèque. L'utilisation du système de dégivrage a permis de limiter significativement les périodes d'arrêt des éoliennes dues à la formation de glace. En effet, ce système peut également agir de manière à prévenir la formation de glace, en entrant en fonctionnement avant son apparition dans des conditions de basse température.

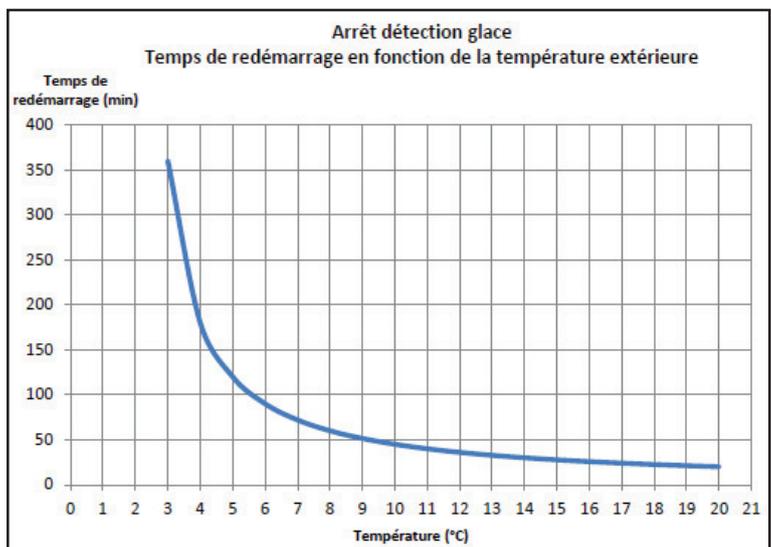
La documentation relative à ce système est fournie en Annexe.

B. Redémarrage de l'éolienne

Il n'est possible de redémarrer automatiquement l'éolienne qu'une fois le dégivrage terminé, lorsque la température est repassée de manière permanente au-dessus de +2°C.

Le temps nécessaire pour le dégivrage est estimé, de façon empirique, en fonction de la température extérieure.

L'éolienne ne démarrera automatiquement qu'une fois le temps de dégivrage requis écoulé. Lors du redémarrage, les risques de formation de glace sur les pales sont réduits. Il peut s'écouler plusieurs heures avant le redémarrage de l'éolienne, en fonction de la température extérieure. Il est également possible de programmer la machine pour que cette dernière fasse un redémarrage de contrôle toutes les 6 heures afin de vérifier la présence de glace sur les pales.



Un ré-enclenchement prématuré manuel ne sera possible que directement sur l'éolienne, après avoir procédé au contrôle visuel requis.

C. Limites

Le rotor doit tourner pour que la courbe de puissance puisse être analysée. Ce système de détection ne peut donc pas fonctionner lorsque l'éolienne est à l'arrêt.

En cas de vitesses de vent faibles (inférieures à 3 m/s), la sensibilité du système de détection de givre/glace est réduite. Dans ces cas, une chute de glace ne peut pas être totalement exclue. Cependant, à vitesse faible, la formation de glace est plus limitée et un dépôt de glace/givre éventuel n'est par conséquent pas projeté sur une grande distance.

1.1.1. Surveillance des principaux paramètres

Un système de surveillance complet garantit la sécurité de l'éolienne. Toutes les fonctions pertinentes pour la sécurité (par exemple : vitesse du rotor, températures, charges, vibrations) sont surveillées par un système électronique et, en plus, là où cela est requis, par l'intervention à un niveau hiérarchique supérieur de capteurs mécaniques.

L'éolienne est immédiatement arrêtée si l'un des capteurs détecte une anomalie sérieuse.

Les alertes relatives au fonctionnement de la machine sont remontées automatiquement par le système SCADA des éoliennes. Un sms et un courrier électronique sont envoyés au personnel du parc et ENERCON en cas d'alerte, 7j/7 et 24h/24.

De même, ENERCON est informé de toute alerte via les informations remontant par le système SCADA des éoliennes. Le cas échéant, le personnel ENERCON habilité intervient alors sur site.

Les nombreux capteurs de température implantés dans les équipements de la nacelle permettent également la mise à l'arrêt de l'éolienne sur détection d'une température anormalement haute, ce qui permet la mise en sécurité (freinage aérodynamique de l'éolienne) de l'éolienne en cas d'échauffement matériel ou en cas de départ d'incendie (compte tenu de la répartition des équipements dans le volume de la nacelle, un éventuel départ d'incendie est susceptible d'être détecté en tout point).

Il suffit qu'une seule pale soit mise en drapeau pour freiner l'éolienne.

La réponse est efficace en quelques dizaines de secondes selon les conditions, ce qui est une réponse adaptée à la cinétique des phénomènes envisagés.

4.7. Équipements et aménagements annexes

4.7.1. Chemins d'accès

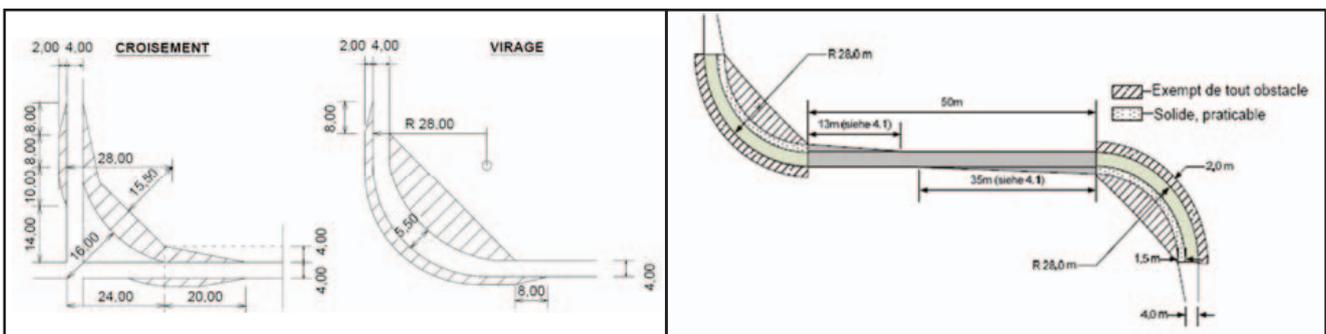
Pour accéder à chaque aérogénérateur, des pistes d'accès sont aménagées pour permettre aux véhicules d'accéder aux éoliennes aussi bien pour les opérations de construction du parc éolien que pour les opérations de maintenance liées à l'exploitation du parc éolien :

- 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).

Les schémas ci-dessous illustrent des spécifications définissant des contraintes sur les voies d'accès



Exemple de spécifications d'aménagement

A. Croisements

En cas de croisements, il convient de suivre la méthode de construction pour croisements, représentée ci-dessus. La zone pointillée doit être stable ou il convient alors de la renforcer.

Les zones rayées doivent être exemptes d'obstacles, car elles seront franchies par les composants transportés (les pales des rotors, par exemple, dépassent de l'arrière du véhicule lors de leur transport).

B. Virages

Lors de la construction d'un nouveau chemin d'accès au niveau des virages, le type de construction spécifique aux virages doit être respecté.

Les zones rayées doivent être exemptes d'obstacles, car elles seront franchies par les composants transportés.

Pour les virages, il n'est pas nécessaire d'avoir un renforcement aussi important que pour les croisements.

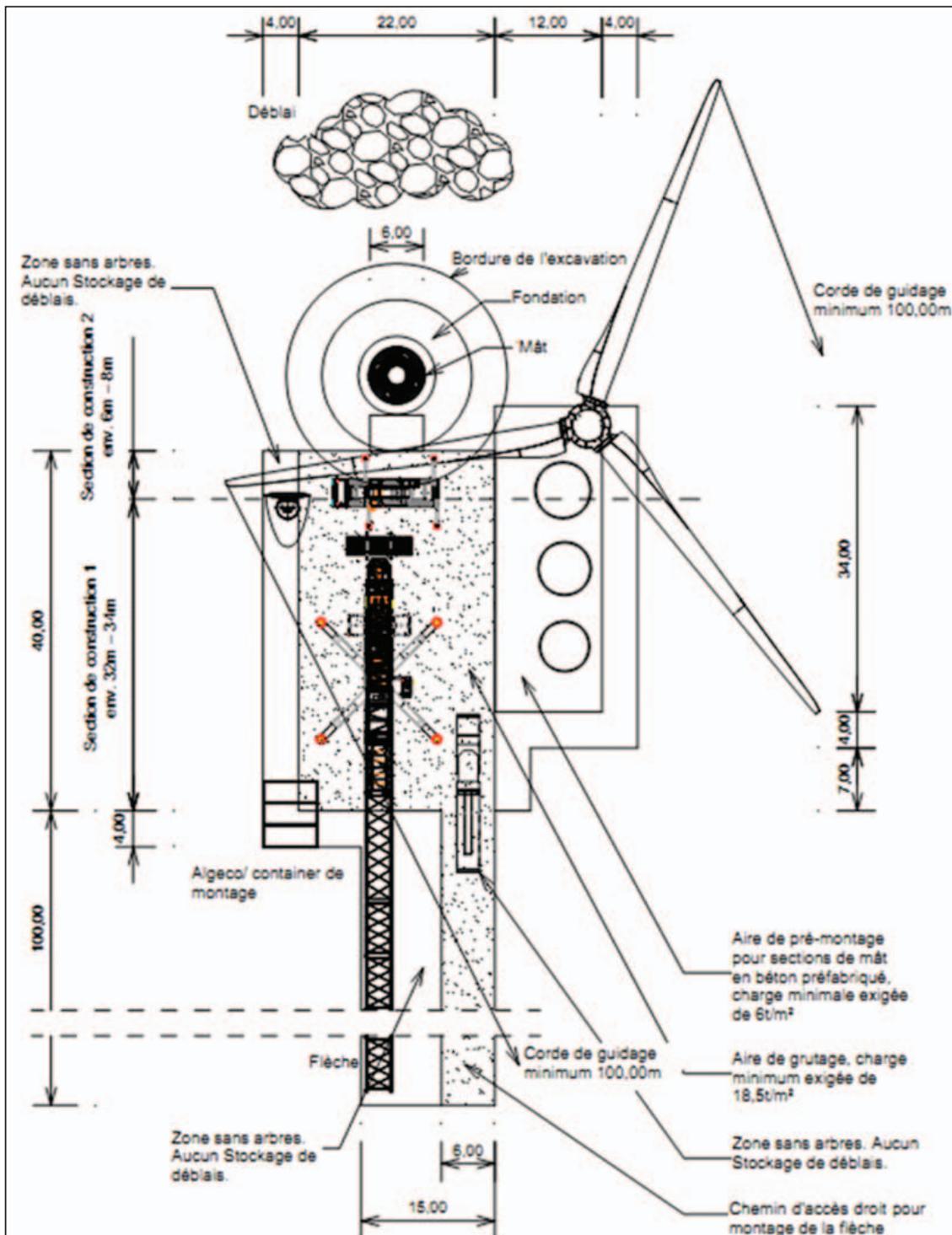
C. Aires de grutage

L'aire de grutage garantit l'effectivité du déroulement de la phase de construction, conformément aux prescriptions de sécurité.

De ce fait, l'aire de grutage doit également être construite de manière durable et insensible au gel.

Le schéma suivant représente une disposition standard. La construction de l'aire de grutage est réalisée en concertation avec un expert géotechnique afin de prouver sa capacité portante (ex. par sondages sous pression) et la documenter en conséquence. Une surface parfaitement plane est établie, avec un revêtement de mélange de minéraux. Le niveau altimétrique de l'aire de grutage doit être supérieur à celui du sol afin de garantir l'évacuation des eaux superficielles. Le niveau de l'aire de grutage peut être inférieur au niveau des fondations jusqu'à 200 mm maximum.

Pour évacuer les précipitations, l'aire de grutage dispose d'un système de drainage.



4.7.2. Poste de livraison

Le poste de livraison est l'interface du réseau inter-éolien privé avec le réseau public d'électricité. Les trois grandes fonctionnalités réalisées à cette interface sont la séparation, la protection et le comptage.

Les cellules haute tension intègrent un disjoncteur et des relais de protections. Ces derniers permettent d'identifier un défaut du réseau externe ou interne et de découpler l'installation rapidement du réseau public d'électricité.

Ce poste de livraison est généralement d'une dimension d'environ 6,3 x 2,5 x 3,3 m (L x l x H), avec un local contenant les organes haute tension (HTA) mentionnés ci-dessus, et un local basse tension contenant généralement le système de supervision ainsi que tous les automatismes et systèmes de communication permettant une exploitation optimale de l'ensemble du parc éolien.



Exemple de poste de livraison type ENERCON

Le gestionnaire national de réseau Enedis a accès au local haute tension mais pas au local basse tension.

Avec l'apparence actuelle d'un bâtiment technique Enedis, ce poste de livraison peut facilement s'habiller afin de mieux s'intégrer dans le paysage environnant selon sa localisation.

4.7.3. Réseaux de l'installation

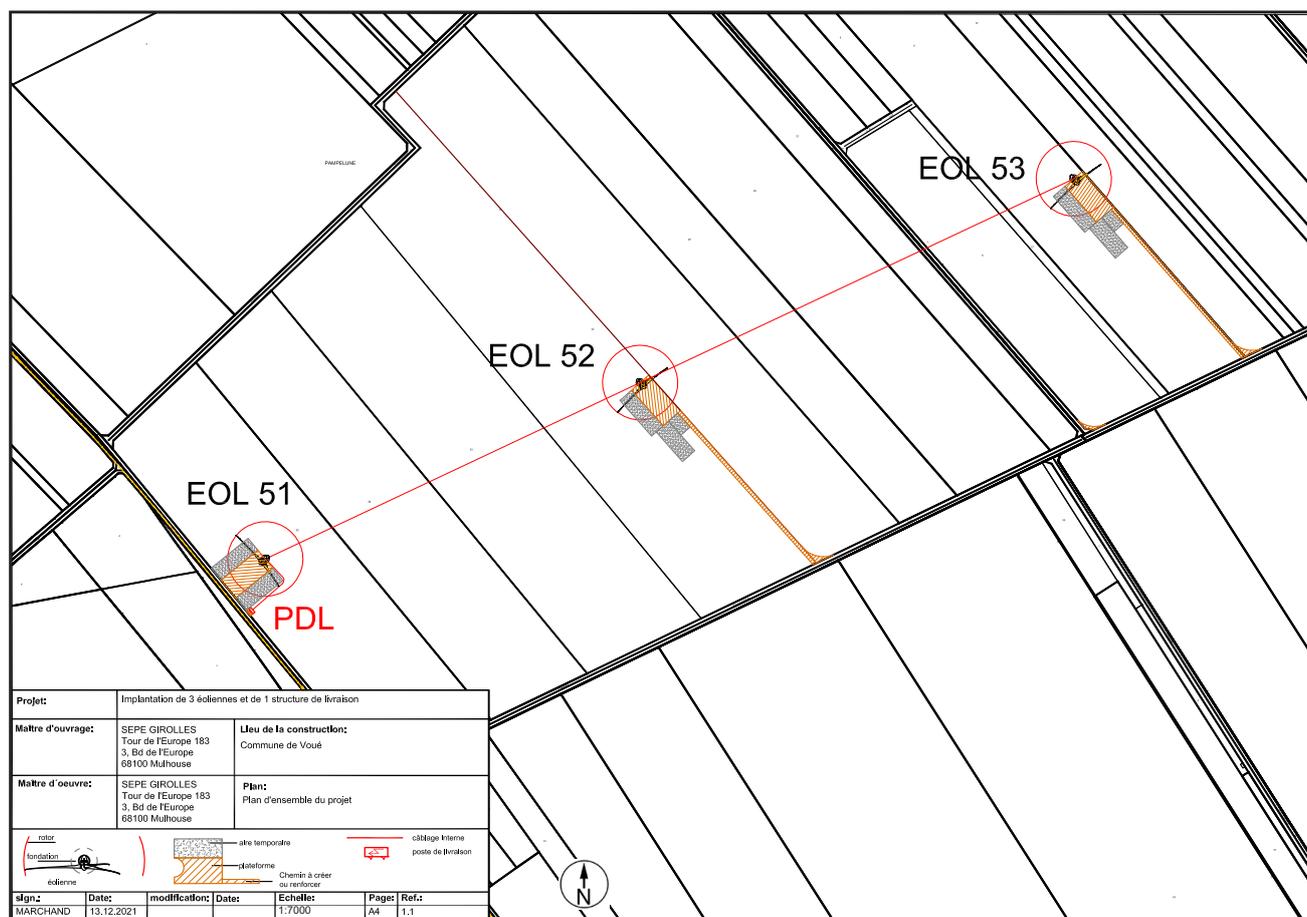
Toutes les lignes électriques construites dans le cadre des projets seront enfouies. La société d'exploitation du parc éolien est propriétaire du réseau électrique inter-éoliennes jusqu'au poste de livraison. Dans le cas d'un parc éolien raccordé sur un réseau de distribution, le gestionnaire du réseau de distribution crée un réseau de distribution haute tension pour relier le producteur directement au poste source le plus proche (ou disponible). Si les puissances mises en jeu ne sont pas trop grandes, le parc peut être inséré dans une boucle du réseau public de distribution le plus proche.

