



**Energie du
Pas d'Âne**

Projet éolien du Pas d'Âne

COMMUNE DE VAULX-VRAUCOURT
COMMUNAUTÉ DE COMMUNES DU SUD-ARTOIS
DÉPARTEMENT DE PAS-DE-CALAIS (62)

ÉTUDE DE DANGERS

Maître d'ouvrage
Energie du Pas d'Âne
32-36 Rue de Bellevue
92 100 Boulogne-Billancourt

DÉCEMBRE 2024



Sommaire

Introduction	4
I. Préambule	5
I.1. Objectif de l'étude de dangers	5
I.2. Contexte législatif et réglementaire	5
I.3. Nomenclature des installations classées	5
I.4. Démarche générale de l'étude de dangers	6
II. Informations générales concernant l'installation	7
II.1. Renseignements administratifs	7
II.2. Localisation du site	7
II.3. Définition de l'aire d'étude	7
III. Description de l'environnement de l'installation	9
III.1. Environnement humain	9
III.2. Environnement naturel	10
III.3. Environnement matériel	13
IV. Cartographie de synthèse	15
V. Description de l'installation	17
V.1. Caractéristiques de l'installation	17
V.2. Fonctionnement de l'installation	20
V.3. Fonctionnement des réseaux de l'installation	24
VI. Identification des potentiels de dangers de l'installation	25
VI.1. Potentiels de dangers liés aux produits	25
VI.2. Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation	25
VI.3. Réduction des potentiels de dangers à la source	26
VII. Analyse des retours d'expérience	27
VII.1. Inventaire des accidents et incidents en France	27
VII.2. Inventaire des accidents et incidents à l'international	27
VII.3. Inventaire des accidents majeurs survenus sur les sites de l'exploitant	28
VII.4. Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience	28
VII.5. Limites d'utilisation de l'accidentologie	29
VIII. Analyse préliminaire des risques	29
VIII.1. Objectif de l'analyse préliminaire des risques	29
VIII.2. Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques	29
VIII.3. Recensement des agressions externes potentielles	29
VIII.4. Scenarii étudiés dans l'analyse préliminaire des risques	30
VIII.5. Effets dominos	33
VIII.6. Mise en place des mesures de sécurité	33
VIII.7. Conclusion de l'analyse préliminaire des risques	37
IX. Etude détaillée des risques	39
IX.1. Rappel des définitions	39
IX.2. Caractérisation des scenarii retenus	40
X. Synthèse de l'étude détaillée des risques	47
XI. Conclusion	49
Bibliographie et références utilisées	50

Annexe 1 – Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne	51
Annexe 2 – Tableau de l'accidentologie française	52
Annexe 3 – Glossaire	58

Sommaire des illustrations

Carte 1 : Localisation du projet	7
Carte 2 : Aire d'étude du projet éolien de Vaulx-Vraucourt	8
Carte 3 : Distance aux habitations.....	9
Carte 4 : Localisation des ICPE.....	10
Carte 5 : Localisation du projet par rapport aux risques sismiques (Source : Ministère de l'Ecologie).....	11
Carte 6 : Répartition des impacts de foudre sur le territoire français métropolitain (Source : Météorage).....	12
Carte 7 : Zones de sensibilité aux inondations par remontées de nappes	13
Carte 8 : Distance aux voies de communication	14
Carte 10 : Réseaux.....	14
Carte 11 : Synthèse des contraintes.....	16
Carte 12 : Plan de masse du projet éolien de Vaulx-Vraucourt	19
Carte 13 : Zones d'effet du projet éolien de Vaulx-Vraucourt.....	38
Carte 14 : Synthèse des risques du projet éolien de Vaulx-Vraucourt.....	48
Tableau 1 : Coordonnées géographiques (Lambert 93) des éoliennes et des postes de livraison du parc éolien de Vaulx-Vraucourt	7
Tableau 2 : Zones habitées les plus proches du parc éolien	9
Tableau 3 : Températures moyennes de la station de Saint-Quentin (Source : Météo France).....	10
Tableau 4 : Risques naturels par commune (DDRM Meuse)	10
Tableau 5 : Liste des arrêtés portant reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle (Données : http://www.georisques.gouv.fr/).....	11
Tableau 6 : Caractérisation des voies de communication les plus proches du parc éolien de Vaulx-Vraucourt.....	13
Tableau 7 : Coordonnées géographiques (Lambert 93) des éoliennes et des postes de livraison du parc éolien ...	18
Tableau 8 : Dangers potentiels recensés.....	25
Tableau 9 : Principales agressions externes liées aux activités humaines.....	29
Tableau 10 : Principales agressions externes liées aux phénomènes naturels.....	30
Tableau 11 : Analyse générique des risques	31
Tableau 12 : Présentation des mesures de sécurités (Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)	33
Tableau 13 : Catégories exclues de l'APR.....	37
Tableau 14 : Détermination du seuil de gravité (Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)	39
Tableau 15 : Définition des classes de probabilité (Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)	40
Tableau 16 : Détermination des paramètres relatifs à l'intensité du phénomène d'effondrement d'éolienne	40
Tableau 17 : Détermination des paramètres relatifs à la gravité du phénomène d'effondrement d'éolienne (Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)	41
Tableau 18 : Paramètres relatifs à la probabilité du phénomène d'effondrement d'éolienne.....	41
Tableau 19 : Détermination des paramètres relatifs à l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne.....	42
Tableau 20 : Détermination des paramètres relatifs à la gravité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne	42
Tableau 21 : Détermination des paramètres relatifs à l'intensité du phénomène de chute de glace	43
Tableau 22 : Détermination des paramètres relatifs à la gravité du phénomène de chute de glace.....	43
Tableau 23 : Détermination des paramètres relatifs à l'intensité du phénomène de projection de glace	44
Tableau 24 : Détermination des paramètres relatifs à la gravité du phénomène de projection de glace	44
Tableau 25 : Détermination des paramètres relatifs à l'intensité du phénomène de projection de pales ou de fragments de pales (Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)	45
Tableau 26 : Détermination des paramètres relatifs à la gravité du phénomène de projection de pales ou de fragments de pales (Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)	45
Tableau 27 : Paramètres relatifs à la probabilité du phénomène de projection de pales ou de fragments de pales (Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)	45

Tableau 28 : Détermination de l'acceptabilité	47
Tableau 29 : Synthèse des risques	47

Figure 1 : Ratio incidents/puissance installée sur les parcs éoliens entre 1998 et 2018	4
Figure 2 : Démarche de l'étude de dangers.....	6
Figure 5 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur.....	17
Figure 6 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne	17
Figure 7 : Arrêt d'une éolienne (Source : ENERCON).....	20
Figure 8 : Modes de fonctionnement : courbes de puissance en fonction de la vitesse du vent (Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)	21
Figure 9 : Schéma de raccordement électrique d'un parc éolien.....	24
Figure 10 : Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières (Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)	27
Figure 11 : Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières dans le monde entre 2000 et 2011 (Source : CWIF).....	27
Figure 12 : Répartition des causes premières d'effondrement (Source : CWIF)	28
Figure 13 : Répartition des causes premières de rupture de pale (Source : CWIF).....	28
Figure 14 : Répartition des causes premières d'incendie (Source : CWIF)	28

Introduction

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

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

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

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 terrestre 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).

La Programmation pluriannuelle de l'énergie (PPE), qui fixe les priorités d'actions des pouvoirs publics dans le domaine de la transition énergétique, a attribué en 2020 des objectifs pour la filière éolienne.

Pour l'éolien terrestre, la puissance installée en France métropolitaine devra atteindre, à l'horizon 2028, 33,2 GW pour une option basse, et 34,7 GW pour une option haute.

Pour l'éolien en mer, l'objectif est d'atteindre 5,2 à 6,2 GW en 2028.

Si les éoliennes terrestres 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, ADSL, satellites, etc. qui ont permis d'améliorer la supervision des sites et la prise de commande à distance ;
- L'installation de nouveaux systèmes de sécurité (détection de glace, vibrations, arrêts automatiques, etc.).

Ainsi, les premiers incidents 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 ont largement diminué en proportion au parc installé.

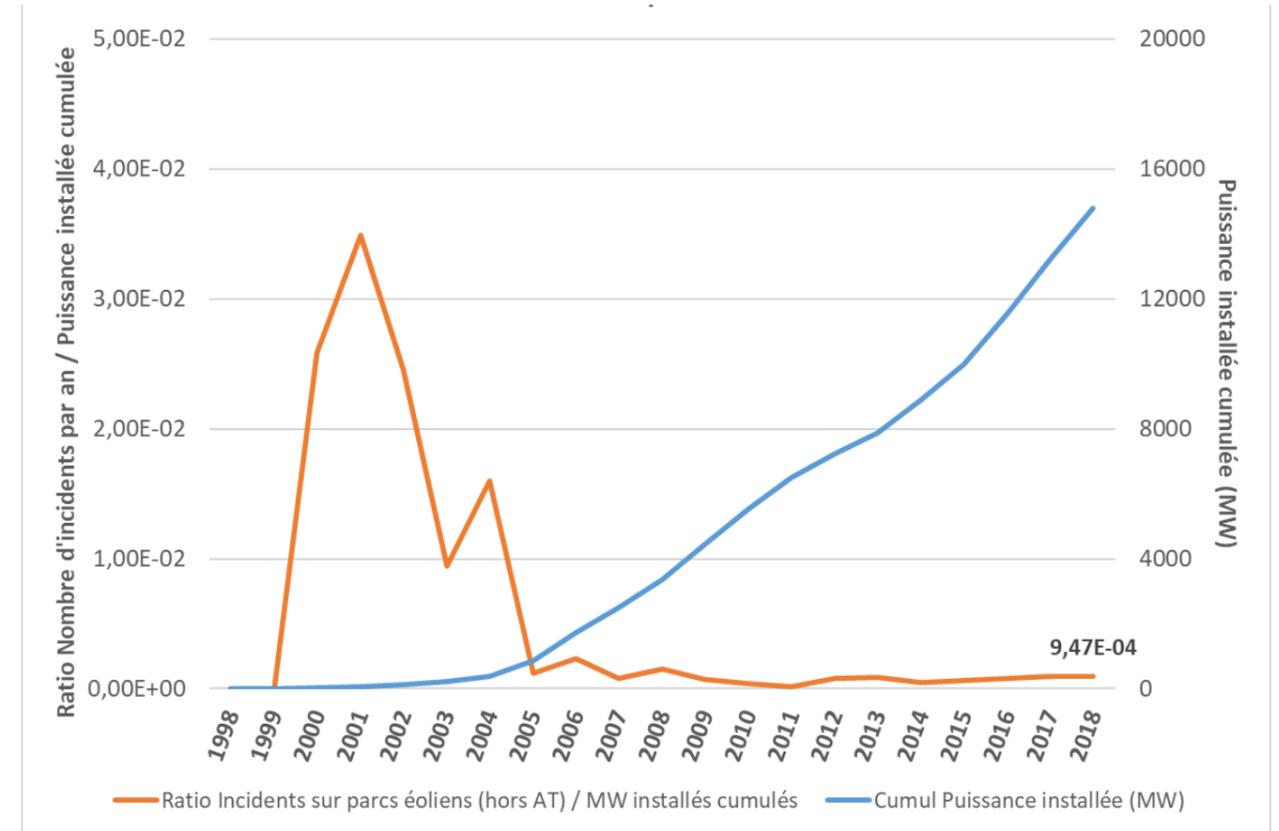


Figure 1 : Ratio incidents/puissance installée sur les parcs éoliens entre 1998 et 2018

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.

I. Préambule

I.1. Objectif de l'étude de dangers

La présente étude de dangers a été rédigée sur la base du Guide technique élaboré conjointement par les professionnels de France Renouvelable (anciennement France Energie Eolienne - FEE), du Syndicat des Energies Renouvelables (SER) et l'INERIS, sur la demande de la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) du ministère de l'Écologie. Ce guide a été reconnu comme référence pour l'étude de dangers des parcs éoliens terrestres en juin 2012 par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie.

La présente étude a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par la société Energie du Pas d'Âne caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du futur parc éolien de Vaulx-Vraucourt, autant technologiquement que 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 huit éoliennes et les trois postes de livraison du parc situés sur la commune de Vaulx-Vraucourt. 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 à la complexité des installations et de leurs risques.

Elle précise l'ensemble des mesures de maîtrise des risques mises en œuvre sur le parc éolien de Vaulx-Vraucourt, 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, en satisfaisant les principaux objectifs suivants :

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

I.2. Contexte législatif et réglementaire

L'article L.181-1 du Code de l'environnement précise que le régime de l'autorisation environnementale instauré par l'ordonnance n° 2017-80 et les décrets n°s 2017-81 et 2017-82 du 26 janvier 2017 est applicable aux installations classées pour la protection de l'environnement.

Aux termes de l'article L.515-44 du Code de l'environnement, les parcs éoliens dont l'une des éoliennes au moins dispose d'un mât d'une hauteur supérieure à 50 mètres sont soumis à autorisation au titre des installations classées pour la protection de l'environnement. L'article D.181-15-2, 10° du même Code précise que lorsque l'autorisation environnementale concerne une installation classée pour la protection de l'environnement, le dossier de demande est complété par une étude de dangers.

Selon l'article L.181-25 du Code de l'environnement, l'étude de dangers expose les risques que peut présenter l'installation pour les intérêts visés à l'article L.511-1 du même Code 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.

Le contenu de l'étude de dangers devant être jointe au dossier de demande est précisé à l'article D.181-15-2, III du Code de l'environnement.

Les intérêts visés à l'article L.511-1 du Code de l'environnement sont la commodité du voisinage, la santé, la sécurité, la salubrité publiques, l'agriculture, la protection de la nature, de l'environnement et des paysages, l'utilisation rationnelle de l'énergie, la conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique. Cependant, il convient de noter que l'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les

études de dangers des installations classées soumises à autorisation 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 au paysage), l'impact sur le fonctionnement des radars et les problématiques liées à la circulation aérienne feront l'objet d'une évaluation détaillée au sein de l'étude d'impact.

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

Selon le principe de proportionnalité, le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte tenu de son environnement et de sa vulnérabilité. Ce contenu est défini par l'article D.181-15-2, III du Code de l'environnement.

Enfin, 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 (NOR : DEVP0540371A) fixe la détermination des seuils réglementaires pour apprécier l'intensité des effets physiques des phénomènes dangereux, la gravité des accidents et les classes de probabilité de ces phénomènes et 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 (NOR : DEVP1013761C) énonce des règles de méthodologie applicables pour l'élaboration des études de dangers.

I.3. Nomenclature des installations classées

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

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

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

Le parc éolien de Vaulx-Vraucourt comprend au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m (cas 1) : cette installation est donc soumise à autorisation (A) au titre des installations classées pour la protection de l'environnement et doit présenter une étude de dangers au sein de sa demande d'autorisation d'exploiter.

1.4. Démarche générale de l'étude de dangers

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

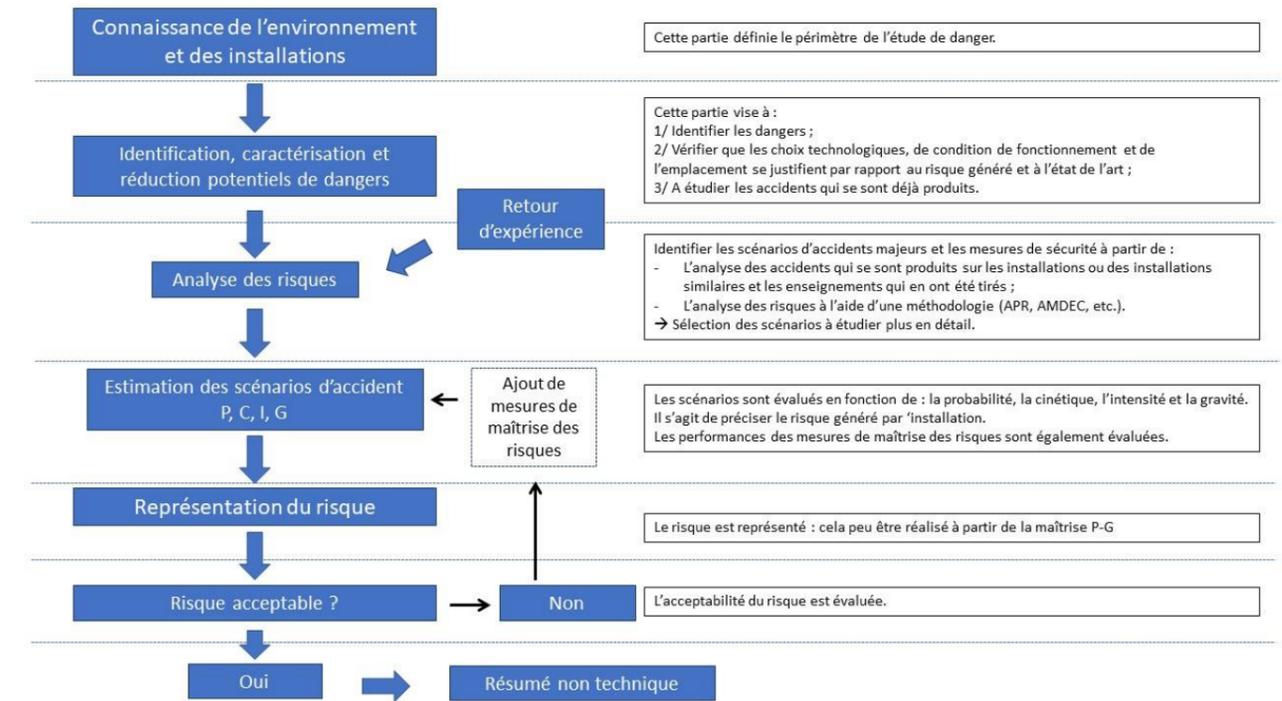


Figure 2 : Démarche de l'étude de dangers

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

II. Informations générales concernant l'installation

II.1. Renseignements administratifs

L'exploitants du parc éolien de Vaulx-Vraucourt est la société Energie du Pas d'Âne, immatriculée sous le numéro 890804271 au registre du commerce et des sociétés de Nanterre et domiciliée au 32 rue de Bellevue à Boulogne-Billancourt (92100).

Ces sociétés d'exploitation sont des filiales du groupe wpd Europe GmbH, qui rassemble l'ensemble des compétences nécessaires au développement, au financement, à la construction et à l'exploitation des parcs éoliens. En particulier, le projet éolien de Vaulx-Vraucourt a été porté par wpd onshore France, filiale française du groupe basée à Boulogne-Billancourt et chargée du développement de parcs éoliens.

La société Energie du Pas d'Âne est une société entièrement dédiée au projet éolien de Vaulx-Vraucourt, ce qui permet d'assurer une gestion locale et efficace du parc éolien.

Le rédacteur de la présente étude de dangers au sein de wpd onshore France est Maxime Maire, chargé d'études techniques.

II.2. Localisation du site

Le parc éolien de Vaulx-Vraucourt est composé de huit éoliennes et de trois postes de livraison. Il est localisé sur le territoire de la commune de Vaulx-Vraucourt située au sein de la Communauté de Communes du Sud-Artois, dans le département de Pas-de-Calais (62), en région Hauts-de-France. Les Carte 1 et 2 ci-après permettent de localiser le projet.

Tableau 1 : Coordonnées géographiques (Lambert 93) des éoliennes et des postes de livraison du parc éolien de Vaulx-Vraucourt

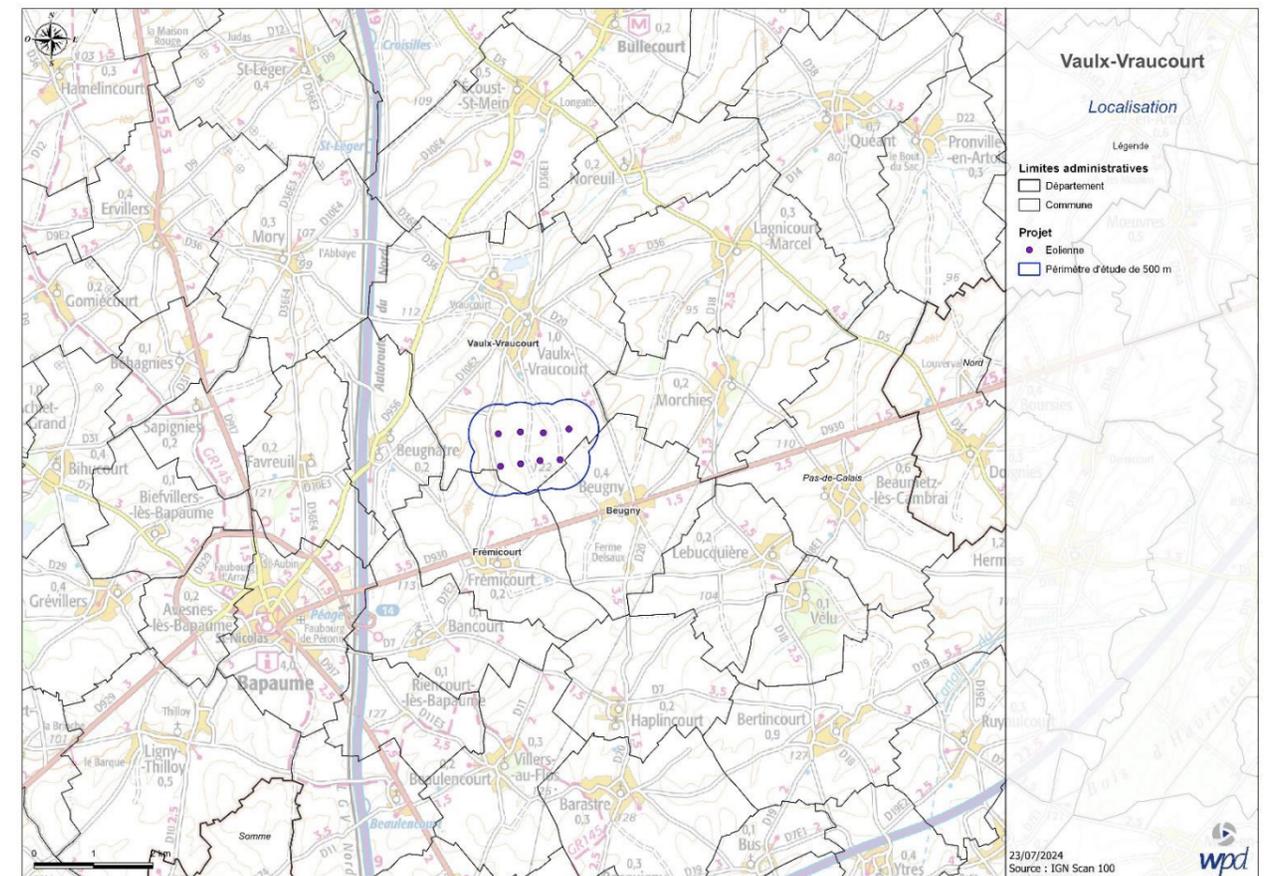
Eolienne	Hauteur bout de pale (m)	X	Y
E1	200	693786	7003135
E2	200	693456	7003617
E3	200	693845	7003603
E4	190	694272	7003665
E5	200	693121	7003039
E6	190	693460	7003081
E7	190	693786	7003135
E8	190	694122	7003150
PL1		693737	7002771
PL2		693746	7002778
PL3		694139	7003474

II.3. Définition de l'aire d'étude

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

Chaque aire d'étude correspond à l'ensemble des points situés à une distance inférieure ou égale à 500 m à partir de l'emprise du mât de l'aérogénérateur. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection, telle que définie au paragraphe IX.2.

