PROJET EOLIEN DE DEMANGE-AUX-EAUX (55)

Dossier de demande d'autorisation environnementale

Pièce 5 : Etude de dangers et Résumé non technique

Rapport final – V2

Dossier 19030034
21/10/2024

réalisé par

Auddicé Environnement
6 place Sainte-Croix
51000 Châlons-en-Champagne
03 26 64 05 01

PROJET EOLIEN DE DEMANGE-AUX-EAUX (55)

Dossier de demande d'autorisation environnementale

Pièce 5 : Etude de dangers et Résumé non technique

Rapport final – V2

La Demande d'Autorisation Environnementale, relative au projet de parc éolien de Demange-aux-Eaux, a été déposée le 31 août 2022 auprès de la Préfecture de la Meuse.
Dans le cadre de l'instruction du dossier, une demande de compléments est émise le 4 avril 2023.

La présente version de l'étude de dangers(V2) s'appuie sur l'étude d'impact version 3 et propose une nouvelle variante avec suppression d'une éolienne, l'analyse complète des impacts, suivie de la séquence ERCA associée. Le document tient compte également des réponses apportées à la demande de compléments et des éléments modifiés en avril 2024 (Variante V5 et actualisation du contexte éolien).

LOCOGEN

Version	Date	Description
Rapport final – V1	04/07/2022	Etude de dangers et Résumé Non Technique
Rapport final – V2	21/10/2024	Etude de dangers et Résumé Non Technique, version actualisée (modification implantation et contexte éolien puis suppression d'une éolienne)

	Nom - Fonction	Signature
Rédaction	Aurélie COFFRAND - Ingénieure environnement	

Agence Hauts-de-France
Agence Grand-Est
Agence Île-de-France
Agence Seine-Normandie
Agence Auvergne Massif-Central
Agence Val-de-Loire
Agence Bourgogne Franche Comté
Agence Sud
Agence Belgique

Agir pour l'avenir de vos projets

auddice.com

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE 1. PREAMBULE 5
1.1 Objectif de l'étude de dangers 6
1.2 Contexte législatif et réglementaire 6
1.3 Nomenclature des installations classées 7
1.4 Document de référence, guide technique INERIS/SER FEE 7
CHAPITRE 2. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION 9
2.1 Renseignements administratifs 10
2.2 Localisation du site 10
2.3 Définition de l'aire d'étude 10
CHAPITRE 3. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION 13
3.1 Environnement humain 14
3.1.1 Zones urbanisées ou urbanisables 14
3.1.2 Etablissements recevant du public (ERP) 14
3.1.3 Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) SEVESO et installations nucléaires de base 14
3.1.4 Autres activités 14
3.2 Environnement naturel 15
3.2.1 Contexte climatique 15
3.2.2 Risques naturels 15
3.3 Environnement matériel 17
3.3.1 Voies de communication 17
3.3.2 Réseaux publics et privés 17
3.4 Cartographie de synthèse 18
3.4.1 Méthodologie de comptage 18
3.4.2 Hypothèse de travail 18
CHAPITRE 4. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION 21
4.1 Caractéristiques de l'installation 22
4.1.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien 22
4.1.2 Activité de l'installation 23
4.1.3 Composition de l'installation 23
4.2 Fonctionnement de l'installation 24
4.2.1 Principe général du fonctionnement d'un aérogénérateur 24
4.2.2 Sécurité de l'installation 25
4.2.3 Opérations de maintenance de l'installation 28
4.2.4 Stockage et flux de produits dangereux 29
4.3 Fonctionnement des réseaux de l'installation 30
4.3.1 Raccordement électrique 30
4.3.2 Autres réseaux 30
CHAPITRE 5. IDENTIFICATION DES DANGERS POTENTIELS DE L'INSTALLATION 31
5.1 Potentiels de dangers liés aux produits et déchets 32
5.1.1 Inventaire des produits 32
5.1.2 Dangers des produits 32
5.2 Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation 33
5.3 Réduction des potentiels de dangers à la source 33
5.3.1 Principales actions préventives 33
5.3.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles 34
CHAPITRE 6. ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE 35
6.1 Inventaire des accidents et incidents en France 36
6.2 Inventaire des accidents et incidents à l'international 37
6.3 Inventaires des accidents majeurs sur les sites de l'exploitant 38
6.4 Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience 38
6.4.1 Analyse de l'évolution des accidents en France 38
6.4.2 Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents 38
6.4.3 Limites d'utilisation de l'accidentologie 38
CHAPITRE 7. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES 39
7.1 Objectif de l'analyse préliminaire des risques 40
7.2 Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques 40
7.3 Recensement des agressions externes potentielles 40
7.3.1 Agressions externes liées aux activités humaines 40
7.3.2 Agressions externes liées aux phénomènes naturels 41
7.4 Scénarii étudiés dans l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) 41
7.5 Effets dominos 43
7.6 Mise en place des mesures de sécurité 43
7.7 Conclusion de l'analyse préliminaire des risques 48
CHAPITRE 8. ETUDE DETAILLEE DES RISQUES 49
8.1 Rappel des définitions 50
8.1.1 Cinétique 50
8.1.2 Intensité 50
8.1.3 Gravité 51
8.1.4 Probabilité 51
8.1.5 Acceptabilité 52
8.2 Caractérisation des scénarii retenus 53
8.2.1 Effondrement de l'éolienne 53
8.2.2 Chute de glace 55
8.2.3 Chute d'éléments de l'éolienne 57
8.2.4 Projection de pales ou de fragments de pales 59
8.2.5 Projection de glace 61
8.3 Synthèse de l'étude détaillée des risques 63
8.3.1 Tableaux de synthèse des scénarii étudiés 63
8.3.2 Cartographie des risques 63
8.3.3 Synthèse de l'acceptabilité des risques 63
CHAPITRE 9. CONCLUSION 69
CHAPITRE 10. RESUME NON TECHNIQUE 71
10.1 Introduction 72
10.2 Présentation de l'installation 72
10.3 Identification des dangers et analyse des risques associés 74
10.3.1 Les sources de dangers 74

10.3.2 Les enjeux à protéger 75
10.3.3 Analyse des risques 77
10.3.4 Etude détaillée des risques 78
10.3.5 Synthèse de l'acceptabilité des risques 79
10.3.6 Cartes des risques avec zones de risques et vulnérabilités identifiées 79
10.4 Conclusion 85

ANNEXES 87

Annexe 1 – Bibliographie 88
Annexe 2 – Annexes au guide technique INERIS et compléments à l'accidentologie 89

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Rubrique des installations classées au titre des ICPE 7
Tableau 2. Identité du demandeur 10
Tableau 3. Caractéristiques techniques du modèle d'éolienne 23
Tableau 4. Coordonnées géographiques des éoliennes et des postes de livraison 23
Tableau 5. Découpage fonctionnel de l'installation 25
Tableau 6. Dangers potentiels d'une éolienne 33
Tableau 7. Agressions externes liées aux activités humaines 40
Tableau 8. Analyse générique des risques 42
Tableau 9. Ensemble des tableaux des fonctions de sécurité (INERIS) 47
Tableau 10. Scénarii exclus de l'étude détaillée 48
Tableau 11. Grille de cotation en intensité issue du guide technique 50
Tableau 12. Grille de cotation en gravité de l'arrêté du 29 septembre 2005 51
Tableau 13. Grille de cotation en probabilité de l'arrêté du 29 septembre 2005 51
Tableau 14. Caractéristiques techniques du gabarit d'éolienne 53
Tableau 15. Scénario d'effondrement – calcul de l'intensité 53
Tableau 16. Scénario d'effondrement – cotation de la gravité 54
Tableau 17. Probabilités d'effondrement et valeurs retenues 54
Tableau 18. Scénario d'effondrement – acceptabilité du risque 54
Tableau 19. Scénario chute de glace – calcul de l'intensité 55
Tableau 20. Scénario chute de glace – cotation de la gravité 56
Tableau 21. Scénario chute de glace – acceptabilité du risque 56
Tableau 22. Scénario chute d'éléments de l'éolienne – calcul de l'intensité 57
Tableau 23. Scénario chute d'éléments de l'éolienne – cotation de la gravité 57
Tableau 24. Scénario chute d'éléments de l'éolienne – acceptabilité du risque 58
Tableau 25. Scénario projection de pales ou de fragments de pales – calcul de l'intensité 59
Tableau 26. Scénario projection de pales ou de fragments de pales – cotation de la gravité 59
Tableau 27. Probabilité de rupture de tout ou partie de pale et valeurs retenues 59
Tableau 28. Scénario projection de pales ou de fragments de pales – acceptabilité du risque 60
Tableau 29. Scénario projection de glace – calcul de l'intensité 61
Tableau 30. Scénario projection de glace – cotation de la gravité 61
Tableau 31. Scénario projection de glace – acceptabilité du risque 62
Tableau 32. Synthèse de la cotation des risques – étude détaillée 63
Tableau 33. Cotation des risques selon la matrice de criticité de la circulaire du 10 mai 2010 63
Tableau 34. Caractéristiques techniques des éoliennes 72
Tableau 35. Coordonnées géographiques des éoliennes et des postes de livraison 72
Tableau 36. Dangers potentiels relatifs aux éoliennes 74
Tableau 37. Agressions externes liées aux activités humaines 75
Tableau 38. Classes de probabilité 78
Tableau 39. Synthèse de la cotation des risques – étude détaillée 78
Tableau 40. Cotation des risques selon la matrice de criticité de la circulaire du 10 mai 2010 79

LISTE DES CARTES

Carte 1. Situation du projet 11
Carte 2. Distance des éoliennes aux habitations 14
Carte 3. Projet et inondation par remontées de nappes 15
Carte 4. Risques naturels (mouvements de terrain, argiles, cavités 15
Carte 5. Synthèse des contraintes autour du projet 17
Carte 6. Carte des enjeux de l'étude de danger 19
Carte 7. Carte des risques Eolienne E1 64
Carte 8. Carte des risques Eolienne E2 65
Carte 9. Carte des risques Eolienne E3 66
Carte 10. Carte des risques Eolienne E4 67
Carte 11. Carte des risques Eolienne E5 68
Carte 12. Situation du projet 73
Carte 13. Carte des enjeux de l'étude de danger 76
Carte 14. Carte des risques Eolienne E1 80
Carte 15. Carte des risques Eolienne E2 81
Carte 16. Carte des risques Eolienne E3 82
Carte 17. Carte des risques Eolienne E4 83
Carte 18. Carte des risques Eolienne E5 84

CHAPITRE 1. PREAMBULE

1.1 Objectif de l'étude de dangers

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par LOCOGEN**,** pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du parc éolien de Demange-aux-Eaux, autant technologiquement réalisable qu'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 un parc éolien. Le choix de la méthode d'analyse utilisée et la justification des mesures de prévention, de protection et d'intervention sont adaptés à la nature et la complexité des installations et de leurs risques.

Elle précise l'ensemble des mesures de maîtrise des risques mises en œuvre sur le parc éolien de Demange-aux-Eaux, 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.

Le parc éolien de Demange-aux-Eaux est situé sur la commune de Demange-aux-Eaux dans la Meuse.

1.2 Contexte législatif et réglementaire

Les objectifs et le contenu de l'étude de dangers sont définis dans la partie du code de l'environnement relative aux installations classées. Selon l'article L 181-25 du code de l'environnement, l'étude de dangers précise les risques auxquels l'installation peut exposer, directement ou indirectement, les intérêts mentionnés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation.

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 classés soumises à autorisation fournit un cadre méthodologique pour les évaluations des scénarii d'accident majeurs. Il impose une évaluation des accidents majeurs sur les personnes uniquement et non sur la totalité des enjeux identifiés dans l'article L. 511-1.

En cohérence avec cette réglementation et dans le but d'adopter une démarche proportionnée, l'évaluation des accidents majeurs dans l'étude de dangers d'un parc d'aérogénérateurs s'intéressera prioritairement aux dommages sur les personnes. Pour les parcs éoliens, les atteintes à l'environnement, l'impact sur le fonctionnement des radars et les problématiques liées à la circulation aérienne feront l'objet d'une évaluation détaillée au sein de l'étude d'impact.

Ainsi, l'étude de dangers a pour objectif de démontrer la maîtrise du risque par l'exploitant. Elle comporte une analyse des risques qui présente les différents scénarii d'accidents majeurs susceptibles d'intervenir. Ces scénarii 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, défini par l'article D181-15-2 § III du code de l'environnement, est conforme à la méthodologie habituelle :

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

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

1.3 Nomenclature des installations classées

Un parc éolien est classé au titre de la loi relative aux installations classées pour la protection de l'environnement[1].

Le décret n° 2011-984 du 23 août 2011 modifiant la nomenclature des installations classées inscrit les éoliennes terrestres au régime des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) par la rubrique suivante :

Rubrique	Libellé de l'installation	Classement	Rayon d'affichage
2980	Installation terrestre de production 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 : autorisation	**A : Autorisation**	**6 km**
	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 : Autorisation	**A : Autorisation**	**6 km**
	b) inférieure à 20 MW : Déclaration	**D : Déclaration**	**-**

Tableau 1. Rubrique des installations classées au titre des ICPE

Le parc éolien de Demange-aux-Eaux, dont les éoliennes ont une hauteur de mât au sens ICPE (mât + nacelle) de 93 m (pour une hauteur au moyeu à 90,9 m) est soumis à autorisation (A) au titre des installations classées pour la protection de l'environnement. Toutes les éoliennes ont une hauteur de mât supérieure ou égale à 50 m (Cf. Description du projet - Demande d'Autorisation Environnementale).