Les câbles sont enfouis à 1 m de profondeur en bord de voies et à 1,20 m dans les champs. Les câbles sont ensuite enrobés par du sable déposé dans la tranchée avant le remblai. Ce dernier est compacté par couche comprise entre 30 et 40 cm avec des contrôles au pénétromètre. Il arrive que le parcours des câbles soit signalisé par des pancartes mentionnant la profondeur et le type de câble (on signale notamment les virages dans le parcours des câbles).



Exemple de travaux de tranchées

La longueur des câbles est d'environ 1480 m pour l'ensemble du parc éolien. Le réseau électrique inter-éoliennes est représenté sur le plan ci-dessous.



5. Identification des potentiels de dangers de l'installation

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

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

5.1. Potentiels de dangers 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 Girolles 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.

Le tableau ci-après synthétise les dangers liés aux produits présents sur site. Ces dangers dépendent de 3 facteurs :

- la nature du produit lui-même et ses caractéristiques dangereuses, traduites par sa classification au sens de l'arrêté du 20 avril 1994 modifié,
- la quantité de produit mise en œuvre,
- les conditions de stockage ou de mise en œuvre.

5.1.1. Identification des potentiels de dangers liés aux produits

Sont récapitulées dans le tableau page suivante les substances mises en œuvre dans les machines. Compte tenu des quantités et de l'impact potentiel très limité de fuites éventuelles (contenues dans les équipements), seuls les produits dont la mention de danger est explicitement mentionnée dans la fiche de données de sécurité sont présentés.

Produits	Conditions de stockage/ d'utilisation/de formation Quantités maximales stockées/utilisées	Classification	Étiquetage	Commentaires
MOBILGEAR OGL 461 (graisse lubrifiante)	Graissage des roues dentées	Irritant (Xi)	R38, R41	Irritant pour la peau, Risques de lésions oculaires graves Incompatibilités: éviter le contact avec les oxydants forts comme le chlore liquide et l'oxygène concentré Point éclair > 204°C
RENOLIN PG 220 (lubrifiant) RENOLIN PG 46	Frein hydraulique: 5 litres	Dangereux pour l'environnement (N)	R 52/53	Nocif pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique. Point éclair: 240°C
RENOLIN UNISYN CLP 220 (lubrifiant)	Huile d'engrenage, Transmissions d'orientation: 7 litres Arbre de renvoi: 4 à 6 litres	Dangereux pour l'environnement (N)	R53	Peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique. Point éclair: 260°C

Les substances mises en œuvre dans les équipements des éoliennes ont toutes un point éclair (PE) supérieur à 200°C :

- Graissage de la transmission d'orientation et du palier d'orientation: MOBILGEAR SHC 460; PE > 240°C,
- Graissage du palier à roulements: MOBILTAC 81; PE > 204°C,
- Graisse des roues dentées/du palier d'orientation/du palier à roulements: Klüberplex BEM 41-141; PE > 250°C.

La substance mise en œuvre dans le transformateur (Shell Diala D get, huile isolante) a un point éclair de 145°C.

Les classifications R52, R53 prises isolément ou/et R52/R53 ne sont pas susceptibles de donner lieu à un classement dans la nomenclature. Les R38 et R41 ne donnent pas non plus lieu à un classement.

L'ensemble de ces substances n'est pas classé comme dangereux au regard de la nomenclature ICPE.

5.1.2. Phénomènes dangereux associés au caractère inflammable des huiles et des graisses

Feu de flaque/Feu de nappe

Lorsque de l'huile se répand sur le sol ou sur une surface, elle forme une nappe qui s'évapore plus ou moins vite selon les caractéristiques du milieu sur lequel elle s'étend.

Étant donné le point éclair élevé de ces huiles, elles s'enflammeront difficilement. Cependant, un feu de nappe ou un feu de flaque ne peut être écarté.

5.2. Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien Girolles 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,
- Échauffement 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	Échauffement des pièces mécaniques et flux thermique
Pale	Prise au vent	Bris de pale ou chute de pale	Énergie cinétique d'éléments de pales
Aérogénérateur	Production d'énergie électrique à partir d'énergie éolienne	Effondrement	Énergie cinétique de chute
Poste 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	Énergie cinétique de projection
Rotor	Transformer l'énergie éolienne en énergie mécanique	Projection d'objets	Énergie cinétique des objets
Nacelle	Protection des équipements destinés à la production électrique	Chute de nacelle	Énergie cinétique de chute

5.3. Réduction des potentiels de dangers à la source

5.3.1. Principales actions préventives

A. Choix de l'emplacement

Le site d'implantation du parc éolien Girolles a été sélectionné pour les raisons suivantes :

- la zone d'étude est composée en grande partie de champs cultivés,
- aucune route structurante n'est présente sur le site,
- les éoliennes sont éloignées des habitations : à plus de 1,7 km,
- aucune voie ferroviaire ne passe dans la zone d'étude,
- aucun cours d'eau navigable n'est présent dans la zone d'étude,
- les éoliennes sont en retrait des lignes électriques aériennes haute tension (environ 835 m) et des canalisations de transport de gaz (environ 3,5 km).

La présence de servitudes aéronautiques et du radar météorologique d'Arcis a été prise en compte lors du choix du modèle et de l'emplacement des différentes éoliennes.

B. Choix de l'éolienne

Les éoliennes ENERCON sont conçues sans multiplicateur. Ce design permet une réduction significative des quantités de substances dangereuses pour l'environnement par rapport à des éoliennes traditionnelles.

La partie rotative du générateur annulaire ENERCON et le rotor forment une unité. Ces pièces sont fixées directement sur le moyeu, de sorte qu'elles tournent à la même vitesse de rotation (vitesse lente). Grâce à l'absence de boîte de vitesses et d'autres pièces à grande vitesse de rotation, les pertes d'énergie entre le rotor et le générateur, les bruits émis, la consommation d'huile à engrenages et l'usure mécanique se trouvent considérablement réduits.

En raison de la faible vitesse de rotation et de la grande section transversale du générateur, le niveau de température reste relativement bas en service et ne subit que de faibles variations. De faibles fluctuations de température pendant le fonctionnement et des variations de charges relativement rares réduisent les tensions mécaniques et le vieillissement des matériaux.

• Engrenage

L'éolienne ne possède pas de système d'engrenage principal : le rotor est directement couplé à un générateur annulaire.

La vitesse de rotation n'a pas besoin d'être échelonnée. Par conséquent, la quantité d'huile d'engrenage habituellement disponible sur les éoliennes classiques (> 200 litres) n'est pas nécessaire.

• Transmissions d'orientation

L'éolienne possède entre 4 et 12 transmissions d'orientation (pour contrôler l'orientation de la nacelle). Chacune de ces transmissions est remplie d'environ 7 litres d'huiles (soit moins de 100 litres au maximum). Les moteurs électriques reposent directement sur les transmissions.

Les transmissions se trouvent dans le support principal qui peut recueillir toute la quantité d'huile, par ailleurs les réservoirs d'huile sont montés sous les entraînements d'orientation.

• Système de réglage des pales

Trois arbres de renvoi (pitch gear) permettent de régler les pales des éoliennes avec chacune un moteur pitch. Les arbres de renvoi ne sont remplis que de quelques litres d'huile d'engrenage (environ 2 litres). La totalité de la nacelle et la tête de rotor sont placées dans un carénage de sorte que des

éventuelles pertes d'huile par défaut d'étanchéité soient recueillies dans celui-ci.

- **Graissage du palier à roulement**

Les profils de dents et le palier de l'éolienne sont lubrifiés à l'aide de 2,7 litres de graisses spéciales. L'excédent de graisse ou les fuites éventuelles sont contenus dans les équipements.

- **Alimentation en lubrifiant des paliers**

Les paliers à roulement et à pivotement de l'éolienne sont alimentés en permanence en graisse au moyen d'unités de graissage permanent. Il s'agit de cartouches fermées de 125 ml chacune. Leur contenu est remplacé au cours de la maintenance.

- **Huile du transformateur**

Le transformateur est situé selon la version au pied du mât ou dans un poste situé à l'extérieur du mât. Le puisard dans le sol en béton du poste est verrouillé et perméable à l'huile et peut recueillir l'ensemble de l'huile de transformation (environ 600 litres). Si le transformateur est installé dans le mât, une goulotte en acier assure la collecte de toute l'huile du transformateur. Les bacs de rétention d'huile dans les postes et les sous-sols de mâts sont étanches à l'huile.

- **Le modèle E-82 d'une hauteur totale de 100 ou 110 mètres**

L'éolienne ENERCON E-82 a été sélectionnée parmi plusieurs types de machines pour être conforme à la classe de vent du site et la hauteur du moyeu est adaptée pour optimiser le potentiel éolien du site et produire le plus possible d'énergie électrique.

1.1.2. 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 États-membres une autorisation environnementale avant leur mise en service.

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

6. Analyse des retours d'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, littératures 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 rencontrées tant au niveau national qu'international. Ces typologies apportent un éclairage sur les scénarios les plus rencontrés. D'autres informations sont également utilisées pour l'analyse détaillée des risques.

6.1. Inventaire des accidents et incidents en France

Un inventaire des incidents et accidents en France a été réalisé afin d'identifier les principaux phénomènes dangereux potentiels pouvant affecter le parc éolien Girolles.

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) et complété par les données disponibles de la base de données ARIA.

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.

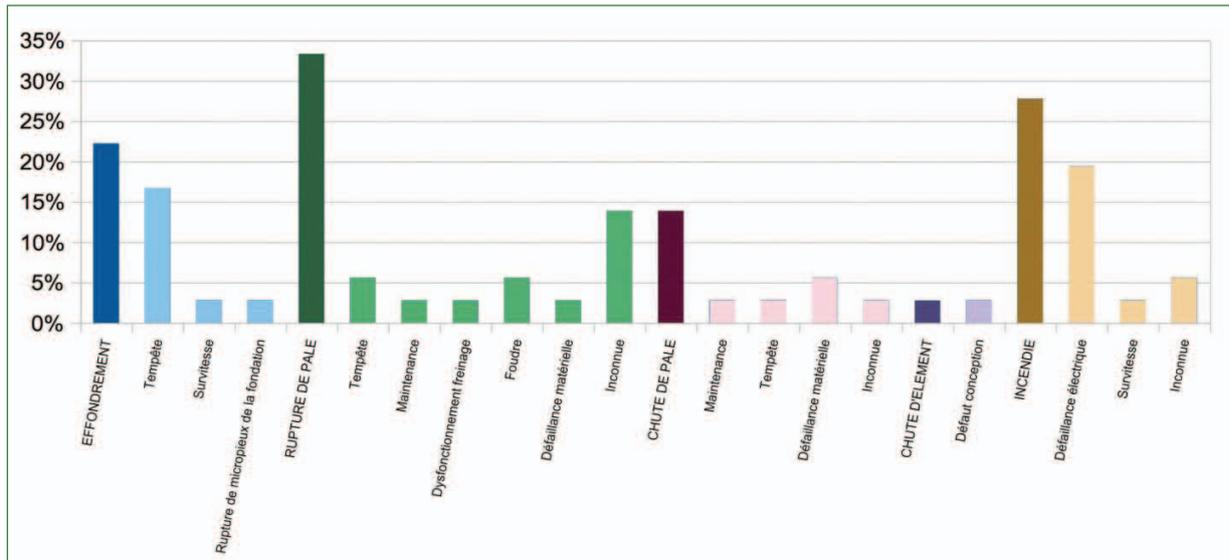
Dans l'état actuel, la base de données élaborée par le groupe de travail de INERIS/SER FEE ayant élaboré le guide technique d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis l'année 2000. 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. Ce tableau de travail a été validé par les membres du groupe de travail précédemment mentionné. Il est complété par 13 incidents supplémentaires enregistrés en France entre 2012 et fin 2015.

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 évènements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et 2015

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

Date	Localisation	Incident
2000	Port la Nouvelle (Aude)	Le mât d'une machine de la ferme éolienne s'est plié lors d'une tempête, suite à la perte d'une pale
2001	Sallèles-Limousis (Aude)	Bris de pale dont la cause n'est pas connue.
01/02/2002	Wormhout (Nord)	Bris de pale et mat plié à la suite d'une tempête.
25/02/2002	Sallèles-Limousis (Aude)	Bris de pale sur une éolienne bipale, lors d'une tempête.
01/07/2002	Port la Nouvelle – Sigean (Aude)	Électrocution et brûlures d'un opérateur par contact avec une partie sous haute tension d'un transformateur.
28/12/2002	Nevian (Aude)	Effondrement d'une éolienne suite au dysfonctionnement du système de freinage lors d'une tempête.
05/11/2003	Sallèles-Limousis (Aude)	Bris de pales sur 3 éoliennes lié à un dysfonctionnement du système de freinage.
2004	Escales-Conilhac (Aude)	Bris de trois pales.
01/01/2004	Le Portel - Boulogne-sur-Mer (Pas de Calais)	Cassure du mât d'une éolienne et chute de plusieurs pales - Défaut de serrage des boulons servant à relier 2 tronçons du mât (défaillance d'entretien).