La zone d'étude n'intègre pas les environs des postes de livraison, qui seront néanmoins représentés sur les cartes. 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. L'aire d'étude retenue dans le cadre de ce projet est représentée sur la Carte 2.



Carte 1 : Localisation du projet



Carte 2 : Aire d'étude du projet éolien de Vaux-Vraucourt

III. Description de l'environnement de l'installation

Ce chapitre a pour objectif de décrire l'environnement dans le périmètre 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).

III.1. Environnement humain

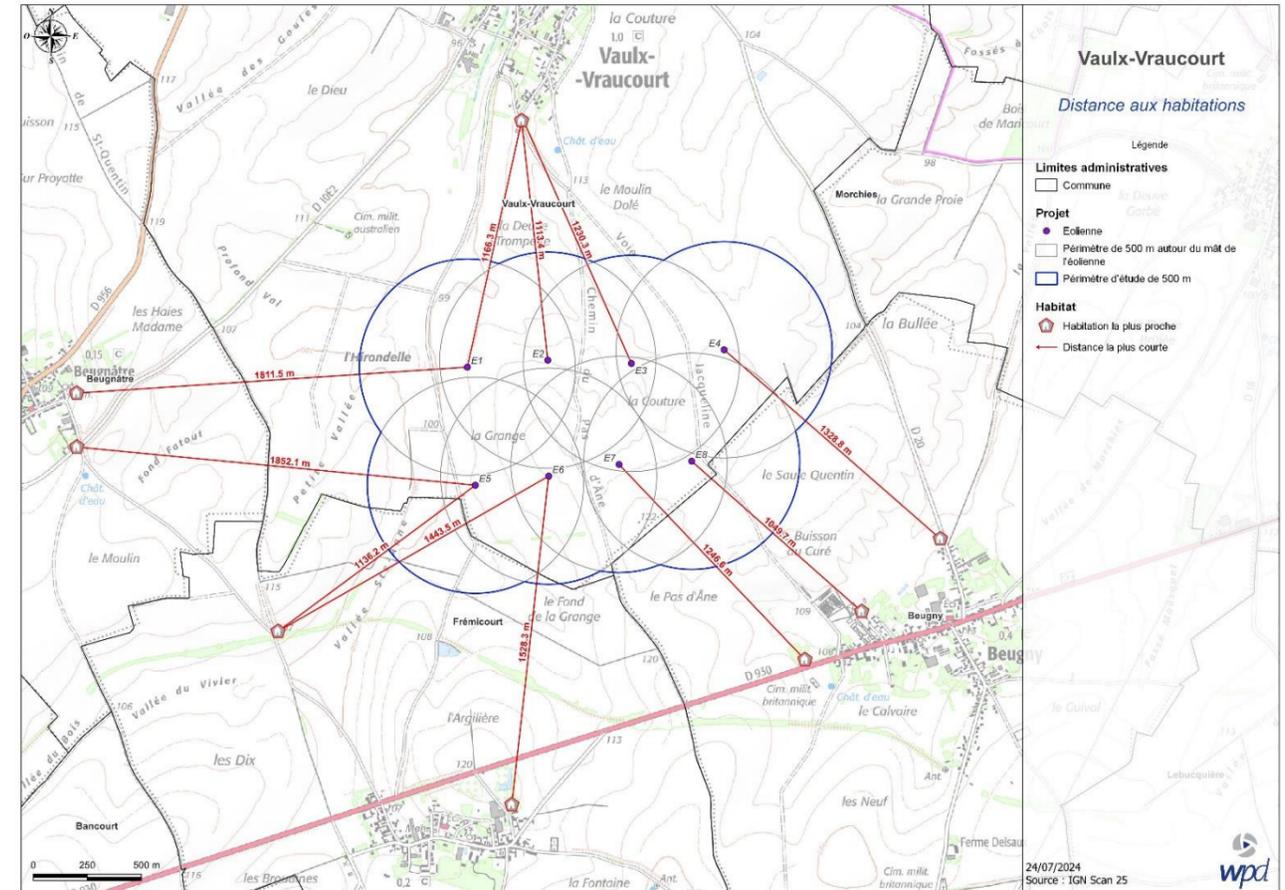
III.1.1. Zones urbanisées

L'habitation la plus proche est située à Beugny, à 1049 mètres de la première éolienne (E8).

Tableau 2 : Zones habitées les plus proches du parc éolien

Commune	Distance au parc éolien
Vaulx-Vraucourt	1166 m (E1)
Vaulx-Vraucourt	1113 m (E2)
Vaulx-Vraucourt	1230 m (E3)
Beugny	1328 m (E4)
Beugny	1049 m (E8)
Beugny	1246 m (E7)
Frémicourt	1528 m (E6)
Frémicourt	1443 m (E6)
Frémicourt	1136 m (E5)
Beugnâtre	1852 m (E5)
Beugnâtre	1811 m (E1)

Les éoliennes du parc éolien de Vaulx-Vraucourt sont à chaque fois situées à plus de 1000 mètres des habitations.



Carte 3 : Distance aux habitations

III.1.2. Etablissements Recevant du Public (ERP)

Aucun ERP n'est concerné par le périmètre d'étude. Les ERP les plus proches (de type écoles, mairies ou magasins de vente) se situent au sein des villages alentour.

III.1.3. Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)

D'après les informations disponibles, il n'y a pas d'ICPE dans le rayon d'étude de 500 m autour des éoliennes. L'ICPE éolien le plus proche est la ferme éolienne de la Martelotte, située à 2507m de E1. L'ICPE le plus proche hors éolien est situé à plus de 1300m des éoliennes projetées, il s'agit de l'entreprise Davion Renee.

Il n'y a pas d'installation classée SEVESO sur le territoire de la commune d'implantation.

Ces données sont issues de la base de données des Installations Classées du ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer, disponible en ligne.

Tableau 3 : Températures moyennes de la station de Saint-Quentin (Source : Météo France)

Température moyenne (°C)												
Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
3,6	4,2	7,2	10	13,4	16,2	18,4	18,4	15,2	11,4	6,9	4,1	10,8

La formation de gel peut potentiellement intervenir 48,5 jours/an en moyenne, sur une période s'étendant d'octobre à mai lorsque les températures minimales du jour sont inférieures à 0°C.

Nombre de jours avec des températures inférieures ou égales à 0°C												
Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
11,9	10,7	6,2	2,8	0,1	0	0	0	0	1,2	4,6	11,1	48,5

Les précipitations annuelles moyennes sont d'environ 683,4 mm et sont relativement bien réparties sur l'année.

Hauteur moyenne des précipitations (en mm)												
Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
54,1	48	51,3	43,2	57,1	59,8	60,2	70,8	51,4	60,3	56,8	70,4	683,4

Aucune donnée relative au brouillard et à l'orage n'est disponible à la station de Saint-Quentin pour la période de 1991-2020 ni aux stations proches.

III.2.3. Vent

Les données météorologiques de la station de Saint-Quentin montrent une prédominance des vents provenant du sud-ouest, tant par leur fréquence que par leur intensité. Des rafales de vent de plus de 58 km/h sont enregistrées en moyenne 35,3 jours par an, tandis que les rafales de vent de plus de 100 km/h sont enregistrées en moyenne 0,5 jour par an. La rafale maximale de vent à Saint-Quentin a été enregistrée à environ 133,2 km/h en 1990.

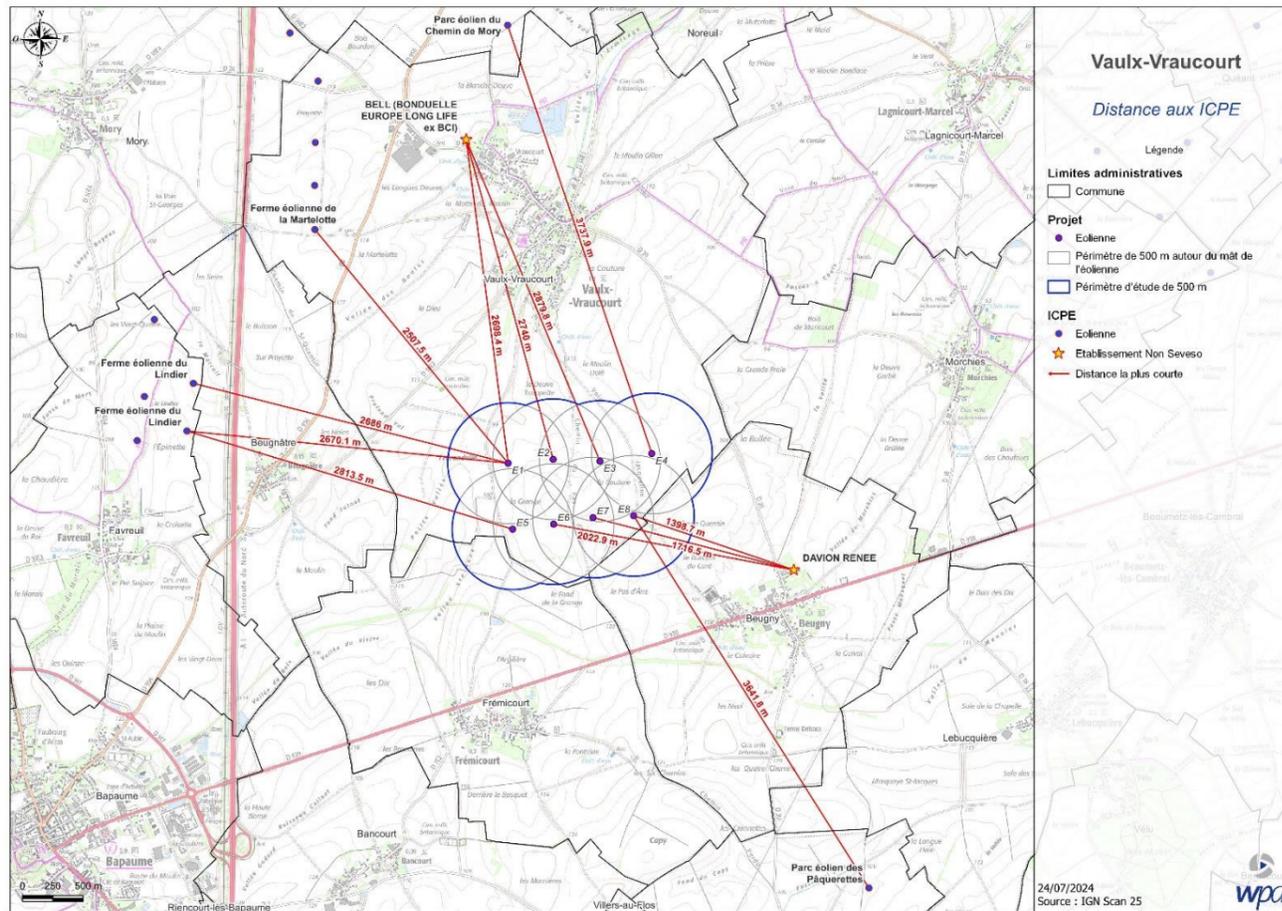
III.2.4. Risques naturels

L'objectif du dossier départemental des risques majeurs (DDRM) est d'informer et de sensibiliser les élus locaux et les citoyens sur les risques potentiels auxquels ils sont exposés, afin de développer une véritable culture des risques et l'appropriation des mesures pertinentes pour les prévenir et s'en protéger.

Le DDRM liste les risques sur le territoire. Le DDRM du département du Pas de Calais a été consulté afin de recenser les risques au droit de l'aire d'étude immédiate, située sur le territoire des communes de Vaulx-Vraucourt, Morchies, Beugny, Frémicourt et Beugnâtre. Les risques naturels majeurs dans ce département sont le risque d'inondation, de mouvement de terrain et les séismes. Un Plan de Prévention des Risques naturels est prescrit pour la commune de Frémicourt.

Tableau 4 : Risques naturels par commune (DDRM Meuse)

Communes	Inondation	Mouvements de terrain		Séisme
		Cavités	Retrait-gonflement des argiles	
Vaulx-Vraucourt	Non	Oui	Non	Non
Morchies	Non	Oui	Non	Non
Beugny	Non	Oui	Non	Non
Frémicourt	Non	Oui (PPRn prescrit)	Non	Non
Beugnâtre	Non	Oui	Non	Non



Carte 4 : Localisation des ICPE

III.1.4. Autres activités

Le voisinage immédiat du parc éolien de Vaulx-Vraucourt est constitué principalement de cultures, de prairies, de boisements et de chemins communaux.

III.2. Environnement naturel

III.2.1. Préambule Contexte climatique

Le climat du Pas-de-Calais est un climat océanique. Les amplitudes thermiques sont faibles, les hivers doux et les étés plutôt frais. Il existe toutefois des contrastes climatiques importants au sein de la région : le caractère océanique étant plus marqué sur les côtes que dans les terres et les reliefs étant les plus arrosés par les précipitations.

Les données présentées sont issues des normales climatiques de 1991-2020 de la station de Saint-Quentin (02), située à environ 36 km au sud-est de la zone d'implantation potentielle.

III.2.2. Températures et précipitations

Les températures fluctuent en fonction des saisons, avec des températures minimales moyennes de 3,6°C en janvier, et des températures maximales moyennes de 18,4°C en juillet. La température moyenne annuelle est de 10,8°C.



Tableau 5 : Liste des arrêtés portant reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle (Données : <http://www.georisques.gouv.fr/>)

Commune	Inondations et/ou coulées de boue	Mouvements de terrain
Vaulx-Vraucourt	2	1
Morchies	3	-
Beugny	2	2
Frémicourt	2	1
Beugnâtre	1	-

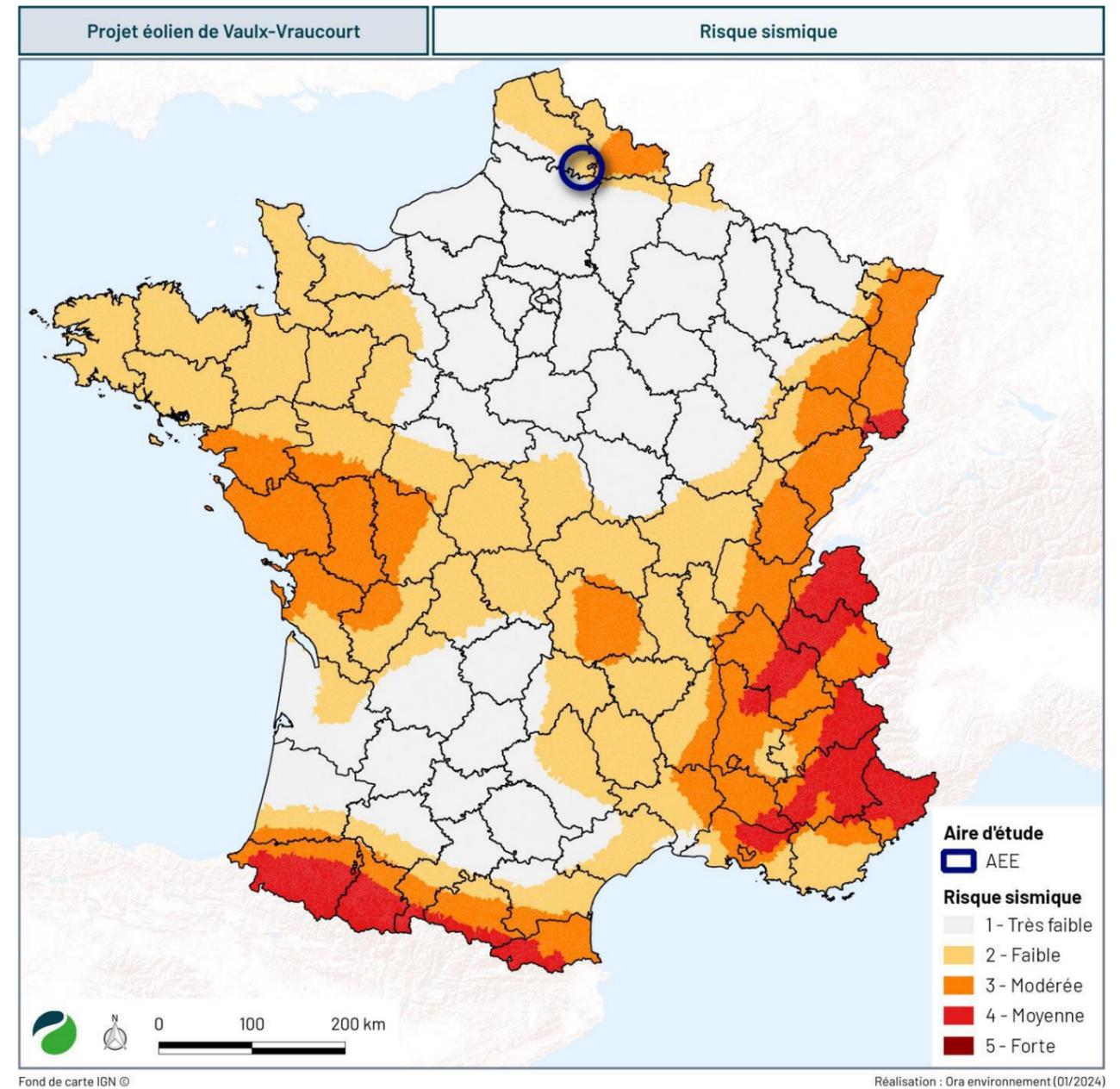
III.2.5. Sismicité

Un séisme est une rupture brutale de roches au sein de l'enveloppe terrestre, à l'origine de la propagation d'ondes, qui peuvent se traduire en surface par une dégradation de bâtiments, un décalage de la surface du sol par la création de failles. Depuis le 22 octobre 2010, la France dispose d'un zonage sismique divisant le territoire national en cinq zones de sismicité croissante en fonction de la probabilité d'occurrence des séismes :

- Une zone de sismicité 1 où il n'y a pas de prescription parasismique particulière pour les bâtiments à risque normal (l'aléa sismique associé à cette zone est qualifié de très faible) ;
- Quatre zones de sismicité 2 à 5, où les règles de construction parasismique sont applicables aux nouveaux bâtiments, et aux bâtiments anciens dans des conditions particulières.

Les zones de sismicité 5 (aléa fort) se trouvent exclusivement sur des départements outre-mer.

Comme illustré sur la carte ci-après, la zone d'implantation potentielle se trouve en zone de sismicité 2 (faible).



Carte 5 : Localisation du projet par rapport aux risques sismiques (Source : Ministère de l'Ecologie)

Le site d'étude est localisé dans une zone de sismicité 2, correspondant à un risque faible. Un projet de parc éolien n'est pas soumis à des exigences réglementaires particulières sur ce type de zone et n'augmentera pas le niveau de ce risque.

III.2.6. Mouvements de terrain

Un mouvement de terrain est un phénomène qui se caractérise par un déplacement, plus ou moins brutal, du sol ou du sous-sol sous l'effet d'influences naturelles (agent d'érosion, pesanteur...) ou anthropiques (exploitation de matériaux, déboisement, terrassement...). Il se manifeste de diverses manières, lentes ou rapides, en fonction des mécanismes initiateurs, des matériaux considérés et de leur structure. Les mouvements lents et continus concernent les tassements et les affaissements de sols, le retrait-gonflement des argiles et les glissements de terrain le long d'une pente. Les mouvements rapides et discontinus concernent quant à eux les effondrements de cavités souterraines naturelles ou artificielles (carrières et ouvrages souterrains), les écroulements et les chutes de blocs, coulées boueuses et torrentielles, ainsi que l'érosion de berges.

Plan de Prévention des Risques Mouvement de Terrain

Les communes de Vaulx-Vraucourt, Beugny et Frémicourt ont connu des mouvements de terrain. Par ailleurs, aucun Plan de Prévention des Risques (PPR) Mouvement de Terrain n'est adopté sur ces communes.

Aléa retrait-gonflement des argiles au droit du site

L'aléa retrait-gonflement des argiles sur la zone est considéré faible au droit de la zone d'implantation.

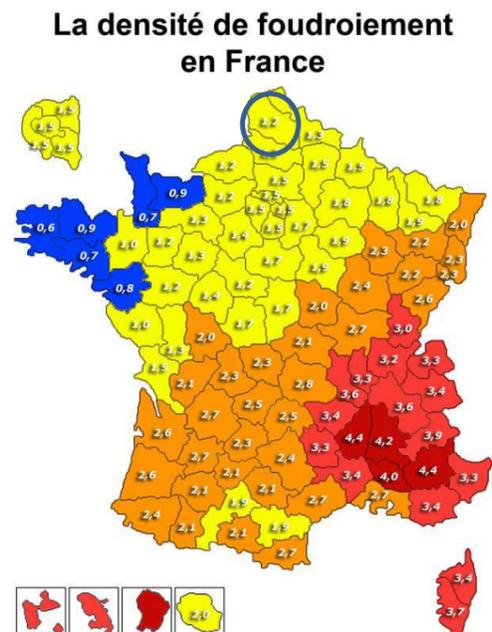
Présence de cavités au droit du site

La consultation de la base de données des cavités souterraines du BRGM n'a pas permis de mettre en évidence des cavités indéterminées au sein de l'aire d'étude immédiate. Aucune d'entre elles n'est présente dans la zone d'implantation potentielle.

Le risque de mouvement de terrain présente un enjeu faible lié à l'aléa retrait-gonflement des argiles. Un projet éolien n'étant pas concerné par ce risque, la sensibilité est nulle.

III.2.7. Foudre

À l'échelle de la France, l'indice utilisé pour mesurer l'impact de la foudre est la densité de foudroiement (Ng), son chiffre indique le nombre de coups de foudre par an et par kilomètre carré. La densité de foudroiement, dans le Pas-de-Calais, est de 1,2 impact de foudre/km²/an. Le niveau kéraunique (Nk) est le second indice utilisé afin de définir le nombre de jours d'orage par an. Dans le Pas-de-Calais, on dénombre moins de 25 jours d'orage chaque année.