1.4 Document de référence, guide technique INERIS/SER FEE

Cette étude se base sur le guide technique « Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens » version de mai 2012, qui a été réalisé par un groupe de travail constitué de l'INERIS et de professionnels du syndicat des énergies renouvelables (SER FEE). Dans la suite de l'étude, ce guide sera appelé « guide technique ».

« *Il s'agit d'un document de type nouveau dans son approche, qui a pour vocation d'accompagner les différents acteurs de l'éolien (porteurs de projets, exploitants, services de l'Etat, associations, etc.) dans la démarche d'évaluation des risques potentiels liés à un parc éolien. Compte tenu de la technologie mise en œuvre dans les parcs éoliens, il apparaissait possible et souhaitable de traiter cette analyse de manière générique, afin de pouvoir transcrire les résultats présentés dans ce guide à l'ensemble des parcs éoliens installés en France.*

Ainsi, ce guide est le reflet de l'état de l'art en matière de maîtrise des risques technologiques pour les parcs éoliens, en l'état actuel des connaissances des experts ayant participé à son élaboration. Si d'autres techniques ou méthodes apparaissaient à l'avenir, elles seraient étudiées en détail et intégrées à l'analyse menée dans ce guide. »

Ainsi dans le cadre de cette étude, de nombreux paragraphes génériques ont été repris directement du guide.

[1] Loi N°76-663 du 19 juillet 1976 modifiée, Code de l'Environnement (Art. L511-1)

CHAPITRE 2. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

2.1 Renseignements administratifs

Informations administratives du demandeur :

Dénomination	PARC EOLIEN DE DEMANGE-AUX-EAUX
N° SIREN	844 188 771
Registre de commerce	RCS Rennes
Forme juridique	Société par actions simplifiée (SAS) au capital de 5 000,00 €
Gérant	LOCOGEN
Adresse	8 rue du 19 mars 1962 21 600 LONGVIC

Tableau 2. Identité du demandeur

Etude de danger réalisée par le bureau d'études Auddicé environnement :

- ✓ Ingénieur environnement : Aurélie COFFRAND
- ✓ Cartographe : Jean-Marie PLESSIS

2.2 Localisation du site

Le parc éolien de Demange-aux-Eaux est composé de 5 aérogénérateurs et 2 postes de livraison, localisés sur la commune de Demange-aux-Eaux dans la Meuse.

Carte 1. Situation du projet en page 11

2.3 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.

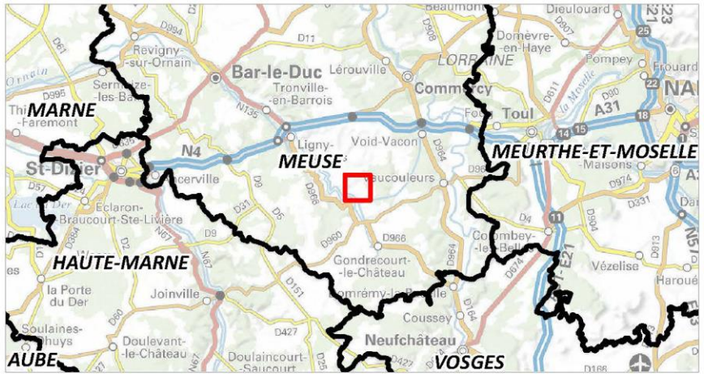
La zone d'étude n'intègre pas les environs des postes de livraison, qui seront néanmoins représentés sur la carte. Les expertises réalisées dans le cadre de la présente étude ont en effet montré l'absence d'effet à l'extérieur du poste de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter (Cf. § 7.7 en page 48).

La zone d'étude (périmètre de 500 m autour des éoliennes) se situe uniquement sur la commune du projet : Demange-aux-Eaux.

Projet éolien de Demange-aux-Eaux (55)

Étude de danger

Carte de situation



Aire d'étude

- Aire d'étude (500 m)

Projet

- Eoliennes projetées
- Poste de livraison
- Réseau inter éolien

Limites administratives

- Limite communale

0 — 0,5 — 1

Kilomètres

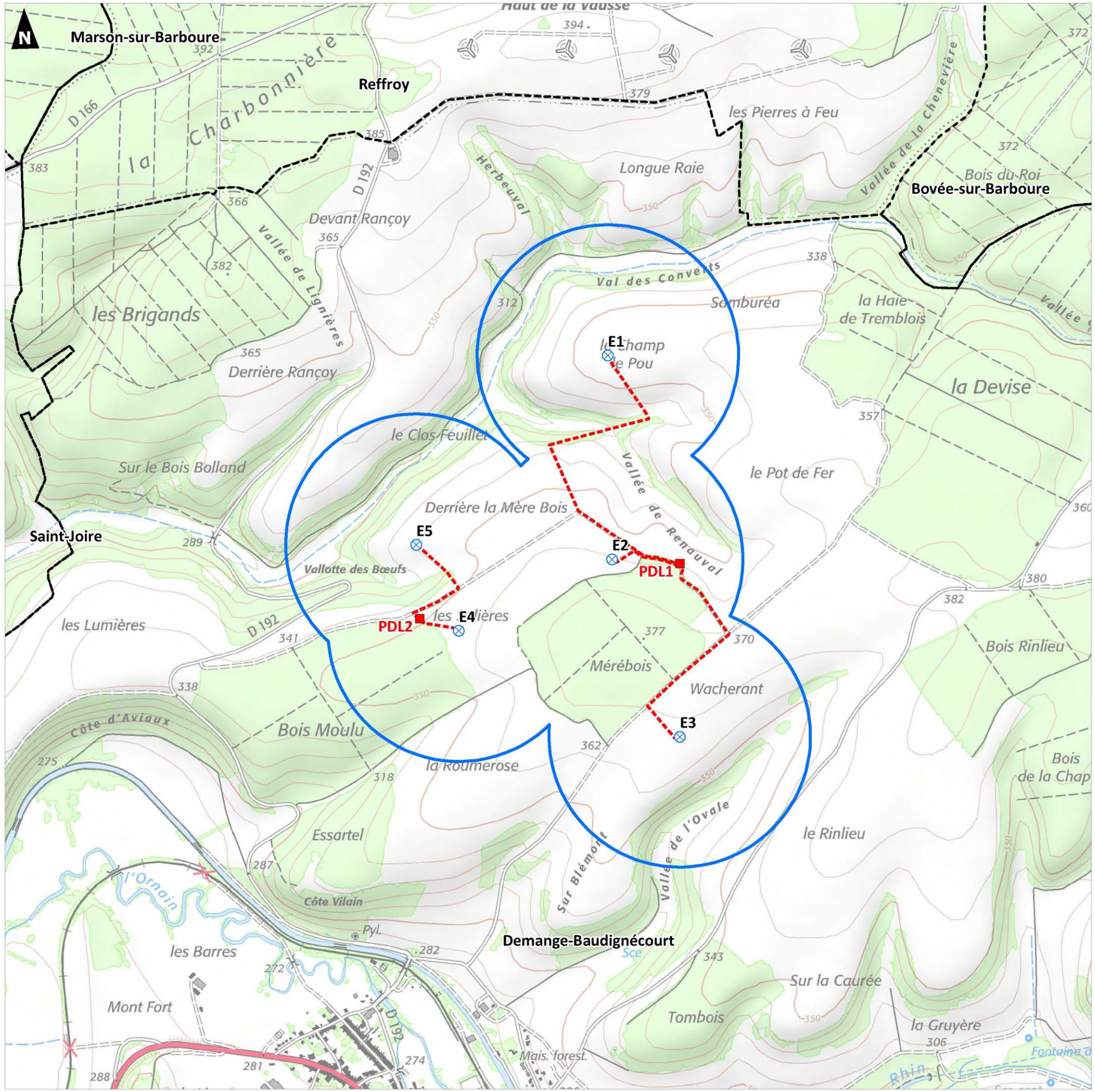
1:15 000

(Pour une impression sur format A3 sans réduction de taille)

Réalisation : AUDDICE, juillet 2024

Sources de fond de carte : IGN SCAN SCAN 25 et SCAN 1000

Sources de données : IGN ADMIN EXPRESS - LOCOGEN - AUDDICE, 2024



CHAPITRE 3. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

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

3.1 Environnement humain

3.1.1 Zones urbanisées ou urbanisables

La description du milieu humain à proximité (communes, nombre d'habitants, etc.) est réalisée dans l'état initial de l'étude d'impact. De même, l'analyse de la conformité du projet avec les documents d'urbanisme a également été réalisée dans l'étude d'impact.

Cf. Etude d'impact sur l'environnement – Demande d'Autorisation Environnementale

La commune de Demange-aux-Eaux est concernée par l'aire d'étude de 500 m autour des éoliennes (Carte 1, p. 11). Le projet est compatible avec les règles d'urbanisme de la commune d'implantation.

La commune de Demange-aux-Eaux est soumise au Règlement National d'Urbanisme. L'urbanisme ne présente aucune restriction au projet, la distance règlementaire de 500 m aux habitations ou aux zones à destination d'habitation est respectée.
Les habitations et les zones destinées à l'habitation les plus proches des éoliennes sont situées à plus de 1 235 m de ces dernières (habitation le long du canal).

Cf. Carte 2 - Distance des éoliennes aux habitations, ci-contre

Conformément à l'article L. 515-44 du code de l'environnement (mentionné à l'article 3 de l'arrêté du 26 août 2011 dans sa version en vigueur au jour de rédaction), l'installation est implantée de telle sorte que les aérogénérateurs soient situés à une distance minimale de 500 m de toute construction à usage d'habitation, de tout immeuble habité ou de toute zone destinée à l'habitation telle que définie dans les documents d'urbanisme opposables en vigueur (Carte 2).

3.1.2 Etablissements recevant du public (ERP)

Aucun ERP n'est situé dans l'aire d'étude.

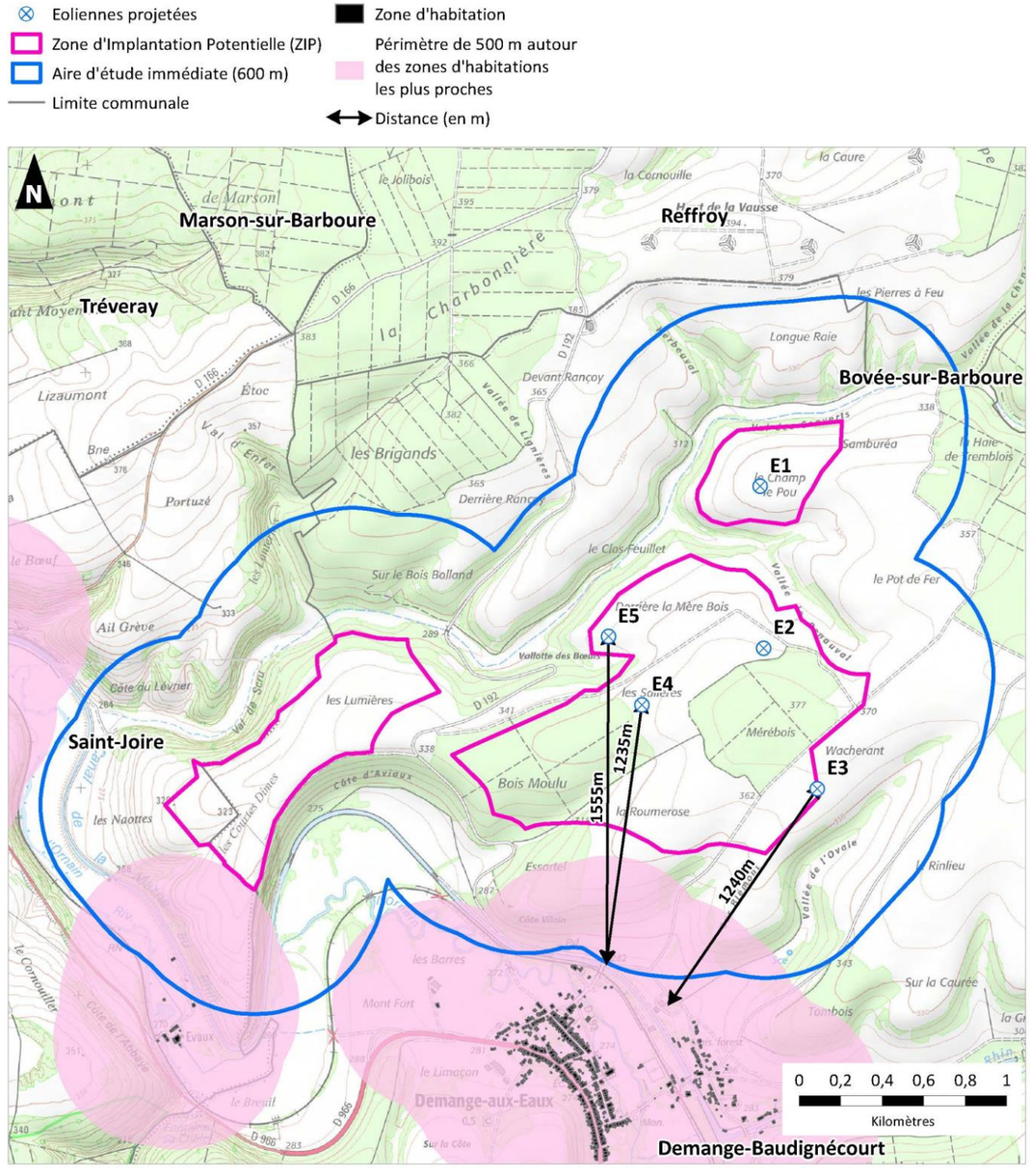
3.1.3 Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) SEVESO et installations nucléaires de base

Conformément à l'article 3 de l'arrêté du 26 août 2011 (modifié par l'arrêté du 22 juin 2020), le projet éolien de Demange-aux-Eaux respecte la distance d'éloignement minimale de 300 m d'une installation nucléaire de base et d'une installation classée pour la protection de l'environnement relevant de l'article L. 515-32 du code de l'environnement (type SEVESO).