Date	Localisation	Incident
20/03/2004	Loon Plage - port de Dunkerque	Une éolienne est abattue par le vent : le mât et une partie de sa fondation ont été arrachés. Cause non identifiée.
22/06/2004	Pleyber-Christ (Finistère)	Premier incident : une pale se brise par vent fort
08/07/2004	Pleyber-Christ (Finistère)	Deuxième incident : une autre pale se brise par vent fort
22/12/2004	Montjoyer-Rochefort (Drôme)	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne en raison de vents forts et d'un dysfonctionnement du système de freinage.
2005	Wormhout (Nord)	Bris de pale
07/10/2006	Pleyber-Christ (Finistère)	Troisième incident : une éolienne perd une pale
18/11/2006	Roquetaillade (Aude)	Incendie de 2 éoliennes – Acte de malveillance
03/12/2006	Bondues (Nord)	Effondrement d'une éolienne en zone industrielle, relatif à une tempête.
31/12/2006	Ally (Haute-Loire)	Chute de pale lors de la maintenance visant à remplacer les rotors.
02/03/2007	Clitours (Manche)	Bris de pale de 4 m de long, projeté à plus de 200 mètres.
11/10/2007	Plouvien (Finistère)	Chute d'un élément de la nacelle (la trappe de visite)
10/03/2008	Dinéault (Finistère)	Emballement de l'éolienne (sans bris de pale associé) lors d'une tempête – dysfonctionnement du système de freinage.
04/04/2008	Plouguin (Finistère)	Collision d'un petit avion avec une éolienne, sans gravité pour le pilote amateur, vraisemblablement à cause des mauvaises conditions météo l'obligeant à voler au-dessous de l'altitude autorisée.
19/07/2008	Erizée-la-Brulée (Meuse)	Chute de pale et projection de morceaux de pale suite à un coup de foudre et un défaut de pale.
21/08/2008	Vauvillers (Somme)	Incendie de la nacelle relatif à problème au niveau d'éléments électroniques
26/12/2008	Raival (Meuse)	Chute de pale - cause inconnue.
26/01/2009	Clastres (Aisne)	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance suite à l'explosion d'un convertisseur.
08/06/2009	Bollène (Vaucluse)	Bout de pale éolienne ouverte liée à un coup de foudre.
21/10/2009	Froidfond – Espinassière (Vendée)	Incendie de la nacelle - cause inconnue.
30/10/2009	Freyssenet (Ardèche)	Incendie de la nacelle relatif à court-circuit faisant suite à une opération de maintenance
20/04/2010	Toufflers (Nord)	Décès d'un technicien (crise cardiaque) au cours d'une opération de maintenance.
30/05/2010	Port la Nouvelle (Aude)	Effondrement d'une éolienne – Rotor endommagé par survitesse.
19/09/2010	Rochefort-en-Valdaine (Drôme)	Emballement de deux éoliennes et incendie des nacelles lors d'une tempête et relatif à un dysfonctionnement du système de freinage.
15/12/2010	Pouillé-les-Côteaux (Loire-Atlantique)	Chute de 3 m d'un technicien de maintenance. Aucune blessure grave.
31/05/2011	Mesvres (Saône-et-Loire)	Collision entre train régional et un convoi exceptionnel transportant une pale d'éolienne. Aucun blessé.
14/12/2011	Non communiqué	Rupture de pale liée à la foudre.
03/01/2012	Non communiqué	Acte de vandalisme : départ de feu au pied de tour.

Date	Localisation	Incident
04/01/2012	Widehem (Pas-de-Calais)	Bris de pales – Projection à 380 m
06/02/2012	Lehaucourt (Aisne)	Opération de maintenance dans la nacelle - un arc électrique (690V) blesse deux sous-traitants (brûlure sérieuse au visage et aux mains)
11/04/2012	Sigean (Aude)	Impact sur le mât et projection de débris de pale suite à un impact de foudre
18/05/2012	Fresnay l'Evêque (Eure)	Chute d'une pale au pied d'une éolienne et rupture du roulement qui raccordait la pale au hub.
30/05/2012	Port-la-Nouvelle (Aude)	Chute d'une éolienne liée à des rafales de vent de 130 km/h – Éolienne de 1991, tour en treillis (200 kW)
01/11/2012	Vieillespesse (Cantal)	Projection d'un élément de la pale à 70 m du mât pour une éolienne de 2,5 MW.
05/11/2012	Sigean (Aude)	Feu sur une éolienne de 660 KW entraînant une chute de pale et enflammant 80 m ² de garrigue environnante
06/03/2013	Conihac-de-la-Montagne (Aude)	Chute d'une pale liée à un problème de fixation entraînant un arrêt automatique de l'éolienne (détection d'échauffement + vitesse de rotation excessive).
17/03/2013	Euvy (Marne)	Incendie dans une nacelle conduisant à la chute d'une pale et une fuite de 450 litres d'huile en provenance du multiplicateur. L'origine du feu est liée à une défaillance électrique. Le feu a été maîtrisé en 1 heure.
20/06/2013	Labastide-sur-Besorgues (Ardèche)	Éolienne endommagée par un impact de foudre
03/08/2013	Moreac (Morbihan)	Perte de 270 litres d'huile hydraulique d'une nacelle élévatrice intervenant sur une éolienne – pollution du sol sur 80 m ²
09/01/2014	Anthény (Ardennes)	Feu dans une nacelle au niveau de la partie moteur
20/01/2014	Sigean (Aude)	Chute d'une pale au pied d'une éolienne suite à un défaut de vibration
14/11/2014	Saint-Cirques-en-Montagne (Ardèche)	Chute d'une pale d'éolienne lors d'un orage (vents à 130 km/h)
05/12/2014	Fitou (Aude)	Chute de l'extrémité d'une pale
29/01/2015	Remigny (Aisne)	Incendie d'une éolienne (défaut d'isolation au niveau des connexions de conducteurs de puissance)
06/02/2015	Lusseray (Deux-Sèvres)	Incendie d'une éolienne (feu au niveau d'une armoire électrique où interviennent 2 techniciens)
24/08/2015	Santilly (Eure-et-Loir)	Incendie d'une éolienne
10/11/2015	Mesnil-la-Horgne (Meuse)	Chute du rotor
07/02/2016	Conilhac-Corbieres (Aude)	Rupture et chute de l'aérofrein d'une des 3 pales d'une éolienne
08/02/2016	Dineault (Finistère)	Chute d'une pale et déchirement d'une autre par des vents à 160 km/h. Pale rompue retrouvée à 40 m du pied du mat
07/03/2016	Calanhel (Côte d'Armor)	Rupture et chute d'une pale d'éolienne à 5 m du pied du mât (défaillance du système d'orientation de la pale)
28/05/2016	Janville (Eure-et-Loir)	Fuite d'huile dans une éolienne (défaillance d'un raccord sur le circuit de refroidissement de l'huile de la boîte de vitesse de l'éolienne)
10/08/2016	Hescamps (Somme)	Feu dans une éolienne
18/08/2016	Dargies (Oise)	Feu dans une éolienne (défaillance électrique à l'origine de l'incendie)
14/09/2016	Les Grandes-Chapelles (Aube)	Électrisation d'un employé dans une éolienne
11/01/2017	Le Quesnoy (Nord)	Fissure sur une pale d'éolienne

Date	Localisation	Incident
12/01/2017	Tuchan (Aude)	Rupture de 3 pales d'une éolienne
18/01/2017	Nurlu (Somme)	Chute d'une pale d'une éolienne. L'essentiel des débris se situe à moins de 90 m du mât. Les débris les plus lourds sont à moins de 27 m
27/02/2017	Trayes (Deux-sèvres)	Chute d'un élément d'une pale d'éolienne (défaut de fabrication)
27/02/2017	Lavallée (Meuse)	Rupture d'une pale d'éolienne. Une rafale de vent extrême ayant été mesurée dans les secondes précédant la rupture, cette origine est privilégiée pour expliquer la casse de la pale
06/06/2017	Allonnes (Eure-et-loir)	Feu dans la nacelle d'une éolienne (un défaut des condensateurs du boîtier électrique, situé dans la nacelle, pourrait être à l'origine du sinistre)
08/06/2017	Aussac-Vadalle (Charente)	Chute de pale d'éolienne due à la foudre (débris tombés dans une zone de 50 à 100 m du mât)
24/06/2017	Conchy-sur-Canche (Pas-de-Calais)	Chute d'une pale d'éolienne
17/07/2017	Fecamp (Seine-Maritime)	Chute d'un aérofrein d'une éolienne (le desserrage d'une vis anti-rotation a provoqué la chute de l'aérofrein)
24/07/2017	Mauron (Morbihan)	Fuite d'huile sur une éolienne (vétusté du flexible à l'origine de la fuite)
05/08/2017	Priez (Aisne)	Bris d'une pale d'éolienne
08/11/2017	Roman (Eure)	Chute du carénage d'une éolienne (la chute du carénage est due à un défaut d'assemblage de ses boulonnages)
01/01/2018	Bouin (Vendée)	Chute d'une éolienne lors d'une tempête. Le protocole des inspections de maintenance ne couvrait pas la liaison mécanique entre le moteur et les freins. L'usure de cet équipement n'a pas été détectée lors des contrôles annuels.
04/01/2018	Nixeville-Blercourt (Meuse)	Chute d'une pale d'éolienne lors d'un épisode venteux (morceaux les plus éloignés ramassés à 200 m)
06/02/2018	Conilhac-Corbières (Aude)	Chute de l'aérofrein d'une pale d'éolienne : suite à un défaut sur l'électronique de puissance, l'éolienne est passée en arrêt automatique par sollicitation du freinage aérodynamique. Lors de l'ouverture de l'aérofrein en bout de pale, son axe de fixation en carbone s'est rompu provoquant sa chute
01/06/2018	Marsanne (Drôme)	Incendies criminels dans un parc éolien (l'origine de l'événement est criminelle : les portes d'accès aux éoliennes impliquées ont été fracturées et du combustible est découvert)
05/06/2018	Aumelas (Hérault)	Incendie d'éolienne (dysfonctionnement électrique à l'origine de l'incendie)
04/07/2018	Port-la-Nouvelle (Aude)	Chute des extrémités de 2 pales d'une éolienne (éléments projetés à 150 m du mât après s'être décrochés)
03/08/18	Izenave (Ain)	Incendie du rotor (a priori criminel)
29/09/18	Sauveterre (Tarn)	Incendie du rotor
06/11/18	Guigneville (Loiret)	Effondrement d'une éolienne
19/11/18	Ollezy (Aisne)	Chute d'une pâte d'éolienne
03/01/19	La Limouzinière (Loire-Atlantique)	Incendie du rotor
17/01/19	Bambiderstroff (Moselle)	Chute d'un bout de pale
23/01/19	Campeaux (Oise)	Bris du mat (morceaux les plus éloignés ramassés à 300 m)
30/01/19	Roquetaillade (Aude)	Chute de pale
03/04/19	Equancourt (Somme)	Incendie du rotor et bris de pale dû à la foudre

Date	Localisation	Incident
25/06/19	Kéruel (Morbilhan)	Incendie du rotor
24/03/20	Flavin (Aveyron)	Incendie d'une éolienne

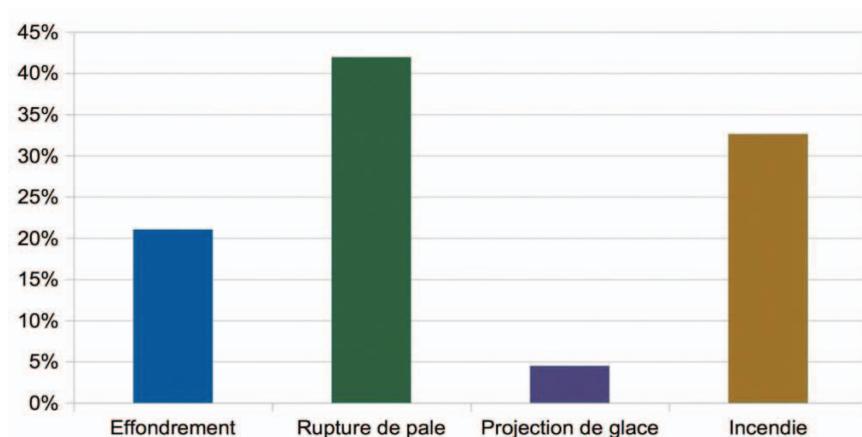
Liste des incidents intervenus en France (source : aria.developpement-durable.gouv.fr)

6.2. Inventaires 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 2019.

La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur les 2662 accidents décrits dans la base de données au moment de sa mise à jour, 1601 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.

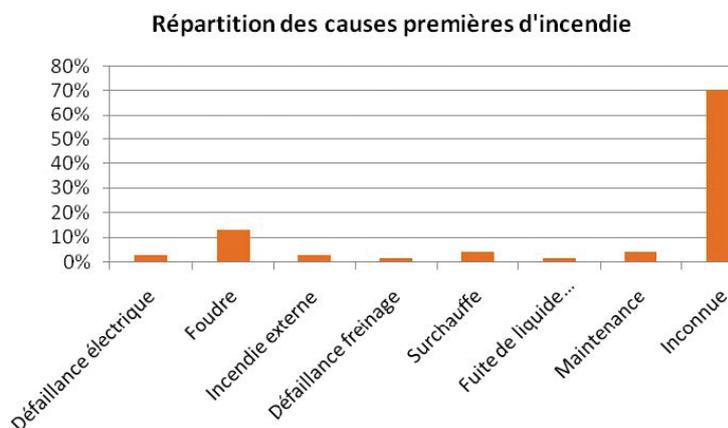
Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels par rapport à la totalité des accidents analysés.



Répartition des évènements accidentels dans le monde entre 2000 et 2019

La répartition des évènements accidentels dans le monde entre 2000 et 2015 du même ordre de grandeur que celle qui avait été observée entre 2000 et 2011 par le groupe de travail de SER/FEE.

Ci-après, le recensement des causes premières présenté pour chacun des événements accidentels recensés (données en répartition par rapport à la totalité des accidents analysés) est celui qui porte sur les données 2000- 2011 analysées par le groupe de travail mentionné précédemment.



Répartition des causes premières d'incendie

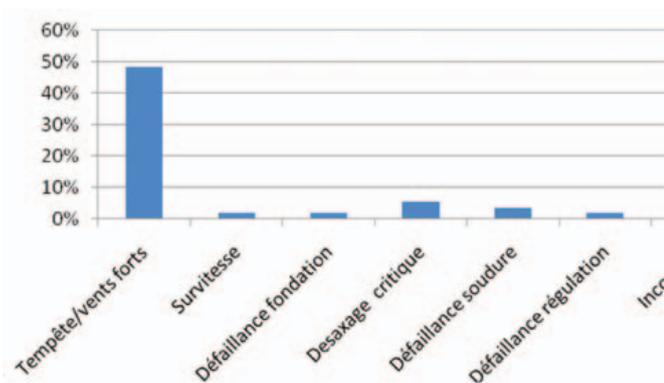
Tout comme pour le retour d'expérience français, ce retour d'expérience montre l'importance des causes « tempêtes et vents forts » dans les accidents. Il souligne également le rôle de la foudre dans les accidents.