Carte 6 : Répartition des impacts de foudre sur le territoire français métropolitain (Source : Météorage)

III.2.8. Aléa inondation

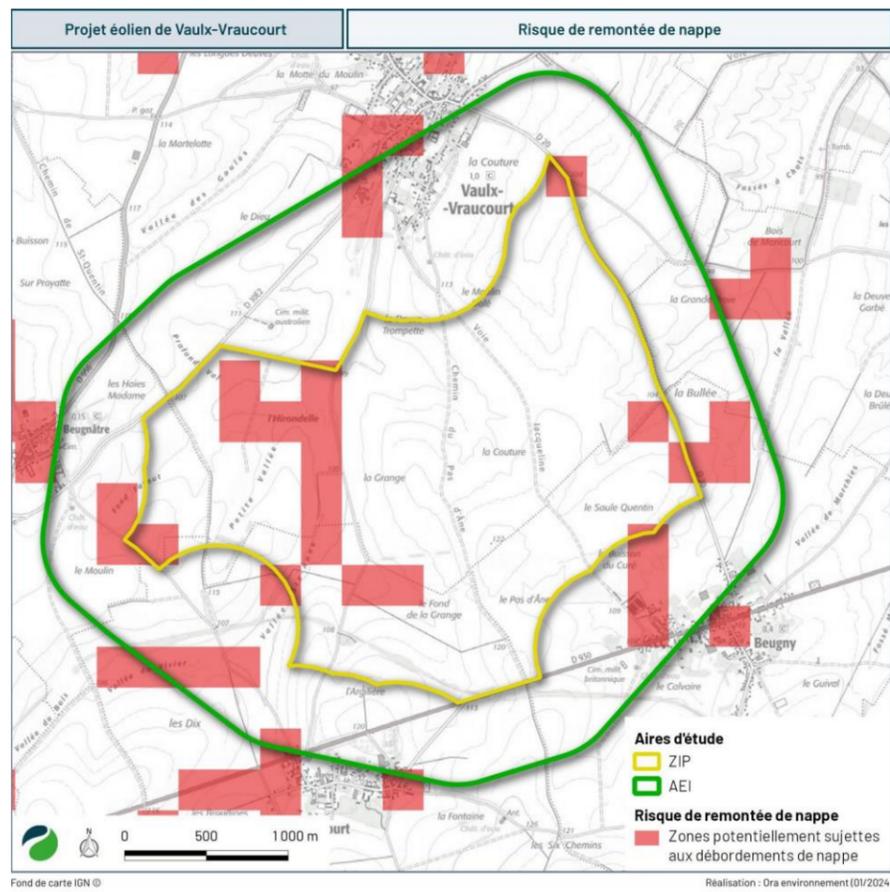
La rivière sort de son lit lentement et occupe son lit moyen et éventuellement son lit majeur. La plaine peut être inondée pendant une période relativement longue, car la faible pente ralentit l'évacuation de l'eau. La sécurité des riverains est souvent compromise, en grande partie pour le non-respect des consignes ou par méconnaissance du risque. En parallèle, les conséquences économiques des zones inondées sont hautement significatives, puisque la durée des inondations peut dépasser les semaines, ce qui entraîne des dégâts matériels considérables pour les personnes, ainsi que des désordres sanitaires et publics coûteux pour la ville.

Les communes étudiées ne sont pas concernées par un plan de prévention des risques inondation. La zone d'étude n'est pas concernée par un Atlas des Zones Inondables.

III.2.9. Aléa remontée de nappes

Les nappes phréatiques sont dites « libres » lorsqu'aucune couche imperméable ne les sépare du sol. Elles sont alimentées par la pluie, dont une partie s'infiltré dans le sol et rejoint la nappe. Lorsque l'eau de pluie atteint le sol, une partie est évaporée. Une seconde partie s'infiltré et est reprise plus ou moins vite par l'évaporation et par les plantes, une troisième s'infiltré plus profondément dans la nappe. Après avoir traversé les terrains contenant à la fois de l'eau et de l'air, qui constituent la zone non saturée (ZNS), elle atteint la nappe où les vides de roche ne contiennent plus que de l'eau, et qui constitue la zone saturée. On dit que la pluie recharge la nappe. C'est durant la période hivernale que la recharge survient, car les précipitations sont les plus importantes, la température et l'évaporation sont faibles et la végétation est peu active et ne prélève pratiquement pas d'eau dans le sol. A l'inverse durant l'été, la recharge est faible ou nulle. Ainsi on observe que le niveau des nappes s'élève rapidement en automne et en hiver, jusqu'au milieu du printemps. Il décroît ensuite en été pour atteindre son minimum au début de l'automne. On appelle « battement de la nappe » la variation de son niveau au cours de l'année. Si des éléments pluvieux exceptionnels surviennent et engendrent une recharge exceptionnelle, le niveau de la nappe peut atteindre la surface du sol. La zone non saturée est alors totalement envahie par l'eau lors de la montée du niveau de la nappe : c'est l'inondation par remontée de nappe. On conçoit que plus la zone non saturée est mince, plus l'apparition d'un tel phénomène est probable. On appelle zone « sensible aux remontées de nappes » un secteur dont les caractéristiques d'épaisseur de la Zone Non Saturée, et de l'amplitude du battement de la nappe superficielle, sont telles qu'elles peuvent déterminer une émergence de la nappe au niveau du sol, ou une inondation des sous-sols à quelques mètres sous la surface du sol.

D'après la carte ci-après, l'aire d'étude immédiate du projet est partiellement concernée par ce risque. Les zones potentiellement sujettes aux débordements de nappes se trouvent principalement sur l'ouest et l'est de la zone d'implantation potentielle.



Carte 7 : Zones de sensibilité aux inondations par remontées de nappes

Le risque reste faible et localisé. La sensibilité est très faible.

III.2.10. Tempêtes

Une tempête correspond à l'évolution d'une perturbation atmosphérique, ou dépression, le long de laquelle s'affrontent deux masses d'air aux caractéristiques distinctes (température, teneur en eau). De cette confrontation naissent notamment des vents pouvant être très violents. On parle de tempête lorsque les vents dépassent 89 km/h (soit 48 noeuds, degré 10 de l'échelle de Beaufort). Les tornades sont considérées comme un type particulier de manifestation des tempêtes, singularisé notamment par une durée de vie limitée et par une aire géographique touchée minimale par rapport aux tempêtes classiques. Ces phénomènes localisés peuvent toutefois avoir des effets dévastateurs, compte tenu en particulier de la force des vents induits (vitesse maximale de l'ordre de 450 km/h). Au regard du DDRM, le département du Pas-de-Calais est soumis au risque d'événements climatiques, dont les tempêtes, cependant il ne constitue pas un risque majeur. D'après les relevés météorologiques effectués à la station de Saint-Quentin, à environ 36 km au sud-est de la zone d'implantation potentielle, la rafale maximale de vent a été enregistrée à environ 133,2 km/h en 1990. Le nombre moyen de jours avec des rafales supérieures à 100 km/h est inférieur à un jour par an. Les éoliennes sont équipées par défaut de parafoudres et sont donc peu sensibles au risque d'orage. Les vents forts peuvent conduire à des efforts significatifs sur l'éolienne, mais celle-ci est néanmoins conçue pour répondre à une classe de vents adaptée au site d'implantation.

La sensibilité vis-à-vis d'un projet éolien est très faible.

III.2.11. Aléa feu de forêt et cultures

Généralités

On définit le feu de forêt comme un incendie qui a atteint une formation forestière ou sub-forestière (friches - landes) dont la surface, d'un seul tenant, est supérieure à 1 hectare.

Risque au droit de la ZIP

La zone d'implantation potentielle étant principalement située dans des parcelles agricoles. Seuls quelques haies et arbres isolés sont présents. Le risque de feux de forêt ne constitue pas un enjeu majeur. Au regard des conditions climatiques rencontrées dans l'Aisne, le risque apparaît très faible au droit de la zone d'implantation potentielle. Le risque de feux de culture est plus probable, toutefois les conditions climatiques du département font que le risque apparaît comme faible. Il est noté que les mâts d'éoliennes sont composés de matériaux inertes (acier ou béton) peu sensibles aux incendies.

III.2.1. Incendie

Les SDIS du Pas-de-Calais a été consulté en date du 2 novembre 2020.

Plusieurs centre SDIS se trouvent dans le périmètre de 20km autour de Vaulx-Vraucourt : Miraumont, Baralle et Saint-Laurent-Blangy.

III.3. Environnement matériel

Les distances indiquées ci-après sont mesurées à partir du centre du mât de chacune des éoliennes.

III.3.1. Voies de communication

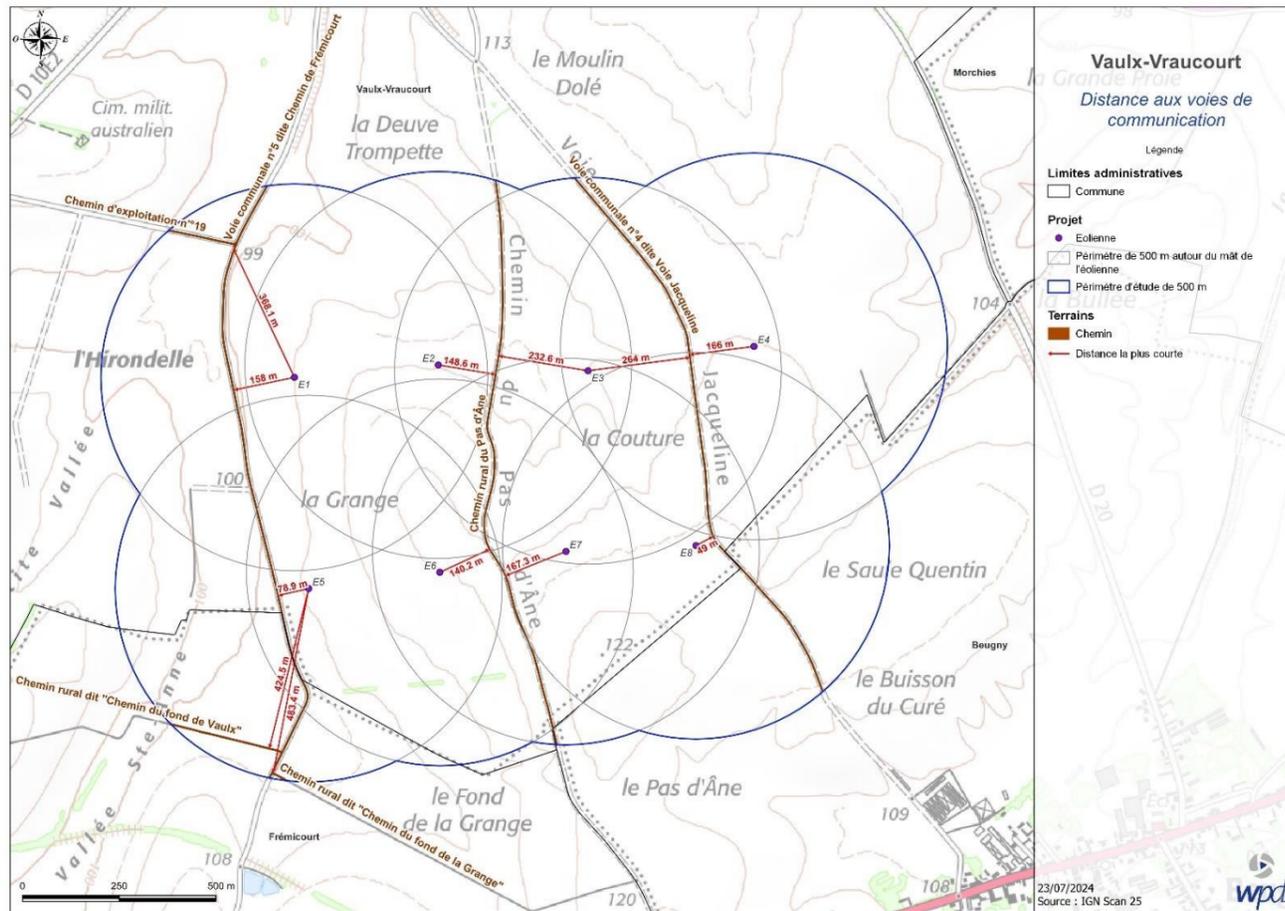
Le tableau suivant recense l'ensemble des réseaux de communication présents dans les limites du périmètre d'étude. Les infrastructures constituent des chemins ruraux ou des voies communales.

Tableau 6 : Caractérisation des voies de communication les plus proches du parc éolien de Vaulx-Vraucourt

Infrastructure	Fonction	Evènement redouté	Danger potentiel	Distance par rapport au mât des éoliennes les plus proches (en m)
Chemins ruraux, d'exploitation et voies communales	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermique	Voie communale n°5 dite Chemin de Frémicourt (158m de E1 et 78.9m de E5)
				Chemin exploitation n°19 (368m de E1)
				Chemin rural du Pas d'Âne (148m de E2, 232m de E3, 140m de E6 et 167m de E7)
				Voie communale n°4 dite Voie Jacqueline (264m de E3, 166m de E4 et 49m de E8)
				Chemin rural dit « Chemin du fond de Vaulx » (424.5m de E5)
				Chemin rural dit « Chemin du fond de la Grange » (483m de E5)

La distinction entre chemin agricole (ou chemin d'exploitation) et chemin rural repose le statut juridique des voies. Leur fréquentation est faible.

D'après les comptages routiers effectués par le Pas de Calais en 2019, la fréquentation journalière moyenne de la D930 est de 4239 véhicules, mais cette voie de communication n'entre pas dans la zone d'effet.

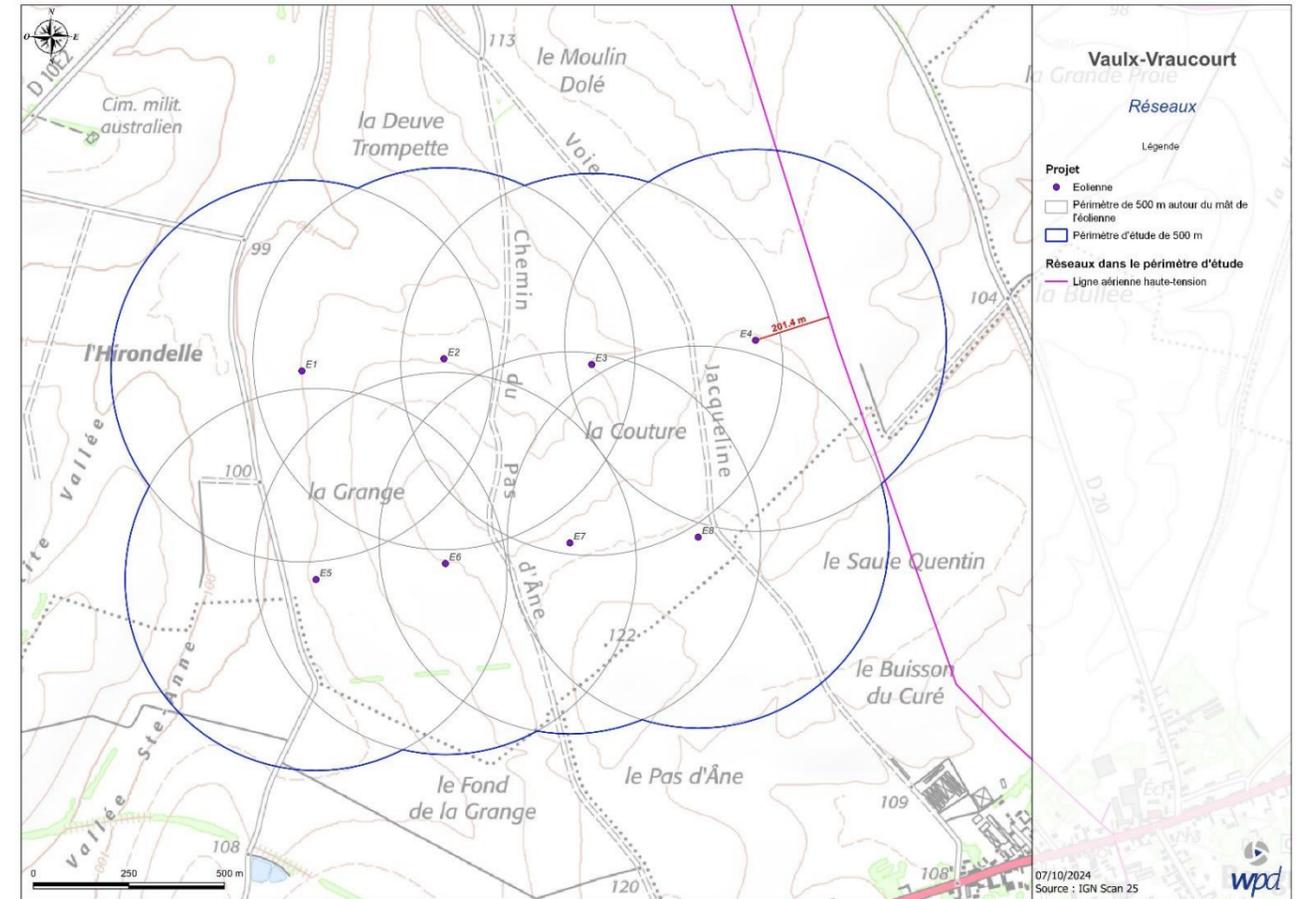


Carte 8 : Distance aux voies de communication

III.3.2. Emprises et réseaux publics et privés

D'après la consultation des bases de données « Réseau et canalisations », de l'Agence Nationale des Fréquences et des opérateurs téléphoniques, il existe une ligne aérienne haute-tension de 225kV dans la zone d'étude.

Ces réseaux sont visibles sur la carte ci-après.



Carte 9 : Réseaux

III.3.3. Captages d'eau potable

Des forages et puits sont présents au droit de l'aire d'étude immédiate. On constate que 7 forages sont situés dans la zone d'implantation potentielle.

Les captages d'alimentation en eau potable sont traités dans le volet « environnement humain » de l'étude d'impact.

III.3.4. Autres ouvrages publics

Aucun autre ouvrage public n'a été répertorié dans le périmètre d'étude.

Il est important de rappeler que le danger sur les infrastructures proches est faible lors de la phase d'exploitation du parc éolien. Les risques lors de la phase chantier ne sont pas traités dans la présente étude de dangers.

IV. Cartographie de synthèse

La carte de synthèse de contrainte est présente sur la page suivante.

Le nombre de personnes exposées est renseigné selon la fiche n°1 « Eléments pour la détermination de la gravité dans les études de dangers » de la circulaire du 10 mai 2010 (présentée en annexe 1).

Zones correspondant à une densité de 1 personne par tranche de 100 ha

Dans le périmètre d'étude de 500 mètres autour des éoliennes, on trouve en majeure partie **des zones non aménagées peu à très peu fréquentées (champs, boisements, etc.)**. Cette catégorie correspond à une densité de 1 personne par tranche de 100 ha.

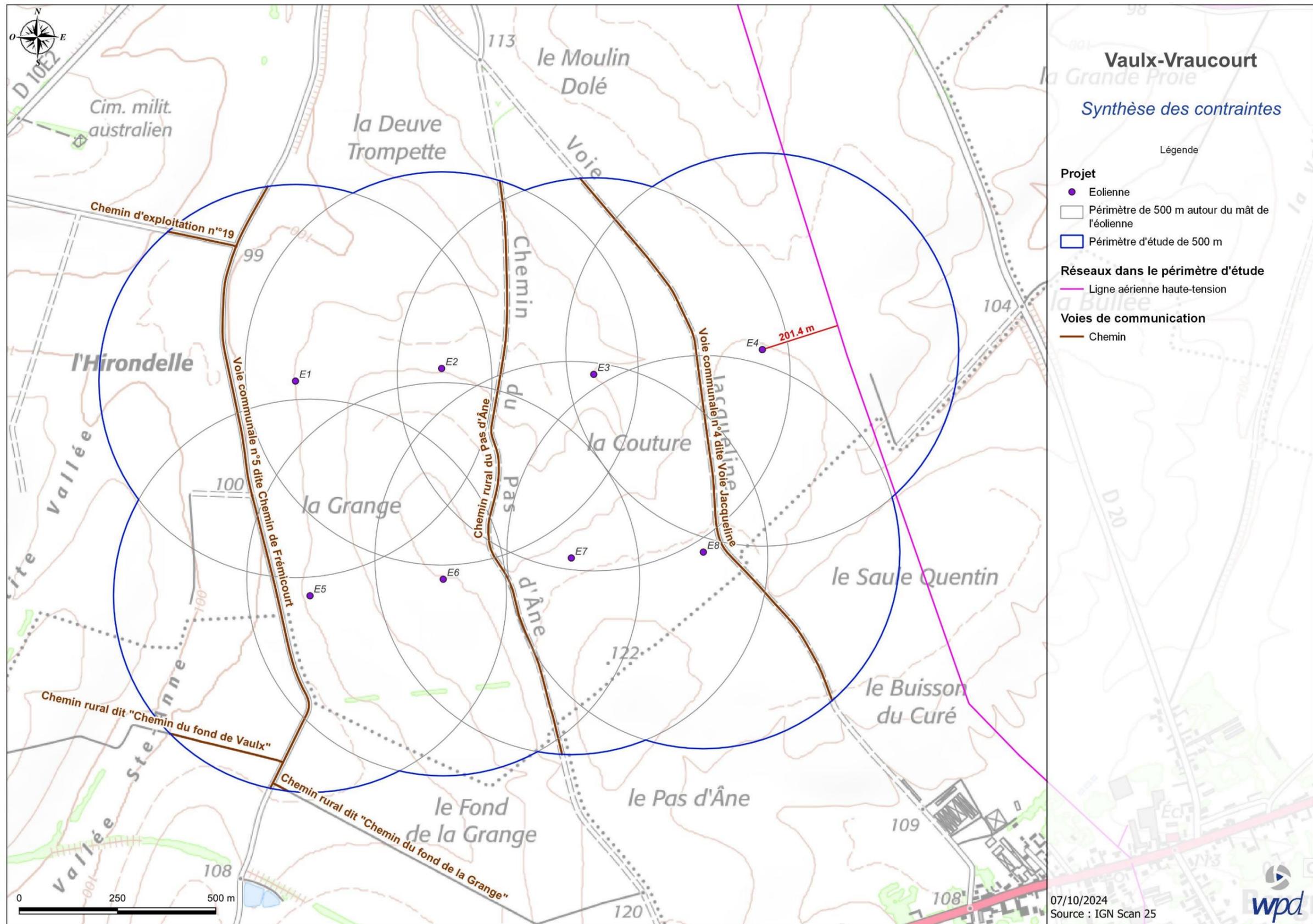
Zones correspondant à une densité de 1 personne par tranche de 10 ha

En ce qui concerne les voies présentes sur le site, il s'agit, des chemins ruraux et d'exploitation non goudronnés et des voies communales, correspondant à des zones aménagées mais peu à très peu fréquentées. On considère donc une fréquentation de 1 personne par tranche de 10 ha.