3.1.4 Autres activités

L'aire d'étude est occupée par des parcelles agricoles, et des boisements. On retiendra toutefois l'hypothèse de quelques promeneurs occasionnels sur les chemins parcourant cette zone.

Aucune autre activité (industrielle, commerciale ou de loisirs) n'est recensée dans l'aire d'étude de 500 m.



Carte 2. Distance des éoliennes aux habitations

3.2 Environnement naturel

Les paragraphes ci-dessous sont étudiés dans l'état initial de l'étude d'impact. Nous en reprenons les principales conclusions, et les aires d'études.

Cf. Etude d'impact sur l'environnement – Demande d'Autorisation Environnementale

3.2.1 Contexte climatique

La Meuse est soumise à un climat océanique très altéré, avec des influences continentales sensibles, notamment en période hivernale. Ce climat se caractérise par des hivers longs et froids et des étés chauds et orageux.

La station météorologique MétéoFrance [2] la plus proche du projet est celle de Saint-Dizier dans la Haute-Marne. La quantité de pluie moyenne annuelle est de l'ordre de 850 mm régulièrement réparties sur toute l'année.

La température moyenne annuelle est de 11,2 C, la maximale est à 15,7°C alors que la minimale est à 6,7°C.

Les phénomènes météorologiques pouvant augmenter les risques pour les personnes sont rapportés au nombre de jours moyens par an :

- 24,4 jours d'orage,
- 17,8 jours de neige,
- 59,2 jours où la température minimale est en dessous de 0°C.

3.2.2 Risques naturels

Risque sismique

En vertu de l'article D. 563-8-1 du Code de l'environnement, le département de la Meuse est classé en zone de sismicité 1 – très faible. Les mouvements du sol dans le secteur sont très faibles, avec des accélérations comprises entre 0,2 et 0,9 m/s² selon la période de retour considérée.

Risque foudre

La densité de foudroiement dans les communes du département de la Meuse est de 0,8 coup/km²/an (moyenne nationale : 1,2). La densité de foudroiement est donc faible sur le territoire. Cependant la hauteur des éoliennes (pale + mât) augmente considérablement le risque de foudroiement.

Risques climatiques majeurs

Selon le site « géorisques.fr », les communes du secteur d'étude ne sont pas recensées comme étant soumises aux risques climatiques majeurs.

Risque géotechnique

- **Mouvements de terrain**

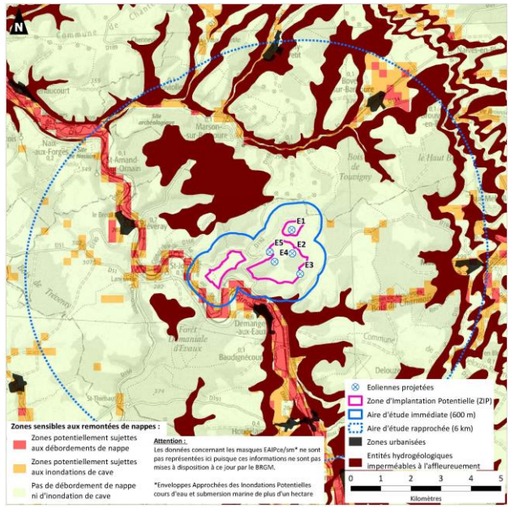
Aucun risque de mouvement de terrain n'est détecté à l'échelle de la zone d'étude (500 m) pour ce type d'aléa. Les enjeux sont qualifiés de très faibles.

- **Cavités**

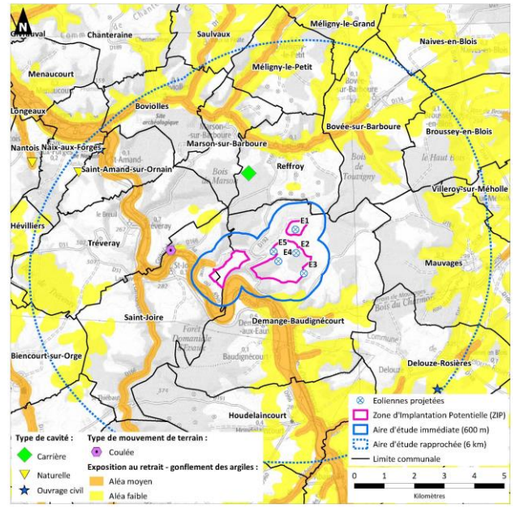
L'aire d'étude immédiate n'est pas impactée par ce type d'aléa. Les enjeux sont qualifiés de faibles.

- **Aléa « Retrait et gonflement des argiles**

La zone d'étude est située en partie en zone d'aléa nul pour ce risque naturel.



Carte 3. Projet et inondation par remontées de nappes



Carte 4. Risques naturels (mouvements de terrain, argiles, cavités

Ces cartes sont issues de l'étude d'impact sur l'environnement et présentent une aire d'étude immédiat de 600 m.

Risque d'inondation

De manière générale, les inondations sont liées à des remontées de nappes ou au ruissellement des eaux pluviales sur des terres agricoles et/ou sur des surfaces bâties, provoquant le débordement des cours d'eau du bassin versant concerné.

Le territoire de la commune de Demange-aux-Eaux est concerné par un Plan de Prévention des Risques inondation (PPRi), localisé dans la vallée de l'Ornain.

L'aire d'étude immédiate est donc en dehors des zonages de ce plan.

[2] Données complétées par celle de Lameteo.org

Arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle

Communes (600m)	Type de catastrophe (année de début de l'évènement)			
	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	Inondations et coulées de boue	Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols	Mouvements de terrain consécutifs à la sécheresse
DEMANGE-BAUDIGNECOURT	1999	1982, 1983, 1988, 1990, 1993, 1995	/	/
REFFROY	1999	/	/	/
SAINT-JOIRE	1999	1988, 1990, 2006	/	/

Rappelons que suite à l'épisode de tempêtes en 1999 l'ensemble du territoire français a fait l'objet d'un arrêté de catastrophe naturelle.

3.3 Environnement matériel

3.3.1 Voies de communication

Transport routier

La route départementale D192 desservant Demange-aux-Eaux par le nord est l'axe routier le plus proche des éoliennes, la machine E5 est située à 300 m de cet axe.

Aucun comptage routier n'est disponible sur la base de données fournie par la DREAL Grand Est. L'axe n'est pas déterminé comme à grande circulation.

Les autres voies sillonnant l'aire d'étude sont des chemins ruraux et des chemins d'exploitation agricoles. Tous les axes apparaissent sur les cartes d'enjeux et de risques présentées dans cette étude.

La zone d'étude de 500 m couvre uniquement des chemins, des voies communales ou départementales de fréquentation inférieure à 2 000 véhicules par jour.

Transport ferroviaire

Une voie ferrée est localisée en fond de vallée. Cette voie n'est pas recensée dans l'aire d'étude de 500 m autour des éoliennes (carte page suivante).

Transport fluvial

Le canal de la Marne au Rhin est localisé en fond de vallée. Cette voie n'est pas recensée dans l'aire d'étude de 500 m autour des éoliennes (carte page suivante).

Transport aérien

le projet se situe sous un tronçon du réseau de vol à très basse altitude [RTBA] des armées. Cette contrainte aéronautique militaire impose une hauteur en bout de pale de 150 m maximum pour les aérogénérateurs du projet.

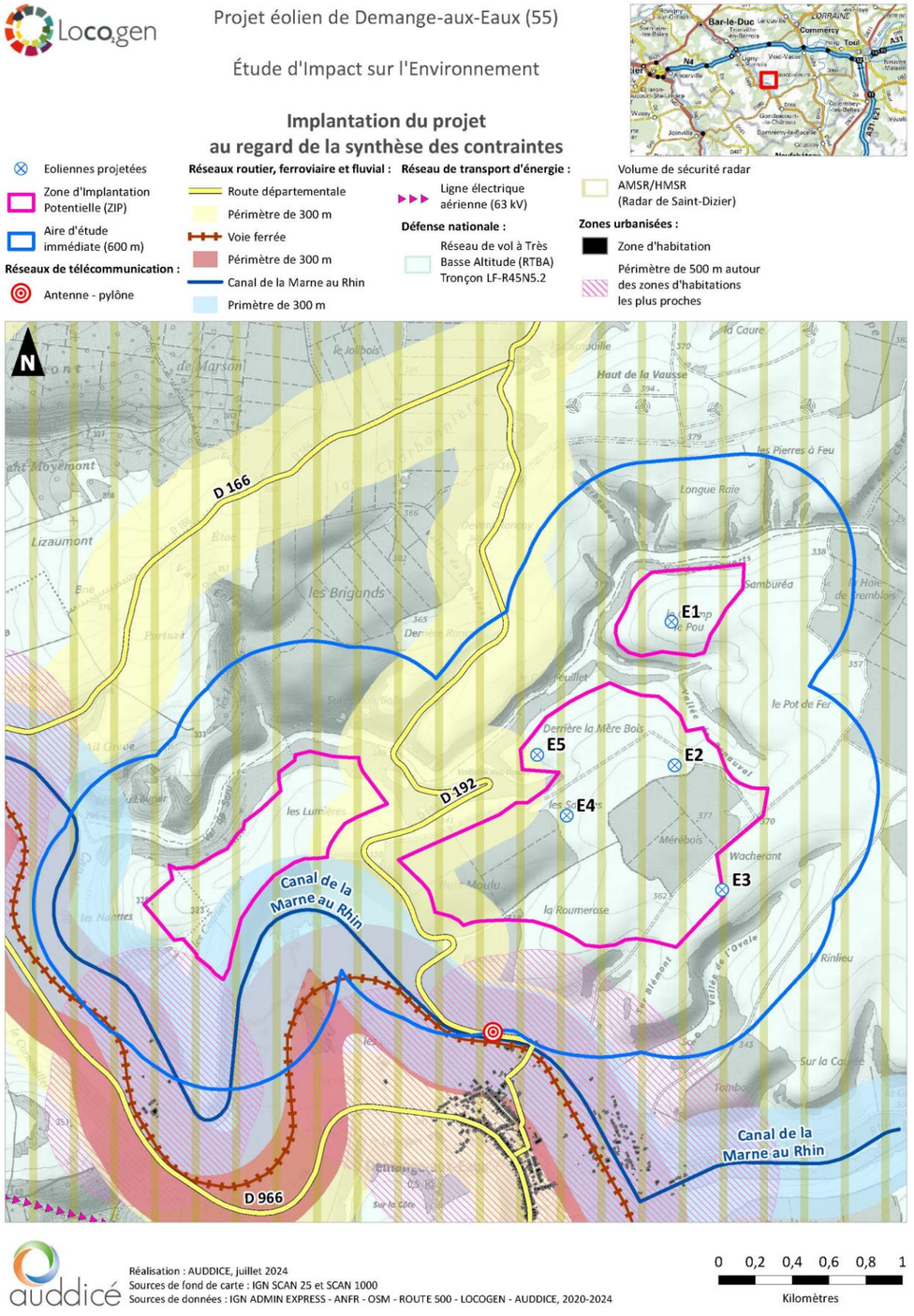
Randonnées pédestres

Des portions de chemins de randonnée inscrits au PDIPR de la Meuse traversent l'aire d'étude de 500 m autour des éoliennes (cf. Etude paysagère, patrimoniale te touristique). Le site n'est parcouru par aucun GR. La fréquentation des chemins se fait à l'échelle locale, la vallée de l'Ornain étant plus attractive que le secteur du plateau.

La fréquentation des chemins pour la randonnée pédestre est intégrée dans l'analyse des dangers.

3.3.2 Réseaux publics et privés

Aucun réseau privé ou public n'est recensé dans la zone d'étude (gaz, électricité, eau potable, assainissement).



Carte 5. Synthèse des contraintes autour du projet

3.4 Cartographie de synthèse

3.4.1 Méthodologie de comptage

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 3A du guide. 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.

Cf. Annexe 3 reprenant l'annexe 3A du guide technique INERIS.

Ainsi, pour chaque phénomène dangereux identifié, nous comptabiliserons l'ensemble des personnes présentes dans la zone d'effet correspondante.

Dans chaque zone couverte par les effets d'un phénomène dangereux issu de l'analyse de risques, nous identifierons les ensembles homogènes (ERP, zones habitées, zones industrielles, commerces, voies de circulation, terrains non bâtis...) et nous en déterminerons la surface (pour les terrains non bâtis, les zones d'habitat) et/ou la longueur (pour les voies de circulation et chemins de randonnée).

3.4.2 Hypothèse de travail

3.4.2.1 Fréquentation habituelle

Selon la circulaire :

- ✓ *Un champ est classé terrain non aménagé et très peu fréquenté. Compter 1 personne par tranche de 100 ha.*
- ✓ *Les voies de circulation non structurantes sont classées en terrains aménagés mais peu fréquentés. Compter 1 personne par tranche de 10 ha*.