6.3. Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience

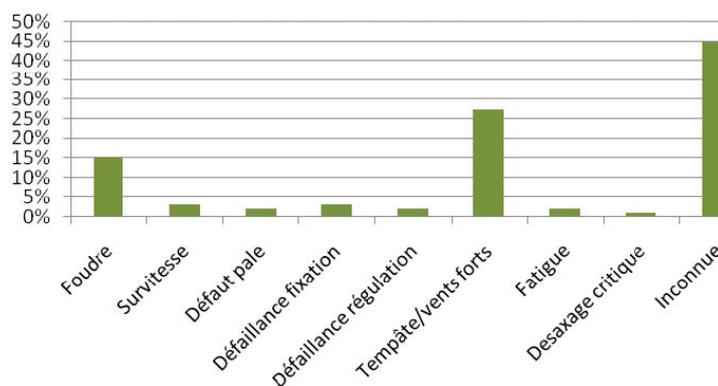
6.3.1. Analyse de l'évolution des accidents en France

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

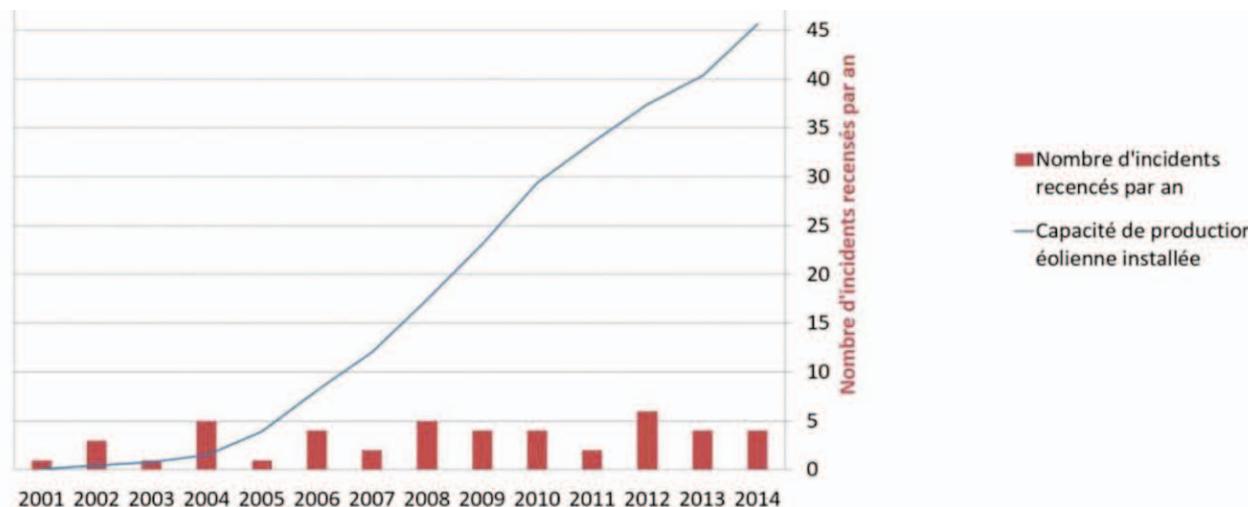
La figure ci-dessous montre cette évolution et il apparaît clairement que le nombre d'incidents n'augmente pas proportionnellement au nombre d'éoliennes installées. Depuis 2005, l'énergie éolienne s'est en effet fortement développée en France, mais le nombre d'incidents par an reste relativement constant.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



Répartition des causes premières d'effondrement



Répartition des causes premières de rupture de pale



Évolution du nombre d'incidents annuels en France et de la puissance éolienne installée

6.3.2. Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

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

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

6.3.3. Limites d'utilisation de l'accidentologie

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

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

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

7. Analyse préliminaire des risques

7.1. Objectif de l'analyse préliminaire des risques

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

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

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

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

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

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

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

7.3. Recensement des agressions externes potentielles

7.3.1. Agressions externes liées aux activités humaines

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

Infrastructure	Fonction	Événement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Distance par rapport au mât des éoliennes
Voies de circulation non structurantes	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Énergie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	Détail dans le tableau ci-après
Voie de circulation structurante	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Énergie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	NA
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Énergie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2000 m	NA
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	NA
Aérogénérateur du parc existant	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Énergie cinétique des éléments projetés	500 m	NA (détail dans le tableau ci-après)
Conduite de gaz doux	Transport	Fuite de la conduite	Flux thermiques	300 m	NA

Voie de circulation non structurante	Éolienne	Distance
Chemin rural dit le Tretre Final	EOL51	46 m
Chemin rural dit de Pampelune	EOL53	170 m

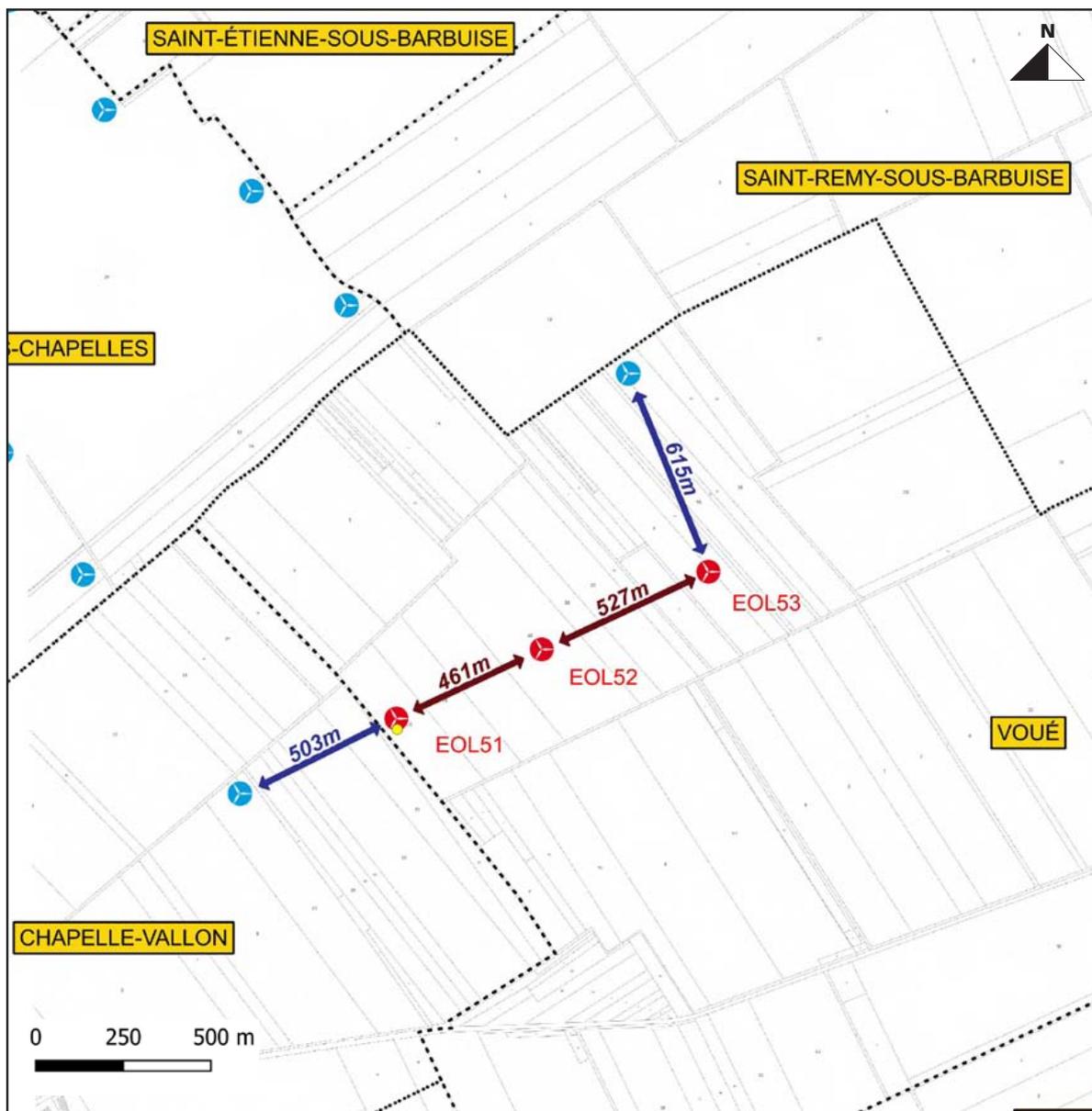
Éolienne	Distance
EOL51 - EOL52	461 m
EOL52 - EOL53	527 m
EOL51 - EOL Grandes Chapelles	506 m
EOL53 - EOL Banléés	615 m

7.3.2. Agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

Agression externe	Intensité
Vents et tempête	Les rafales de vent peuvent atteindre 150 km/h. Pas concerné par les cyclones tropicaux.
Foudre	Les éoliennes respectent la norme IEC 61400-24 (juin 2010)
Glissement de sols/affaissement miniers	NA

Potentiel de dangers		Description des dangers
Conditions climatiques exceptionnelles	Température	<p>Les températures peuvent altérer, de façon temporaire ou définitive, le fonctionnement du matériel en modifiant les propriétés physiques ou les dimensions des matériaux qui le composent.</p> <p>L'environnement est généralement soumis à des cycles de température. Ils accroissent souvent les effets des variations de température et peuvent conduire à une fatigue mécanique précoce. L'application rapide de contraintes, de chocs thermiques, risque de rendre cassants certains matériaux et de provoquer une rupture pour une contrainte de fatigue nettement inférieure à celle qui serait nécessaire dans les conditions stables.</p> <p>Les défauts de fonctionnement, le plus fréquemment, rencontrés sur les installations sont les dysfonctionnements de composants électroniques dus à des décompositions et des ruptures de diélectriques, provoquées par de trop hautes températures. La combinaison de températures froides avec un taux d'humidité élevé peut conduire à la formation de glaces sur les pales des éoliennes. Dans ces conditions climatiques extrêmes (« cinq conditions »), des gouttes d'eau surfondues heurtent les pales froides et gèlent. Des blocs de glace peuvent alors se former sur les pales de l'éolienne et être projetés sous l'effet du vent ou de la rotation des pales.</p> <p>En raison de la faible vitesse de rotation et de la grande section transversale du générateur, le niveau de température reste relativement bas en service et ne subit que de faibles variations. De faibles fluctuations de température pendant le fonctionnement et des variations de charges relativement rares réduisent les tensions mécaniques et le vieillissement s'exerçant sur les matériaux.</p>
	Pluie	<p>Les précipitations sont l'une des sources d'humidité qui constituent un facteur essentiel dans la plupart des types de corrosion. L'impact des gouttes de pluie risque d'engendrer une érosion de nombreux matériaux et de revêtements de protection.</p> <p>À l'extérieur, les pales du rotor sont protégées des intempéries par un revêtement de surface. Ce revêtement à base de polyuréthane est robuste et très résistant.</p> <p>De fortes précipitations peuvent conduire à une inondation ayant pour conséquence la dégradation des installations et une éventuelle chute du mât des éoliennes.</p>



Distance des éoliennes

Conditions climatiques exceptionnelles	Neige et glace	<p>La neige est une précipitation de cristaux de glace. Son accumulation sur des surfaces horizontales occasionne des charges importantes. Les défauts le plus souvent rencontrés sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • rupture des structures, due à une charge trop importante, • courts-circuits par dépôts de neige, • perte de visibilité. <p>Par les surcharges qu'il apporte aux toitures, l'enneigement peut provoquer leur effondrement si elles ne sont pas suffisamment dimensionnées.</p> <p>En raison de la forme aérodynamique de la nacelle, le risque d'accumulation de neige est limité.</p> <p>Risque d'accumulation de neige sur les pales. Ce cas de charge n'est pas dimensionnant pour l'éolienne.</p>
	Vents violents	<p>Les vents violents peuvent être la cause de détériorations de structures, de chute/pliage de mât, de survitesse des pales et de projection de pales. Les vents violents sont pris en compte dans le dimensionnement des éoliennes. Les cas de charge sont décrits dans la norme IEC 61400.</p>
Conditions climatiques exceptionnelles	Foudre	<p>La foudre est un phénomène électrique de très courte durée, véhiculant des courants de forte intensité, 20 kA en moyenne avec des maxima de l'ordre de 100 kA, se propageant avec des fronts de montée extrêmement raides entre deux masses nuageuses ou entre une masse nuageuse et le sol.</p> <p>Les dangers liés à la foudre sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • les effets thermiques pouvant être à l'origine : <ul style="list-style-type: none"> . d'un incendie ou d'une explosion, soit au point d'impact, soit par l'énergie véhiculée par les courants de circulation conduits ou induits, . de dommages aux structures et construction, • les perturbations électromagnétiques qui entraînent la formation de courants induits pouvant endommager les équipements électroniques, en particulier les équipements de contrôle commande et/ou de sécurité, • les effets électriques pouvant induire des différences de potentiel. <p>De par leur taille, les éoliennes sont particulièrement vulnérables au risque foudre.</p> <p>L'éolienne est équipée d'un système parafoudre fiable afin d'éviter que l'éolienne ne subisse de dégâts.</p> <p>Les éoliennes doivent également répondre aux exigences de l'arrêté du 15 janvier 2008 relatif à la protection contre la foudre de certaines installations classées :</p> <p>- Article 1, deuxième alinéa : « <i>En outre, les dispositions du présent arrêté peuvent être rendues applicables par le préfet aux installations classées soumises à autorisation non visées par l'annexe du présent arrêté dès lors qu'une agression par la foudre sur certaines installations classées pourrait être à l'origine d'événements susceptibles de porter atteinte, directement ou indirectement, aux intérêts visés à l'article L.511-1 du code de l'environnement.</i> »</p> <p>- L'article 3 de cet arrêté précise que la définition des mesures de prévention et des dispositifs de protection doit être réalisée dans une étude technique, distincte de l'Analyse du Risque Foudre, qui définira également les modalités de leur vérification et de leur maintenance.</p>

Mouvements de terrain	Séisme	<p>Les séismes sont caractérisés par deux grandeurs : la magnitude et l'intensité.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La magnitude est une mesure logarithmique de la puissance du séisme (énergie dégagée sous forme d'ondes élastiques au sol). <p>Cette notion a été définie par Richter en 1935. C'est une grandeur continue. L'énergie est multipliée par 30 quand la magnitude croît de 1. La magnitude seule ne permet pas de caractériser les dégâts causés à la surface du séisme. En effet, ceux-ci dépendent aussi de la nature et des mouvements du sol, du contenu fréquentiel et de la durée du phénomène.</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'intensité macrosismique permet de caractériser les effets destructeurs observés des séismes. C'est une quantité empirique, basée sur des observations. <p>C'est la seule quantité qui puisse être utilisée pour décrire l'importance des séismes historiques qui ont eu lieu avant l'ère instrumentale, c'est-à-dire avant les premiers réseaux d'observation sismologique du début du siècle.</p> <p>La prévention du risque sismique est notamment régie par :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Le Code de l'Environnement, au travers des articles R.563-1 à R.563-8 relatifs à la prévention du risque sismique, • l'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal » • Décret n° 2010-1255 du 22/10/10 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français • Décret n° 2010-1254 du 22/10/10 relatif à la prévention du risque sismique • Circulaire n° 2000-77 du 31/10/00 relative au contrôle technique des constructions pour la prévention du risque sismique • Arrêté du 10 mai 1993 fixant les règles parasismiques applicables aux installations soumises à la législation sur les installations classées • Circulaire DPPR/SEI du 27 mai 1994 relative à l'arrêté du 10 mai 1993 fixant les règles parasismiques applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement. <p>Les articles R.563-1 à D.563-8-1 du Code de l'Environnement définissent :</p> <ul style="list-style-type: none"> • le risque « normal », • le risque « spécial », • les Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles, • Pour l'application des mesures de prévention du risque sismique aux bâtiments, équipements et installations de la classe dite « à risque normal », le territoire national est divisé en cinq zones de sismicité croissante : • Zone de sismicité 1 (très faible); • Zone de sismicité 2 (faible); • Zone de sismicité 3 (modérée); • Zone de sismicité 4 (moyenne); • Zone de sismicité 5 (forte). <p>La présence d'une grande partie de la masse en haut de la tour rend les éoliennes particulièrement vulnérables aux séismes. Un séisme pourrait conduire à la chute du mât. Les éoliennes sont dimensionnées conformément à la réglementation française en vigueur.</p>
Mouvement de terrain hors séisme		<p>Un mouvement de terrain pourrait être à l'origine d'une chute d'éolienne.</p> <p>Le risque de mouvement de terrain hors séisme doit faire l'objet d'une étude géotechnique. Son but est de garantir un bon dimensionnement des installations au vu de la géologie du site d'implantation, ceci afin d'écarter le risque de mouvement de terrain hors séisme.</p>
Incendie de végétation		<p>Un incendie de la végétation présente dans le site et aux alentours serait susceptible de se propager aux installations.</p>

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 61400-24 (juin 2010) est respectée. Ces conditions sont reprises dans la fonction de sécurité n°6 ci-après.

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

7.4. Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques

Le tableau ci-après 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'événements redoutés centraux identifiés grâce au retour d'expérience du groupe de travail précédemment cité (« G » pour les scénarios concernant la glace, « I » pour ceux concernant l'incendie, « F » pour ceux concernant les fuites, « C » pour ceux concernant la chute d'éléments de l'éolienne, « P » pour ceux concernant les risques de projection, « E » pour ceux concernant les risques d'effondrement).