Localisation des biens, structures et autres établissements

Aucun ouvrage à destination d'habitation ne se situe dans le périmètre de 500 mètres autour des éoliennes. La maison la plus proche est située à plus de 1113 m de l'éolienne la plus proche (Vaulx-Vraucourt).





Carte 10 : Synthèse des contraintes



V. Description de l'installation

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

V.1. Caractéristiques de l'installation

V.1.1. Caractéristiques générales d'un parc éolien

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

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

V.1.2. Éléments constitutifs d'un aérogénérateur

Au sens de l'arrêté du 22 juin 2020 portant modification des prescriptions relatives aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement et qui modifie 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, dit par la suite « arrêté du 26 août 2011 modifié », 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, un rotor auquel sont fixées des pales, ainsi que, le cas échéant, un transformateur.

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

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

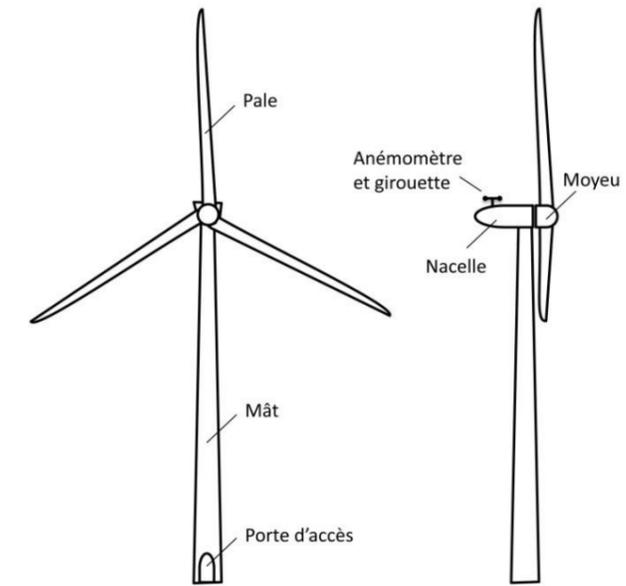


Figure 3 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

V.1.3. Emprise au sol

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

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

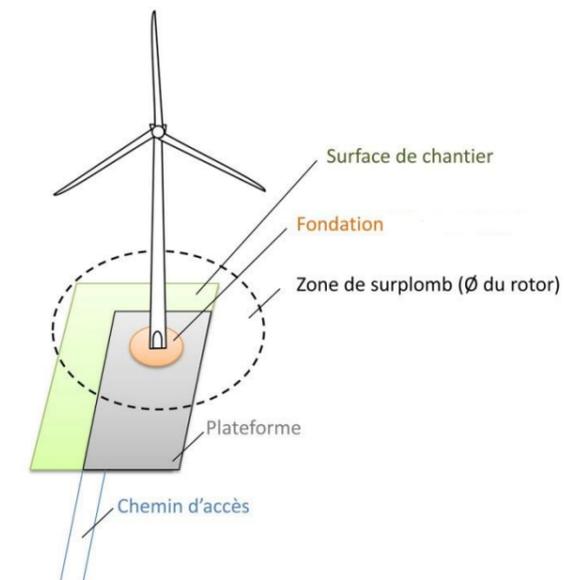


Figure 4 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne

V.1.4. Chemins d'accès

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

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

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

V.1.5. Raccordement électrique souterrain

Le raccordement électrique souterrain est le réseau de câbles interne au parc éolien. Il permet de diriger l'électricité produite par les éoliennes vers les postes de livraison.

Le raccordement électrique souterrain sera établi suivant les prescriptions de l'arrêté technique du 17 mai 2001 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les réseaux de distribution d'énergie électrique.

Les ouvrages seront conçus et réalisés suivant l'état de l'art, la réglementation et les normes en vigueur, notamment les normes NF C 15-100 (installations électriques basse tension), NF C 13-100 (postes de livraison), NF C 13-200 (installations électriques haute tension), NF C 33-226 (conception des câbles) et NF C 20-030 (protection contre les chocs électriques).

Des informations plus détaillées concernant le réseau électrique souterrain (caractéristiques techniques, longueurs de tranchées, etc.) figurent en annexe de la présente étude.

V.1.6. Activité de l'installation

L'activité principale du parc éolien de Vaulx-Vraucourt est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent, avec des éoliennes de 190 et 200 m de hauteur totale au maximum. Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

V.1.7. Composition de l'installation

Le parc éolien de Vaulx-Vraucourt est constitué de huit aérogénérateurs et de trois postes de livraison, situés sur des parcelles agricoles au sud de Vaulx-Vraucourt. Il est envisagé, au moment de la rédaction de cette étude différents types d'aérogénérateurs dont le gabarit maximal est de 190 et 200 mètres en bout de pale, la puissance nominale maximale de 4,5 MW, la hauteur de moyeu comprise entre 115 et 125 mètres et le rotor de 150 mètres de diamètre maximal.

Dans un souci de maximisation des risques, l'étude détaillée des risques sera effectuée en utilisant les caractéristiques suivantes :

- Hauteur maximale totale en bout de pales : $H_t = 200$ m pour E1 E2 E3 E5 et 190m pour E4 E6 E7 E8 ;
- Rayon maximal du rotor : $R = 75$ m ;
- Hauteur du moyeu : $H = 125$ m pour E1 E2 E3 E5 et 115m pour E4 E6 E7 E8
- Largeur du mât : $L = 10$ m ;
- Largeur maximisée de la pale : $LB = 4,5$ m.

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des huit aérogénérateurs et des trois postes de livraison dans le système de coordonnées Lambert 93 :

Tableau 7 : Coordonnées géographiques (Lambert 93) des éoliennes et des postes de livraison du parc éolien

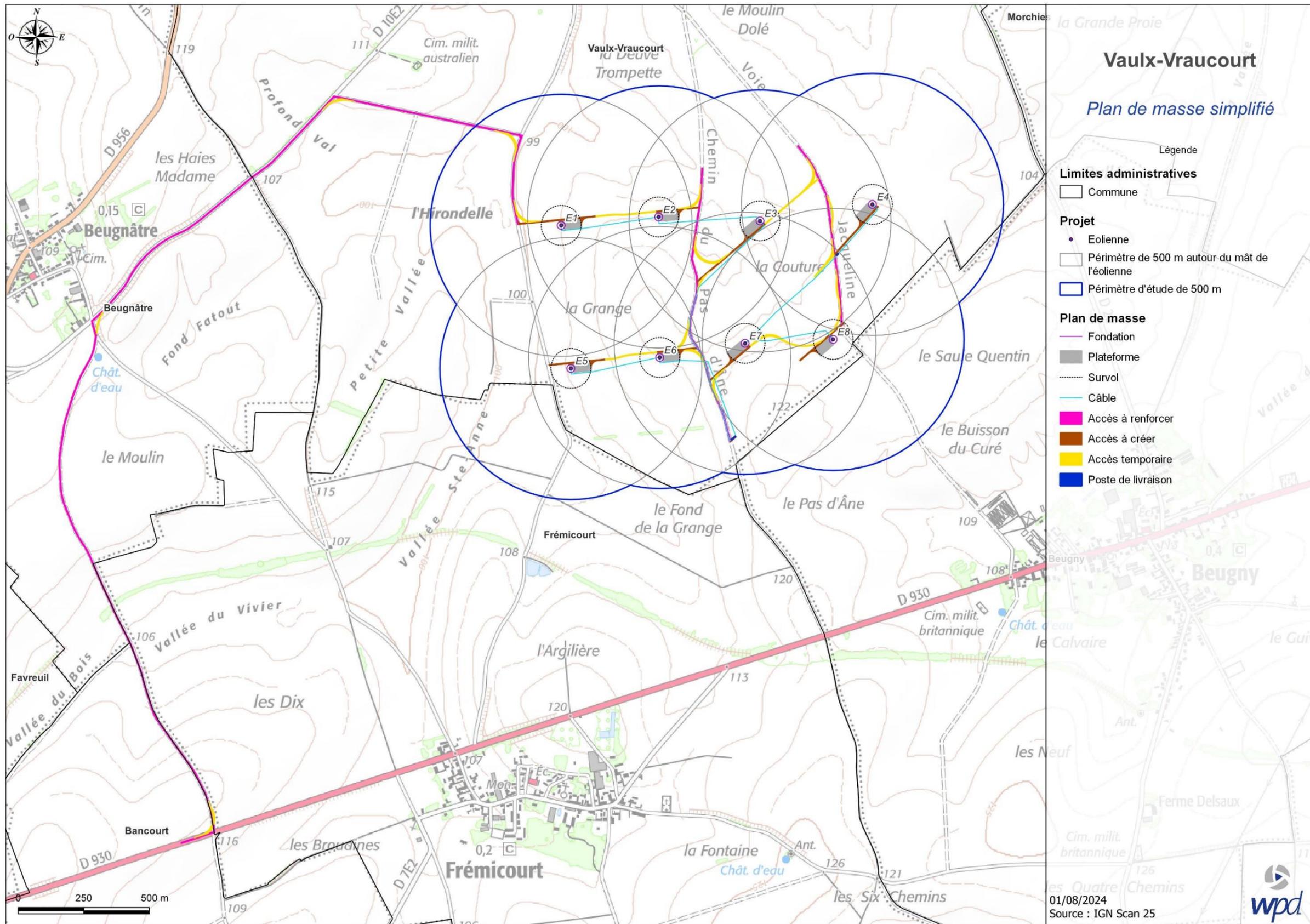
Eolienne	Hauteur bout de pale (m)	X	Y
E1	200	693786	7003135
E2	200	693456	7003617
E3	200	693845	7003603
E4	190	694272	7003665
E5	200	693121	7003039
E6	190	693460	7003081
E7	190	693786	7003135
E8	190	694122	7003150
PL1		693737	7002771
PL2		693746	7002778
PL3		694139	7003474

Le raccordement électrique au réseau public de l'installation se fera en réseau enterré (20 kV) jusqu'aux postes de livraison.

L'accès aux éoliennes nécessitera la création, le renforcement ou l'élargissement de pistes. Ces pistes doivent être suffisamment larges (4,5 mètres au maximum) pour permettre l'acheminement de toupies béton et de transporteurs lourds (grue de levage, composants des éoliennes). Ces accès seront carrossables et permettront aux services d'incendie et de secours d'intervenir, comme le prévoit l'Article 7 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié applicable aux éoliennes terrestres soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la nomenclature des installations classées.

Des plateformes de montage (voir plan de masse page suivante), localisées au pied de chaque éolienne et d'une surface totale d'environ 22 000 m² seront créées. Des plateformes, chemins et pans coupés temporaires existeront pour la construction, et seront réduits après les travaux, pour une surface totale d'environ 15 000 m². Les surfaces correspondent à des aires stabilisées de faible pente sur lesquelles les engins de terrassement et d'approvisionnement peuvent évoluer. Elles servent également aux grues qui vont assembler les éoliennes. Le revêtement est sensiblement identique à celui des voies d'accès.





Carte 11 : Plan de masse du projet éolien de Vaulx-Vraucourt



V.2. Fonctionnement de l'installation

V.2.1. Fonctionnement des aérogénérateurs et systèmes de sécurité

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.

V.2.2. Démarrage de l'éolienne

90 secondes après le démarrage de l'éolienne par le vent, 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 (3 m/s).

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.

V.2.3. 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 de vent pour laquelle la puissance nominale est atteinte, 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.

V.2.4. 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.

V.2.5. Fonctionnement de régulation

Au-dessus de la vitesse de vent pour laquelle la puissance nominale est atteinte, la vitesse de rotation est maintenue à une valeur proche de 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 »).

V.2.6. 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 (moins de 3 tr/min environ), 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.

V.2.7. 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 (voir figure ci-dessous).

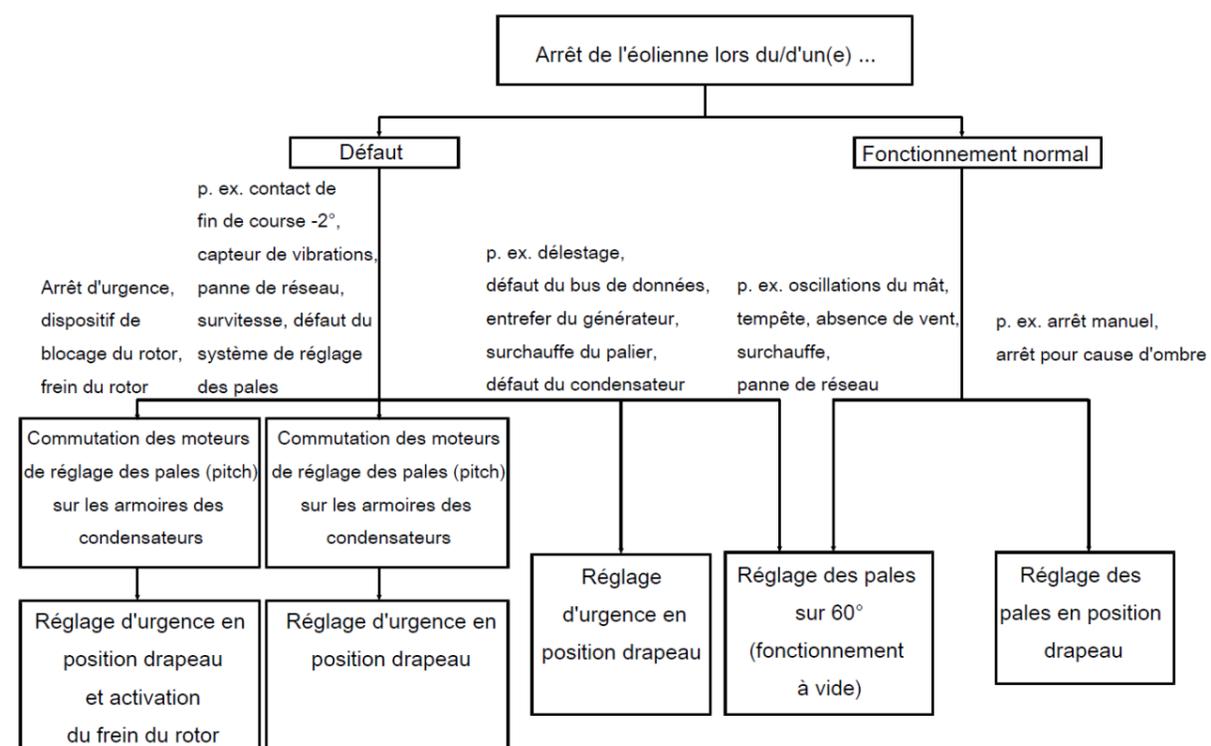


Figure 5 : Arrêt d'une éolienne (Source : ENERCON)



V.2.8. Arrêt automatique

En mode automatique, les éoliennes sont freinées de façon aérodynamique par la seule inclinaison des pales. Les pales inclinées du rotor 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 moyenne du vent dépasse les 25 m/s sur une durée de 3 minutes ou si une valeur moyenne de 30 m/s est atteinte sur 15 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 si la vitesse du vent repasse sous la vitesse de coupure et si dans les 10 minutes suivant l'arrêt, aucun de ces deux événements n'est survenu. Si nécessaire, il est possible d'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.

V.2.9. 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.

V.2.10. 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 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.

V.2.11. 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.

V.2.12. Tempête / Système « Storm Control »

Certains constructeurs d'éoliennes 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 pour 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 sur 3 minutes).

À part une croissance du rendement, le mode tempête a une influence positive sur la stabilité du réseau électrique étant donné que les éoliennes 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 mais elle ne sera cependant pas analysée par le système de commande. Puis la vitesse de rotation est réduite linéairement depuis une vitesse de vent définie pour chaque type d'éolienne.

La limitation de la vitesse de rotation du rotor 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 de produire à partir d'une vitesse de vent V5 de 34 m/s (valeur moyenne sur 10 minutes).

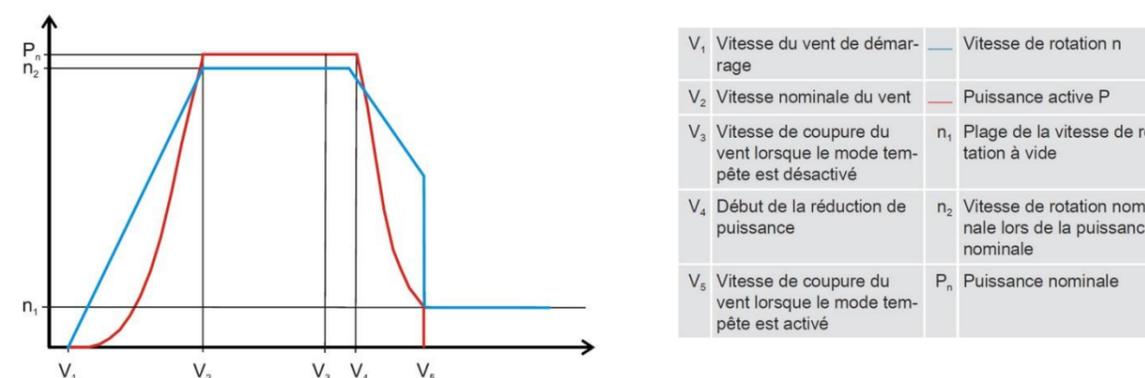


Figure 6 : Modes de fonctionnement : courbes de puissance en fonction de la vitesse du vent (Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)

V.2.13. 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 période de vent faible suivante pour les déviller. 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 dévillés indépendamment de la vitesse du vent. Le dévissage des câbles prend environ une demi-heure. L'éolienne redémarre automatiquement une fois les câbles dévillés.



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 ne vrillent encore davantage.

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

V.2.14. Sécurité de l'installation

Les éoliennes sont conçues, fabriquées, installées et certifiées selon les exigences des normes IEC 61400-1 et IEC 61400-24, tel que requis par l'arrêté du 26 août 2011 modifié. Les éoliennes envisagées dans le cadre du parc éolien de Vaulx-Vraucourt sont certifiées pour la classe II B ou III A suivant le modèle qui sera finalement retenu.

V.2.15. 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.

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.

V.2.16. 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, activant 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 ré-enclenchement 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 ainsi que du système « storm control ».

V.2.17. 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 que 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 haute absorption. La partie télécom est également 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.

V.2.18. 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.

Deux extincteurs manuels CO₂ dédiés à la protection contre l'incendie dans l'éolienne sont situés dans la nacelle et au pied du mât.

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. V.2.8. Arrêt automatique).

Les détecteurs de fumée et/ou les capteurs de température émettent des signaux qui sont immédiatement transmis au Service du constructeur par le système de surveillance à distance « SCADA » (Supervisory Control And Data Acquisition) 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 est occupé 24h/24, 7j/7 et par conséquent joignable à tout moment.

V.2.19. Système de détection de givre/glacé

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/glacé 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. Le délai maximum de 60 minutes de l'Article 25 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié correspondant au passage des éoliennes à un régime ICPE soumis à autorisation est respecté.

Les paramètres analysés par le système de sécurité sont :

- La vitesse de vent pour une puissance donnée¹. 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 nominale² ;
- 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.

Le redémarrage de l'éolienne suit une procédure bien définie fournie.

V.2.20. 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 est envoyé au personnel de wpd windmanager, succursale française du groupe wpd chargé des aspects techniques et opérationnels de l'exploitation des parcs éoliens, et au constructeur en charge de la maintenance en cas d'alerte, 7j/7 et 24h/24. De même, le constructeur en charge de la maintenance est informé de toute alerte via les informations remontant par le système SCADA des éoliennes.

Le cas échéant, le personnel de maintenance 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).

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

V.2.21. Opérations de maintenance de l'installation

L'installation est conforme aux prescriptions de l'arrêté ministériel du 26 août 2011 modifié relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées en matière d'exploitation (articles 12 à 21). La maintenance

¹ 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.

² 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

des éoliennes sera assurée par le constructeur ou par un prestataire extérieur. Le suivi de production sera quant à lui assuré par wpd windmanager.

Un système de surveillance à distance ou « SCADA » permet d'assurer un suivi en temps réel du fonctionnement de l'éolienne et d'intervenir rapidement en cas de dysfonctionnement. Il permet également de relancer aussitôt les éoliennes si les paramètres requis sont validés et les alarmes traitées. Cependant, en cas d'arrêt liés à des déclenchements de capteurs de sécurité (déclenchement détecteur d'arc ou d'incendie, pression basse, huile, etc.), une intervention humaine sur l'éolienne est nécessaire pour examiner l'origine du défaut et acquitter l'alarme avant de pouvoir relancer un démarrage.

La société wpd windmanager, succursale française de wpd pour assurer la maintenance de ses parcs en exploitation, pourra assurer cette surveillance continue via le système SCADA. Les techniciens sont basés à Arras et à Brême en Allemagne. Les numéros de téléphone à contacter en cas d'urgence sont indiqués au pied de chaque éolienne.

Généralement, un programme de maintenance s'établit à trois niveaux préventifs :

- Niveau 1 : vérification semestrielle des équipements mécaniques et hydrauliques ;
- Niveau 2 : vérification annuelle des matériaux (soudures, corrosions), de l'électronique et des éléments de raccordement électrique ;
- Niveau 3 : vérification tous les quatre ans de plus grande ampleur pouvant inclure le remplacement de pièces.

Chacune des interventions sur les éoliennes ou leurs périphériques fait l'objet de l'arrêt du rotor pendant toute la durée des opérations. La première année d'exploitation est sujette à un plus grand nombre d'interventions. Elles servent à affiner les paramètres de réglages des éoliennes. Une série de visites de maintenance corrective est à prévoir. Par la suite, tout changement dans la production ou avarie technique sera indiquée via le système de supervision à l'exploitant du parc et fera l'objet d'une intervention de l'équipe de techniciens.

La majorité des interventions est constituée d'opérations mineures pour lesquelles les techniciens interviennent en équipe de 2 sur le site. Si des pièces doivent être remplacées, un treuil situé dans la nacelle facilite la manipulation. En revanche, pour certaines interventions plus exceptionnelles (remplacement d'une pale ou d'éléments importants de la nacelle), la présence d'une grue est nécessaire.

V.2.22. 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 ;
- Encrassement / corps étrangers.

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

V.2.23. 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 d'éolienne.

V.2.24. Maintenance électrique

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

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 %).



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

V.2.25. 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, etc. ;
- 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, etc. ;
- Système parafoudre ;
- Anémomètre ;
- Etc.

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

V.2.26. Stockage et flux de produits dangereux

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

V.3. Fonctionnement des réseaux de l'installation

V.3.1. Raccordement électrique

L'ensemble des réseaux électriques du parc éolien sera conforme à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011.