Pour simplifier l'analyse, nous ne différencierons pas les différents éléments et nous classerons donc :

- **Les zones agricoles, en terrains aménagés mais peu fréquentés** (catégorie majorante quant aux victimes potentielles)**, donc 1 personne par tranche de 10 ha.** Elles sont constituées d'éléments disparates : champs, voies de circulation non structurantes (chemins d'exploitation, chemins ruraux faiblement fréquentés...) ;

- **Les voies de communication,** conformément au guide technique, n'ont à être prises en considération que si elles sont empruntées par un nombre significatif de personnes, les voies de circulation non structurantes (inférieures à 2 000 véhicules/jour) étant déjà **comptées dans la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne par tranche de 10 ha),**

- **Les chemins de randonnées et boisements,** en l'absence de données concernant la fréquentation du site et le nombre de personnes concernées, nous l'assimilons à une fréquentation et nous considérerons la catégorie **des terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne par tranche de 10 ha).**

Les différents enjeux identifiés précédemment apparaissent sur la carte des enjeux présentée en page suivante.
Le détail des calculs pour l'aire d'étude de 500 m figure quant à lui dans le Tableau 26, en page 59.

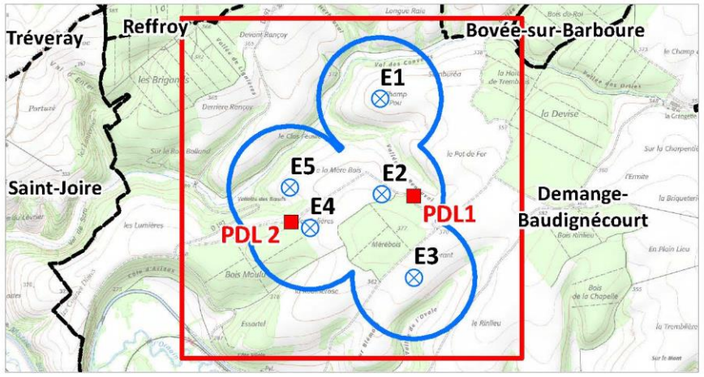
Cf. Carte des enjeux en page suivante

Locogen

Projet éolien de Demange-aux-Eaux (55)

Étude de danger

Carte des enjeux



Aire d'étude
- Aire d'étude (500 m)

Projet
- Eoliennes projetées
- Réseau inter éolien
- Poste de livraison
- Aire de survol
- Plateforme de levage
- Plateforme PDL
- Piste VL
- Piste à créer
- Piste à renforcer
- Pan coupé temporaire

Limites administratives
- Limite communale

Enjeux

Réseaux routier et ferroviaire
- Route départementale
- Chemin, sentier
- Voie ferrée

Végétation
- Boisement

0 — 0,5 — 1

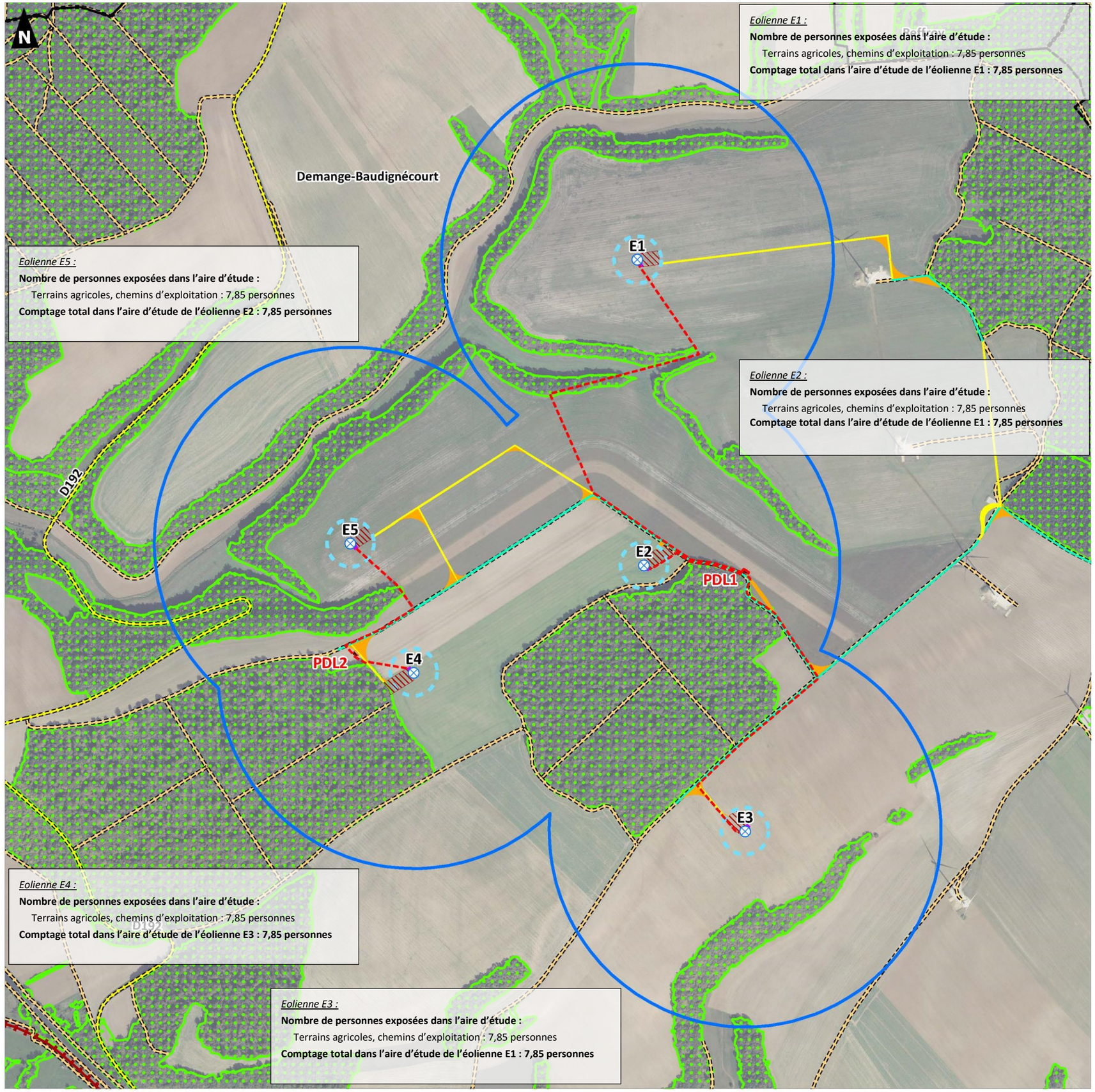
Kilomètres

1:10 000

(Pour une impression sur format A3 sans réduction de taille)

auddicé

Réalisation : AUDDICE, juillet 2024
Sources de fond de carte : IGN SCAN SCAN 25 - GGE ORTHORVB 55, 2018
Sources de données : IGN ADMIN EXPRESS - BD TOPO - LOCOGEN - AUDDICE, 2024



Eolienne E1 :
Nombre de personnes exposées dans l'aire d'étude :
Terrains agricoles, chemins d'exploitation : 7,85 personnes
Comptage total dans l'aire d'étude de l'éolienne E1 : 7,85 personnes

Eolienne E5 :
Nombre de personnes exposées dans l'aire d'étude :
Terrains agricoles, chemins d'exploitation : 7,85 personnes
Comptage total dans l'aire d'étude de l'éolienne E2 : 7,85 personnes

Eolienne E2 :
Nombre de personnes exposées dans l'aire d'étude :
Terrains agricoles, chemins d'exploitation : 7,85 personnes
Comptage total dans l'aire d'étude de l'éolienne E1 : 7,85 personnes

Eolienne E4 :
Nombre de personnes exposées dans l'aire d'étude :
Terrains agricoles, chemins d'exploitation : 7,85 personnes
Comptage total dans l'aire d'étude de l'éolienne E3 : 7,85 personnes

Eolienne E3 :
Nombre de personnes exposées dans l'aire d'étude :
Terrains agricoles, chemins d'exploitation : 7,85 personnes
Comptage total dans l'aire d'étude de l'éolienne E1 : 7,85 personnes

CHAPITRE 4. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

4.1 Caractéristiques de l'installation

4.1.1 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 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 postes de livraison électriques, par lesquels passe l'électricité produite par le parc avant d'être livrée sur le réseau public d'électricité ;
- Un ensemble de chemins d'accès aux éléments du parc ;
- Moyens de communication permettant le contrôle et la supervision à distance du parc éolien ;
- Eventuellement de moyens de mesures du vent.

Eléments constitutifs d'un aérogénérateur

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

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

- **Le rotor** qui est composé de trois pales (pour la grande majorité des éoliennes actuelles) construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu. Il se prolonge dans la nacelle pour constituer l'arbre lent.
- **Le mât** 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 :

Elle abrite plusieurs éléments fonctionnels :

- ✓ le générateur 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 ;
- ✓ les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette) ;
- ✓ le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique.

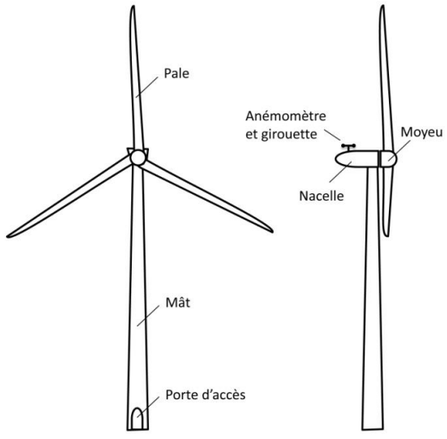


Figure 1. Schéma simplifié d'un aérogénérateur

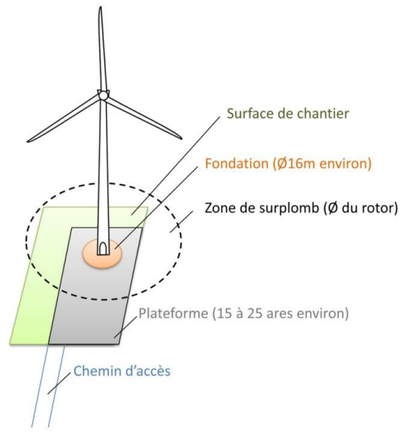


Figure 2. Illustration des emprises au sol d'une éolienne

Emprise au sol

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

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

■ 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 existants ;
- Si nécessaire, de nouveaux chemins sont créés sur les parcelles.

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

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).

■ Croisements et virages

En cas de croisements ou virage, il convient d'aménager la route en respectant des rayons de courbure et surface de survol en fonction de la taille des éoliennes.

4.1.2 Activité de l'installation

L'activité principale du parc éolien de Demange-aux-Eaux est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur maximale de 150 m.

Cette installation est soumise à autorisation (A) de la rubrique 2980 des Installations classées pour la protection de l'environnement.

4.1.3 Composition de l'installation

Le tableau suivant présente les caractéristiques des six éoliennes du projet selon les dimensions de l'éolienne NORDEX N117.

Caractéristiques	Nordex N117
Eoliennes concernées	Eoliennes de E1 à E5
Puissance unitaire maximale	3,6 MW
Hauteur totale maximale	149,3 m
Hauteur maximale de moyeu	90,9 m
Diamètre maximal du rotor	116 ,8 m
Longueur maximale des pales	57,3 m
Largeur maximale à la base du mât	4,3 m
Corde maximale pale	3,36 m

Tableau 3. Caractéristiques techniques du modèle d'éolienne

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des 5 aérogénérateurs et des 2 postes de livraison, sur la commune de Demange-aux-Eaux :

Eolienne/PDL	Coordonnées (Lambert 93)		Altitude au sol	Hauteur (m) bout de pales)	Altitude en bout de pale	Modèle de machine
	X	Y				
E1	882314	6836913	355	149,3	505	N117
E2	882330	6836134	362	149,3	512	N117
E3	882589	6835456	365	149,3	515	N117
E4	881743	6835860	359	149,3	509	N117
E5	881581	6836190	338	149,3	488	N117
PDL 1	882588	6836117	359	/	/	/
PDL 2	881593	6835907	351	/	/	/

Tableau 4. Coordonnées géographiques des éoliennes et des postes de livraison

Les différents aérogénérateurs, les postes de livraison, les plateformes, les chemins d'accès et les réseaux enterrés sont représentés sur les plans réglementaires.

Cf. Plans réglementaires - Dossier de demande d'autorisation environnementale

4.2 Fonctionnement de l'installation

4.2.1 Principe général du fonctionnement d'un aérogénérateur

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

Les pales se mettent en mouvement lorsque **l'anémomètre** (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 10 km/h à hauteur de la nacelle, et c'est seulement à partir de 12 km/h que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor et l'arbre dit « lent » transmettent alors l'énergie mécanique à basse vitesse (entre 6 et 12 tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit « rapide » tourne environ 100 fois plus vite que l'arbre lent. Certaines éoliennes sont dépourvues de multiplicateur et la génératrice est entrainée directement par l'arbre « lent » lié au rotor. La génératrice transforme l'énergie mécanique captée par les pales en énergie électrique.

La puissance électrique produite varie en fonction de la vitesse de rotation du rotor. Dès que le vent atteint environ 50 km/h à hauteur de nacelle, l'éolienne fournit sa puissance maximale. Cette puissance est dite « nominale ».