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
G01	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales, le mât et la nacelle	Chute de glace lorsque les éoliennes sont arrêtées	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace (N°2)	Impact de glace sur les enjeux	1
G02	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	Projection de glace lorsque les éoliennes sont en mouvement	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de la glace (N°1)	Impact de glace sur les enjeux	2
I01	Humidité/Gel	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I02	Dysfonctionnement électrique	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I03	Survitesse	Échauffement 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	Échauffement 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 SF ₆) 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 SF ₆) 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	Écoulement 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

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Écoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
C01	Défaut de fixation	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	1
C02	Défaillance fixation anémomètre	Chute anémomètre	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction ' exploitation) (N°9)	Impact sur cible	1
C3	Défaut fixation nacelle ' pivot central ' mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction ' exploitation) (N°9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop importantes sur les pales	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Impact sur cible	2
P03	Serrage inapproprié Erreur maintenance – desserrage	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction ' exploitation) (N°9)	Impact sur cible	2
E01	Effets dominos autres installations	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction ' exploitation) (N°9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E02	Glissement de sol	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction ' exploitation) (N°9)	Projection/chute fragments et chute mât	2

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
E05	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction ' exploitation) (N°9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E07	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du plan de prévention (N°13)	Chute fragments et chute mât	2
E08	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction ' exploitation) (N°9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°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
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

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.

7.5. Effets dominos

Lors d'un accident majeur sur une éolienne, une possibilité est que les effets de cet accident

endommagent d'autres installations. Ces dommages peuvent conduire à un autre accident. Par exemple, la projection de pale impactant les canalisations d'une usine à proximité peut conduire à des fuites de canalisations de substances dangereuses.

Ce phénomène est appelé « effet domino ».

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

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.

7.6. Mise en place des mesures de sécurité

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les fonctions de sécurité identifiées et mises en œuvre sur les éoliennes du parc éolien Girolles.

Dans le cadre de la présente étude de dangers, les fonctions de sécurité sont détaillées selon les critères suivants :

- **Fonction de sécurité** : il est proposé ci-dessous un tableau par fonction de sécurité. Cet intitulé décrit l'objectif de la ou des mesure(s) de sécurité : il s'agira principalement de « empêcher, éviter, détecter, contrôler ou limiter » et sera en relation avec un ou plusieurs événements conduisant à un accident majeur identifié dans l'analyse des risques. Plusieurs mesures de sécurité peuvent assurer une même fonction de sécurité.
- **Numéro de la fonction de sécurité** : ce numéro vise à simplifier la lecture de l'étude de dangers en permettant des renvois à l'analyse de risque par exemple.
- **Mesures de sécurité** : cette ligne permet d'identifier les mesures assurant la fonction concernée. Dans le cas de systèmes instrumentés de sécurité, tous les éléments de la chaîne de sécurité sont présentés (détection + traitement de l'information + action).
- **Description** : cette ligne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires.
- **Indépendance** (« oui » ou « non ») : cette caractéristique décrit le niveau d'indépendance d'une mesure de maîtrise des risques vis-à-vis des autres systèmes de sécurité et des scénarios d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner « oui ») ou non (renseigner « non »).
- **Temps de réponse** (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité.
- **Efficacité** (100 % ou 0 %) : l'efficacité mesure la capacité d'une mesure de maîtrise des risques à remplir la fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation.

- **Test (fréquence)**: dans ce champ sont rappelés les tests/essais qui seront réalisés sur les mesures de maîtrise des risques. Conformément à la réglementation, des essais d'arrêt, d'arrêt d'urgence et d'arrêt à partir d'une situation de survitesse seront réalisés avant la mise en service de l'aérogénérateur. Dans tous les cas, les tests effectués sur les mesures de maîtrise des risques seront tenus à la disposition de l'inspection des installations classées pendant l'exploitation de l'installation.
- **Maintenance (fréquence)**: ce critère porte sur la périodicité des contrôles qui permettront de vérifier la performance de la mesure de maîtrise des risques dans le temps. Pour rappel, la réglementation demande qu'à minima: un contrôle tous les ans soit réalisé sur la performance des mesures de sécurité permettant de mettre à l'arrêt, à l'arrêt d'urgence et à l'arrêt à partir d'une situation de survitesse et sur tous les systèmes instrumentés de sécurité.

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité : 1
Mesures de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage (analyse des paramètres de puissance). Temps de redémarrage automatique échelonné en fonction de la température extérieure.	
Description	Système de détection redondant du givre permettant, en cas de détection de glace, une mise à l'arrêt rapide de l'aérogénérateur. Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site.	
Indépendance	Non. Les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. En cas de danger particulièrement élevé sur site (survol d'une zone fréquentée sur site soumis à des conditions de gel importantes), des systèmes additionnels peuvent être envisagés.	
Temps de réponse	Quelques minutes (<60 min.) conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011.	
Efficacité	100 %	
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne.	
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.	

Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité : 2
----------------------	---	-----------------------------------

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

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité : 3
Mesures de sécurité	Capteurs de température des pièces mécaniques. Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes. Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement. Communication continue des paramètres de fonctionnement ainsi que des alarmes au centre de contrôle ENERCON via le système SCADA. Mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement et intervention sur site pour contrôles et redémarrage.	
Description	En cas de température anormalement haute, une alarme est émise par le système SCADA au centre de contrôle ENERCON. Si la température dépasse un seuil haut, l'éolienne est mise à l'arrêt et ne peut être relancée qu'après intervention d'un technicien en nacelle, qui procédera à une identification des causes et à des opérations techniques le cas échéant.	
Indépendance	Oui Ces systèmes s'appuient sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. Ces données sont cependant analysées par l'automate de sécurité embarqué sur chaque éolienne, dont le rôle est dédié à la sécurité de l'installation.	
Temps de réponse	NA	
Efficacité	100 %	
Tests	A préciser si possible.	
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.	

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité : 4
-----------------------------	-------------------------------	--

Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage.
Description	<p>Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande.</p> <p>NB : Le système de freinage est constitué d'un frein aérodynamique principal (mise en drapeau des pales) et/ou d'un frein mécanique auxiliaire.</p>
Indépendance	<p>Oui</p> <p>Ces systèmes s'appuient sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc (régulation d'angle des pales).</p> <p>Le système de détection de survitesse est cependant un système mécanique indépendant dont la fonction est dédiée à la sécurité.</p> <p>Le système coupe l'alimentation électrique des pitchs. Les condensateurs électriques du système de sécurité des pitchs se déchargent alors, activant la mise en drapeau des pales.</p>
Temps de réponse	<p>Temps de détection < 1 minute</p> <p>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.</p>
Efficacité	100 %
Tests	<p>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.</p> <p>Un test de survitesse est également effectué lors du commissioning de l'installation.</p>
Maintenance	<p>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).</p> <p>Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.</p>

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

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité : 6
Mesures de sécurité	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur.	
Description	<p>Respect de la norme IEC 61400-24 (juin 2010). Dispositif de capture + mise à la terre. Parasurtenseurs sur les circuits électriques. Système de protection foudre de l'éolienne dimensionné pour prévenir toute dégradation des pales de l'éolienne conformément à la norme IEC 61400. Pour la protection parafoudre extérieure, la pointe de la pale est en aluminium moulé, le bord d'attaque et le bord de fuite de la pale du rotor sont équipés de profilés aluminium, reliés par un anneau en aluminium à la base de la pale. Un coup de foudre est absorbé en toute sécurité par ces profilés et le courant de foudre est dévié vers la terre entourant la base de l'éolienne. Pour la protection interne de la machine, les composants principaux tels l'armoire de contrôle et la génératrice sont protégés par des parasurtenseurs. Toutes les autres platines possédant leur propre alimentation sont équipées de filtres à hautes absorptions. Aussi, la partie télécom est protégée par des parasurtenseurs de lignes et une protection galvanique. Enfin, une liaison de communication télécom en fibre optique entre les machines permet une insensibilité à ces surtensions atmosphériques ou du réseau. De même, l'anémomètre est protégé et entouré d'un arceau.</p>	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Immédiat dispositif passif.	
Efficacité	100 %	
Tests	/	
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011.	

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité: 7
Mesures de sécurité	<p>Capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne pouvant permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de la machine</p> <p>Système de détection incendie relié au système SCADA qui émet une alarme au centre de contrôle ENERCON et prévient la société d'exploitation du parc éolien Girolles par sms.</p> <p>Intervention des services de secours.</p>	
Description	<p>Détecteurs de fumée qui lors de leur déclenchement conduisent à la mise en arrêt de la machine et au découplage du réseau électrique. De manière concomitante, un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance ENERCON ainsi qu'à la société d'exploitation du parc éolien Girolles par sms, qui se charge de contacter les services d'urgence compétents.</p> <p>L'éolienne est également équipée d'extincteurs qui peuvent être utilisés par les personnels d'intervention (cas d'un incendie se produisant en période de maintenance).</p>	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	<p>< 1 minute pour les détecteurs et l'enclenchement de l'alarme. L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur. Le temps d'intervention des services de secours est quant à lui dépendant de la zone géographique.</p>	
Efficacité	100 %	
Tests	/	
Maintenance	<p>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.</p> <p>Le matériel incendie (type extincteurs) est contrôlé périodiquement par le fabricant du matériel ou un organisme extérieur.</p> <p>Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.</p>	

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité : 8
Mesures de sécurité	Détecteurs de niveau d'huiles. Procédure d'urgence. Kit antipollution. Il n'y a pas d'opération de vidange spécifique. Les bacs de graisse sont changés quand ils sont vides. Quantité très faible d'huile mise en œuvre (pas de boîte de vitesses). Rétentions pouvant contenir 100 % des fuites.	
Description	Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange. Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin : <ul style="list-style-type: none"> - de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; - d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools...) et produits chimiques (acides, bases, solvants...); - de récupérer les déchets absorbés. Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, une société spécialisée récupérera et traitera le gravier souillé via les filières adéquates, puis le remplacera par un nouveau revêtement.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Instantané	
Efficacité	100 %	
Tests	/	
Maintenance	Inspection des niveaux d'huile et de l'état des rétentions plusieurs fois par an.	

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

Fonction de sécurité	Prévenir les erreurs de maintenance	N° de la fonction de sécurité : 10
Mesures de sécurité	Procédure maintenance.	
Description	Préconisations du manuel de maintenance. Formation du personnel.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	NA	
Efficacité	100 %	
Tests	À préciser si possible cf. Annexe Maintenance fourni par le constructeur	
Maintenance	NA	

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité : 11
Mesures de sécurité	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes. Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pales) par le système de conduite.	
Description	Procédure « site vérification » : une étude de vent est menée sur un an afin de vérifier l'adéquation effective des machines. L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale pour laquelle elle a été conçue. Il s'agit d'une mise à l'arrêt progressive en faisant sortir les pales du vent. cf Storm Control.	
Indépendance	Ces systèmes s'appuient sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. Ces données sont cependant analysées par l'automate de sécurité embarqué sur chaque éolienne, dont le rôle est dédié à la sécurité de l'installation.	
Temps de réponse	< 1 min	
Efficacité	100 %. NB : En fonction de l'intensité attendue des vents, d'autres dispositifs de diminution de la prise au vent de l'éolienne peuvent être envisagés.	
Tests	Site Vérification. Si le site est trop turbulent ou les machines trop rapprochées entre elles il est possible de mettre en place des arrêts sectoriels pour limiter l'impact de la turbulence sur les machines.	
Maintenance	Les paramètres d'entrées en cas d'arrêt sectoriel sont régulièrement mis à jour et contrôlés lors des modifications d'hardware ou de software. Sinon aucune autre maintenance spécifique n'est identifiée notamment sur le storm control qui est vraiment intrinsèque à la machine. Ce système est directement lié aux courbes opérationnelles des machines. En cas de défaut sur cette courbe la machine se met à l'arrêt.	

Fonction de sécurité	Détecter les dysfonctionnements et mettre en sécurité l'éolienne	N° de la fonction de sécurité: 12
Mesures de sécurité	Mise en sécurité (arrêt) de l'éolienne en cas de dysfonctionnement des systèmes.	
Description	<p>Les courbes de puissance de l'éolienne sont analysées et évaluées par rapport à des valeurs de référence. En cas d'anomalie, l'éolienne est arrêtée.</p> <p>Les signaux des différents capteurs sont traités par microprocesseur au sein des armoires de commande situées dans la nacelle. Dès qu'une erreur est relevée sur le système de communication lié à ce microprocesseur, la machine s'arrête.</p> <p>La défaillance d'un élément de sécurité entraîne donc la mise à l'arrêt de l'éolienne (freinage aérodynamique de l'éolienne). Il suffit qu'une seule pale soit mise en drapeau pour freiner l'éolienne.</p> <p>Le système SCADA de l'éolienne envoie un message dès la détection de l'anomalie. De plus, les 3 systèmes de régulation des angles des pales sont indépendants.</p>	
Indépendance	Ces systèmes s'appuient sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. Ces données sont cependant analysées par l'automate de sécurité embarqué sur chaque éolienne, dont le rôle est dédié à la sécurité de l'installation.	
Temps de réponse	Quelques secondes (< 2 min)	
Efficacité	100 %	
Tests	A préciser si possible.	
Maintenance	Contrôle et entretien des équipements de repli cyclonique.	

Fonction de sécurité	Détecter des vibrations anormales de l'éolienne et stopper l'éolienne	N° de la fonction de sécurité : 13
Mesures de sécurité	Capteurs de vibrations entraînant un arrêt de l'éolienne	
Description	Le capteur de vibration, en cas de détection, entraîne un réglage rapide des pales de l'éolienne en position drapeau, ce qui se traduit par un arrêt de la rotation des pales de l'éolienne (freinage aérodynamique de l'éolienne). Il suffit qu'une seule pale soit mise en drapeau pour freiner l'éolienne.	
Indépendance	Le capteur de vibration est un capteur dédié à la sécurité. Le signal du capteur est traité par l'automate de sécurité embarqué sur chaque éolienne, dont le rôle est dédié à la sécurité de l'installation. De plus, les 3 systèmes de régulation des angles des pales sont indépendants.	
Temps de réponse	Quelques secondes (< 2 min).	
Efficacité	100 %	
Tests	Tous les ans vérification en marche de la détection de vibration.	
Maintenance	Contrôle et entretien des équipements.	

Fonction de sécurité	Prévenir la formation de glace sur les pales (option)	N° de la fonction de sécurité : 14
Mesures de sécurité	Système de chauffage des pales permettant de limiter la formation de givre (en option).	
Description	L'air dans les pales est chauffé jusqu'à 72 °C, par un ventilateur de chauffage installé à proximité de la bride de pale. (cf. Système de dégivrage de pale (option)).	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	A préciser si possible.	
Efficacité	100 %	
Tests	A préciser si possible.	
Maintenance	Pas de maintenance sur ce système. Si il ne marche plus la détection de glace prend le relais.	

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.

7.7. Conclusion de l'analyse préliminaire des risques

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

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	<p>En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m² n'est pas atteinte. Dans le cas d'un incendie au niveau du mât les effets sont également mineurs et l'arrêté du 26 août 2011 encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques.</p> <p>Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.</p> <p>La tenue au feu 2h du poste de livraison ainsi que l'alerte rapide des pompiers permet de maîtriser les effets.</p>
Incendie du poste de livraison ou du transformateur	<p>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 et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200).</p>
Chute et projection de glace dans les cas particuliers où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C	<p>Lorsqu'un aérogénérateur est implanté sur un site où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C, il peut être considéré que le risque de chute ou de projection de glace est nul.</p> <p>Des éléments de preuves doivent être apportés pour identifier les implantations où de telles conditions climatiques sont applicables.</p>
Infiltration d'huile dans le sol	<p>En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs compte tenu de la technologie mise en œuvre ne nécessitant que quelques litres d'huile dans les machines (35 litres dans la nacelle). Le transformateur contient 600 litres d'huile, il est toujours installé avec un système étanche de récupération des huiles (goulotte, puisard).</p> <p>Ce scénario peut ne pas être détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques.</p>

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

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

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

8. Étude 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.