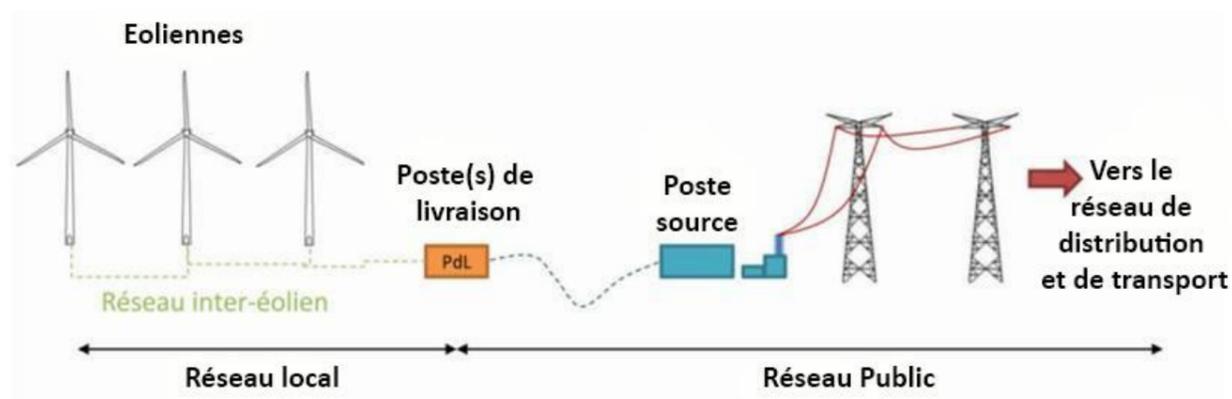


Figure 7 : Schéma de raccordement électrique d'un parc éolien

V.3.2. Le réseau inter-éolien

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur, intégré dans le mât de chaque éolienne, au point de raccordement avec le réseau public. Il s'étire sur une distance d'environ 3800 m. Ce réseau comporte également une liaison de télécommunication qui relie chaque éolienne au terminal de télésurveillance.

Ces câbles, conçus suivant la norme NFC 33-226, ont une tension nominale entre phases de 20 kV. Leur section, en aluminium, est de 240 mm². Ils constituent le réseau interne de la centrale éolienne, et sont enfouis à une profondeur minimale de 80 cm, conformément à la norme NFC 13-200.

V.3.3. Poste de livraison

Le poste de livraison est le nœud de raccordement de toutes les éoliennes avant que l'électricité ne soit injectée dans le réseau public. Dans le cas du parc éolien de Vaulx-Vraucourt, trois postes de livraison seront nécessaires. Le poste de livraison est équipé d'appareils de comptage d'énergie indiquant l'énergie soutirée au réseau mais également celle injectée. Il comporte aussi la protection générale dont le but est de protéger les éoliennes et le réseau inter-éolien en cas de défaut sur le réseau électrique amont. Les installations électriques du poste de livraison sont conformes à la norme NFC 13-100.

V.3.4. Réseau électrique externe

Le réseau électrique externe relie les postes de livraison avec le poste source (réseau public de transport d'électricité). Ce réseau entièrement enterré est réalisé par le gestionnaire du réseau de distribution. Les caractéristiques des câbles utilisés sont sensiblement les mêmes que celles décrites pour le réseau inter-éolien (suivant la norme NFC 33-226, tension nominale entre phases 20 kV, section alu de 240 mm²).

Dans le cas du parc éolien de Vaulx-Vraucourt, il existe plusieurs options de raccordement. La solution optimale sera retenue avant la construction de l'installation en concertation avec les gestionnaires de réseaux.

V.3.5. Autres réseaux

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



VI. 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.

VI.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 de Vaulx-Vraucourt 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, etc.), qui une fois usagés sont traités en tant que déchets industriels spéciaux ;
- Produits de nettoyage et d'entretien des installations (solvants, dégraissants, nettoyeurs, etc.) et les déchets industriels banals associés (pièces usagées non souillées, cartons d'emballage, etc.).

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

VI.1.1. Inventaire des produits

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

- L'huile hydraulique (circuit haute pression), dont la quantité présente est de l'ordre de 260 litres ;
- L'huile de lubrification du multiplicateur (environ 300 à 400 litres) ;
- L'eau glycolée (mélange d'eau et d'éthylène glycol), utilisée comme liquide de refroidissement, dont le volume total de la boucle est de 120 litres ;
- Les graisses pour les roulements et systèmes d'entrainements ;
- L'hexafluorure de soufre (SF₆), qui est le gaz utilisé comme milieu isolant pour les cellules de protection électrique. La quantité présente varie entre 1,5 kg et 2,15 kg suivant le nombre de caissons composant la cellule.

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

VI.1.2. Dangers des produits

❖ Inflammabilité et comportement vis-à-vis de l'incendie

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

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

Le SF₆ est pour sa part ininflammable.

❖ Toxicité pour l'homme

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

❖ Dangerosité pour l'environnement

Vis-à-vis de l'environnement, le SF₆ possède un potentiel de réchauffement global (gaz à effet de serre) très important, mais les quantités présentes sont très limitées (seulement 1,5 à 2,15 kg de gaz dans les cellules de protection).

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

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

VI.2. Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien de Vaulx-Vraucourt sont de cinq types :

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

Tableau 8 : Dangers potentiels recensés

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



VI.3. Réduction des potentiels de dangers à la source

VI.3.1. Principales actions préventives

L'ensemble des choix effectués au cours de la conception du projet permettent de réduire les potentiels de danger identifiés et de garantir une sécurité optimale de l'installation.

❖ Choix de l'emplacement des installations

Les éoliennes sont situées au sein de parcelles agricoles, à plus de 1000 mètres des habitations situées aux abords. L'environnement immédiat jusqu'à une hauteur de chute de chaque éolienne est constitué principalement de terrains agricoles. La fréquentation liée aux activités agricoles ne représentera qu'une faible fréquentation du site. De plus, l'implantation s'éloigne des routes départementales, pour éviter leur survol par les pales.

❖ Choix des équipements

Le parc éolien de Vaulx-Vraucourt est composé d'aérogénérateurs dont les caractéristiques sont adaptées au régime de vent sur le site.

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

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

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

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

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

❖ Substitution des produits par des produits moins dangereux et réduction des quantités

Les produits présents sur chaque éolienne (huile, fluide de refroidissement) sont des produits classiques utilisés dans ce type d'activité.

Ils ne présentent pas de caractère dangereux marqué et les quantités mises en œuvre sont adaptées aux volumes des équipements.

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

VI.3.2. Utilisation des meilleures techniques disponibles

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

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

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

Le parc éolien de Vaulx-Vraucourt n'est pas soumis à la Directive IPPC.



VII. 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 rencontrés tant au niveau national qu'international. Ces typologies apportent un éclairage sur les scénarii les plus rencontrés. D'autres informations sont également utilisées dans la partie VIII. pour l'analyse détaillée des risques.

VII.1. Inventaire des accidents et incidents en France

Un inventaire des incidents et accidents en France a été réalisé à l'aide de plusieurs sources d'information. Il s'agit à la fois de sources officielles, d'articles de la presse locale ou de base de données mises en place par des associations :

- Rapport du Conseil Général des Mines (juillet 2004) ;
- Base de données ARIA du Ministère de l'Écologie et du Développement Durable (<http://www.aria.developpementdurable.gouv.fr>) ;
- 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 ;
- Recommandations pour la construction des dossiers de demande d'autorisation environnementale des projets éoliens – région Grand Est.

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

Dans l'état actuel, la base de données élaborée par le groupe de travail de SER/FEE ayant élaboré le guide technique d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis l'année 2000. L'ensemble de ces sources permet d'arriver à un inventaire aussi complet que possible des incidents survenus en France. Un total de 63 incidents a pu être recensé entre 2000 et début 2019 (voir tableau détaillé en annexe 2). Ce tableau a été validé pour les événements ayant eu lieu entre 2000 et 2012 par les membres du groupe de travail précédemment mentionné et il a été complété avec les événements qui se sont produits après la parution du guide technique en juin 2012.

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'aérogénérateurs français entre 2000 et 2010. Cette synthèse exclut les accidents du travail et les événements qui n'ont pas conduit à des effets sur les zones autour des aérogénérateurs. L'identification des causes est nécessairement réductrice.

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.

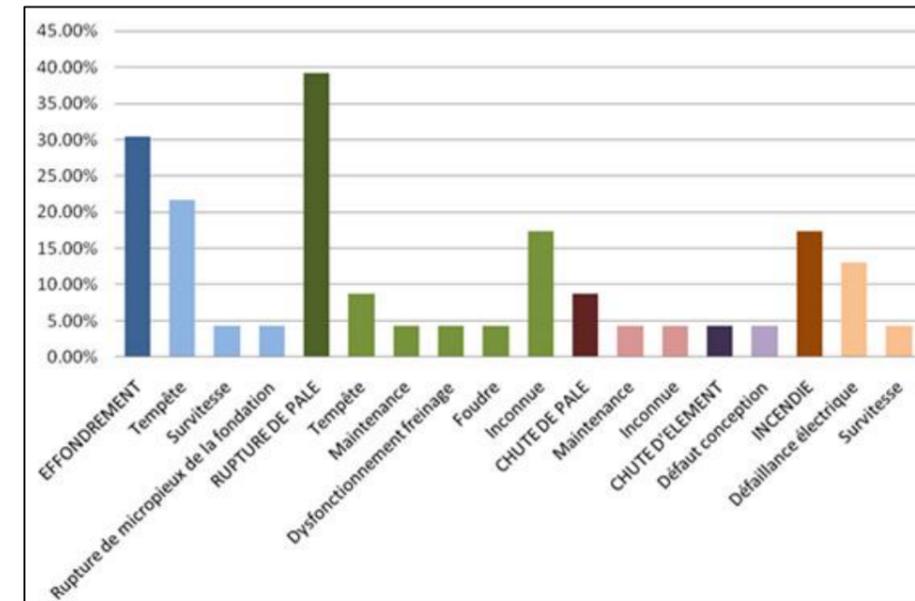


Figure 8 : Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières (Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)

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

VII.2. Inventaire des accidents et incidents à l'international

La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur les 994 accidents décrits dans la base de données au moment de sa consultation par le groupe de travail précédemment mentionné, seuls 236 sont considérés comme des « accidents majeurs ». Les autres concernent 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.

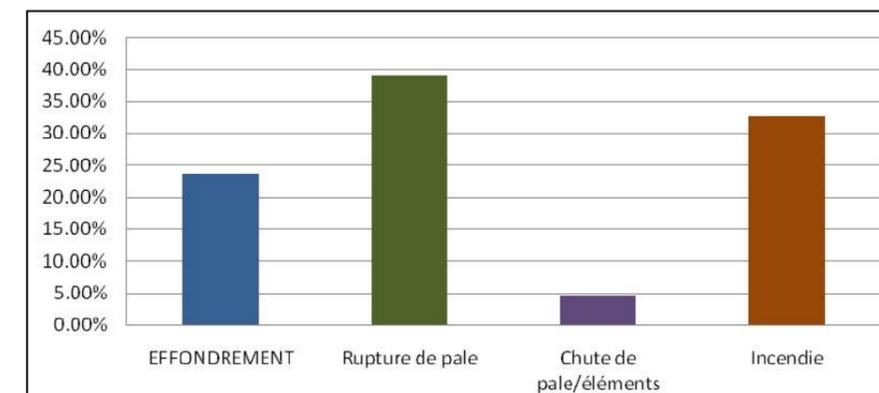


Figure 9 : Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières dans le monde entre 2000 et 2011 (Source : CWIF)

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

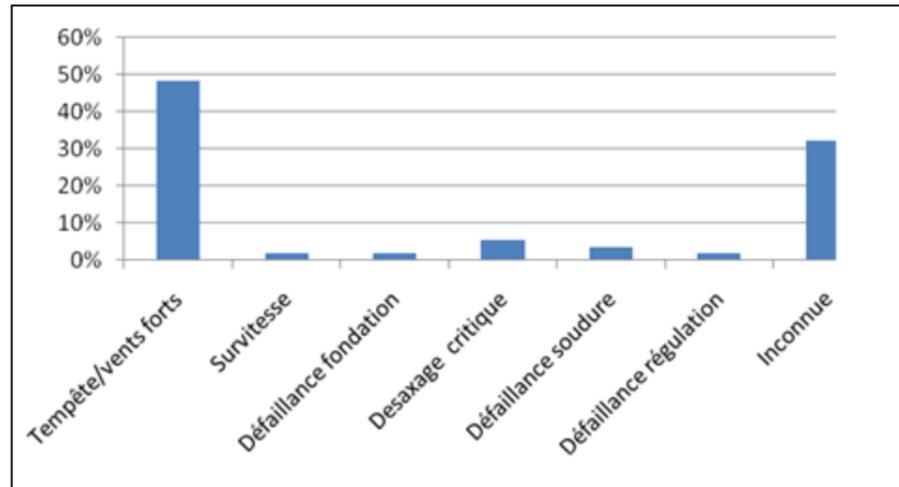


Figure 10 : Répartition des causes premières d'effondrement (Source : CWIF)

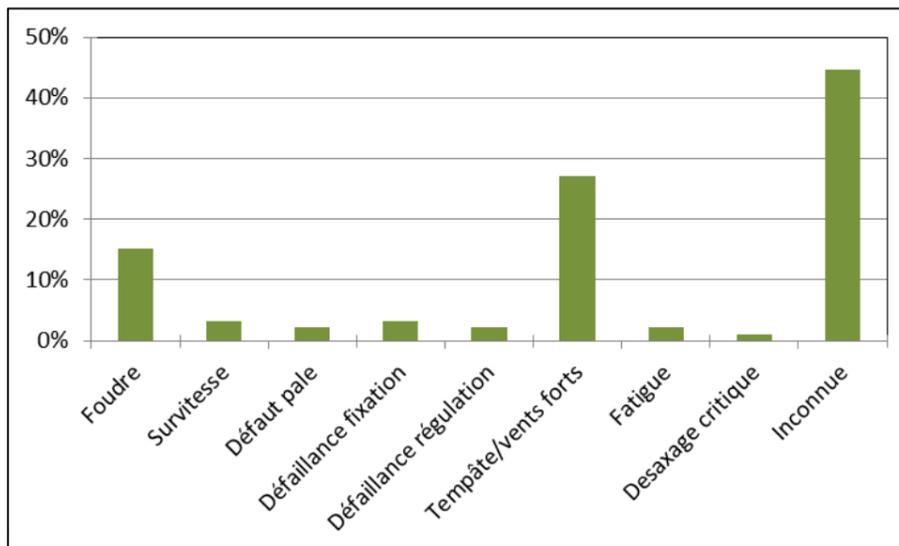


Figure 11 : Répartition des causes premières de rupture de pale (Source : CWIF)

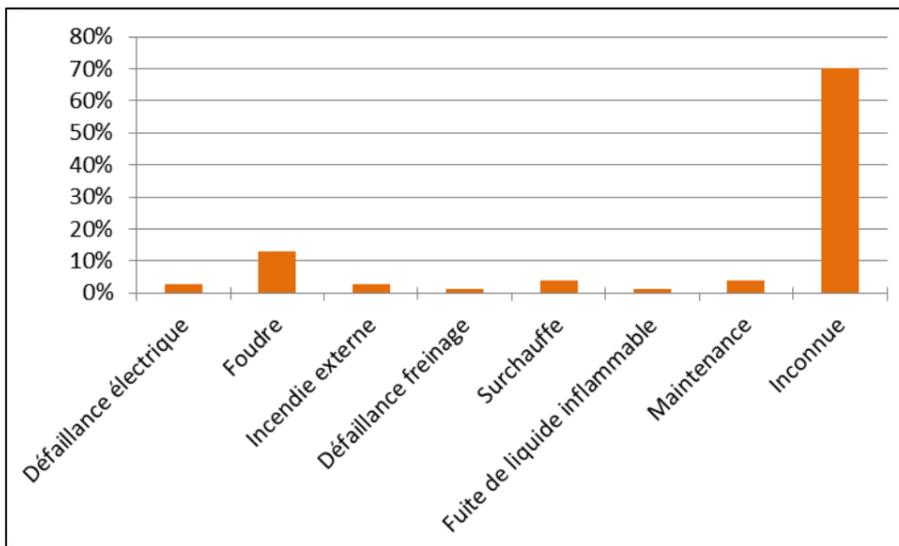


Figure 12 : Répartition des causes premières d'incendie (Source : CWIF)

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.

VII.3. Inventaire des accidents majeurs survenus sur les sites de l'exploitant

Aucun accident majeur n'est à déplorer sur les sites exploités par la société wpd windmanager à ce jour.

VII.4. Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience

VII.4.1. Analyse de l'évolution des accidents en France

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

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

Cette tendance s'explique principalement par un parc éolien français assez récent, qui utilise majoritairement des éoliennes de nouvelle génération, équipées de technologies plus fiables et plus sûres (cf la Figure 1 : Ratio incidents/puissance installée sur les parcs éoliens entre 1998 et 2018 à la page 5 du présent document).

VII.4.2. Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

Le retour d'expérience permet d'identifier les principaux événements redoutés suivants :

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

Des événements de fuite peuvent également survenir, même si avec le modèle d'éolienne proposé ces fuites restent majoritairement confinées dans le mât de l'éolienne.

VII.5. Limites d'utilisation de l'accidentologie

Ces retours d'expérience doivent être considérés 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.

VIII. Analyse préliminaire des risques

L'évaluation préliminaire des risques a pour objet d'identifier les causes et les conséquences potentielles découlant de situations dangereuses provoquées par des dysfonctionnements des installations étudiées.

Elle permet de caractériser le niveau de risque de ces événements redoutés, selon une méthodologie décrite ci-dessous, et d'identifier les accidents majeurs, qui seront étudiés de manière détaillée au chapitre « Analyse Détaillée des Risques ».

VIII.1. Objectif de l'analyse préliminaire des risques

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

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

VIII.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 maximum 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 suraccident 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.

VIII.3. Recensement des agressions externes potentielles

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

Traditionnellement, deux types d'agressions externes sont identifiés :

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

VIII.3.1. Agressions externes liées aux activités humaines

Le tableau ci-après synthétise les principales agressions externes liées aux activités humaines dans le cadre du parc éolien de Vaulx-Vraucourt.

Tableau 9 : Principales agressions externes liées aux activités humaines

Infrastructure	Fonction	Evènement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Distance par rapport au mât des éoliennes les plus proches (en m)
Chemins ruraux et voies communales	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermique	200 m	Voie communale n°5 dite Chemin de Frémicourt (158m de E1 et 78.9m de E5) Chemin exploitation n°19 (368m de E1) Chemin rural du Pas d'Âne (148m de E2, 232m de E3, 140m de E6 et 167m de E7) Voie communale n°4 dite Voie Jacqueline (264m de E3, 166m de E4 et 49m de E8) Chemin rural dit « Chemin du fond de Vaulx » (424.5m de E5) - Chemin rural dit « Chemin du fond de la Grange » (483m de E5)
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2000 m	Plusieurs aérodrome ou aéroports situés à une vingtaine de kilomètres de la zone d'implantation
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	Présence d'une ligne aérienne haute tension dans l'aire d'étude. Les recommandations de distance d'éloignement RTE (hauteur en bout de pale de l'éolienne + 5m) sont respectées dans l'implantation des éoliennes



Autres aérogénérateurs	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	Eolienne de la Ferme éolienne de la Martelotte située au plus proche à 2507 m de l'éolienne E1.
Canalisation gaz	Transport de gaz	Rupture de la canalisation	Fuite de gaz	400 m	Aucune canalisation dans le périmètre

Hormis l'activité agricole, il n'existe pas d'autres activités pouvant être cause d'agression.

On peut donc conclure que compte tenu des distances et des types d'agresseurs potentiels, les agressions externes liées aux activités humaines sont extrêmement peu probables sur les aérogénérateurs du parc éolien de Vaulx-Vraucourt.

VIII.3.2. Agressions externes liées aux phénomènes naturels

Le tableau ci-après synthétise les principales agressions externes liées aux phénomènes naturels. Dans ce tableau, si cela est applicable et si les données sont disponibles, l'intensité de l'agression à laquelle les aérogénérateurs sont susceptibles d'être soumis est spécifiée.

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

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

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

Tableau 10 : Principales agressions externes liées aux phénomènes naturels

Agression externe	Intensité	Retenu comme agresseur potentiel ?
Vents et tempête	Des tempêtes peuvent subvenir mais restent très marginales. L'emplacement n'est pas compris dans une zone affectée par des cyclones tropicaux.	Oui
Foudre	Les éoliennes sont équipées d'un système de protection contre la foudre, conçu pour répondre à la classe de protection I de la norme internationale IEC 61 400-24.	Non pour les effets directs de la foudre
Glissement de sols / affaissement miniers	Aucun mouvement de terrain ni cavité souterraine n'ont été recensés dans la zone d'étude.	Non

VIII.4. Scénarii étudiés dans l'analyse préliminaire des risques

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

Le tableau ci-dessous présente une 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 qualitative de l'*intensité* de ces événements.

L'échelle utilisée pour l'évaluation de ce dernier paramètre 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 scénarii listés dans le tableau générique de l'APR sont regroupés et numérotés par thématique, en fonction des typologies d'événement redoutés centraux identifiés grâce au retour d'expérience (« G » pour les scénarii 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).

Tableau 11 : Analyse générique des risques

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

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur Fuite transformateur	Ecoulement hors de la nacelle et le long du mât, puis sur le sol avec infiltration	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Ecoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
C01	Défaut de fixation	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	1
C02	Défaillance fixation anémomètre	Chute anémomètre	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
C03	Défaut fixation nacelle – pivot central – mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop importante sur les pales	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Impact sur cible	2
P03	Serrage inapproprié Erreur maintenance – desserrage	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	2
E01	Effets dominos autres installations	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
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
E03	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E04	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du plan de prévention (N°13)	Chute fragments et chute mât	2
E05	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°12) Dans les zones cycloniques, mettre en place un système de prévision cyclonique et équiper les éoliennes d'un dispositif d'abattage et d'arrimage au sol (N°13)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E06	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E07	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

Ce tableau présentant le résultat d'une analyse des risques peut être considéré comme représentatif des scénarii d'accident pouvant potentiellement se produire sur les éoliennes du parc éolien de Vaulx-Vraucourt.

VIII.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 génériques présenté dans le paragraphe VIII.7.

En ce qui concerne les accidents sur des aérogénérateurs qui conduiraient à des effets dominos sur d'autres installations classées, 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 ».

Dans le cadre de la présente étude de dangers, du fait de l'absence de toute installation classée à moins de 300 m des éoliennes, l'évaluation de la probabilité d'impact d'un élément de l'aérogénérateur sur une autre installation ICPE ne sera pas effectuée en détail.