Pour un aérogénérateur de 3 MW par exemple, la production électrique atteint 3 000 kWh dès que le vent atteint environ 50 km/h. L'électricité produite par la génératrice correspond à un courant alternatif de fréquence 50 Hz avec une tension de 400 à 690 V. La tension est ensuite élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur placé dans chaque éolienne pour être ensuite injectée dans le réseau électrique public.

Lorsque la mesure de vent, indiquée par l'anémomètre, atteint des vitesses de plus de 72 km/h (variable selon le type d'éolienne) sur une moyenne de 10 minutes, l'éolienne cesse de fonctionner pour des raisons de sécurité. Deux systèmes de freinage permettront d'assurer la sécurité de l'éolienne :

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

Eolienne Nordex N117-TS91 / 3600		
Conditions climatiques	Température ambiante de survie	-20 ºC à +50 ºC
	Puissance nominale	-20 ºC à +40 ºC
	Arrêter	-20 ºC, redémarrage à -18 ºC
	Certificat	Classe 2 selon IEC 61400-1
Conception technique	Puissance nominale	3600 kW
	Régulation de puissance	Variation active de pale individuelle
	Diamètre du rotor	116,8 m
	Hauteur du moyeu	90.9 m
	Concept de l'installation	Boite de vitesse, vitesse de rotation variable
	Plage de vitesse de rotation du rotor	7.9 à 14,1 tours par min
Rotor ***Capte l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice***	Type	Orientation active des pales face au vent
	Sens de rotation	Sens horaire
	Nombre de pales	3
	Surface balayée	10 715 m2
	Contrôle de vitesse	Variable via microprocesseur
	Contrôle de survitesse	Pitch électromotorisé indépendant sur chaque pale
	Matériau des pales	Plastique renforcé à la fibre de verre (GFK), protection contre la foudre intégrée en accord complet avec la norme IEC 61 - 400-24 (Juin 2010)
Nacelle ***Supporte le rotor et abrite le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice, etc.) ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité***	Arbre de rotor *Transmet le mouvement de rotation des pales*	Entraîné par les pales
	Multiplicateur *Augmente le nombre de rotation de l'arbre*	Engrenage planétaire à plusieurs étages + étage à roue dentée droite ou entraînement différentiel Tension nulle
	Génératrice *Produit l'électricité*	Asynchrone à double alimentation Tension de 660 V
Système de freinage	Frein principal aérodynamique	Orientation individuelle des pales par activation électromécanique avec alimentation de secours
	Frein auxiliaire mécanique	Frein à disque à actionnement actif sur l'arbre rapide
Mât ***Supporte le rotor et la nacelle***	Type	Tubulaire en acier
	Nombre de sections	3
	Protection contre la corrosion	Revêtement multicouche résine époxy
	Fixation du pied du mât	Cage d'ancrage noyée dans le béton de fondation

Transformateur ***Elève la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau***	Caractéristiques	A l'intérieur du mât Tension de 20 kV à la sortie
Fondation ***Ancre et stabilise le mât dans le sol***	Type	En béton armé, de forme octogonale
	Dimensions	Design adapté en fonction des études géotechnique et hydrogéologique réalisées avant la construction
Contrôle commande	Type matériel logiciel	Remote Field Controller/PLC, Nordex Control 2
	Démarrage automatique après coupure de réseau	Oui
	Démarrage automatique après vent de coupure	Oui
Périodes de fonctionnement	1,1 à 3 m/s	Un automate, informé par une girouette, commande aux moteurs d'orientation de placer l'éolienne face au vent
	Environ 3 m/s	Le vent est suffisant pour générer de l'électricité. L'éolienne peut être couplée au réseau électrique
	> 3 m/s	La génératrice délivre un courant électrique alternatif, dont l'intensité varie en fonction de la vitesse du vent
	12.6 à 25 m/s	L'éolienne fournit sa puissance nominale. Cette dernière est maintenue constante grâce à une réduction progressive de la portance des pales
Poste de livraison ***Adapte les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public***	Caractéristiques	Equipé de différentes cellules électriques et automates qui permettent la connexion et la déconnexion du parc éolien au réseau 20 kV

Tableau 5. Découpage fonctionnel de l'installation

4.2.2 Sécurité de l'installation

4.2.2.1 Règles de conception et système qualité

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

Les aérogénérateurs de type N117/3600 font l'objet d'évaluations de conformité (tant lors de la conception que lors de la construction), de certifications de type (certifications CE) par un organisme agréé et de déclarations de conformité aux standards et directives applicables. Les équipements projetés répondront aux normes internationales de la Commission électrotechnique internationale (CEI) et Normes françaises (NF) homologuées relatives à la sécurité des éoliennes, et notamment :

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

D'autres normes de sécurité sont applicables :

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

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

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

4.2.2.2 Conformité aux prescriptions de l'arrêté ministériel (arrêté du 26 août 2011)

L'installation est conforme aux prescriptions de l'arrêté ministériel relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées relatives à la sécurité de l'installation ainsi qu'aux principales normes et certifications applicables à l'installation.

Cela concerne notamment :

- L'éloignement de 500 mètres de toute construction à usage d'habitation, de tout immeuble habité ou de toute zone destinée à l'habitation telle que définie dans les documents d'urbanisme opposables en vigueur au 13 juillet 2010 et de 300 mètres d'une installation nucléaire,
- L'implantation de façon à ne pas perturber de manière significative le fonctionnement des radars et des aides à la navigation utilisés dans le cadre des missions de sécurité de la navigation aérienne et de sécurité météorologique des personnes et des biens,
- La présence d'une voie d'accès carrossable entretenue permettant l'intervention des services d'incendie et de secours,
- Le respect des normes suivantes : norme NF EN 61 400-1 (version de juin 2006) ou CEI 61 400-1 (version de 2005) ou toute norme équivalente en vigueur dans l'Union européenne,
- L'installation conforme aux dispositions de l'article R. 111-38 du code de la construction et de l'habitation,
- Le respect des normes suivantes : norme IEC 61 400-24 (version de juin 2010), normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NFC 13-100 (version de 2001) et NFC 13-200 (version de 2009),
- L'installation conforme aux dispositions de la directive du 17 mai 2006 susvisée qui leur sont applicables,
- Le balisage de l'installation conformément aux dispositions prises en application des articles L. 6351-6 et L.6352-1 du code des transports et des articles R. 243-1 et R. 244-1 du code de l'aviation civile,
- Le maintien fermé à clé des accès à l'intérieur de chaque aérogénérateur, du poste de transformation, de raccordement ou de livraison, afin d'empêcher les personnes non autorisées d'accéder aux équipements,
- L'affichage visible des prescriptions à observer par les tiers sur un panneau sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, sur le poste de livraison et, le cas échéant, sur le poste de raccordement,
- La réalisation d'essais d'arrêt permettant de s'assurer du fonctionnement correct de l'ensemble des équipements avant la mise en service industrielle des aérogénérateurs,
- L'interdiction d'entreposage à l'intérieur de l'aérogénérateur de matériaux combustibles ou inflammables,

La description détaillée des différents systèmes de sécurité de l'installation sera quant à elle effectuée au stade de l'analyse préliminaire des risques, dans le paragraphe 7.6.

4.2.2.3 Gestion à distance du fonctionnement des éoliennes

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

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

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

De plus, les éoliennes N117/3600 sont équipées d'un système de contrôle à distance des données. La supervision peut s'effectuer à distance depuis un PC équipé d'un navigateur Internet et d'une connexion ADSL ou RNIS. Le logiciel de supervision (SCADA – Supervising Control And Data Acquisition) utilisé est le Nordex Control 2.

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

4.2.2.4 Méthodes et moyens d'intervention

En cas de sinistre, les pompiers seront prévenus par le personnel du site ou les riverains directement par le 18. L'appel arrivera au Centre de Traitement des Appels (CTA), qui est capable de mettre en œuvre les moyens nécessaires en relation avec l'importance du sinistre. Cet appel sera ensuite répercuté sur le Centre de Secours disponible et le plus adapté au type du sinistre.

Une voie d'accès donne aux services d'interventions un accès facilité au site du parc éolien.

Les moyens d'intervention une fois l'incident ou accident survenu sont des moyens de récupération des fragments : grues, engins, camions.

En cas d'incendie avancé, les sapeurs-pompiers se concentreront sur le barrage de l'accès au foyer d'incendie. Une zone de sécurité avec un rayon de 500 mètres autour de l'éolienne devra être respectée.

Moyens internes

- **Moyens d'alertes**

Le système est prévu pour générer un appel téléphonique du personnel d'astreinte lors d'évènements ou d'incidents prédéterminés au site. Deux messages seront enregistrés :

- alarme défaut urgent ;
- alarme défaut non urgent.

Le dispositif est susceptible d'utiliser plusieurs numéros de téléphone et d'effectuer des reports en cas de plages horaires. Le personnel d'astreinte peut alors faire intervenir les services compétents dans les meilleurs délais et

ce à n'importe quel moment du jour et de la nuit. Le personnel d'astreinte dispose à cette fin de toutes les coordonnées nécessaires.

- **Moyens d'intervention sur site**

En l'absence de personnel, il n'y a pas de moyens particuliers de protection sur le site en lui-même. En revanche une équipe dédiée chargée de la maintenance peut intervenir pour des opérations de contrôle ou d'entretien dès qu'une défaillance est détectée par le système de télésurveillance. Les équipes de maintenance disposeront toutefois d'extincteurs adaptés au feu avec composants électriques, de sorte que si un départ d'incendie avait lieu en leur présence, ils puissent intervenir.

- **Numéros d'urgence**

Des panneaux de signalisation rappelant les consignes de sécurité ainsi que les coordonnées des secours seront placés sur les voies d'accès au site ainsi qu'à l'entrée des différents équipements (mâts des éoliennes et poste de livraison) conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011.

Les coordonnées de l'exploitant (numéro d'astreinte) seront indiquées sur les panneaux d'affichage.

- **Circuits d'évacuation en cas de sinistre**

Chaque aérogénérateur compte à minima 2 issues (cette disposition ne s'applique pas aux aérogénérateurs ne disposant pas d'accès à l'intérieur du mât) :

- 1 porte en pied de tour ;
- 1 trappe dans la nacelle, qui permet l'évacuation par la nacelle à l'aide d'un dispositif de secours et d'évacuation (chaque aérogénérateur est équipé d'un tel dispositif, le nombre de dispositifs étant toutefois à adapter en fonction du nombre de personnes intervenant simultanément dans la nacelle).

Le personnel intervenant dans les aérogénérateurs est formé à l'utilisation du dispositif de secours et d'évacuation. Si des personnes non formées à l'utilisation de ce système sont amenées à intervenir dans un aérogénérateur, elles sont accompagnées et supervisées par un nombre suffisant de personnes formées.

En cas d'incident, un périmètre de sécurité est délimité dans un rayon de 500 m des aérogénérateurs.

- **Moyens de détection et/ou d'extinction incendie**

Conformément à l'article 24 de l'arrêté du 26 août 2011, chaque aérogénérateur est doté de moyens de lutte contre l'incendie appropriés aux risques et conformes aux normes en vigueur, notamment :

- un système d'alarme et qui informe l'exploitant à tout moment d'un fonctionnement anormal ;
- au moins deux extincteurs situés à l'intérieur de l'aérogénérateur, au sommet et au pied de celui-ci. Ils sont positionnés de façon bien visible et facilement accessible. Les agents d'extinction sont appropriés aux risques à combattre. Cette disposition ne s'applique pas aux aérogénérateurs ne disposant pas d'accès à l'intérieur du mât.

De même chaque poste de livraison est équipé d'extincteurs portatifs.

- **Premiers secours**

Le personnel intervenant sur les aérogénérateurs est formé aux premiers secours. Il connait également les procédures à suivre en cas d'urgence et procède à des exercices d'entraînement.

Chaque aérogénérateur est équipé de 2 boîtes de premiers secours (1 en pied de tour, 1 en nacelle). Cette disposition ne s'applique pas aux aérogénérateurs ne disposant pas d'accès à l'intérieur du mât.

Les véhicules des techniciens de maintenance sont également dotés d'une boîte de premiers secours.

En cas de choc électrique, les consignes de soins aux électrisés sont affichées dans chaque aérogénérateur et au poste de raccordement. Une perche à corps doit être utilisée lors des manœuvres sur les installations à haute tension, conformément aux instructions données lors des formations de préparation à l'habilitation électrique.

■ Moyens externes

Les coordonnées des moyens de sécurité publics auxquels il peut être fait appel en cas d'accident et dont la liste est rappelée ci-dessous, sont affichées en permanence sur le site et dans les locaux, à proximité d'un poste de télécommunication :

- Pompiers : 18 / 112 ;
- Gendarmerie Nationale : 17 ;
- SAMU (Urgences médicales) : 15.

Dès la mise en service du parc, l'exploitant transmettra au SDIS les informations suivantes :

- un plan d'ensemble au 25 000ème ;
- un plan des installations au 1 000ème ;
- les coordonnées des techniciens qualifiés d'astreinte.

Des exercices d'entraînement pourront être organisés avec les services de secours afin de mieux appréhender les risques présentés par l'installation ainsi que les moyens mis en œuvre pour les éviter.

Le parc éolien disposera en permanence d'une voie d'accès carrossable au moins pour permettre l'intervention des services d'incendie et de secours conformément à l'article 7 de l'arrêté du 26 août 2011.