8.1. Rappel des définitions

Les règles méthodologiques applicables pour la détermination de l'intensité, de la gravité et de la probabilité des phénomènes dangereux sont précisées dans l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005.

Cet arrêté ne prévoit de détermination de l'intensité et de la gravité que pour les effets de surpression, de rayonnement thermique et de toxique.

Cet arrêté est complété par la circulaire du 10 mai 2010 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 national relatif à l'étude de dangers dans le cadre d'un parc éolien dans sa version de mai 2012. Cette méthode est inspirée des méthodes utilisées pour les autres phénomènes dangereux des installations classées, dans l'esprit de la loi du 30 juillet 2003.

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

8.1.1. Cinétique

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

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

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

8.1.2. Intensité

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

2005).

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

Or, les seuils d'effets proposés dans l'arrêté du 29 septembre 2005 caractérisent des phénomènes dangereux dont l'intensité s'exerce dans toutes les directions autour de l'origine du phénomène, 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.

8.1.3. 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.

Intensité \ Gravité	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition très forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée
Désastreux	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées
Catastrophique	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées
Important	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
Sérieux	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées

Modéré	Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement	Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement	Présence humaine exposée inférieure à « 1 personne »
---------------	--	--	--

8.1.4. 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	Échelle qualitative	Échelle quantitative (probabilité annuelle)
A	<p align="center">Courant</p> <p>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>	$P > 10^{-2}$
B	<p align="center">Probable</p> <p>S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations.</p>	$10^{-3} < P \leq 10^{-2}$
C	<p align="center">Improbable</p> <p>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.</p>	$10^{-4} < P \leq 10^{-3}$
D	<p align="center">Rare</p> <p>S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité.</p>	$10^{-5} < P \leq 10^{-4}$
E	<p align="center">Extrêmement rare</p> <p>Possible mais non rencontré au niveau mondial. N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles.</p>	$\leq 10^{-5}$

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

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

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

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

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

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

A. Gravité

Tableau de définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005, permettant de définir les différentes classes de gravité.

Intensité / Gravité	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition très forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée
Désastreuse	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
Importante	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
Sérieuse	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
Modérée	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 « 1 personne »

B. Niveau de risque

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, est utilisée.

Gravité traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées	Classe de Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
Désastreuse	Orange	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
Catastrophique	Orange	Orange	Rouge	Rouge	Rouge
Importante	Orange	Orange	Orange	Rouge	Rouge
Sérieuse	Vert	Vert	Orange	Orange	Rouge
Modérée	Vert	Vert	Vert	Vert	Orange

Ceci permet de traduire le niveau de risques selon trois catégories :

Risque très faible	niveau auquel les risques identifiés sont acceptables au regard de leur rapport intensité/probabilité ;
Risque maîtrisé	niveau auquel les risques identifiés sont maîtrisés par la mise en œuvre de mesures de sécurité ;
Risque important	niveau auquel les risques identifiés sont non acceptables.

8.2. Caractérisation des scénarios retenus

8.2.1. Effondrement de l'éolienne

A. Description de l'événement redouté

L'événement redouté est un effondrement de l'éolienne.

Comme précédemment décrit, 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,...

Les notations utilisées dans ce scénario sont les suivantes :

- D est le diamètre du rotor ($D = 82$ m) ;
- R est le rayon du rotor ($R = D/2 = 41$ m) ;
- H la hauteur du moyeu (H (EOL51 et EOL52) = 68,91 m ; H (EOL53) = 58,91 m) ;
- L la largeur du mât ($L = 4,45$ m) ;
- LB est la largeur maximale d'une pale (largeur à la base) ($LB = 4,136$ m).

B. 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	$4,5 \times 10^{-4}$	Retour d'expérience
Specification of minimum distances	$1,8 \times 10^{-4}$ (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*, soit une probabilité de $4,47 \times 10^{-4}$ par éolienne et par an.

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

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

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

Ces mesures de mesures de sécurité sont notamment :

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

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

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

Il est considéré que la classe de probabilité des scénarios liés à un effondrement d'éolienne est « de classe D », à savoir : « S'est produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité ».

* 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.

C. 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 ($H + R$), soit 110 m pour les éoliennes EOL51 et EOL52 et 100 m pour l'éolienne EOL53.

Cette méthodologie est issue de celles utilisées dans les études de la bibliographie de référence du guide de l'association FEE.

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.

- EOL51 et EOL52 : zone d'effet: $Z_E = \pi \times (H + R)^2 = 37\,951 \text{ m}^2$
- EOL53 : zone d'effet: $Z_E = \pi \times (H + R)^2 = 31\,359 \text{ m}^2$

D. Zone d'impact

La zone d'impact de l'effondrement d'une éolienne correspond à la surface totale balayée par le rotor et la surface du mât non balayée par le rotor.

- EOL51 et EOL52 : zone d'impact: $Z_I = H \times L + 3 \times R \times LB/2 = 561 \text{ m}^2$
- EOL53 : zone d'impact: $Z_I = H \times L + 3 \times R \times LB/2 = 517 \text{ m}^2$

E. 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 :

- d est le degré d'exposition ;
- Z_I est la zone d'impact ;
- Z_E est la zone d'effet.

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)				
Éolienne	Zone d'impact	Zone d'effet du phénomène étudié	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
EOL51 EOL52	$Z_I = H \times L + 3 \times R \times LB/2 = 561 \text{ m}^2$	$Z_E = \pi \times (H + R)^2 = 37\,951 \text{ m}^2$	Zone impact/Zone effet $d = Z_I/Z_E = 1,48 \%$ (entre 1 et 5 %)	Exposition forte
EOL53	$Z_I = H \times L + 3 \times R \times LB/2 = 517 \text{ m}^2$	$Z_E = \pi \times (H + R)^2 = 31\,359 \text{ m}^2$	Zone impact/Zone effet $d = Z_I/Z_E = 1,65 \%$ (entre 1 et 5 %)	Exposition forte

L'intensité du phénomène d'effondrement est considérée comme exposition forte dans la zone d'effet et est nulle au-delà de la zone d'effondrement.

F. Gravité

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

Intensité / Gravité	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition très forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée
Désastreuse	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1 000 personnes exposées
Catastrophique	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1 000 personnes exposées
Importante	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
Sérieuse	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
Modérée	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 « 1 personne »

La détermination du nombre de 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 et est présentée pour cet événement ci-après et plus en détail dans l'annexe 1.

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

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.

La zone d'effet du phénomène est de 3,8 hectares pour les éoliennes EOL51 et EOL52 et de 3,1 hectares pour l'éolienne EOL53 et est principalement constituée de terrains non aménagés. La présence éventuelle de voie de communication non structurante ne modifie pas le résultat car elle représente une part très inférieure.

Le nombre de personne permanente est de : au plus 1 personne exposée.

La gravité associée est sérieuse.

G. Niveau de risque

Pour conclure sur l'acceptabilité du risque d'effondrement d'une éolienne, les scénarios relatifs aux différentes éoliennes du parc sont placés dans la matrice de criticité ci-dessous.

Gravité traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées	Classe de Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
Désastreuse	Orange	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
Catastrophique	Orange	Orange	Rouge	Rouge	Rouge
Importante	Orange	Orange	Orange	Rouge	Rouge
Sérieuse	Vert	EOL51 EOL52 EOL53	Orange	Orange	Rouge
Modérée	Vert	Vert	Vert	Vert	Orange

La matrice de criticité indique que l'événement est en vert, ce qui représente un **risque très faible**. Il n'y a pas de contrainte forte ou de mesure de sécurité supplémentaire à mettre en œuvre pour cet événement.

H. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur, 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)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
EOL51, EOL52, EOL53	Sérieuse	Acceptable

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

8.2.2. Chute d'éléments de l'éolienne

A. Description de l'événement redouté

L'événement redouté est une chute d'un élément d'assemblage des aérogénérateurs. Comme précédemment décrit, ces événements sont déclenchés 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.

Les notations utilisées dans ce scénario sont les suivantes :

- D est le diamètre du rotor ($D = 82$ m);
- R est le rayon du rotor ($R = D/2 = 41$ m);
- LB est la largeur maximale d'une pale (largeur à la base) ($LB = 4,136$ m).

B. 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 15667 années d'expérience, soit 4.47×10^{-4} événement par éolienne et par an).

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

C. Zone d'effet

La chute d'élément 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.

$$\text{Zone d'effet: } Z_E = \pi \times R^2 = 5281 \text{ m}^2$$

D. Zone d'impact

La zone d'impact considérée correspond à la surface d'un élément (cas majorant d'une pale entière).

$$\text{Zone d'impact: } Z_I = R \times LB/2 = 85 \text{ m}^2$$

E. Intensité

Pour le phénomène de chute d'élément, 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'élément de l'éolienne :

- d est le degré d'exposition,
- Z_I la zone d'impact,
- Z_E la zone d'effet.

Chute d'élément de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)			
Zone d'impact	Zone d'effet du phénomène étudié	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = R \times LB/2 = 85 \text{ m}^2$	$Z_E = \pi \times R^2 = 5281 \text{ m}^2$	$d = Z_I/Z_E = 1,61 \%$ (comprise entre 1 et 5 %)	Exposition forte

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

F. Gravité

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

Intensité \ Gravité	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition très forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée
Désastreuse	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
Importante	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
Sérieuse	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
Modérée	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 « 1 personne »

La détermination du nombre de 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 et est présentée pour cet événement ci-après et plus en détail dans l'annexe 1.

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

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.

La zone d'effet du phénomène est inférieure à 1 hectare et est principalement constituée de terrains non aménagés. La présence éventuelle de voie de communication non structurante ne modifie pas le résultat. Le nombre de personne permanente est donc: au plus 1 personne exposée.

La gravité est « **sérieuse** » pour toutes les éoliennes du parc.

G. Niveau de risque

Pour conclure sur l'acceptabilité du risque de chute d'élément d'une éolienne, les scénarios relatifs aux différentes éoliennes du parc sont placés dans la matrice de criticité ci-dessous.

Gravité traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées	Classe de Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
Désastreuse	Yellow	Red	Red	Red	Red
Catastrophique	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
Importante	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
Sérieuse	Green	Green	EOL51 EOL52 EOL53	Yellow	Red
Modérée	Green	Green	Green	Green	Yellow

La matrice de criticité indique que l'événement est en jaune, ce qui représente un **risque maîtrisé**.

H. Acceptabilité

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

Chute d'élément de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
EOL51, EOL52, EOL53	Sérieuse	Maîtrisé

Ainsi, pour le parc éolien Girolles, le phénomène de chute d'élément d'éolienne constitue un risque **maîtrisé** pour les personnes.

8.2.3. Chute de glace

A. 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, une grande partie du territoire français (hors zones de montagne) est concernée 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.

Comme précédemment décrit, en cas de formation de glace, les systèmes intégrés de prévention 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 ou systèmes permettront de détecter ou de prévenir la formation de glace :

- Système de détection de glace ;
- Arrêt préventif en cas de déséquilibre du rotor ;
- Arrêt préventif en cas de givrage de l'anémomètre ;
- Système de chauffage des pales (en option).

Les notations utilisées dans ce scénario sont les suivantes :

- D est le diamètre du rotor ($D = 82$ m) ;
- R est le rayon du rotor ($R = D/2 = 41$ m).

B. Probabilité

De façon conservatrice, il est considéré que la **probabilité est de classe « A »**, c'est-à-dire une probabilité supérieure à 10^{-2} .

Une étude spécifique par rapport aux conditions du site d'implantation du projet pourra permettre de justifier une probabilité de classe B en cas de présence d'un système de chauffage des pales sur les aérogénérateurs.

C. 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 Girolles, la zone d'effet à donc un rayon de 41 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.

$$\text{Zone d'effet: } Z_E = \pi \times R^2 = 5281 \text{ m}^2$$

D. Zone d'impact

La zone d'impact considérée correspond à la surface d'un morceau de glace, prise selon une hypothèse conservatrice égale à 1 m^2 .

$$\text{Zone d'impact: } Z_I = 1 \text{ m}^2$$

E. 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 :

- d est le degré d'exposition,
- Z_I est la zone d'impact,
- Z_E est la zone d'effet,
- SG est la surface du morceau de glace majorant : $SG = 1 \text{ m}^2$.

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à $D/2$ = zone de survol)			
Zone d'impact	Zone d'effet du phénomène étudié	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = SG = 1 \text{ m}^2$	$Z_E = \pi \times R^2 = 5281 \text{ m}^2$	$d = Z_I/Z_E = 0,019 \% (< 1\%)$	Exposition modérée

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

F. Gravité

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

Intensité \ Gravité	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition très forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée
Désastreuse	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
Importante	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
Sérieuse	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
Modérée	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 « 1 personne »

La détermination du nombre de 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 et est présentée pour cet événement ci-après et plus en détail dans l'annexe 1.

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

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.

La zone d'effet du phénomène est inférieure à 1 hectare et est principalement constituée de terrains non aménagés. La présence éventuelle de voie de communication non structurante ne modifie pas le résultat.

Le nombre de personne permanente est : inférieur à 1 personne exposée.

La gravité est « **Modérée** » pour toutes les éoliennes du parc.

G. Niveau de risque

Pour conclure sur l'acceptabilité du risque de chute de glace d'une éolienne, les scénarios relatifs aux différentes éoliennes du parc sont placés dans la matrice de criticité ci-dessous.

Gravité traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées	Classe de Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
Désastreuse					
Catastrophique					
Importante					
Sérieuse					
Modérée					EOL51 EOL52 EOL53

La matrice de criticité indique que l'événement est en jaune, ce qui représente un **risque maîtrisé**.

H. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur, 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)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
EOL51, EOL52, EOL53	Modérée	Maîtrisé

Ainsi, pour le parc éolien Girolles, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque **maîtrisé** pour les personnes.

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

Cette mesure permettra de réduire les risques pour les personnes potentiellement présentes sur le site lors des épisodes de grand froid.

8.2.4. Projection de glace

A. Description de l'événement redouté

L'événement redouté est une projection d'un fragment ou bloc de glace depuis un aérogénérateur.

La projection de glace depuis une éolienne en mouvement interviendra lors d'éventuels redémarrages 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.

Les notations utilisées dans ce scénario sont les suivantes :

- H est la hauteur de moyeu (H (EOL51 et EOL52) = 68,91 m ; H (EOL53) = 58,91 m) ;
- D est le diamètre du rotor (D = 82 m).

B. 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.

*Une étude spécifique par rapport aux conditions du site d'implantation du projet pourra permettre de justifier une **probabilité de classe C** en cas de présence d'un système de chauffage des pales sur les aérogénérateurs.*

C. 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 projectile, il n'existe pas d'information dans l'accidentologie.

L'étude WECO propose une distance d'effet en 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 :

- EOL51 et EOL52 : distance d'effet = $R_{PG} = 1,5 \times (H + D) = 226,37$ m
- EOL53 : distance d'effet = $R_{PG} = 1,5 \times (H + D) = 211,37$ m

Cette distance de projection est jugée conservatrice dans des études postérieures.

À défaut de données fiables, il est proposé de considérer cette formule pour le calcul de la distance d'effet pour les projections de glace.