VIII.6. Mise en place des mesures de sécurité

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

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

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les fonctions de sécurité identifiées et mise en œuvre sur les éoliennes du parc éolien de Vaulx-Vraucourt. 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'agit principalement d'« 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 danger 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 seront être 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 scénarii d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (« oui ») ou non (« non »).
- **Temps de réponse** (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité. Il s'agit ici de vérifier que la mesure de maîtrise des risques agira « à temps » pour prévenir ou pour limiter les accidents majeurs. Dans le cadre d'une étude de dangers éolienne, l'estimation de ce temps de réponse peut être simplifiée et se contenter d'une estimation d'un temps de réponse maximum qui doit être atteint. Néanmoins, et pour rappel, la réglementation impose les temps de réponse suivants :

- Une mesure remplissant la fonction de sécurité « limiter les conséquences d'un incendie » doit permettre de détecter un incendie et de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes ;
- Une seconde mesure remplissant la fonction de sécurité « limiter les conséquences d'un incendie » doit permettre de détecter un incendie et de mettre en œuvre une procédure d'arrêt d'urgence dans un délai de 60 minutes.

- **Efficacité (100 % ou 0 %)** : l'efficacité mesure la capacité d'une mesure de maîtrise des risques à remplir la fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation.
- **Test (fréquence)** : dans ce champ sont rappelés les tests/essais qui seront réalisés sur les mesures de maîtrise des risques. Conformément à la réglementation, un essai d'arrêt, d'arrêt d'urgence et d'arrêt à partir d'une situation de survitesse seront réalisés avant la mise en service de l'aérogénérateur. Dans tous les cas, les tests effectués sur les mesures de maîtrise des risques seront tenus à la disposition de l'inspection des installations classées pendant l'exploitation de l'installation.
- **Maintenance (fréquence)** : ce critère porte sur la périodicité des contrôles qui permettront de vérifier la performance de la mesure de maîtrise des risques dans le temps. Pour rappel, la réglementation demande qu'a minima : un contrôle tous les ans soit réalisé sur la performance des mesures de sécurité permettant de mettre à l'arrêt, à l'arrêt d'urgence et à l'arrêt à partir d'une situation de survitesse et sur tous les systèmes instrumentés de sécurité.

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

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

Conformément à l'article 19 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié, « l'exploitant dispose d'un manuel d'entretien de l'installation dans lequel sont précisées la nature et les fréquences des opérations d'entretien afin d'assurer le bon fonctionnement de l'installation. L'exploitant tient à jour pour chaque installation un registre dans lequel sont consignées les opérations de maintenance ou d'entretien et leur nature, les défaillances constatées et les opérations correctives engagées. »

Tous les éléments relatifs aux tests et aux opérations de maintenance seront transmis à l'inspecteur des ICPE pendant toute la durée d'exploitation.

Tableau 12 : Présentation des mesures de sécurités (Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1-a
Mesures de sécurité	Système de déduction de la formation de glace.		
Description	Ce système déduit la formation de glace sur les pales à partir des données de température et de rendement de l'éolienne (l'accumulation de glace alourdit les pales et diminue le rendement de la turbine). Une configuration du système SCADA permet d'alerter les opérateurs par un message type « Ice Climate ». Une mise à l'arrêt est ensuite effectuée de manière automatique ou manuelle, selon le type de contrat. Les procédures de redémarrage sont définies par l'exploitant.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Mise à l'arrêt de la turbine < 1 min		
Efficacité	100 %		
Tests	NA		
Maintenance	Surveillance via la maintenance prédictive		



Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité	2
Mesures de sécurité	Signalisation du risque en pied de machine. Eloignement des zones habitées et fréquentées.		
Description	Mise en place de panneaux de signalisation en pied de machines du risque de chute de glace (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011).		
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	Sondes de température sur pièces mécaniques. Suivant les niveaux d'alarme et les capteurs, la machine peut être bridée ou mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement. Le redémarrage peut être effectué à distance, si les seuils de température sont au-dessous des seuils d'alarme.		
Description	Des sondes de température sont mises en place sur les équipements ayant de fortes variations de température au cours de leur fonctionnement (paliers et roulements des machines tournantes, enroulements du générateur et du transformateur). Ces sondes ont des seuils hauts qui, une fois dépassés, conduisent à une alarme et à une mise à l'arrêt du rotor.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min		
Efficacité	100 %		
Tests	Surveillance via la maintenance prédictive, avec détection de la déviation de températures de chaque capteur.		
Maintenance	Surveillance via la maintenance prédictive, avec détection de la déviation de température de chaque capteur (comparaison avec les données des autres éoliennes du parc). Remplacement de la sonde de température en cas de dysfonctionnement de l'équipement. Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié.		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4-a
Mesures de sécurité	Détection de vent fort et freinage aérodynamique par le système de contrôle.		
Description	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale d'environ 90 km/h. Cet arrêt est réalisé par le frein aérodynamique de l'éolienne avec mise en drapeau des pales (le freinage est effectué en tournant ensemble les 3 pales à un angle de 85 à 90°, afin de positionner celles-ci en position où elles offrent peu de prise au vent). Cette mise en drapeau est effectuée par le système d'orientation des pales.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde. Mise en pause de la turbine < 1 min.		

	L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011.		
Efficacité	100 %		
Tests	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procédure d'arrêt en cas de survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011. Tests à chaque maintenance préventive.		
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 (notamment de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence.). Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		
Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4-b
Mesures de sécurité	Détection de survitesse du générateur.		
Description	Les vitesses de rotation du générateur et de l'arbre lent sont mesurées et analysées en permanence par le système de contrôle. Cette mesure redondante permet de limiter les défaillances liées à un seul capteur. En cas de discordance des mesures, l'éolienne est mise à l'arrêt. Si la vitesse de rotation est supérieure à la vitesse d'alarme, l'éolienne est considérée comme étant en survitesse et est donc mise à l'arrêt.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde. Mise en pause de la turbine < 1 min. L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011 modifié.		
Efficacité	100 %		
Tests	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procédure d'arrêt en cas de survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié. Tests à chaque maintenance préventive (tous les ans).		
Maintenance	Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		
Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4-c
Mesures de sécurité	Contrôle de la vitesse de rotation.		
Description	Le système de contrôle de l'éolienne règle la vitesse du rotor en modifiant l'angle de pale, de sorte que la vitesse nominale ne soit pas trop fortement dépassée par vent fort.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection < 1 min. Le couplage du système de détection de survitesse au système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant. L'exploitant sera ainsi en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément à l'article 23 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié.		
Efficacité	100 %		
Tests	Lors de la mise en service de l'aérogénérateur, une série de tests (arrêts simples, d'urgence et de survitesse) est réalisée afin de s'assurer du fonctionnement et de la sécurité de l'éolienne conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié.		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 6 mois suivant les manuels de maintenance. Maintenance conforme aux dispositions des articles 15 et 18 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié.		



Fonction de sécurité	Prévenir les courts-circuits	N° de la fonction de sécurité	5
Mesures de sécurité	Détecteur d'arc avec coupure électrique (salle transfo et armoires électriques).		
Description	<p>Outre les protections traditionnelles contre les surintensités et les surtensions, les armoires électriques disposées dans les nacelles (qui abritent notamment les divers jeux de barres), sont équipées de détecteurs d'arc. Ce système de capteurs photosensibles a pour objectif de détecter toute formation d'un arc électrique (caractéristique d'un début d'amorçage) qui pourrait conduire à des phénomènes de fusion de conducteurs et de début d'incendie.</p> <p>Le fonctionnement de ce détecteur commande le déclenchement de la cellule HT située en pied de mât, conduisant ainsi à la mise hors tension de la machine.</p> <p>La remise sous tension puis le recouplage de la machine ne peuvent être faits qu'après inspection visuelle des éléments HT de la nacelle, puis du réarmement du détecteur d'arc et de l'acquiescement manuel du défaut.</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	50 millisecondes.		
	Le couplage du système de détection d'arc électrique avec le système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant.		
Efficacité	100 %		
Tests	Test des détecteurs d'arc à la mise en service puis tous les 6 mois.		
Maintenance	<p>Les installations électriques font l'objet d'un contrôle avant la mise en service industrielle du parc éolien, puis annuellement conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié. Ce contrôle donne lieu à un rapport, dit rapport de vérification annuel, réalisé par un organisme agréé.</p> <p>Des vérifications de tous les équipements électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrés dans le manuel de maintenance préventive.</p>		

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Système de protection contre la foudre conçu pour répondre à la classe de protection I de la norme internationale IEC 61400.		
Description	/		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat, dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	Avant la première mise en route de l'éolienne, une mesure de mise à la terre est effectuée.		
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 modifié.		

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	<p>1. Sondes de température sur pièces mécaniques.</p> <p>Suivant les niveaux d'alarme et les capteurs, la machine peut être bridée ou mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement.</p> <p>Le redémarrage peut être effectué à distance, si les seuils de température sont au-dessous des seuils d'alarme.</p> <p>2. Système de détection incendie.</p>		

Description	<p>1. Des sondes de température sont mises en place sur les équipements ayant de fortes variations de température au cours de leur fonctionnement (paliers et roulements des machines tournantes, enroulements du générateur et du transformateur). Ces sondes ont des seuils hauts qui, une fois dépassés, conduisent à une alarme et à une mise à l'arrêt du rotor.</p> <p>2. Les éoliennes sont équipées par défaut d'un système autonome de détection composé de plusieurs capteurs de fumée et de chaleur disposés aux possibles points d'échauffements tels que :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La chambre du transformateur - Le générateur - La cellule haute tension - Le convertisseur - Les armoires électriques principales - Le système de freinage. <p>En cas de détection, une sirène est déclenchée, l'éolienne est mise à l'arrêt en « emergency stop » et isolement électrique par ouverture de la cellule en pied de mât. De façon concomitante un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance via le système de contrôle commande.</p> <p>Le système de détection incendie est alimenté par le réseau secours (UPS).</p> <p>Vis-à-vis de la protection incendie, deux extincteurs sont présents dans la nacelle et un extincteur est disponible en pied de tour (utilisables par le personnel sur un départ de feu).</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	<p>Temps de détection de l'ordre de la seconde.</p> <p>Le couplage des éléments de détection de fumée au système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant.</p> <p>L'exploitant sera ainsi en mesure de transmettre l'alerte aux services d'Urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément à l'article 23 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié.</p>		
Efficacité	100 %		
Tests	Test des détecteurs de fumée à la mise en service puis tous les ans.		
Maintenance	<p>Contrôle tous les 6 mois du système de détection incendie pour être conforme à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié.</p> <p>Le matériel incendie (extincteurs) est contrôlé périodiquement par un organisme spécialisé.</p> <p>Maintenance prédictive sur les capteurs de température.</p>		

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	<p>1. Détecteurs de niveau d'huile et capteurs de pression,</p> <p>2. Capteur de niveau du circuit de refroidissement (niveau bas alarmé avec arrêt après temporisation),</p> <p>3. Procédure d'urgence,</p> <p>4. Kit antipollution,</p> <p>5. Nacelle et dernière plateforme de la tour formant rétention.</p>		
Description	<p>1. Le circuit hydraulique est équipé de capteurs de pression (une mesure de pression dans le bloc hydraulique de chaque pale) permettant de s'assurer de son bon fonctionnement. Toute baisse de pression au-dessous d'un seuil préalablement déterminé, conduit au déclenchement de l'arrêt du rotor (mise en drapeau des pales). Afin de pouvoir assurer la manœuvre des pales en cas de perte du groupe de mise en pression ou en cas de fuite sur le circuit, chaque bloc hydraulique (situé au plus près du vérin de pale) est équipé d'un accumulateur hydropneumatique (pressurisé à l'azote) qui permet la mise en drapeau de la pale.</p>		

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

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'assemblage ex : brides, joints, etc.). Procédures et contrôle qualité.		

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

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

Fonction de sécurité	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	1. Procédure de contrôle des équipements lors des maintenances planifiées. 2. Suivi de données mesurées par les capteurs et sondes présentes dans les éoliennes.		
Description	1. Ce point est détaillé dans le chapitre dédié aux maintenances planifiées. 2. L'intégralité des données mesurées par les capteurs et sondes présentes dans les éoliennes est suivie et enregistrée dans une base de données unique. Ces données sont traitées par des algorithmes en permanence afin de détecter, au plus tôt, les dégradations des équipements. Lorsqu'elle est nécessaire, une inspection de l'équipement soupçonné de se dégrader est planifiée. Les algorithmes de détection et de génération d'alarmes sont en amélioration continue.		
Indépendance	Oui		

Temps de réponse	Entre 12 heures et 6 mois selon le type de dégradation.
Efficacité	NA
Tests	Traçabilité : rapport de service
Maintenance	NA

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

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

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

VIII.7. Conclusion de l'analyse préliminaire des risques

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

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

Tableau 13 : Catégories exclues de l'APR

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m ² n'est pas atteinte. Dans le cas d'un incendie au niveau du mât les effets sont également mineurs et l'arrêté du 26 août 2011 modifié encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques. Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.
Incendie du poste de livraison ou du transformateur	En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 août 2011 modifié impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200).
Infiltration d'huile dans le sol	L'ensemble des équipements et procédures visent à empêcher l'apparition de fuite d'huile au niveau des éoliennes. En cas d'infiltration d'huiles dans le sol et du fait des différents équipements de sécurité présents dans les éoliennes et des barrières en place, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs. Ce scénario peut ne pas être détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques sauf en cas d'implantation dans un périmètre de protection rapproché d'un captage d'eau potable.

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 scénarii 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.

Les zones d'effets de chacun de ces scénarii sont présentées sur la carte page suivante.



IX. Etude détaillée des risques

L'étude détaillée des risques vise à caractériser les scénarii sélectionnés 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.

IX.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 2004. 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.

Néanmoins, force est 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.

IX.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.

IX.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 scénarii retenus au terme de l'analyse préliminaire des risques pour les parcs éoliens sont des scénarii 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 scénarii de projection, l'annexe II de cet arrêté précise : « *Compte tenu des connaissances limitées en matière de détermination et de modélisation des effets de projection, l'évaluation des effets de projection d'un phénomène dangereux*

nécessite, le cas échéant, une analyse, au cas par cas, justifiée par l'exploitant. Pour la délimitation des zones d'effets sur l'homme ou sur les structures des installations classées, il n'existe pas à l'heure actuelle de valeur de référence. Lorsqu'elle s'avère nécessaire, cette délimitation s'appuie sur une analyse au cas par cas proposée par l'exploitant ».

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

- 5 % d'exposition : seuil d'exposition très forte ;
- 1 % d'exposition : seuil d'exposition forte.

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

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.

IX.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.

Tableau 14 : Détermination du seuil de gravité (Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)

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

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



IX.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 scénarii d'accident majeur :

Tableau 15 : Définition des classes de probabilité (Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)

Niveau	Echelle qualitative	Echelle quantitative (probabilité annuelle)
A	Courant Se produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie des installations, malgré d'éventuelles mesures correctives.	$P > 10^{-2}$
B	Probable S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations.	$10^{-3} < P \leq 10^{-2}$
C	Improbable Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité.	$10^{-4} < P \leq 10^{-3}$
D	Rare S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité.	$10^{-5} < P \leq 10^{-4}$
E	Extrêmement rare Possible mais non rencontré au niveau mondial. N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles.	$\leq 10^{-5}$

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 (P_{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.

IX.2. Caractérisation des scénarii retenus

Pour l'ensemble des calculs on considérera les dimensions maximisantes dans le gabarit d'une éolienne de 200 m (pour E1, E2, E3 et E5) et 190m (pour E4, E6, E7 et E8) en bout de pale et d'une puissance nominale de 4,5 MW maximum.

Dans un souci de maximisation des risques, l'étude détaillée des risques sera effectuée en utilisant les caractéristiques suivantes :

- Hauteur maximale totale en bout de pales : $H_t = 200$ m (E1, E2, E3 et E5) et 190 m (E4, E6, E7 et E8) ;
- Rayon maximal du rotor : $R = 75$ m ;
- Hauteur du moyeu : $H = 125$ m (E1, E2, E3 et E5) et 115 m (E4, E6, E7 et E8) ;
- Largeur du mât : $L = 10$ m ;
- Largeur maximisée de la pale : $LB = 4,5$ m.

IX.2.1. Effondrement de l'éolienne

IX.2.1.1. Zone d'effet

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 200 m (E1, E2, E3 et E5) et 190 m (E4, E6, E7 et E8) au maximum à partir de la base du mât dans le cas des éoliennes du parc éolien de Vaulx-Vraucourt.

Cette méthodologie se rapproche de celles utilisées dans la bibliographie (*Guide for Risk-Based Zoning of wind Turbines, 2005* et *Specification of minimum distances, 2004*). 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.

IX.2.1.2. Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Vaulx-Vraucourt, R correspond à un demi-rotor ($R = 75$ m), H la hauteur maximale du moyeu ($H = 125$ m (E1-2-3-5) et 115 m (E4-6-7-8)), L la largeur du mât ($L = 10$ m) et LB la largeur de la pale ($LB = 4,5$ m).

Tableau 16 : Détermination des paramètres relatifs à l'intensité du phénomène d'effondrement d'éolienne

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 200 m (E1-2-3-5) et 190 m (E4-6-7-8))			
Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = (H \times L) + 3 \times R \times LB/2$ 1756,25 m^2 (E1-2-3-5) 1656,25 m^2 (E4-6-7-8)	$Z_E = \pi \times (H+R)^2$ 125663,71 m^2 (E1-2-3-5) 113411,49 m^2 (E4-6-7-8)	$d = Z_I/Z_E \times 100$ 1,40 % (E1-2-3-5) 1,46% (E4-6-7-8)	Exposition forte

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

IX.2.1.3. Gravité

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

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

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

Tableau 17 : Détermination des paramètres relatifs à la gravité du phénomène d'effondrement d'éolienne (Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 200m (E1-2-3-5) 190m (E4-6-7-8))				
Eolienne	Superficies concernées par la zone d'effet (en ha)		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
	Terrains non aménagés	Terrains aménagés peu fréquentés		
E1	12,45	0,118394517	0,136	« Sérieuse »
E2	12,49	0,081081823	0,133	« Sérieuse »
E3	12,57		0,126	« Sérieuse »
E4	11,28	0,058118398	0,119	« Sérieuse »
E5	12,38	0,182747676	0,124	« Sérieuse »
E6	11,28	0,065172104	0,119	« Sérieuse »
E7	11,30	0,041271341	0,113	« Sérieuse »
E8	11,22	0,118483029	0,112	« Sérieuse »

Par exemple, pour l'éolienne E1, on a : $\text{Nombre personnes permanentes} = \text{Nombre personnes champs} + \text{Nombre personnes chemins} = 12,45/100 + 0,11/10 = 0,152$. Pour chacune des éoliennes, le nombre de personnes permanentes est inférieur à 1. Cela correspond, pour ce type d'accident, à une gravité « sérieuse ».

³ 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.

IX.2.1.4. Probabilité

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

Tableau 18 : Paramètres relatifs à la probabilité du phénomène d'effondrement d'éolienne (Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)

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 « D » selon l'arrêté du 29 septembre 2005.

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « D ». En effet, il a été recensé seulement 7 événements pour 15 667 années d'expérience³, 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 « D » est donc retenue par défaut pour ce type d'événement.

Néanmoins, les dispositions constructives des éoliennes ayant fortement évolué, le niveau de fiabilité est aujourd'hui bien meilleur. Des mesures de maîtrise des risques supplémentaires ont été mises en place sur les machines récentes et permettent de réduire significativement la probabilité d'effondrement. Ces mesures de 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, que seul un effondrement a eu lieu sur les éoliennes mises en service après 2005, au parc éolien de Bouin (85) début 2018.

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

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

IX.2.1.5. Acceptabilité

Dans le cas d'implantation d'éoliennes équipées des technologies récentes, compte tenu de la classe de probabilité d'un effondrement, on peut conclure à l'acceptabilité de ce phénomène si moins de 10 personnes sont exposées. Dans le cas présent, l'équivalent d'au maximum 0,136 personne permanente est exposée au maximum.

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

IX.2.2. Chute d'éléments de l'éolienne

IX.2.2.1. Zone d'effet

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

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

IX.2.2.2. Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Vaulx-Vraucourt.

d est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R correspond à un demi-rotor et LB la largeur de la base de la pale ($LB = 4,5$ m). Pour cet événement, deux rayons de rotors seront étudiés :

- $R = 75$ m suivant le gabarit défini en introduction du paragraphe IX.2

Tableau 19 : Détermination des paramètres relatifs à l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne
(Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à $D_{rotor}/2 =$ zone de survol, soit 75 m)			
Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = R \times LB/2$ 168,75 mé	$Z_E = \pi \times R^2$ 17671,46 m^2	$d = Z_I/Z_E \times 100$ 0,95 %	Exposition modérée

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

IX.2.2.3. Gravité

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

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

Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de chute d'éléments et la gravité associée. On rappelle que les zones de survol des éoliennes du parc éolien de Vaulx-Vraucourt sont des terrains non aménagés et très peu fréquentés, représentant donc 1 personne pour 100 ha d'après la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010.

Tableau 20 : Détermination des paramètres relatifs à la gravité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne
(Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à $R = D_{rotor}/2 =$ zone de survol, soit 75 m)				
Eolienne	Superficies concernées par la zone d'effet (en ha)		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
	Terrains non aménagés	Terrains aménagés peu fréquentés		
E1	1,77		0,018	« Modérée »
E2	1,77		0,018	« Sérieuse »
E3	1,77		0,018	« Modérée »
E4	1,77		0,018	« Modérée »
E5	1,77		0,018	« Modérée »
E6	1,77		0,018	« Modérée »
E7	1,77		0,018	« Modérée »
E8	1,73	0,032576532	0,021	« Modérée »

Le nombre de personnes permanentes exposées est largement inférieur à 1.

IX.2.2.4. Probabilité

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

Le retour d'expérience connu en France montre que ces événements ont une classe de probabilité « C » (2 chutes et 5 incendies pour 15 667 années d'expérience, soit $4,47 \times 10^{-4}$ 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.

IX.2.2.5. Acceptabilité

Avec une classe de probabilité « C », le risque de chute d'éléments pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable, pour cet événement à un nombre de personnes permanentes (ou équivalent) inférieur à 1.

Ainsi, pour le parc éolien de Vaulx-Vraucourt, avec 0,021 personne permanente exposée au maximum, le phénomène de chute d'éléments des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

IX.2.3. Chute de glace

IX.2.3.1. 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 WECO⁴, 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.

IX.2.3.2. Zone d'effet

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

IX.2.3.3. Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace dans le cas du parc éolien de Vaulx-Vraucourt. Z_I est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, R correspond à un demi-rotor ($R = 75$ m), SG est la surface du morceau de glace majorant ($SG = 1$ m²).

Le degré d'exposition est calculé pour un morceau de glace d'une surface de 1 m² de façon à majorer la zone d'impact et donc le degré d'exposition.