■ Traitement de l'alerte

Chaque aérogénérateur est doté d'un système de détection qui permet d'alerter un cas de situation anormale de l'installation. Les paramètres sont retransmis au centre de surveillance de l'exploitant et de l'opérateur de maintenance, en continu via le système SCADA en place sur le parc.

Une alerte est envoyée en moins d'une minute au centre de contrôle, qui est à même de contacter les services compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'installation conformément à l'article 23 de l'arrêté du 26 août 2011.

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

4.2.3 Opérations de maintenance de l'installation

Le programme préventif de maintenance s'étale sur quatre niveaux :

- type 1 : vérification après 500 à 1 500 heures de fonctionnement (contrôle visuel du mât, des fixations fondation/tour, tour/nacelle, rotor…et test du système de déclenchement de la mise en sécurité de l'éolienne),
- type 3 : vérification annuelle des matériaux (soudures, corrosions), des équipements mécaniques et hydrauliques, de l'électrotechnique et des éléments de raccordement électrique,
- type 4 : vérification quinquennale de forte 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.

Pour la maintenance, une équipe de techniciens spécialisés est implantée à Saint-Dizier, distante d'environ 50 km du parc éolien. En cas de déviance sur la production ou d'avaries techniques, une équipe de maintenance interviendra sur le site.

Ainsi l'installation est conforme aux prescriptions de l'arrêté ministériel relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées en matière d'exploitation.

4.2.3.1 Dispositions générales

L'installation respectera toutes les prescriptions imposées par la réglementation et en particulier par l'arrêté ministériel du 26 août 2011 (version en vigueur à la date de rédaction de l'étude).

Cela concerne notamment :

Etat des accès des installations (article 13 de l'arrêté du 26 août 2011)

L'accès aux éoliennes ainsi qu'aux postes de livraison est verrouillé et contrôlé. Toute personne souhaitant accéder aux infrastructures doit respecter les procédures qui sont indiquées sur les panneaux d'affichage. Pour tout accès, il est nécessaire de contacter la hotline du service d'exploitation et d'indiquer les identités des intervenants et les raisons de la visite. La prise de connaissance par tout personnel du plan de prévention de l'installation est également contrôlée.

Le bon fonctionnement de ce système d'identification est contrôlé par le maintenancier lors des deux visites annuelles ainsi que par l'équipe d'exploitation lorsqu'elle se rend sur site.

Tests avant mise en service (article 17 de l'arrêté du 26 août 2011)

Avant la mise en service du parc éolien, des tests d'arrêt, d'arrêt d'urgence et de survitesse sont effectués sur chaque éolienne. Ces tests sont répétés une fois par an pendant toute la durée d'exploitation du parc éolien.

L'ensemble de ces tests est intégré dans les protocoles de maintenance signés avec le constructeur des éoliennes.

Vérification des installations électriques et des mises à la terre (article 9 de l'arrêté du 26 août 2011)

L'ensemble des installations électriques fait l'objet d'un contrôle de vérification initiale avant mise en service par un organisme de contrôle. Les éoliennes et les postes de livraison sont équipés de l'ensemble des protections réglementaires permettant de garantir la sécurité électrique des installations. Les procédures d'inspection prévoient le contrôle de la fonctionnalité des organes de protection, des mises à la terre et des valeurs de prises de terre.

4.2.3.2 Conduite du système

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

Tous les paramètres de marche de l'éolienne (conditions météorologiques, vitesse de rotation des pales, production électrique, niveau de pression du réseau hydraulique, etc.) sont transmis par fibre optique puis par liaison sécurisée au centre de commandement du parc éolien.

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

Par contre, en cas d'arrêt lié à un déclenchement de capteur de sécurité (déclenchement VOG, déclenchement détecteur d'arc électrique, température haute, pression basse huile, …), une intervention humaine sur l'éolienne est nécessaire pour examiner l'origine du défaut avant de pouvoir relancer un démarrage.

En cas d'intervention, des équipes de techniciens sont réparties sur le territoire afin de pouvoir réagir rapidement. Les interventions sont toujours réalisées par une équipe d'au moins deux personnes.

Afin d'assurer la sécurité des équipes intervenantes, un dispositif de prise de commande locale de l'éolienne est disposé en partie basse de la tour. Ainsi, lors des interventions sur l'éolienne, les opérateurs basculent ce dispositif sur « commande locale » ce qui interdit toute action pilotée à distance.

Toute intervention dans le rotor n'est réalisée qu'après le blocage mécanique de celui-ci.

Des dispositifs de consignation électrique sont répartis sur l'ensemble des éléments électriques afin de pouvoir isoler certaines parties et protéger ainsi le personnel intervenant.

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

4.2.3.3 Formation des personnels

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

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

4.2.3.4 Entretien du matériel

La liste des opérations à effectuer sur les diverses machines ainsi que leur périodicité est définie par des procédures. Les principaux contrôles effectués sont présentés ci-après.

De plus, les conditions de maintenance tiennent compte de l'article 18 de l'arrêté du 26 aout 2011 :

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

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

L'article 19 précise « *L'exploitant dispose d'un manuel d'entretien de l'installation dans lequel sont précisées la nature et les fréquences des opérations de maintenance qui doivent être effectuées afin d'assurer le bon fonctionnement de l'installation, ainsi que les modalités de réalisation des tests et des contrôles de sécurité, notamment ceux visés par le présent arrêté.*

L'exploitant tient à jour, pour son installation, un registre dans lequel sont consignées les opérations de maintenance qui ont été effectuées, leur nature, les défaillances constatées et les opérations préventives et correctives engagées. »

4.2.3.5 Contrôles règlementaires périodiques

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

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

4.2.3.6 Maintenance curative

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

4.2.4 Stockage et flux de produits dangereux

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

4.3 Fonctionnement des réseaux de l'installation

4.3.1 Raccordement électrique

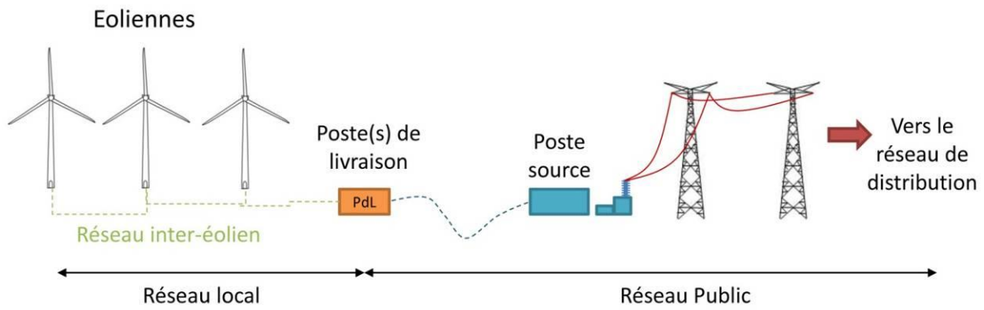


Figure 3. Raccordement électrique des éoliennes en interne et vers le réseau public

4.3.1.1 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. Ce réseau comporte également une liaison de télécommunication qui relie chaque éolienne au terminal de télésurveillance. Ces câbles constituent le réseau interne de la centrale éolienne, ils sont tous enfouis à une profondeur minimale de 80 cm.

4.3.1.2 Réseau inter-éolien de communication

Un réseau de communication est créé dans la même tranchée pour relier les machines entre elles au poste de supervision. Ce réseau de communication en fibre optique est insensible aux perturbations électromagnétiques qui pourraient être induites par la proximité immédiate des câbles de puissance.

4.3.1.3 Poste(s) de livraison

Le poste de livraison est le nœud de raccordement de toutes les éoliennes avant que l'électricité ne soit injectée dans le réseau public. Certains parcs éoliens, par leur taille, peuvent posséder plusieurs postes de livraison, qui assure la liaison avec le réseau de transport d'électricité (lignes haute tension).

La localisation exacte de l'emplacement du ou des poste(s) de livraison est fonction de la proximité du réseau inter-éolien et de la localisation du poste source vers lequel l'électricité est ensuite acheminée.

4.3.2 Autres réseaux

Le parc éolien de Demange-aux-Eaux 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.

CHAPITRE 5. IDENTIFICATION DES DANGERS POTENTIELS 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, sera traité dans l'analyse de risques.

5.1 Potentiels de dangers liés aux produits et déchets

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

Les produits identifiés dans le cadre du parc éolien de Demange-aux-Eaux sont utilisés pour le bon fonctionnement des éoliennes, leur maintenance et leur entretien :

- Produits nécessaires au bon fonctionnement des installations (graisses et huiles de transmission, huiles hydrauliques pour systèmes de freinage…), qui une fois usagés sont traités en tant que déchets industriels spéciaux.

- Produits de nettoyage et d'entretien des installations (solvants, dégraissants, nettoyants…) et les déchets industriels banals associés (pièces usagées non souillées, cartons d'emballage…)

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

5.1.1 Inventaire des produits

Les produits mis en œuvre dans l'éolienne sont principalement des dégrippants, des freins filets, des graisses, des huiles, des nettoyants, de la peinture, du silicone.

Les produits chimiques pouvant être utilisés peuvent être dangereux en raison de leur incompatibilité ou de leurs propriétés (toxicité, inflammabilité, température d'emploi).

Les risques inhérents à ces aspects pour le personnel sont :

- des brûlures chimiques (projections de produits caustiques),
- une intoxication.

Pour se prévenir de ces risques, tous les récipients contenant des matières premières seront étiquetés et le personnel intervenant sera sensibilisé aux points suivants :

- Les dangers présentés par les produits,
- Les opérations de manipulation de produits,
- Le comportement à tenir en cas d'incident ou d'accident.

Les fiches de données de sécurité des produits sont portées à la connaissance des personnes les manipulant et toujours disponibles.

5.1.2 Dangers des produits

Les risques associés aux différents produits concernant le Parc éolien de Demange-aux-Eaux sont :

■ Inflammabilité et comportement vis à vis de l'incendie

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

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

Le SF_6 (Héxafluorure de soufre) 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). Toutefois, le risque de toxicité peut survenir suite à un incendie créant certains produits de décomposition nocifs, entraînés dans les fumées de l'incendie.

■ Dangerosité pour l'environnement

Vis-à-vis de l'environnement, le SF_6 possède un potentiel de réchauffement global (gaz à effet de serre) très important, mais les quantités présentes sont limitées.

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 en hydrocarbures du milieu.

Le classement des substances utilisées sur le site sera conforme à l'arrêté du 20 avril 1994 modifié en janvier 2009 relatif à la déclaration, la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances.

En conclusion, il ressort que les produits présentent des dangers en cas d'incendie ou s'ils sont déversés dans l'environnement générant un risque de pollution des sols ou des eaux.

5.2 Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien de Demange-aux-Eaux sont de cinq types :

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

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant :

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

Tableau 6. Dangers potentiels d'une éolienne

5.3 Réduction des potentiels de dangers à la source

5.3.1 Principales actions préventives

Ce paragraphe a pour but de montrer que des actions préventives ont été mises en œuvre.

5.3.1.1 Réduction des dangers liés aux produits

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 (ininflammable et non toxique). Il n'est donc pas prévu de solution de substitution. Il faut rappeler que ce gaz est contenu dans les cellules d'isolement disposées en pied d'éolienne (cellules étanches) qui sont des matériels du commerce.

5.3.1.2 Substitution des équipements

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

Un autre danger est lié à la présence d'installations électriques avec des tensions élevées (jusqu'à 35 000 volts par exemple dans certains aérogénérateurs), dont le dysfonctionnement peut être à l'origine d'incendies.
Les équipements qui constituent à ce jour l'éolienne sont tous indispensables à son fonctionnement. Il n'est donc pas possible à priori de les substituer.

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

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

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

5.3.1.3 Réduction des dangers liés aux installations

Les principaux choix qui ont été effectués par le porteur de projet au cours de sa conception permettent de réduire les potentiels de danger identifiés et garantir une sécurité optimale de l'installation :

- Des mesures de vents ont été effectuées en amont du projet permettant une prévision des conditions climatiques. Le choix de la machine sera adapté à ces conditions.
- Lors de la démarche de conception du projet, le porteur du projet a étudié plusieurs scénarii d'implantation afin de déterminer celui qui minimise les impacts vis-à-vis des intérêts mentionnés par l'article L511-1 du code de l'environnement (Cf. Dossier de demande d'autorisation environnementale : Etude d'impact sur l'environnement, Chapitre « Analyse des variantes »).

Le respect des prescriptions générales de l'arrêté du 26 août 2011 impose au projet :

- Un éloignement des aérogénérateurs de 500 m des habitations et des zones urbanisables,
- Un choix d'aérogénérateurs respectant des normes de sécurité et disposant d'équipements de prévention des risques,
- La réalisation obligatoire d'un contrôle technique des ouvrages.

5.3.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles

La directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles, appelée directive IED, a pour objectif de parvenir à un niveau élevé de protection de l'environnement grâce à la prévention et à la réduction intégrées de la pollution provenant d'un large éventail d'activités industrielles et agricoles.

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, elles ne sont pas soumises à cette directive.

CHAPITRE 6. ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE

Il n'existe actuellement aucune base de données officielle recensant l'accidentologie dans la filière éolienne. Néanmoins, il a été possible d'analyser les informations collectées en France et dans le monde par plusieurs organismes divers (associations, organisations professionnelles, littérature spécialisée, 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'accidents rencontrés tant au niveau national qu'international. Ces typologies apportent un éclairage sur les scénarios les plus rencontrés.