- EOL51 et EOL52 : zone d'effet : $Z_E = \pi \times R_{PG}^2 = 160\,979$ m²
- EOL53 : zone d'effet : $Z_E = \pi \times R_{PG}^2 = 140\,351$ m²

D. Zone d'impact

La zone d'impact considérée correspond à la surface d'un morceau de glace prise selon une hypothèse conservatrice égale à 1 m².

$$\text{Zone d'impact: } Z_I = 1 \text{ m}^2$$

E. Intensité

Pour le phénomène de projection de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace (cas majorant de 1 m²) et la superficie de la zone d'effet du phénomène.

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace :

d est le degré d'exposition,

- Z_I la zone d'impact,
- Z_E la zone d'effet,
- SG la surface majorante d'un morceau de glace : SG = 1 m².

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H + D)$ autour de l'éolienne)				
Éolienne	Zone d'impact	Zone d'effet du phénomène étudié	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
EOL51 EOL52	$Z_I = SG = 1 \text{ m}^2$	$Z_E = \pi \times R_{PG}^2 = 160979 \text{ m}^2$	$d = Z_I/Z_E = 6,21 \times 10^{-4} \% (< 1 \%)$	Exposition modérée
EOL53	$Z_I = SG = 1 \text{ m}^2$	$Z_E = \pi \times R_{PG}^2 = 140351 \text{ m}^2$	$d = Z_I/Z_E = 7,12 \times 10^{-4} \% (< 1 \%)$	Exposition modérée

F. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005, il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection de glace, dans la zone d'effet de ce phénomène.

Intensité \ Gravité	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition très forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée
Désastreuse	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
Importante	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
Sérieuse	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
Modérée	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 « 1 personne »

La détermination du nombre de 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 et est présentée pour cet événement ci-après et plus en détail dans l'annexe 1.

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

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.

La zone d'effet du phénomène est de 16 hectares pour les éoliennes EOL51 et EOL52 et de 14 hectares pour l'éolienne EOL53 et est principalement constituée de terrains non aménagés. La présence éventuelle de voie de communication non structurante ne modifie pas le résultat.

Le nombre de personne permanente est: inférieur à 1 personne exposée.

La gravité est « **Modérée** » pour toutes les éoliennes du parc.

Il a été observé dans la littérature disponible 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.

G. Niveau de risque

Pour conclure sur l'acceptabilité du risque de projection de glace d'une éolienne, les scénarios relatifs aux différentes éoliennes du parc sont placés dans la matrice de criticité ci-dessous.

Gravité traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées	Classe de Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
Désastreuse					
Catastrophique					
Importante					
Sérieuse					
Modérée				EOL51 EOL52 EOL53	

La matrice de criticité indique que l'événement est en vert, ce qui représente un **risque très faible**. Il n'y a pas de contrainte forte ou de mesure de sécurité supplémentaire à mettre en œuvre pour cet événement.

H. Acceptabilité

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

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (\text{hauteur du moyeu} + \text{diamètre de rotor})$ autour de l'éolienne)			
Éolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage	Niveau de risque
EOL51, EOL52, EOL53	Modérée	Oui	Acceptable

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

L'installation d'un système de chauffage de pale n'apparaît pas nécessaire à ce stade de l'étude. La possibilité de mettre en place ce système pourra être revue si cela s'avère opportun au moment de la construction du parc.

8.2.5. Projection de pale ou de fragments de pale

A. Description de l'événement redouté

L'événement redouté est une projection de pale ou de fragment de pale.

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 (cf. chute d'éléments d'une éolienne).

L'emballement de l'éolienne constitue un facteur aggravant en cas de projection de toute ou partie d'une pale.

Les notations utilisées dans ce scénario sont les suivantes :

- D est le diamètre du rotor ($D = 82$ m) ;
- R est le rayon du rotor ($R = D/2 = 41$ m) ;
- LB est la largeur maximale d'une pale (largeur à la base) ($LB = 4,136$ m).

B. Probabilité

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

Source	Fréquence	Justification
Site specific hazard assesment for a wind farm project	1×10^{-6}	Respect de l'Eurocode EN 1990 – Basis of structural design
Guide for risk based zoning of wind turbines	$1, 1 \times 10^{-3}$	Retour d'expérience au Danemark (1984-1992) et en Allemagne (1989-2001)
Specification of minimum distances	$6,1 \times 10^{-4}$	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 15667 années d'expérience, soit $7,66 \times 10^{-4}$ événement par éolienne et par an).

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

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

Néanmoins, les dispositions constructives des éoliennes ayant fortement évolué, le niveau de fiabilité est aujourd'hui bien meilleur.

Des mesures de maîtrise des risques supplémentaires ont été mises en place notamment :

- les dispositions de la norme IEC 61400-1,
- les dispositions des normes IEC 61400-24 et EN 62305-3 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 ».

C. 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.

Pour autant, des études de risques déjà réalisées dans le monde ont utilisé une distance de 500 mètres.

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.

$$\text{Zone d'effet: } Z_E = \pi * 500^2 = 785\,400 \text{ m}^2$$

D. Zone d'impact

La zone d'impact considérée correspond à la surface d'un élément (cas majorant d'une pale entière).

$$\text{Zone d'impact: } Z_I = R * LB / 2 = 85 \text{ m}^2$$

E. Intensité

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

Le tableau page suivante permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne :

- d est le degré d'exposition,
- Z_I la zone d'impact,
- Z_E la zone d'effet.

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = R \cdot LB / 2$ = 85 m ²	$Z_E = \pi \times 500^2$ = 785400 m ²	$d = Z_I / Z_E = 0,011 \% (< 1\%)$	Exposition modérée

F. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005, il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection de pale, dans la zone de 500 mètres autour de l'éolienne.

Intensité / Gravité	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition très forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée
Désastreuse	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
Importante	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
Sérieuse	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
Modérée	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 « 1 personne »

La détermination du nombre de 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 et est présentée pour cet événement ci-après et plus en détail dans l'annexe 1.

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

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.

La zone d'effet du phénomène est de 78,5 hectares et est principalement constituée de terrains non aménagés. La présence éventuelle de voie de communication non structurante est prise en compte en majorant largement le résultat.

Le nombre de personne permanente est: entre 1 et 10 personnes exposées.

La gravité est « **Sérieuse** » pour toutes les éoliennes du parc.

G. Niveau de risque

Pour conclure sur l'acceptabilité du risque de projection de pale ou de fragment de pale, les scénarios relatifs aux différentes éoliennes du parc sont placés dans la matrice de criticité ci-dessous.

Gravité traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées	Classe de Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	E	D	C	B	A
Désastreuse	Orange	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
Catastrophique	Orange	Orange	Rouge	Rouge	Rouge
Importante	Orange	Orange	Orange	Rouge	Rouge
Sérieuse	Vert	Vert EOL51 EOL52 EOL53	Orange	Orange	Rouge
Modérée	Vert	Vert	Vert	Vert	Orange

La matrice de criticité indique que l'événement est en vert, ce qui représente un **risque très faible**. Il n'y a pas de contrainte forte ou de mesure de sécurité supplémentaire à mettre en œuvre pour cet événement.

H. Acceptabilité

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

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
EOL51, EOL52, EOL53	Sérieuse	Acceptable

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

8.3. Synthèse de l'étude détaillée des risques

8.3.1. Tableau de synthèse des paramètres de risques

Le tableau suivant récapitule, pour chaque événement redouté central retenu, les paramètres de risques : la zone d'effet, le nombre de personnes permanentes, l'intensité, la probabilité et la gravité.

La cinétique est considérée comme rapide pour tous les scénarios.

Scénario	Zone d'effet	Nombre de personnes permanentes	Intensité	Probabilité	Gravité	Niveau de Risque
Effondrement de l'éolienne	<u>EOL51 et EOL52</u> : Disque de 110 m de rayon <u>EOL53</u> : Disque de 100 m de rayon	Au plus 1	exposition forte	D	Sérieuse	Très Faible (acceptable)
Chute d'éléments de l'éolienne	Zone de survol (41 m)	Au plus 1	exposition forte	C	Sérieuse	Maîtrisé (acceptable)
Chute de glace	Zone de survol (41 m)	Inférieur à 1	exposition modérée	A	Modérée	Maîtrisé (acceptable)
Projection de glace	<u>EOL51 et EOL52</u> : Disque de 226,37 m de rayon <u>EOL53</u> : Disque de 211,37 m de rayon	Inférieur à 1	exposition modérée	B	Modérée	Très Faible (acceptable)
Projection de pale ou de fragment de pale	500 m autour de l'éolienne	Entre 1 et 10	exposition modérée	D	Sérieuse	Très Faible (acceptable)

8.3.2. Synthèse de l'acceptabilité des risques

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

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

Légende de la matrice

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

GRAVITÉ des conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreuse					
Catastrophique					
Importante					
Sérieuse		Effondrement de l'éolienne Projection de pale	Chute d'élément de l'éolienne		
Modérée				Projection de glace	Chute de glace

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice : tous les événements sont donc classés acceptables,
- les cas de chute de glace et de chute d'élément de l'éolienne figurent en jaune, soit un risque maîtrisé,
- les autres événements sont dans les cases vertes, soit avec un risque très faible.

Pour le scénario de **chute de glace**, la fréquence est élevée car on considère que toute période de gel entraîne la formation, puis la chute, de morceaux de glace. Des panneaux signalent ce risque sur le site. Par ailleurs, ce risque (spécifiquement étudié dans le cadre de cette étude) est à relativiser, car comparable au risque de chute de glace de bâtiments élevés, de câbles Haute Tension, ou similaires.

De plus, les risques de **chute de glace** et de **projection de glace** sont maîtrisés par la mise en œuvre de mesures de sécurité. ENERCON a ainsi mis en place sur ses éoliennes des moyens permettant de mieux maîtriser les phases de gel. Les éoliennes sont notamment arrêtées pendant les épisodes de formation de glace et ne peuvent redémarrer qu'après une période minimale de séjour à une température ambiante supérieure à 2°C (cette durée varie en fonction de la température).

De même, les scénarios de **chute d'élément** se situent dans une zone « jaune » de la matrice, signifiant un risque maîtrisé par la mise en œuvre de mesures de sécurité. La gravité retenue traduit l'approche conservatrice choisie, consistant à considérer pour tous les cas de chute le plus gros élément envisageable, c'est-à-dire une pale.

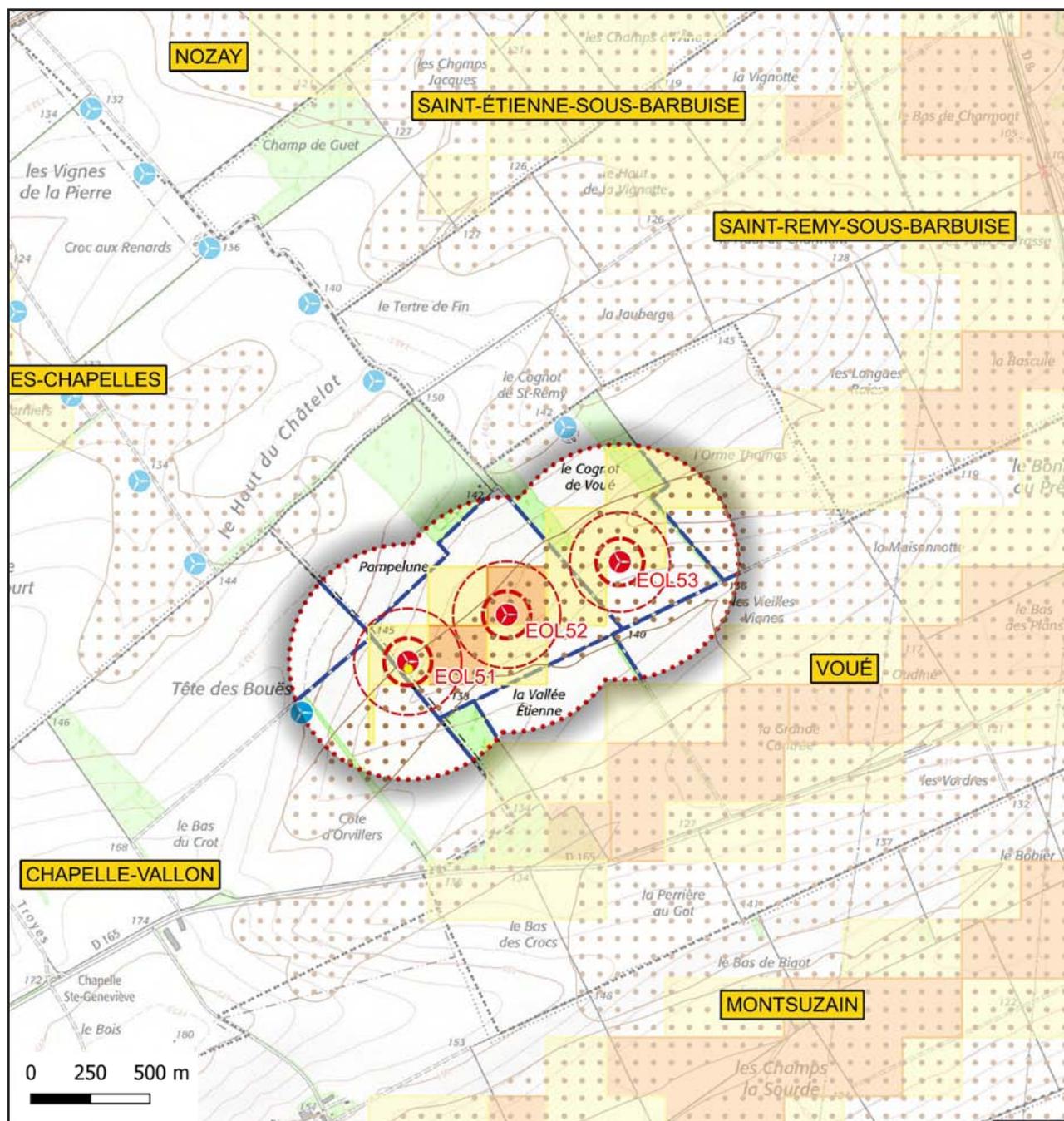
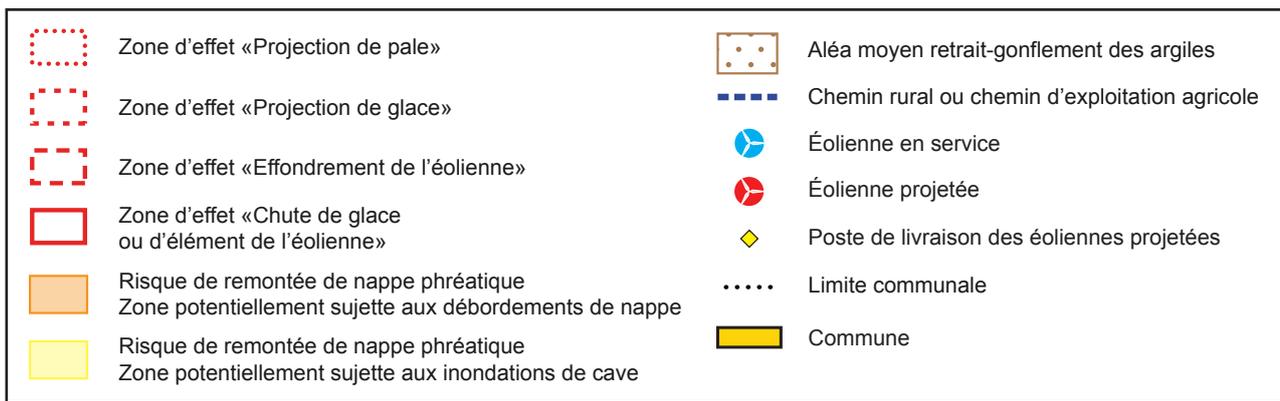
Pour ces scénarios, compte tenu de la mise en place de nombreuses mesures de prévention des risques (systèmes de sécurité de l'éolienne), les niveaux de risques sont donc aussi bas que possibles, dits « ALARP » (As Low As Reasonably Practicable).