Tableau 21 : Détermination des paramètres relatifs à l'intensité du phénomène de chute de glace
(Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à $R = D_{rotor}/2 =$ zone de survol, soit 75 m)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = SG$ 1 m ²	$Z_E = \pi \times R^2$ 17671,46 m ²	$D = Z_I/Z_E \times 100$ 0,01 %	Exposition modérée

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

IX.2.3.4. Gravité

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

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

Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de chute de glace et la gravité associée. On rappelle que les zones de survol des éoliennes du parc éolien de Vaulx-Vraucourt sont en général des terrains non aménagés et très peu fréquentés, représentant donc 1 personne pour 100 ha d'après la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010.

Tableau 22 : Détermination des paramètres relatifs à la gravité du phénomène de chute de glace
(Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à $R = D_{rotor}/2 =$ zone de survol, soit 75 m)				
Eolienne	Superficies concernées par la zone d'effet (ha)		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
	Terrains non aménagés	Terrains aménagés peu fréquentés		
E1	1,77		0,018	« Modérée »
E2	1,77		0,018	« Modérée »
E3	1,77		0,018	« Modérée »
E4	1,77		0,018	« Modérée »
E5	1,77		0,018	« Modérée »
E6	1,77		0,018	« Modérée »
E7	1,77		0,018	« Modérée »
E8	1,73	0,032576532	0,021	« Modérée »

Quel que soit le cas (existence de survol), le nombre de personnes permanentes dans la zone reste très largement inférieur à 1.

IX.2.3.5. Probabilité

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

IX.2.3.6. Acceptabilité

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

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

Il convient également de rappeler que, conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié 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.

⁴ Wind energy production in cold climate (WECO), Final report - Bengt Tammelin et al. – Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 2000

IX.2.5. Projection de glace

IX.2.5.1. Zone d'effet

L'accidentologie rapporte quelques cas de projection de glace. Ce phénomène est connu et possible, mais reste difficilement observable et n'a jamais occasionné de dommage sur les personnes ou les biens. En ce qui concerne la distance maximale atteinte par ce type de projectiles, il n'existe pas d'information dans l'accidentologie. L'étude WECO précédemment citée propose une distance d'effet fonction de la hauteur et du diamètre de l'éolienne, dans les cas où le nombre de jours de glace est important et où l'éolienne n'est pas équipée de système d'arrêt des éoliennes en cas de givre ou de glace :

Distance d'effet = $1,5 \times (\text{hauteur de moyeu} + (2 \times \text{rayon du rotor}))$, soit, en tenant compte du présent gabarit :

Distance d'effet = $1,5 \times (125 + 2 \times 75) = 412,5 \text{ m}$ (E1-2-3-5)
Distance d'effet = $1,5 \times (115 + 2 \times 75) = 397,5 \text{ m}$ (E4-6-7-8)

Cette distance de projection est jugée conservatrice dans des études postérieures, telles que l'étude « *Risk analysis of ice throw from wind turbines* » de 2003. A défaut de données fiables, il est proposé de considérer cette formule pour le calcul de la distance d'effet pour les projections de glace.

IX.2.5.2. Intensité

Pour le phénomène de projection de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace (cas majorant de 1 m^2) et la superficie de la zone d'effet du phénomène.

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du parc éolien de Vaulx-Vraucourt. d est le degré d'exposition, Z_i la zone d'impact, Z_e la zone d'effet, R correspond à un demi rotor ($R = 75 \text{ m}$), H la hauteur maximale au moyeu ($H = 125 \text{ m}$ pour E1-2-3-5 ou 115 m pour E4-6-7-8), et SG la surface majorante d'un morceau de glace.

Tableau 23 : Détermination des paramètres relatifs à l'intensité du phénomène de projection de glace
(Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 412.5 \text{ m}$ pour E1-2-3-5 ou 397.5 m pour E4-6-7-8)			
Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_i = SG$ 1 m^2	$Z_e = \pi \times 1,5 \times (H + (2 \times R))^2$ $534561,62 \text{ m}^2$ E1-2-3-5 $496391,27 \text{ m}^2$ E4-6-7-8	0,0002% ($< 1 \%$)	Exposition modérée

IX.2.5.3. Gravité

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

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

Il a été observé dans la littérature disponible (« *Risk analysis of ice throw from wind turbines* », 2003) qu'en cas de projection, les morceaux de glace se cassent en petits fragments dès qu'ils se détachent de la pale. **La possibilité de l'impact de glace sur des personnes abritées par un bâtiment ou un véhicule est donc négligeable et ces personnes ne doivent pas être comptabilisées pour le calcul de la gravité.**

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

Tableau 24 : Détermination des paramètres relatifs à la gravité du phénomène de projection de glace
(Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 412.5 \text{ m}$ pour E1-2-3-5 ou 397.5 m pour E4-6-7-8)				
Eolienne	Superficies concernées par la zone d'effet (ha)		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
	Terrains non aménagés	Terrains aménagés peu fréquentés		
E1	53,46		0,535	« Modérée »
E2	53,46		0,535	« Modérée »
E3	53,46		0,535	« Modérée »
E4	49,64		0,496	« Modérée »
E5	53,46		0,535	« Modérée »
E6	49,64		0,496	« Modérée »
E7	49,64		0,496	« Modérée »
E8	49,64		0,496	« Modérée »

Le nombre de personnes permanentes présentes est inférieur à 1.

IX.2.5.4. Probabilité

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

- Les mesures de prévention de projection de glace imposées par l'arrêté du 26 août 2011 modifié ;
- Le recensement d'aucun accident lié à une projection de glace.

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

IX.2.5.5. Acceptabilité

Le risque de projection pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un niveau de gravité « modérée ». Cela correspond pour cet événement à un nombre équivalent de personnes permanentes inférieures à 1.

Ainsi, pour le parc éolien de Vaulx-Vraucourt, le phénomène de projection de morceaux de glace constitue un risque acceptable pour les personnes.



IX.2.7. Projection de pales ou de fragments de pales

IX.2.7.1. Zone d'effet

Dans l'accidentologie française rappelée en annexe, la distance maximale relevée et vérifiée 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 éolienne⁵.

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

- 1300 m rapporté pour un accident à Hundhammerfjellet en Norvège le 20/01/2006 ;
- 1000 m rapporté pour un accident à Burgos en Espagne le 09/12/2000.

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

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

Pour autant, des études de risques déjà réalisées dans le monde ont utilisé une distance de 500 mètres, en particulier les études *Guide for Risk-Based Zoning of wind Turbines, 2005* et *Specification of minimum distances, 2004*, déjà citées auparavant.

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.

IX.2.7.2. Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de pales ou de fragments de pales de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Vaulx-Vraucourt.

d est le degré d'exposition, Z_i la zone d'impact, Z_e la zone d'effet, R correspond à un demi rotor ($R = 75$ m) et LB la largeur de la base de la pale ($LB = 4,5$ m).

Tableau 25 : Détermination des paramètres relatifs à l'intensité du phénomène de projection de pales ou de fragments de pales (Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)

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
$Z_i = R \cdot LB / 2$ 168,75 m ²	$Z_e = \pi \times 500^2$ 785 398 m ²	0,02 % (< 1 %)	Exposition modérée

⁵ Wind Turbine Accident data to 31 March 2011, Caithness Windfarm Information Forum

IX.2.7.3. Gravité

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

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

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

Tableau 26 : Détermination des paramètres relatifs à la gravité du phénomène de projection de pales ou de fragments de pales (Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)

Eolienne	Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			Gravité
	Superficies concernées par la zone d'effet (ha)		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	
	Terrains non aménagés	Terrains aménagés peu fréquentés		
E1	77,95	0,585880581	2,085	« sérieux »
E2	78,25	0,291337742	0,926	« Modérée »
E3	77,93	0,608344287	0,883	« Modérée »
E4	78,23	0,3107333	0,837	« Modérée »
E5	77,89	0,649652281	0,869	« Modérée »
E6	77,99	0,54654539	0,875	« Modérée »
E7	78,06	0,478287588	0,874	« Modérée »
E8	78,14	0,398249698	0,873	« Modérée »

Le nombre de personnes permanentes présentes est inférieur à 1.

IX.2.7.4. Probabilité

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

Tableau 27 : Paramètres relatifs à la probabilité du phénomène de projection de pales ou de fragments de pales (Source : Guide technique, SER – FEE – INERIS)

Source	Fréquence	Justification
Site specific hazard assessment for a wind farm project, 2010	1×10^{-6}	Respect de l'Eurocode EN 1990 – Basis of structural design
Guide for risk-based zoning of wind turbines, 2005	$1, 1 \times 10^{-3}$	Retour d'expérience au Danemark (1984-1992) et en Allemagne (1989-2001)
Specification of minimum distances, 2004	$6,1 \times 10^{-4}$	Recherche Internet des accidents entre 1996 et 2003

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

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

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

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

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

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

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

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* ».

IX.2.7.5. Acceptabilité

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

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



X. Synthèse de l'étude détaillée des risques

X.1.1. Tableaux de synthèse des scénarii étudiés

Le Tableau 28 récapitule, pour chaque événement redouté central retenu, les paramètres de risques : la cinétique, l'intensité, la gravité et la probabilité. Les tableaux regrouperont les éoliennes qui ont le même profil de risque.

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

X.1.2. 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.

On conclura à l'acceptabilité du risque généré par le parc éolien si le risque associé à chaque événement redouté central étudié, quelle que soit l'éolienne considérée, est acceptable.

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

Tableau 28 : Détermination de l'acceptabilité

Recapitulatif					
Gravité (traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		EE1 EE2 EE3 EE4 EE5 EE6 EE7 EE8			
Modérée		FP1 FP2 FP3 FP4 FP5 FP6 FP7 FP8	CE1 CE3 CE4 CE5 CE6 CE7 CE8	PG1 PG2 PG3 PG4 PG5 PG6 PG7 PG8	CG1 CG2 CG3 CG4 CG5 CG6 CG7 CG8

Légende de la matrice :

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

EE : Effondrement de l'éolienne
CE : Chute d'élément de l'éolienne
CG : Chute de morceaux de glace
PG : Projection de morceaux de glace
FP : Projection de pale ou de fragment de pale

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- Tous les risques considérés sont acceptables avec un niveau de risque compris entre très faible et faible;

- Certains accidents figurent en case jaune. Il s'agit des événements correspondant à une chute de morceaux de glace ou d'éléments sur les zones survolées par les pales.

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité	Nom associé
Effondrement de l'éolienne	Disque de rayon égal à la hauteur totale en bout de pale, soit 200 m E1-2-3-5 et 190m E4-6-7-8	Rapide	Exposition forte	D (pour des éoliennes récentes) ⁶	« sérieuse » pour chacune des éoliennes	EE
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol, soit 75 m	Rapide	Exposition modérée	C	« Modérée » pour chacune des éoliennes	CE
Chute de glace	Zone de survol, soit 75 m	Rapide	Exposition modérée	A sauf si les températures en hiver sont supérieures à 0°C	« Modérée » pour chacune des éoliennes	CG
Projection de glace	1,5 x (H + 2R) = 412.5 m E1-2-3-5 et 397.5 m E4-6-7-8	Rapide	Exposition modérée	B sauf si les températures en hiver sont supérieures à 0°C	« Modérée » pour chacune des éoliennes	PG
Projection de pale ou de fragment de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes) ⁷	« Modérée » ou « sérieuse » pour E1	FP

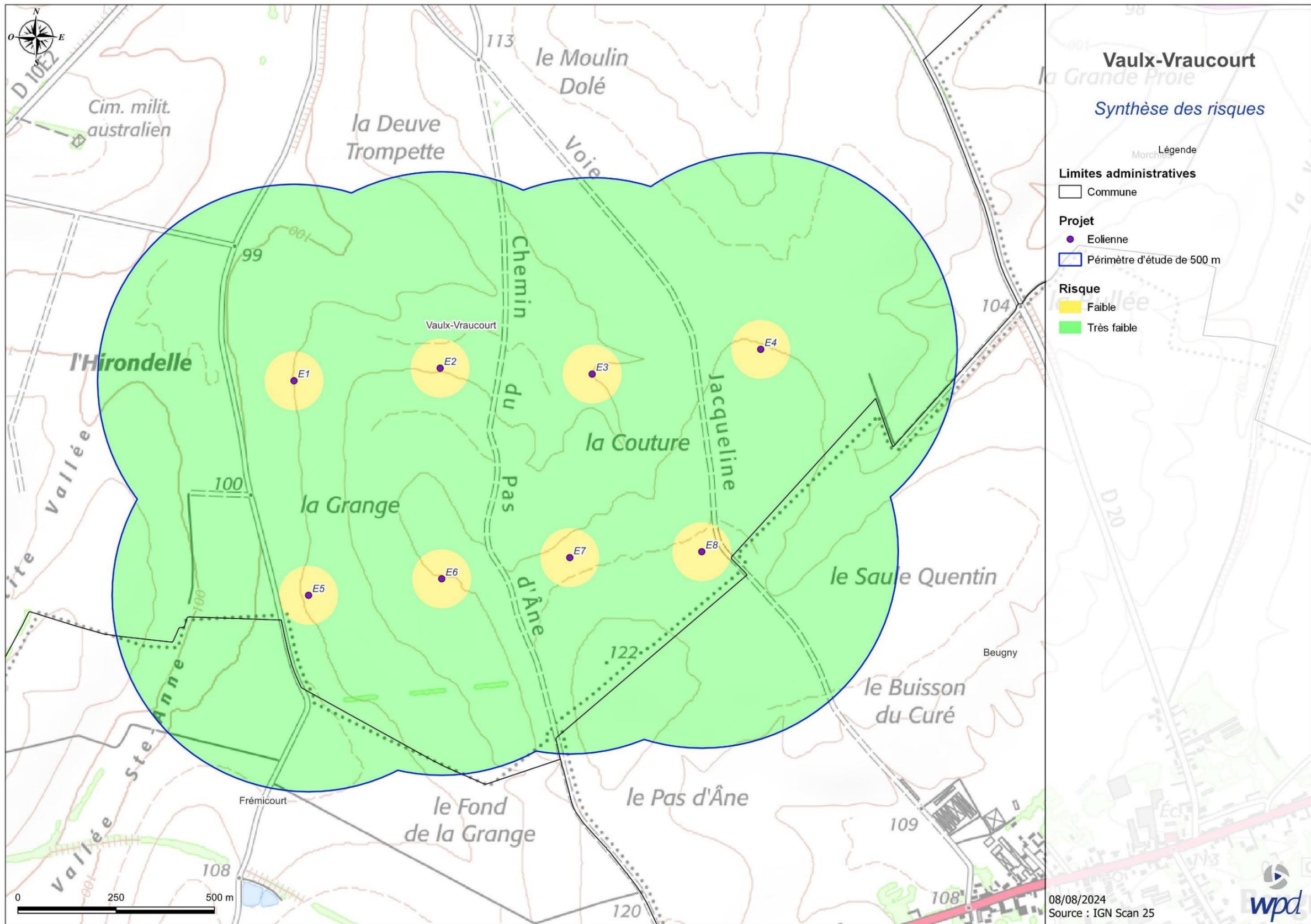
Tableau 29 : Synthèse des risques

- X.1.3 Cartographie des risques

Une carte de synthèse des risques fait apparaître les enjeux étudiés et les risques identifiés pour chacune des éoliennes.

⁶ Voir paragraphe IX.2.1

⁷ Voir paragraphe IX.2.4



Carte 13 : Synthèse des risques du projet éolien de Vaulx-Vraucourt



XI. Conclusion

Les mesures de maîtrise des risques mises en place par le constructeur des éoliennes et par l'exploitant du parc éolien permettent de prévenir et de limiter les risques pour la sécurité des personnes et des biens sur la zone d'implantation du projet éolien de Vaulx-Vraucourt. De plus, le caractère très peu aménagé et peu fréquenté du site, ainsi que la distance par rapport aux premiers enjeux humains (habitations à plus de 1000 mètres) permettent de limiter la probabilité et la gravité des accidents majeurs, qui sont tous acceptables pour l'ensemble du parc éolien.

Ainsi, un seul évènement redouté constitue un risque faible d'atteindre une personne non abritée située sous ou à proximité d'une éolienne :

- La chute de morceaux de glace : Ce risque correspond à un degré d'exposition « modéré » (petits fragments de glace) et donc à une gravité « modérée », avec une probabilité d'occurrence de l'évènement supérieure à 10^{-2} par éolienne et par an.

Il faut noter que les zones de survol des pales sont très peu fréquentées.

De plus, conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié, un affichage préventif informant des risques de chute de glace au pied des éoliennes sera mis en place afin de limiter les risques pour le public.

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

Ponctuellement, certains évènements sont susceptibles d'accroître la fréquentation du site. Compte tenu de leur faible fréquence et des mesures préventives proposées, les risques associés sont également très faibles.

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



Bibliographie et références utilisées

- L'évaluation des fréquences et des probabilités à partir des données de retour d'expérience (ref DRA-11-117406-04648A), INERIS, 2011
- NF EN 61400-1 Eoliennes – Partie 1 : Exigences de conception, Juin 2006
- Wind Turbine Accident data to 31 March 2011, Caithness Windfarm Information Forum
- Site Specific Hazard Assessment for a wind farm project – Case study – Germanischer Lloyd, Windtest Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH, 2010/08/24
- 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
- Specification of minimum distances, Dr-ing. Veenker ingenieurgesellschaft, 2004
- Permitting setback requirements for wind turbine in California, California Energy Commission – Public Interest Energy Research Program, 2006
- Oméga 10 : Evaluation des barrières techniques de sécurité, INERIS, 2005
- Arrêté du 26 août 2011 modifié relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement
- 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
- 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
- Bilan des déplacements en Val-de-Marne, édition 2009, Conseil Général du Val-de-Marne
- Alpine test site Güttsch : monitoring of a wind turbine under icing conditions- R. Cattin et al.
- Wind energy production in cold climate (WECO), Final report - Bengt Tammelin et al. – Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 2000
- Rapport sur la sécurité des installations éoliennes, Conseil Général des Mines - Guillet R., Leteurtois J.-P. - juillet 2004
- Risk analysis of ice throw from wind turbines, Seifert H., Westerhellweg A., Kröning J. - DEWI, avril 2003
- Wind energy in the BSR: impacts and causes of icing on wind turbines, Narvik University College, novembre 2005
- Accidentologie mondiale – association CWIF : <http://www.caithnesswindfarms.co.uk/page4.htm>

Annexe 1 – Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne

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

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

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

Terrains non bâtis

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

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

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

Voies de circulation

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

Voies de circulation automobiles

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

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

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

Voies ferroviaires

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

Voies navigables

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

Chemins et voies piétonnes

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

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

Logements

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

Etablissements recevant du public (ERP)

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

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

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

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

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

Zones d'activité

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



Annexe 2 – Tableau de l'accidentologie française

Le tableau ci-dessous est issue de la base de données IRIS recensant les incidents et accidents des parcs éoliens en exploitation.

Référence	Type d'évènement	Date Evènement (CEST)	Description	Région	Niveau Publication Actuelle
19800710-001	Effondrement	10/07/1980	Effondrement d'une éolienne	Ouessant Finistère Bretagne	Niveau 2
20001101-001	Effondrement	01/11/2000	Le mât d'une éolienne s'est plié lors de la perte d'une pale	Port-la-Nouvelle Aude Occitanie	Niveau 2
20010101-002	Rupture de pale(s)	01/01/2001	Bris de pales en bois (avec inserts)	Sallèles-Cabardès Aude Occitanie	Niveau 2
20010202-001	Chute de pale entière	02/02/2001	Chute de pale d'éolienne	Montjoyer Drôme Auvergne-Rhône-Alpes	Niveau 2
20020201-001	Effondrement	01/02/2002	Bris d'hélice et mât plié	Wormhout Nord Hauts-de-France	Niveau 2
20020225-002	Rupture de pale(s)	25/02/2002	Bris de pale en bois (avec inserts) sur une éolienne bipale	Sallèles-Cabardès Aude Occitanie	Niveau 2
20021228-003	Effondrement	28/12/2002	Effondrement d'une éolienne	Névian Aude Occitanie	Niveau 2
20031105-001	Rupture de pale(s)	05/11/2003	Bris de pale en bois (avec inserts) sur trois éoliennes	Sallèles-Cabardès Aude Occitanie	Niveau 2
20031115-002	Chute de pale entière	15/11/2003	Chute de pales d'une éolienne	Sallèles-Cabardès Aude Occitanie	Niveau 2
20040101-001	Effondrement	01/01/2004	Effondrement d'une éolienne	Le Portel Pas-de-Calais Hauts-de-France	Niveau 2
20040101-006	Rupture de pale(s)	01/01/2004	Bris de trois pales	Escales Aude Occitanie	Niveau 2
20040320-002	Effondrement	20/03/2004	Chute d'éolienne suite au vent	Loon-Plage Nord Hauts-de-France	Niveau 2
20040622-003	Chute de pale entière	22/06/2004	Chute de pale d'éolienne	Pleyber-Christ Finistère Bretagne	Niveau 2
20040708-004	Rupture de pale(s)	08/07/2004	Chute de morceaux d'éolienne	Pleyber-Christ Finistère Bretagne	Niveau 2
20041222-005	Rupture de pale(s)	22/12/2004	Incendie sur des éoliennes	Montjoyer Drôme Auvergne-Rhône-Alpes	Niveau 2
20050101-001	Rupture de pale(s)	01/01/2005	Bris de pale	Wormhout Nord Hauts-de-France	Niveau 2
20061007-001	Chute de pale entière	07/10/2006	Chute de pale	Pleyber-Christ Finistère Bretagne	Niveau 2
20061118-002	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	18/11/2006	Malveillance sur une éolienne	Roquetaillade Aude Occitanie	Niveau 2
20061203-003	Effondrement	03/12/2006	Chute d'éolienne	Bondues Nord Hauts-de-France	Niveau 2
20061231-004	Accident de levage	31/12/2006	Chute d'une pale	Ally Haute Loire Auvergne-Rhône-Alpes	Niveau 2
20070302-001	Rupture de pale(s)	02/03/2007	Pale d'éolienne brisée	Clitourps Manche Normandie	Niveau 2
20071011-002	Chute d'élément(s)	11/10/2007	Chute de 70m de trappe d'éolienne	Plouvien Finistère Bretagne	Niveau 2
20080310-001	Autres (à préciser)	10/03/2008	Perte de contrôle d'une éolienne	Dinéault Finistère Bretagne	Niveau 2
20080404-002	Collision aéronef / éolienne	04/04/2008	Eolienne heurtée par un bimoteur de tourisme	Plouguin Finistère Bretagne	Niveau 2
20080719-003	Rupture de pale(s)	19/07/2008	Pale brisée par la foudre sur une éolienne	Erize-la-Brûlée Meuse Grand Est	Niveau 2
20080821-004	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	21/08/2008	Feu d'éolienne	Vauvillers Somme Hauts-de-France	Niveau 2
20081226-005	Chute de pale entière	26/12/2008	Chute de pale	Raival Meuse Grand Est	Niveau 2
20090608-001	Rupture de pale(s)	08/06/2009	Bout de pale d'une éolienne ouvert	Bollène Vaucluse Provence-Alpes-Côte d'Azur	Niveau 2
20091021-002	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	21/10/2009	Eolienne endommagée par un incendie	Froidfond Vendée Pays de la Loire	Niveau 2
20091030-003	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	30/10/2009	Feu d'éolienne	Freyssenet Ardèche Auvergne-Rhône-Alpes	Niveau 2
20100919-001	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	19/09/2010	Feu d'éolienne	Rochefort-en-Valdaine Drôme Auvergne-Rhône-Alpes	Niveau 2
20111214-001	Autres (à préciser)	14/12/2011	Pale endommagée par la foudre	Bouin Vendée Pays de la Loire	Niveau 2
20120103-001	Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	03/01/2012	Départ de feu en pied de tour	Aisne Hauts-de-France	Niveau 2