D'autres informations sont également utilisées dans l'analyse détaillée des risques.

6.1 Inventaire des accidents et incidents en France

Un inventaire des incidents et accidents en France a été réalisé afin d'identifier les principaux phénomènes dangereux potentiels pouvant affecter le parc éolien. Cet inventaire se base sur le retour d'expérience de la filière éolienne et a été effectué en mars 2012 et complété par les données disponibles de la base de données ARIA (consultation en octobre 2020).

*Cf. Annexe 3 : Annexe au guide technique, inventaire de l'accidentologie réalisé en mars 2012 par le groupe de travail INERIS/SER FEE + **complément à l'accidentologie mis à jour jusque 2020.***

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

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

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

Dans l'état actuel, la base de données élaborée par le groupe de travail de INERIS/SER FEE ayant élaboré le guide technique d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis l'année 2000. L'ensemble de ces sources permet d'arriver à un inventaire aussi complet que possible des incidents survenus en France. Un total de 36 incidents a pu être recensé entre 2000 et début 2012. Ce tableau de travail a été validé par les membres du groupe de travail précédemment mentionné. Il est complété, en 2020, par 57 incidents supplémentaires enregistrés en France entre 2012 et début 2020.

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et 2020. Cette synthèse exclut les accidents du travail (maintenance, chantier de construction, etc.) et les événements qui n'ont pas conduit à des effets sur les zones autour des aérogénérateurs (notamment certains incendies).

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.

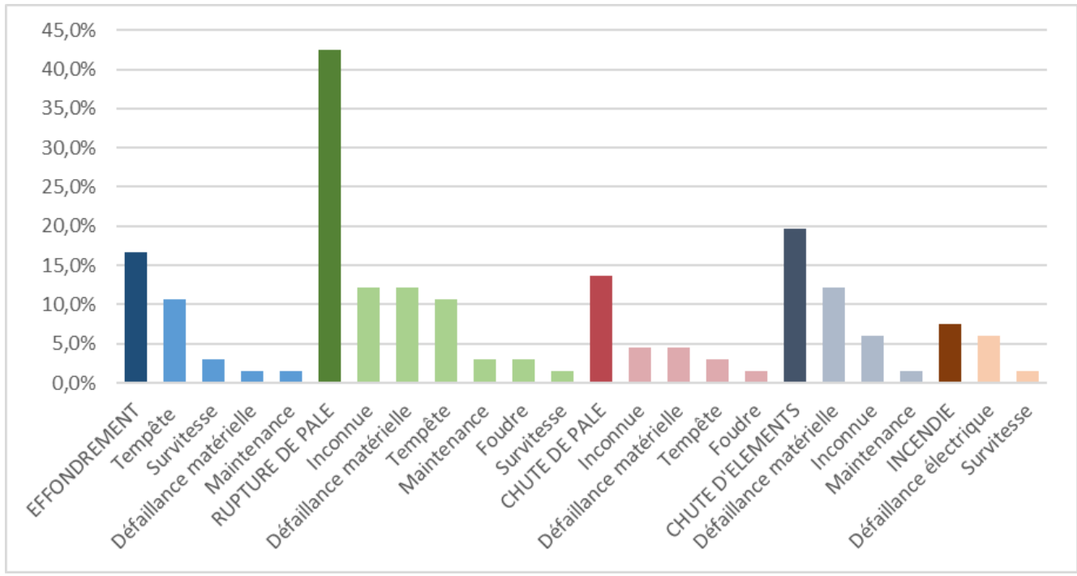


Figure 4. Répartition des évènements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et 2020

Par ordre d'importance, les accidents les plus recensés sont les ruptures de pale, les chutes des autres éléments de l'éolienne, les effondrements, les chutes de pale et les incendies. Les principales causes de ces accidents sont les défaillances matérielles et les tempêtes.

6.2 Inventaire des accidents et incidents à l'international

Un inventaire des incidents et accidents à l'international a également été réalisé. Il se base lui aussi sur le retour d'expérience de la filière éolienne au 30 juin 2020.

La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur les 2 697 accidents décrits dans la base de données au moment de sa mise à jour au 30 juin 2020, 1 368 sont considérés comme des « accidents majeurs ». Les autres concernant plutôt des accidents du travail, des presque-accidents, des incidents, etc. et ne sont donc pas pris en compte dans l'analyse suivante.

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

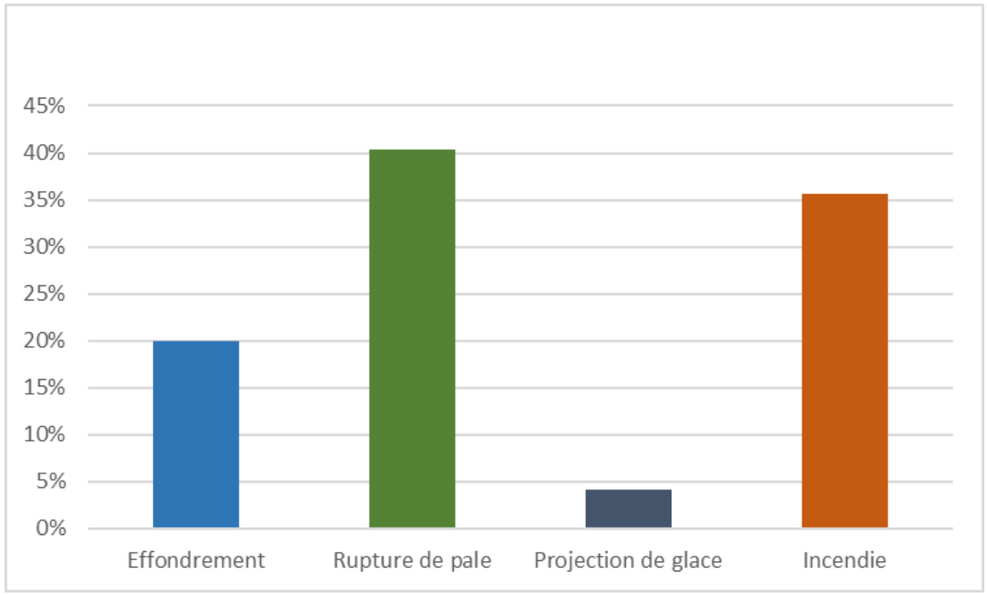


Figure 5. Répartition des évènements accidentels dans le monde entre 2000 et 2020

La répartition des évènements accidentels dans le monde entre 2000 et 2020 est du même ordre de grandeur que celle qui avait été observée entre 2000 et 2011 par le groupe de travail de SER/FEE.

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

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.

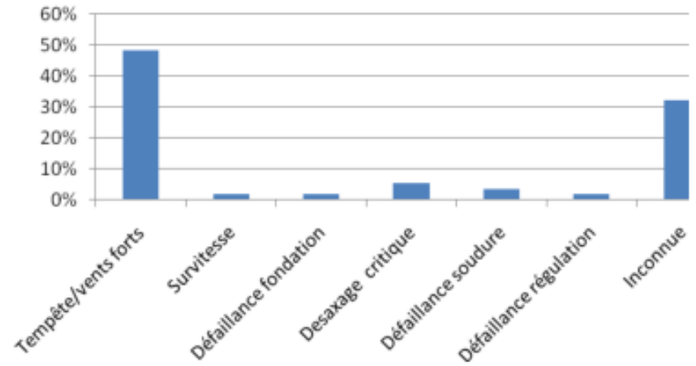


Figure 6. Répartition des causes premières d'effondrement

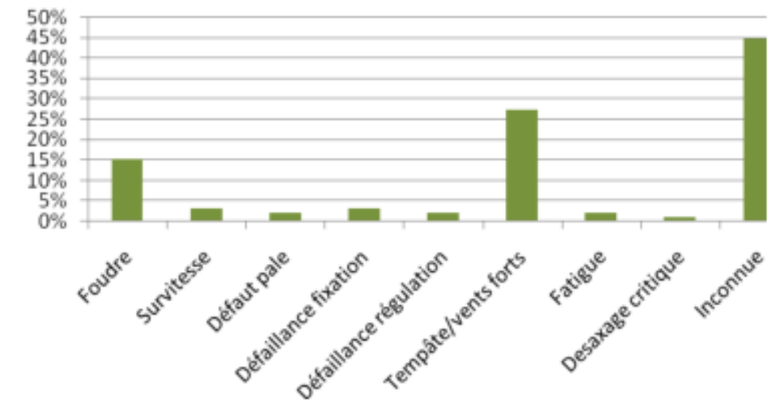


Figure 7. Répartition des causes premières de ruptures de pales

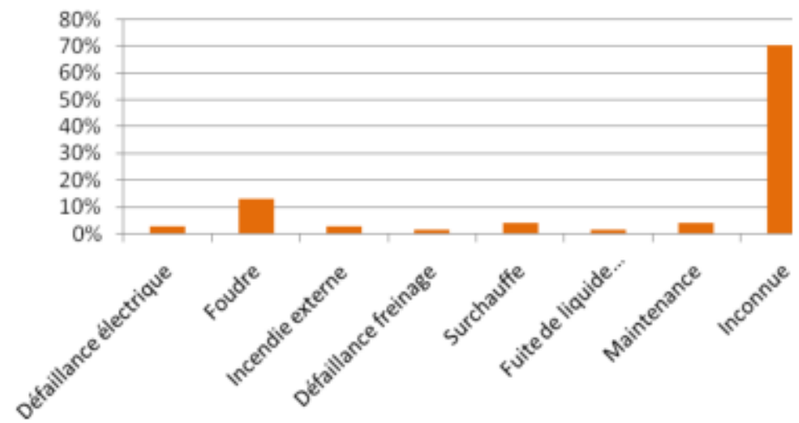


Figure 8. Répartition des causes premières d'incendie

6.3 Inventaires des accidents majeurs sur les sites de l'exploitant

Le projet de Demange-aux-Eaux correspond à une création de parc éolien. Ainsi, n'étant ni une extension de parc existant ni une révision d'étude de dangers, la synthèse des accidents est sans objet.

La société de projet PARC EOLIEN DE DEMANGE-AUX-EAUX n'exploite aucun parc éolien à ce jour.

6.4 Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience

6.4.1 Analyse de l'évolution des accidents en France

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

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

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

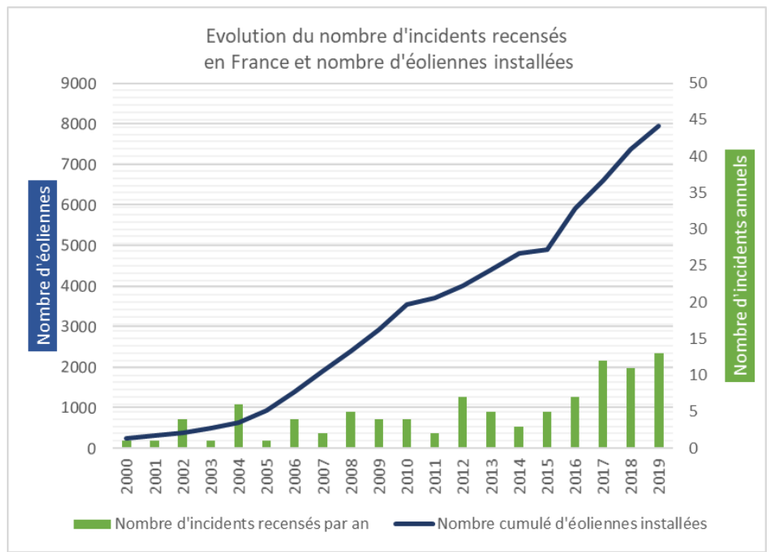


Figure 9. Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées*

*Données non officielles collectées auprès de plusieurs organismes dont Aria, FEE, SER, eolienne.f4jr.org…

6.4.2 Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

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

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

6.4.3 Limites d'utilisation de l'accidentologie

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

- La non-exhaustivité des événements : ce retour d'expérience, constitué à partir de sources variées, ne provient pas d'un système de recensement organisé et systématique. Dès lors certains événements ne sont pas reportés. En particulier, les événements les moins spectaculaires peuvent être négligés : chutes d'éléments, projections et chutes de glace ;

- La non-homogénéité des aérogénérateurs inclus dans ce retour d'expérience : les aérogénérateurs observés n'ont pas été construits aux mêmes époques et ne mettent pas en œuvre les mêmes technologies. Les informations sont très souvent manquantes pour distinguer les différents types d'aérogénérateurs (en particulier concernant le retour d'expérience mondial) ;

- Les importantes incertitudes sur les causes et sur la séquence qui a mené à un accident : de nombreuses informations sont manquantes ou incertaines sur la séquence exacte des accidents.

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

CHAPITRE 7. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

7.1 Objectif de l'analyse préliminaire des risques

L'analyse des risques a pour objectif principal d'identifier les scénarii d'accident 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) basée sur un questionnement 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.