Aucun risque important ou non acceptable, n'a donc été identifié au travers de cette étude.

1.1.3. Cartographie des risques

La carte suivante présente pour chaque aérogénérateur :

- les zones d'effet des phénomènes d'effondrement, de projection de glace ou de pale et de survol,
- les enjeux présents dans les zones d'étude.



Carte de synthèse des risques dans le périmètre d'étude

8.4. Moyens de secours et d'intervention

8.4.1. Moyens internes

Des panneaux de signalisation rappelant les consignes de sécurité ainsi que les coordonnées des secours sont placés sur les voies d'accès au site ainsi qu'à l'entrée des différents équipements (mats des éoliennes et poste de livraison).

Un kit de premiers secours est disposé dans chacune des nacelles, ainsi qu'un extincteur. Un extincteur est également placé en pied de mât de chaque éolienne et de chaque poste de livraison. Le personnel est formé à l'utilisation des extincteurs.

8.4.2. Moyens externes

Le service départemental d'incendie et de secours (SDIS) de l'Aube dispose de :

- 26 centres d'incendie et de secours (CIS). Le site du projet est localisé dans le secteur du CIS d'Arcis-sur-Aube,
- 217 centres de première intervention communaux dont un situé sur la commune de Voué.

8.4.3. Traitement de l'alerte

Les paramètres sont retransmis au centre de surveillance ENERCON en continu via le système SCADA en place sur le parc.

Les données d'exploitation et les messages d'état (anomalies, alertes...) sont par ailleurs conservés en copie sur le système implanté, sur le parc sur une période de 20 ans. Les systèmes embarqués des éoliennes peuvent quant à eux conserver les 10 derniers messages d'état horodatés.

0	Turbine in operation	61	Mains breakdown	302	Data bus error blade
1	Turbine stopped	62	Feeding fault	303	Data bus error blade control (CAN3)
2	Lack of wind	64	Overcurrent inverter	304	Data bus error (Timeout)
3	Storm	65	Overcurrent inverter	305	No data from I/O-Board control cabinet
4	Shadow shutdown	66	Fault rectifier	306	No data from
5	Blade defroster	67	Overtemperature	307	Timeout angle encoder
7	Unauthorized access	69	Acoustic sensor	310	Unknown node-ID
8	Maintenance	70	Generator overtemperature	315	Invalid index
9	Generator heating	72	Air gap monitoring	318	Error CAN1-Interrupt
10	EMERGENCY STOP actuated	73	Torque monitoring	319	Error CAN2-Interrupt
11	Rotor brake activated manual	76	Bearing temperature	320	Malfunction IIC-bus
12	Rotor lock	80	Excitation error	402	Error +12V processor
14	Formation of ice	90	Protective circuit breaker tripped	403	Error -12V processor
15	Turbine moist	97	Semiconductor fuse blown	404	Error +15V processor
16	Overspeed switch test	95	Error temperature measurement	405	Error -15V processor
17	Test safety system	96	Error temperature measurement inverter	411	Error +4V ref. processor
20	Wind measurement fault	112	Smoke detector	412	Error +5V ref. processor
21	Cable twisted	122	Fault transformer	413	Error -5V ref. processor
22	Yaw control fault	150	Initialize EEPROMII	414	Error +10V ref. processor
25	Faulty yaw inverter	152	Program incompatibleII	415	Error -10V ref. processor
29	Anemometer interface	153	No turbine ID	421	Error +5V sensoric
30	Vibration sensor	155	Wrong bootblock address	422	Error +12V sensoric
31	Tower oscillation	158	Serial number	423	Error -12V sensoric
40	Rotor overspeed	202	Inverter bus error	424	Error +15V sensoric
41	Rotor overspeed switch	204	Inverter bus error all inverters	425	Error -15V sensoric
42	Pitch control error	206	No data from power control	426	Error +20V sensoric
43	Main security circuit fault	207	Fault inverter control	427	Error -20V sensoric
44	Fault emergency stop capacitor	220	Processor reset	428	Error +12V relay
45	Capacitor charging error	221	Watchdog reset	429	Error supply hardware
46	Fault capacitor test	222	Turbine reset	432	Error +5V sensoric
47	Fault security system	223	Software Update	433	Error -5V sensoric
48	Speed sensor error	228	Time out warn message	434	Error +10V sensoric
49	Fault blade load control	229	Too many warnings	435	Error -10V sensoric
55	Blade heating faulty	240	Remote control PC	438	Error supply IGBT-driver
60	Mains failure	300	Turbine control bus error (Bus-Off)	441	Error pos. supply current measure

Liste des messages d'état principal ENERCON

Les messages d'état sont construits sous la forme de codes « état principal : sous état ».

Par exemple, le message d'état « 20:52 » signifie « défaut de mesure du vent : pas de signal de l'anémomètre ».

Une alerte est envoyée en moins d'une minute au centre de contrôle, qui est à même de contacter les services compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'installation.

8.4.4. Implantation des bases de maintenance

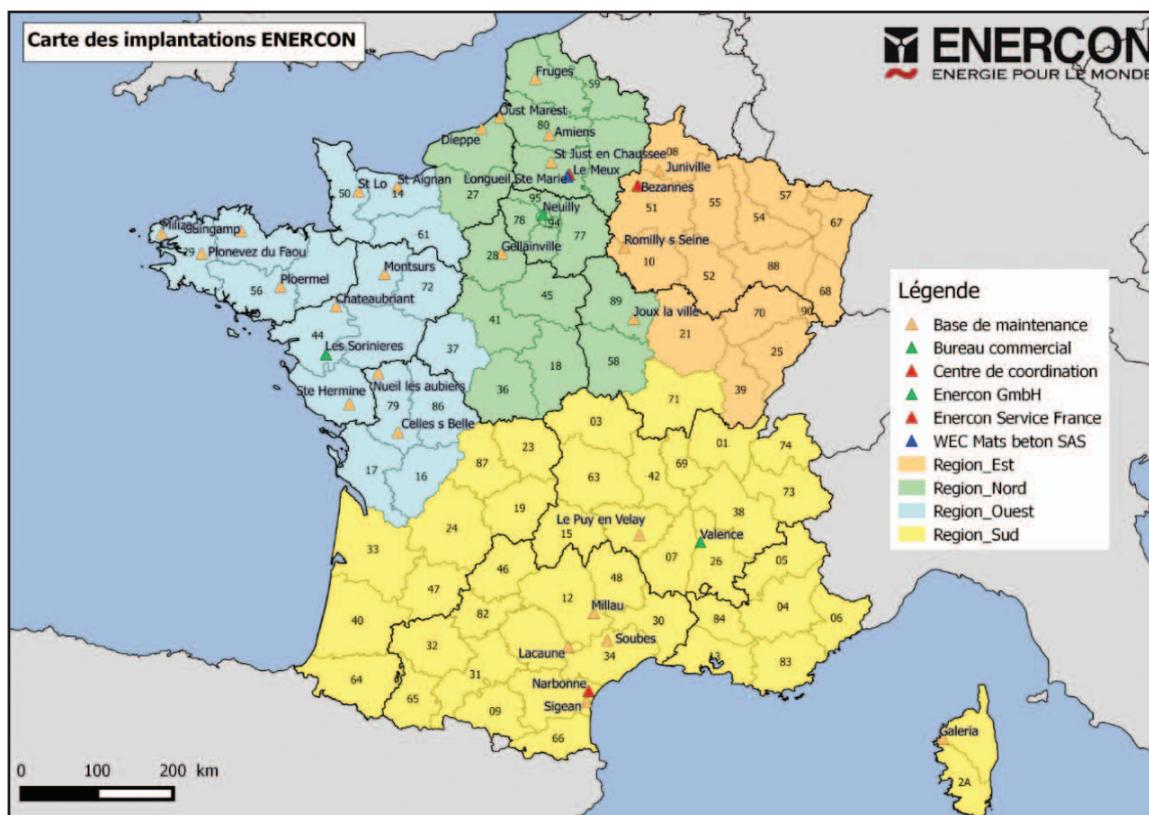
Afin de garantir une rapidité d'intervention et une qualité des services de maintenance, ENERCON Service France a adopté une stratégie de proximité de ses bases de maintenance par rapport à ses parcs installés. ENERCON a implanté déjà de nombreuses antennes et des bureaux dans toute la France.

Les bases de maintenance sont implantées en fonction de la densité des parcs ENERCON dans les environs.

L'antenne ENERCON Service France la plus proche du projet de parc éolien sera précisée au moment de la mise en service.

Des techniciens d'autres bases, plus éloignées, pourront aussi intervenir en soutien. Chaque base de maintenance contient un stock minimum de pièces de rechange et de produits d'entretien.

Carte des implantations ENERCON en France



9. Conclusion

Le site d'implantation des éoliennes du parc Girolles est constitué pour la majeure partie de la zone d'étude de champs cultivés. Des chemins ruraux et des chemins d'exploitation agricole traversent le site. Ces chemins sont considérés comme non structurants et leur trafic n'impose pas de mesure de sécurité particulière.

Aucun élément significatif n'est présent dans le périmètre des éoliennes au sens de la circulaire du 10 mai 2010 étant donné que les agresseurs externes potentiels sont situés hors des périmètres d'atteinte.

Le périmètre de 500 mètres autour de chaque mât d'éolienne est analysé pour recenser les enjeux à protéger.

Les principaux accidents majeurs identifiés concernent les accidents pouvant impacter des cibles humaines, ils sont :

- l'effondrement de la machine,
- la chute d'élément,
- la chute de glace,
- la projection de pale ou de fragment de pale,
- la projection de glace.

Le tableau suivant récapitule les scénarios en fonction de la probabilité d'occurrence :

Scénario	Zone d'effet	Nombre de personnes permanentes	Intensité	Probabilité	Gravité	Niveau de Risque
Effondrement de l'éolienne	<u>EOL51 et EOL52</u> : Disque de 110 m de rayon <u>EOL53</u> : Disque de 100 m de rayon	Au plus 1	exposition forte	D	Sérieuse	Très Faible (acceptable)
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol (41 m)	Au plus 1	exposition forte	C	Sérieuse	Maîtrisé (acceptable)
Chute de glace	Zone de survol (41 m)	Inférieur à 1	exposition modérée	A	Modérée	Maîtrisé (acceptable)
Projection de glace	<u>EOL51 et EOL52</u> : Disque de 226,37 m de rayon <u>EOL53</u> : Disque de 211,37 m de rayon	Inférieur à 1	exposition modérée	B	Modérée	Très Faible (acceptable)
Projection de pale ou de fragment de pale	500 m autour de l'éolienne	Entre 1 et 10	exposition modérée	D	Sérieuse	Très Faible (acceptable)

Légende de la matrice

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

GRAVITÉ des conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreuse					
Catastrophique					
Importante					
Sérieuse		Effondrement de l'éolienne Projection de pale	Chute d'élément de l'éolienne		
Modérée				Projection de glace	Chute de glace

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- **tous les événements sont acceptables,**
- les cas de chute de glace et de chute d'élément de l'éolienne représentent un risque **maîtrisé** et tous les autres cas représentent des risques **très faibles**.

Les événements analysés présentent tous des risques acceptables. Les risques de chute de glace et de chute d'élément de l'éolienne sont maîtrisés et les mesures de sécurité recommandées seront mises en place.

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, 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.

1. Terrains non bâtis

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

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.

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 véhicules/jour) sont déjà comptées dans la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés.

A. 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	

B. 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.

C. Voies navigables

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

D. 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.

2. Logements

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

3. Établissements 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 rencontrera peu en pratique.

4. Zones d'activités

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

ANNEXE 2 - 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 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'événements 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).

1. Scénarios relatifs aux risques liés à la glace (G01 et G02)

A. Scénario G01

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

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

- Système de détection de glace,
- Arrêt préventif en cas de déséquilibre du rotor,
- Arrêt préventif en cas de givrage de l'anémomètre.

B. Scénario G02

La projection de glace depuis une éolienne en mouvement interviendra lors d'éventuels redémarrages 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.

2. Scénarios relatifs aux risques d'incendie (I01 à I07)

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

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

Dans l'analyse préliminaire des risques seulement quelques exemples vous sont fournis.

La méthodologie suivante pourra aider à déterminer l'ensemble des scénarios devant être regardé :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3. 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,).

A. 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 :

- Écoulement 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.

B. 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.

4. Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments (C01 à C03)

Les scénarios 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.

5. Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales (P01 à P06)

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

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

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

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

A. 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.

B. Scénario P02

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

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

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

C. 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.

6. 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 3 - Probabilité d'atteinte et risque individuel

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Événement 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 4 - 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: Événement non désiré, tel qu'une émission de substance toxique, un incendie ou une explosion résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation d'un établissement qui entraîne des conséquences/dommages vis-à-vis des personnes, des biens ou de l'environnement et de l'entreprise en général. C'est la réalisation d'un phénomène dangereux, combinée à la présence d'enjeux vulnérables exposés aux effets de ce phénomène.

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

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

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

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

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

Fonction de sécurité: Fonction ayant pour but la réduction de la probabilité d'occurrence et/ou des effets et conséquences d'un événement non souhaité dans un système.

Les principales actions assurées par les fonctions de sécurité en matière d'accidents majeurs dans les installations classées sont: empêcher, éviter, détecter, contrôler, limiter. Les fonctions de sécurité identifiées peuvent être assurées à partir d'éléments techniques de sécurité, de procédures organisationnelles (activités humaines), ou plus généralement par la combinaison des deux.

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

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

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

Intensité des effets d'un phénomène dangereux: Mesure physique de l'intensité du phénomène (thermique, toxique, surpression, projections). Parfois appelée gravité potentielle du phénomène dangereux (mais cette expression est source d'erreur).

Les échelles d'évaluation de l'intensité se réfèrent à des seuils d'effets moyens conventionnels sur des types d'éléments vulnérables [ou enjeux] tels que « homme », « structures ». Elles sont définies, pour les installations classées, dans l'arrêté du 29/09/2005. L'intensité ne tient pas compte de l'existence ou non d'enjeux exposés. Elle est cartographiée sous la forme de zones d'effets pour les différents seuils.

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

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

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

C'est une « Source potentielle de dommages »

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

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

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

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

Attention aux confusions possibles :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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 Énergies Renouvelables

FEE : France Énergie Éolienne (branche éolienne du SER)

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

EDD : Étude de dangers

APR : Analyse Préliminaire des Risques

ERP : Établissement Recevant du Public

ANNEXE 5 - 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 Éoliennes Partie 1: Exigences de conception, juin 2006
- [3] Wind Turbine Accident data to 31 March 2011, Caithness Windfarm Information Forum
- [4] Site Specific Hazard Assessment for a wind farm project – Case study – Germanischer Lloyd, Windtest Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH, 2010/08/24
- [5] Guide for Risk-Based Zoning of wind Turbines, Energy research centre of the Netherlands (ECN), H. Braam, G.J. van Mulekom, R.W. Smit, 2005
- [6] Specification of minimum distances, Dr-ing. Veenker ingenieurgesellschaft, 2004
- [7] Permitting setback requirements for wind turbine in California, California Energy Commission – Public Interest Energy Research Program, 2006
- [8] Oméga 10: Évaluation 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 Gütsch: 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., Leteurtrais 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

3 Boulevard de l'Europe
Tour de l'Europe 183
68100 MULHOUSE