20120104-002	Rupture de pale(s)	04/01/2012	Bris d'une pale d'éolienne par une tempête	Widehem Pas-de-Calais Hauts-de-France	Niveau 2
20120411-003	Rupture de pale(s)	11/04/2012	Chute d'une pale d'éolienne	Sigean Aude Occitanie	Niveau 2
20120518-004	Chute de pale entière	18/05/2012	Chute d'une pale d'éolienne	Fresnay l'Evêque Eure-et-Loir Centre Val de Loire	Niveau 2
20120530-005	Effondrement	30/05/2012	Chute d'éolienne	Port-la-Nouvelle Aude Occitanie	Niveau 2
20121101-006	Chute d'élément(s)	01/11/2012	Chute d'un élément d'une pale d'éolienne	Vieillespesse Cantal Auvergne-Rhône-Alpes	Niveau 2
20121105-007	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	05/11/2012	Feu d'éolienne	Sigean Aude Occitanie	Niveau 2
20130306-001	Rupture de pale(s)	06/03/2013	Rupture d'une pale d'éolienne	Roquetaillade Aude Occitanie	Niveau 2
20130317-002	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	17/03/2013	Feu d'éolienne	Euvy Marne Grand Est	Niveau 2
20130620-003	Rupture de pale(s)	20/06/2013	Eolienne touchée par la foudre	Labastide-sur-Besorgues Ardèche Auvergne-Rhône-Alpes	Niveau 2
20130702-004	Effondrement	02/07/2013	Chute d'une éolienne	Petit-Canal Guadeloupe Guadeloupe	Niveau 2
20130803-005	Fuite / Déversement d'huile	03/08/2013	Déversement d'huile hydraulique dans un parc éolien	Moréac Morbihan Bretagne	Niveau 2
20140109-001	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	09/01/2014	Feu d'éolienne	Antheny Ardennes Grand Est	Niveau 2
20140120-002	Chute de pale entière	20/01/2014	Arrêt automatique d'éolienne et chute de pale	Sigean Aude Occitanie	Niveau 2
20141114-003	Chute de pale entière	14/11/2014	Chute d'une pale d'éolienne	Saint-Cirgues-en-Montagne Ardèche Auvergne-Rhône-Alpes	Niveau 2
20141205-004	Rupture de pale(s)	05/12/2014	Chute d'une pale d'éolienne	Fitou Aude Occitanie	Niveau 2
20150129-001	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	29/01/2015	Feu d'éolienne	Remigny Aisne Hauts-de-France	Niveau 2
20150206-002	Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	06/02/2015	Feu d'éolienne	Lusseray Deux-Sèvres Nouvelle-Aquitaine	Niveau 2
20150402-003	Rupture de pale(s)	02/04/2015	Chute de morceaux de pale	Ersa Haute Corse Corse	Niveau 2
20150824-004	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	24/08/2015	Feu d'éolienne	Santilly Eure-et-Loir Centre - Val de Loire	Niveau 2
20151110-005	Chute de pale entière	10/11/2015	Chute des pales et du rotor d'une éolienne	Vaulx-Vraucourt Meuse Grand Est	Niveau 2
20160207-001	Chute d'élément(s) de pale (ex : aérofrein, vortex generator, gurney flap)	07/02/2016	Rupture de l'aérofrein d'une pale d'éolienne	Conilhac-Corbières Aude Occitanie	Niveau 2
20160208-002	Rupture de pale(s)	08/02/2016	Le vent endommage une éolienne	Dinéault Finistère Bretagne	Niveau 2
20160307-003	Chute de pale entière	07/03/2016	Chute d'une pale d'éolienne	Calanhel Côtes d'Armor Bretagne	Niveau 2
20160528-004	Fuite / Déversement d'huile	28/05/2016	Fuite d'huile dans une éolienne	Janville Eure-et-Loir Centre - Val de Loire	Niveau 2
20160728-005	Feu / Incendie affectant d'autres équipements que les éoliennes	28/07/2016	Feu dans le local Scada	Sauveterre Tarn Occitanie	Niveau 2
20160809-006	Feu / Incendie affectant d'autres équipements que les éoliennes	09/08/2016	Feu dans le poste de livraison	Sauveterre Tarn Occitanie	Niveau 2
20160810-007	Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	10/08/2016	Feu dans une éolienne	Hescamps Somme Hauts-de-France	Niveau 2
20160818-008	Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	18/08/2016	Feu dans une éolienne	Dargies Oise Hauts-de-France	Niveau 2
20170111-001	Rupture de pale(s)	11/01/2017	Fissure sur une pale d'éolienne	Le Quesnoy Nord Hauts-de-France	Niveau 2
20170112-002	Rupture de pale(s)	12/01/2017	Rupture des pales d'une éolienne	Tuchan Aude Occitanie	Niveau 2
20170118-003	Rupture de pale(s)	18/01/2017	Chute d'une pale d'éolienne	Nurlu Somme Hauts-de-France	Niveau 2
20170227-005	Rupture de pale(s)	27/02/2017	Chute d'un élément d'une pale d'éolienne	Trayes Deux-Sèvres Nouvelle-Aquitaine	Niveau 2
20170227-004	Rupture de pale(s)	27/02/2017	Rupture d'une pale d'éolienne	Lavallée Meuse Grand Est	Niveau 2
20170606-006	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	06/06/2017	Feu dans la nacelle d'une éolienne	Allonnes Eure-et-Loir Centre - Val de Loire	Niveau 2
20170608-007	Rupture de pale(s)	08/06/2017	Chute de pale d'éolienne due à la foudre	Aussac-Vadalle Charente Nouvelle-Aquitaine	Niveau 2



20170624-008	Chute de pale entière	24/06/2017	Chute d'une pale d'éolienne	Conchy-sur-Canche Pas-de-Calais Hauts-de-France	Niveau 2
20170702-009	Chute d'élément(s)	02/07/2017	Chute du toit de la nacelle	Fitou Aude Occitanie	Niveau 2
20170717-010	Chute d'élément(s) de pale (ex : aérofrein, vortex generator, gurney flap)	17/07/2017	Chute d'un aérofrein d'une éolienne	Fécamp Seine-Maritime Normandie	Niveau 2
20170724-011	Fuite / Déversement d'huile	24/07/2017	Fuite d'huile sur une éolienne	Mauron Morbihan Bretagne	Niveau 2
20170805-012	Rupture de pale(s)	05/08/2017	Bris d'une pale d'éolienne	Priez Aisne Hauts-de-France	Niveau 2
20171108-013	Chute d'élément(s)	08/11/2017	Chute du carénage d'une éolienne	Roman Eure Normandie	Niveau 2
20180101-001	Effondrement	01/01/2018	Chute d'une éolienne lors d'une tempête	Bouin Vendée Pays de la Loire	Niveau 2
20180104-002	Rupture de pale(s)	04/01/2018	Chute d'une pale d'éolienne	Nixeville-Blercourt Meuse Grand Est	Niveau 2
20180206-003	Chute d'élément(s) de pale (ex : aérofrein, vortex generator, gurney flap)	06/02/2018	Chute de l'aérofrein d'une pale d'éolienne	Conilhac-Corbières Aude Occitanie	Niveau 2
20180308-004	Autres (à préciser)	08/03/2018	Défaillance mécanique d'une éolienne	Villers-Grelot Doubs Bourgogne-Franche-Comté	Niveau 2
20180503-005	Rupture de pale(s)	03/05/2018		Dio-et-Valquières Hérault Occitanie	Niveau 2
20180601-006	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	01/06/2018	Incendies criminels dans un parc éolien	Marsanne Drôme Auvergne-Rhône-Alpes	Niveau 2
20180605-007	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	05/06/2018	Incendie d'éolienne	Aumelas Hérault Occitanie	Niveau 2
20180704-008	Rupture de pale(s)	04/07/2018	Chute des extrémités de 2 pales d'une éolienne	Port-la-Nouvelle Aude Occitanie	Niveau 2
20180802-009	Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	02/08/2018	Feu dans une éolienne	Izenave Ain Auvergne-Rhône-Alpes	Niveau 2
20180928-010	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	28/09/2018	Incendie d'éolienne propagé à la végétation	Sauveterre Tarn Occitanie	Niveau 2
20181017-011	Fuite / Déversement d'huile	17/10/2018	Fuite d'huile hydraulique sur une éolienne	Flers-sur-Noye Somme Hauts-de-France	Niveau 2
20181106-012	Effondrement	06/11/2018	Effondrement d'une éolienne	Guigneville Loiret Centre - Val de Loire	Niveau 2
20181118-013	Chute d'élément(s) de pale (ex : aérofrein, vortex generator, gurney flap)	18/11/2018	Chute de 3 aérofreins dans un parc éolien	Conilhac-Corbières Aude Occitanie	Niveau 2
20181119-014	Rupture de pale(s)	19/11/2018	Chute d'une pale d'éolienne	Sommerville-Eaucourt Aisne Hauts-de-France	Niveau 2
20190103-001	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	03/01/2019	Incendie sur une éolienne	La Limouzinière Loire-Atlantique Pays de la Loire	Niveau 2
20190116-002	Chute d'élément(s) de pale (ex : aérofrein, vortex generator, gurney flap)	16/01/2019		Fitou Aude Occitanie	Niveau 2
20190117-003	Rupture de pale(s)	17/01/2019	Chute d'une pale d'éolienne	Bambiderstroff Moselle Grand Est	Niveau 2
20190120-004	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	20/01/2019	Incendies criminels dans un parc éolien	Roussas Drôme Auvergne-Rhône-Alpes	Niveau 2
20190123-005	Effondrement	23/01/2019	Rupture du mât d'une éolienne	Boutavent Oise Hauts-de-France	Niveau 2
20190130-006	Chute de pale entière	30/01/2019	Chute d'une pale d'éolienne	Roquetaillade / Conilhac-de-la-Montagne Aude Occitanie	Niveau 2
20190212-007	Autres (à préciser)	12/02/2019	Fissurations sur des roulements de pales d'éoliennes	Autechoux Doubs Bourgogne-Franche-Comté	Niveau 2
20190312-008	Feu / Incendie affectant d'autres équipements que les éoliennes	12/03/2019		Salles-Curan Aveyron Occitanie	Niveau 2
20190323-009	Fuite / Déversement d'huile	23/03/2019	Fuite d'huile sur une éolienne	Argentonnay Deux-Sèvres Nouvelle-Aquitaine	Niveau 2
20190402-010	Autres (à préciser)	02/04/2019	Eolienne touchée par la foudre	Equancourt Somme Hauts-de-France	Niveau 2
20190625-011	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	25/06/2019		Ambon Morbihan Bretagne	Niveau 2
20190627-012	Chute de pale entière	27/06/2019		Charly-sur-Marne Aisne Hauts-de-France	Niveau 2
20191209-014	Rupture de pale(s)	09/12/2019	Bris de pale	Nouvelle Aquitaine	Niveau 2
20200122-014	Chute d'élément(s)	22/01/2020	Chute d'un joint de pale d'une éolienne	SAINT-SEINE-L'ABBAYE Côte-d'Or Bourgogne-Franche-Comté	Niveau 2
20200209-001	Rupture de pale(s)	09/02/2020	Rupture d'une pale d'éolienne	Beaurevoir Aisne Hauts-de-France	Niveau 2



20200209-002	Autres (à préciser)	09/02/2020	Endommagement d'une nacelle	Wancourt Pas-de-Calais Hauts-de-France	Niveau 2
20200226-003	Rupture de pale(s)	26/02/2020	Bris de pale	La Forêt-de-Tesse Charente Nouvelle-Aquitaine	Niveau 2
20200226-017	Rupture de pale(s)	26/02/2020	Bris de pale	Nouvelle Aquitaine	Niveau 2
20200229-004	Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	29/02/2020	Incendie sur une éolienne	Boisbergues Somme Hauts-de-France	Niveau 2
20200324-005	Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	24/03/2020	Incendie d'une nacelle d'éolienne	Flavin Aveyron Occitanie	Niveau 2
20200331-006	Autres (à préciser)	31/03/2020	Fissures sur une pale d'éolienne	Lehaucourt Aisne Hauts-de-France	Niveau 2
20200410-007	Fuite / Déversement d'huile	10/04/2020	Écoulement d'huile hydraulique le long d'une éolienne	Ruffiac Morbihan Bretagne	Niveau 2
20200420-009	Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	20/04/2020	Incendie d'une éolienne au sol pour démantèlement	LE VAUCLIN Martinique Départements d'Outre Mer	Niveau 2
20200430-008	Rupture de pale(s)	30/04/2020	Endommagement d'une pale	Plouarzel Finistère Bretagne	Niveau 2
20200607-010	Fuite / Déversement d'huile	07/06/2020	Fuite d'huile hydraulique sur une éolienne	LEHAUCOURT Aisne Hauts-de-France	Niveau 2
20200627-011	Chute de pale entière	27/06/2020	Chute au sol d'une pale complète d'éolienne	PLEMET Côtes d'Armor Bretagne	Niveau 2
20200801-012	Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	01/08/2020	Dégagement de fumée en nacelle d'une éolienne	ISSANLAS Ardèche Auvergne-Rhône-Alpes	Niveau 2
20200901-013	Fuite / Déversement d'huile	01/09/2020	Fuite d'huile sur une éolienne	BOUCHY-SAINT-GENEST Marne Grand Est	Niveau 2
20201108-016	Fuite / Déversement d'huile	08/11/2020	Déversement accidentel d'huile	Nouvelle Aquitaine	Niveau 1
20201211-015	Fuite / Déversement d'huile	11/12/2020	Fuite d'huile sur une éolienne	CHARMONT-EN-BEAUCE Loiret Centre Val de Loire	Niveau 2
20210112-001	Chute de pale entière	12/01/2021	Chute d'une pale d'éolienne	SAINT-GEORGES-SUR-ARNON Indre Centre Val de Loire	Niveau 2
20210212-002	Rupture de pale(s)	12/02/2021	Casse d'une pale d'une éolienne	PRIEZ Aisne Hauts-de-France	Niveau 2
20210213-003	Rupture de pale(s)	13/02/2021	Chute de morceaux de pale d'une éolienne	PATAY Loiret Centre Val de Loire	Niveau 2
20210217-004	Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	17/02/2021	Incendie dans le local base vie d'un parc éolien	Sainte-Rose La Réunion Départements d'Outre Mer	Niveau 2
20210508-010	Chute d'élément(s)	08/05/2021	Chute des accumulateurs hydrauliques depuis le hub	Hauts-de-France	Niveau 1
20210830-008	Fuite / Déversement d'huile	30/08/2021	Déversement accidentel d'huile	Bretagne	Niveau 1
20211020-005	Chute d'élément(s)	20/10/2021	Chute d'une partie en fibre du Nose Cone	Grant-Est	Niveau 1
20211021-006	Rupture de pale(s)	20/10/2021	Accident bris de pale 1380443E01	Pays de la Loire	Niveau 1
20211020-011	Chute d'élément(s) de pale (ex : aérofrein, vortex generator, gurney flap)	20/10/2021	Chute de serrations de pales	Nouvelle Aquitaine	Niveau 1
20211026-007	Rupture de pale(s)	26/10/2021	Bris de bout de pale	Hauts-de-France	Niveau 1
20211130-012	Chute d'élément(s)	30/11/2021	Chute d'un carter de protection en fibre de verre du roulement principal de rotor	Bretagne	Niveau 1
20211203-009	Rupture de pale(s)	03/12/2021	Casse d'une pale d'une éolienne	Nouvelle Aquitaine	Niveau 1
20211224-013	Chute d'élément(s) de pale (ex : aérofrein, vortex generator, gurney flap)	24/12/2021	Chute d'un aérofrein	Normandie	Niveau 1
20211228-014	Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	28/12/2021	Incendie électrique câble	Occitanie	Niveau 1
20220211-001	Fuite / Déversement d'huile	11/02/2022	Déversement d'huile	Hauts-de-France	Niveau 2
20220309-002	Autres (à préciser)	09/03/2022	Perte de liaison satellitaire	Occitanie	Niveau 1
20220324-003	Fuite / Déversement d'huile	24/03/2022	Fuite d'huile hydraulique	Hauts-de-France	Niveau 1
20220402-005	Rupture de pale(s)	02/04/2022	Eclatement d'une pale	Occitanie	Niveau 1
20220403-009	Chute d'élément(s)	03/04/2022	Chute d'une pièce métallique depuis le hub	Hauts-de-France	Niveau 1
20220408-004	Chute d'élément(s)	08/04/2022	Chute plaque métallique depuis le moyeu	Pays de la Loire	Niveau 1
20220420-006	Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	20/04/2022	Incendie en nacelle	Grant-Est	Niveau 1
20220430-008	Chute de pale entière	30/04/2022	Chute de pale	Occitanie	Niveau 1



20220624-010	Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	24/06/2022	Incendie d'origine électrique en pied de machine	Bretagne	Niveau 1
20220711-011	Chute d'élément(s)	11/07/2022	Chute d'une trappe d'accès au hub	Bretagne	Niveau 1
20220805-012	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	05/08/2022	Incendie Eolienne	Bretagne	Niveau 1
20220810-013	Fuite / Déversement d'huile	10/08/2022	Fuite d'huile	Bourgogne-Franche-Comté	Niveau 1
20220822-014	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	22/08/2022	Incendie Eolienne	Grant-Est	Niveau 1
20220914-016	Fuite / Déversement d'huile	14/09/2022	Fuite d'huile	Bourgogne-Franche-Comté	Niveau 1
20220919-015	Fuite / Déversement d'huile	19/09/2022	Fuite d'huile	Pays de la Loire	Niveau 1
20221005-018	Fuite / Déversement d'huile	04/10/2022	Fuite d'huile	Nouvelle Aquitaine	Niveau 1
20221117-021	Fuite / Déversement d'huile	17/11/2022	Fuite / Déversement d'huile Eolienne G90	Grant-Est	Niveau 1
20221125-022	Rupture de pale(s)	25/11/2022	Bris d'une pale à la suite d'un impact foudre	Bretagne	Niveau 1
20230109-002	Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	09/01/2023	Incendie câbles électriques en machine	Normandie	Niveau 1
20230223-005	Chute d'élément(s) de pale (ex : aérofrein, vortex generator, gurney flap)	23/02/2023	Bris de pale	Hauts-de-France	Niveau 1
20230309-006	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	09/03/2023	Incendie éolienne	Pays de la Loire	Niveau 1
20230314-007	Chute d'élément(s)	14/03/2023	chute de spoiler d'une pale	Occitanie	Niveau 1
20230320-008	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	20/03/2023	Incendie en nacelle	Centre	Niveau 1
20230329-009	Fuite / Déversement d'huile	29/03/2023	Fuite d'huile	Nouvelle Aquitaine	Niveau 1
20230415-010	Fuite / Déversement d'huile	15/04/2023	Fuite machine	Grant-Est	Niveau 1
20230421-012	Fuite / Déversement d'huile	21/04/2023	fuite huile	Grant-Est	Niveau 1
20230503-011	Chute d'élément(s)	10/05/2023	Chute d' un Spoiler sur V80 2MW MK7	Occitanie	Niveau 1
20230510-013	Rupture de pale(s)	10/05/2023	Rupture de pale sur une éolienne SG 3.4-132	Nouvelle Aquitaine	Niveau 1
20230524-014	Fuite / Déversement d'huile	24/05/2023	Une vanne de vidange du bloc du Main Filter de la multiplicatrice est resté ouverte suite aux travaux de maintenance préventive de la turbine, ceci a provoqué une fuite en nacelle qui a progressé durant la nuit sur la tour et la fondation.	Bretagne	Niveau 1
20230627-015	Fuite / Déversement d'huile	27/06/2023	Fuite d'huile Hub	Hauts-de-France	Niveau 2
20230712-016	Rupture de pale(s)	12/07/2023	Rupture de pale sur éolienne V110 - 2.2MW Mk10	Grant-Est	Niveau 1
20230905-019	Fuite / Déversement d'huile	05/09/2023	Fuite d'huile hub	Normandie	Niveau 1
20230912-018	Rupture de pale(s)	12/09/2023	Casse morceau pale (2m)	Centre	Niveau 1
20230925-021	Fuite / Déversement d'huile	25/09/2023	Fuite d'huile	Pays de la Loire	Niveau 1
20230926-020	Fuite / Déversement d'huile	26/09/2023	Fuite d'huile hub	Hauts-de-France	Niveau 1
20231025-022	Fuite / Déversement d'huile	25/10/2023	Fuite d'huile	Hauts-de-France	Niveau 1
20231120-023	Rupture de pale(s)	20/11/2023	Rupture de pale	Hauts-de-France	Niveau 1
20231201-024	Fuite / Déversement d'huile	01/12/2023	Fuite d'huile	Nouvelle Aquitaine	Niveau 1
20240214-001	Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	14/02/2024	Debut d'incendie / Court circuit transformateur éolienne.	Bretagne	Niveau 1
20240322-004	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	22/03/2024	Incendie Eolienne	Hauts-de-France	Niveau 1
20240326-002	Chute de composants majeurs (rotor, nose cone, hub)	26/03/2024	Chute du nez en fibre de verre de la nacelle (d:1m50/60kg environ)	Hauts-de-France	Niveau 1



20240328-003	Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	28/03/2024	Incendie de la nacelle	Pays de la Loire	Niveau 1
20240829-005	Fuite / Déversement d'huile	29/08/2024	Fuite d'huile	Centre	Niveau 1

Annexe 3 – Glossaire

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Probabilité d'occurrence : D'après la circulaire du 10 mai 2010, 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 scénarii peuvent mener à un même phénomène dangereux pouvant conduire à un accident (majeur) : on dénombre autant de scénarii qu'il existe de combinaisons possibles d'événements y aboutissant. Les scénarii 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.