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

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

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

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

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

7.3 Recensement des agressions externes potentielles

7.3.1 Agressions externes liées aux activités humaines

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

Infrastructure	Fonction	Evénement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Distance par rapport au mât de l'éolienne la plus proche
Voies de circulation	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	Pas de voie structurante (fréquentation supérieure à 2 000 véhicules/jour) à moins de 200 m. E5 à 300 m de la RD192
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2 000 m	Non concerné, infrastructure au-delà du périmètre de 2 000 m
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	Non concerné, infrastructure au-delà du périmètre de 200 m
Autres aérogénérateurs (hors parc en projet)	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	Non concerné, infrastructure au-delà du périmètre de 500 m

Tableau 7. Agressions externes liées aux activités humaines

7.3.2 Agressions externes liées aux phénomènes naturels

Les principales agressions externes sont liées aux phénomènes naturels. Ceux-ci sont étudiés dans le chapitre 3.2.2 « Risques naturels ». L'intensité des phénomènes est donnée par une cotation sur la base de données observées. Seuls sont retenus pour l'analyse des risques, les phénomènes de vents et tempête, foudre et glissement de sols.

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 ni dans l'étude détaillée des risques puisque 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 présentée dans le paragraphe 7.6.

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

7.4 Scénarii étudiés dans l'Analyse Préliminaire des Risques (APR)

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

- une description des causes et de leur séquençage (*événements initiateurs et événements intermédiaires*) ;
- une description des *événements redoutés* centraux qui marquent la partie incontrôlée de la séquence d'accident ;
- une description des *fonctions de sécurité* permettant de prévenir l'événement redouté central ou de limiter les effets du phénomène dangereux, elles sont numérotées de façon à être listées dans le chapitre « Mise en place des mesures de sécurité »§ 7.6.
- une description des *phénomènes dangereux* dont les effets sur les personnes sont à l'origine d'un accident ;
- une évaluation préliminaire de la zone d'effets attendue de ces événements.

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

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

Les différents 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 du groupe de travail INERIS/SER FEE (« 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).

Voir précisions en annexe :

Cf. Annexe 3 : Annexes au guide technique INERIS et compléments à l'accidentologie

Annexe 1.C du guide technique, scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire 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

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
I06	Rongeur	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I07	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2
F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur Fuite transformateur	Ecoulement hors de la nacelle et le long du mât, puis sur le sol avec infiltration	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Ecoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
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
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	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	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)	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

Tableau 8. Analyse générique des risques

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.

7.5 Effets dominos

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

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

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

Le guide technique préconise de limiter l'évaluation de la probabilité d'impact d'un élément de l'aérogénérateur sur une autre installation ICPE que lorsque celle-ci se situe dans un rayon de 100 mètres.

Aucune installation ICPE n'a été identifiée à moins de 100 m.

7.6 Mise en place des mesures de sécurité

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

- **Fonction de sécurité** : il est proposé ci-dessous un tableau par fonction de sécurité. Cet intitulé décrit l'objectif de la ou des mesure(s) de sécurité : il s'agira principalement d'« empêcher, éviter, détecter, contrôler ou limiter » et sera en relation avec un ou plusieurs événements conduisant à un accident majeur identifié dans l'analyse des risques. Plusieurs mesures de sécurité peuvent assurer une même fonction de sécurité.
- **Numéro de la fonction de sécurité** : ce numéro vise à simplifier la lecture de l'étude de dangers en permettant des renvois à l'analyse de risque par exemple.
- **Mesures de sécurité** : cette ligne permet d'identifier les mesures assurant la fonction concernée. Dans le cas de systèmes instrumentés de sécurité, tous les éléments de la chaîne de sécurité sont présentés (détection + traitement de l'information + action).
- **Description** : cette ligne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires.
- **Indépendance** (« oui » ou « non ») : cette caractéristique décrit le niveau d'indépendance d'une mesure de maîtrise des risques vis-à-vis des autres systèmes de sécurité et des scénarii d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner « oui ») ou non (renseigner « non »).
- **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.
- **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.
- **Test** (fréquence) : dans ce champ sont rappelés les tests/essais qui seront réalisés sur les mesures de maîtrise des risques. Conformément à la réglementation, un essai d'arrêt, d'arrêt d'urgence et d'arrêt à partir d'une situation de survitesse seront réalisés avant la mise en service de l'aérogénérateur. Dans tous les cas, les tests effectués sur les mesures de maîtrise des risques seront tenus à la disposition de l'inspection des installations classées pendant l'exploitation de l'installation.
- **Maintenance** (fréquence) : ce critère porte sur la périodicité des contrôles qui permettront de vérifier la performance de la mesure de maîtrise des risques dans le temps. Pour rappel, la réglementation demande qu'à minima : un contrôle tous les ans soit réalisé sur la performance des mesures de sécurité permettant de mettre à l'arrêt, à l'arrêt d'urgence et à l'arrêt à partir d'une situation de survitesse et sur tous les systèmes instrumentés de sécurité.

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
Mesures de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage.		
Description	Système de détection redondant du givre permettant, en cas de détection de glace, une mise à l'arrêt rapide de l'aérogénérateur. Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site.		
Indépendance	Non. Les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. En cas de danger particulièrement élevé sur site (survol d'une zone fréquentée sur site soumis à des conditions de gel importantes), des systèmes additionnels peuvent être envisagés		
Temps de réponse	Immédiat (L'alarme est déclenchée dès que le capteur est gelé ou détecte de la neige.)		
Efficacité	100 %		
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne		
Maintenance	Vérification des capteurs du système de détection de givre lors des maintenances préventives annuelles.		

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 %. N Nous considérerons que compte tenu de l'implantation des panneaux et de l'entretien prévu, l'information des promeneurs sera systématique.		
Tests	NA		
Maintenance	Vérification de l'état général du panneau, de l'absence de détérioration, entretien de la végétation afin que le panneau reste visible.		

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
Mesures de sécurité	Capteurs de température des pièces mécaniques. Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes. Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement. Systèmes de refroidissement indépendants pour le multiplicateur et la génératrice		
Description	/		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	Lors de la phase d'essai de la machine		
Maintenance	Maintenance préventive annuelle de la génératrice et de son système de refroidissement, ainsi que du multiplicateur (y compris le système de refroidissement de l'huile du multiplicateur). Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage. Eléments du système de protection contre la survitesse conformes aux normes IEC 61508 (SIL 2) et EN 954-1		
Description	Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande. NB : Le système de freinage est constitué d'un frein aérodynamique principal (mise en drapeau des pales) et / ou d'un frein mécanique auxiliaire.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	15 à 60 s (arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage adapté). L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011.		
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.		
Maintenance	Maintenance préventive annuelle de l'éolienne avec notamment contrôle de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

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

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur.		
Description	Respect de la norme IEC 61 400 – 24 (juin 2010) Parafoudres sur la nacelle + récepteurs de foudre sur les 2 faces des pales Mise à la terre (nacelle/mât, sections de mât, mât/fondation) Parasurtenseurs sur les circuits électriques		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat, dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	Mesure de terre lors des vérifications réglementaires des installations électriques		
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011. Contrôle de l'état de l'installation de mise à la terre dans le mât à chaque maintenance préventive.		

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	Capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne pouvant permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de la machine Système de détection incendie relié à une alarme transmise à un poste de contrôle Intervention des services de secours		
Description	Détecteurs de fumée qui lors de leur déclenchement conduisent à la mise en arrêt de la machine et au découplage du réseau électrique. De manière concomitante, un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance. L'éolienne est également équipée d'extincteurs qui peuvent être utilisés par les personnels d'intervention (cas d'un incendie se produisant en période de maintenance).		
Indépendance	oui		
Temps de réponse	< 1 minute pour les détecteurs et l'enclenchement de l'alarme L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur. Le temps d'intervention des services de secours est, quant à lui, dépendant de la zone géographique.		
Efficacité	100%		
Tests	Vérification de la plausibilité des mesures de température		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Le matériel incendie (type extincteurs) est contrôlé périodiquement par le fabriquant du matériel ou un organisme extérieur. Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.		

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	Détecteurs de niveau d'huiles Systèmes d'étanchéité et dispositifs de collecte / récupération Procédure d'urgence Kit antipollution		
Description	Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. Présence de plusieurs bacs collecteurs au niveau des principaux composants. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange. Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin : − de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; − d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...) ; − de récupérer les déchets absorbés. Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, une société spécialisée récupérera et traitera le gravier souillé via les filières adéquates, puis le remplacera par un nouveau revêtement.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Dépendant du débit de fuite		
Efficacité	100%		
Tests	/		
Maintenance	Inspection des niveaux d'huile plusieurs fois par an.		

Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	N° de la fonction de sécurité	9
Mesures de sécurité	Surveillance des vibrations Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.) Procédures qualités Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)		
Description	La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi la nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23. Les éoliennes sont équipées de capteurs de vibration, qui entraînent l'arrêt en cas de dépassement des seuils définis. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223 (peinture et revêtement anti-corrosion).		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	15 à 60s (arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage adapté)		
Efficacité	100%		
Tests	Déclenchement manuel des capteurs de vibration et vérification de la réponse du système.		
Maintenance	Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du pitch system, couronne du Yam Gear, boulons de fixation de la nacelle…) sont vérifiés au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Inspection visuelle du mât et, si besoin, nettoyage lors des maintenances préventives annuelles.		

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

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pâles) par le système de conduite		
Description	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale pour laquelle elle a été conçue.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	15 à 60 s suivant le programme de freinage		
Efficacité	100 %. NB : En fonction de l'intensité attendue des vents, d'autres dispositifs de diminution de la prise au vent de l'éolienne peuvent être envisagés		
Tests	Test des programmes de freinage lors de la mise en service de l'éolienne. Test automatique du système de freinage mécanique et du fonctionnement de chaque système pitch (freinage aérodynamique) lors de la séquence de démarrage de l'éolienne.		
Maintenance	Maintenance préventive du système pitch (les points contrôlés varient suivant le type de maintenance – T1 / T2 / T3 / T4), notamment vérification du câblage et du système de lubrification automatique, graissage des roulements de pitch. Maintenance préventive du frein mécanique (les points contrôlés varient suivant le type de maintenance – T1 / T2 / T3 / T4), notamment inspection visuelle, vérification de l'épaisseur des plaquettes de frein et des capteurs du frein mécanique.		

Fonction de sécurité	Empêcher la perte de contrôle de l'éolienne en cas de défaillance réseau	N° de la fonction de sécurité	12
Mesures de sécurité	Détection des défaillances du réseau électrique Batteries pour chaque système pitch Système d'alimentation sans coupure (UPS)		
Description	Surveillance du réseau + surveillance des défaillances réseau par le convertisseur principal qui entraîne la déconnexion de l'éolienne du réseau électrique. Commande de l'éolienne et communication externe assurées pendant environ 10 min, permettant l'arrêt automatique de l'éolienne		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	150 ms pour identifier une défaillance réseau 15 à 60 s pour l'arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage		
Efficacité	100 %.		
Tests	Vérification de la charge des batteries d'alimentation de secours des systèmes pitch lors de la séquence de démarrage de l'éolienne		
Maintenance	Remplacement des batteries du système pitch au cours de la maintenance quinquennal. Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.		

Tableau 9. Ensemble des tableaux des fonctions de sécurité (INERIS)

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

Notamment, 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 est réalisée tous les ans.

7.7 Conclusion de l'analyse préliminaire des risques

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 :

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 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 dont la tenue au feu est de 2h) seront mineurs ou inexistants du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 août 2011 [9] et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200)
Chute et projection de glace dans les cas particuliers où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C	Lorsqu'un aérogénérateur est implanté sur un site où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C, il peut être considéré que le risque de chute ou de projection de glace est nul. Des éléments de preuves doivent être apportés pour identifier les implantations où de telles conditions climatiques sont applicables.
Infiltration d'huile dans le sol	En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs. Ce scénario peut ne pas être détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques sauf en cas d'implantation dans un périmètre de protection rapprochée d'une nappe phréatique.

Tableau 10. Scénarii exclus de l'étude détaillée

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

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

Pour le scénario suivant : Effondrement de l'éolienne, chute ou projection d'élément de l'éolienne sur un poste de livraison, le guide INERIS précise que les expertises réalisées ont montré l'absence d'effet à l'extérieur des postes de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter. Ce scénario n'est donc pas développé dans le présent rapport.

CHAPITRE 8. ETUDE DETAILLEE DES RISQUES

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

8.1 Rappel des définitions

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

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

Cet arrêté est complété par la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.

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

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

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

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

8.1.1 Cinétique

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

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

Dans le cadre d'une étude de dangers pour des aérogénérateurs, il est supposé, de manière prudente, que tous les accidents considérés ont une cinétique rapide.

Ce paramètre ne sera donc pas détaillé à nouveau dans chacun des phénomènes redoutés étudiés par la suite.

8.1.2 Intensité

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

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

Dans le cas de 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 %

Tableau 11. Grille de cotation en intensité issue du guide technique

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

8.1.3 Gravité

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

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

Tableau 12. Grille de cotation en gravité de l'arrêté du 29 septembre 2005

■ Méthodologie et hypothèse de travail

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 3.A du guide.

Annexe 2 : Annexe au guide technique, méthode comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne

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.

Ainsi, pour chaque phénomène dangereux identifié, nous comptabiliserons l'ensemble des personnes présentes dans la zone d'effet correspondante.

Dans chaque zone couverte par les effets d'un phénomène dangereux issu de l'analyse de risque, nous identifierons les ensembles homogènes (ERP, zones habitées, zones industrielles, commerces, voies de circulation, terrains non bâtis...) et nous en déterminerons la surface (pour les terrains non bâtis, les zones d'habitat) et/ou la longueur (pour les voies de circulation).

Cf. § 3.4.2 Hypothèse de travail, page 18

8.1.4 Probabilité

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

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

Tableau 13. Grille de cotation en probabilité de l'arrêté du 29 septembre 2005

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

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

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

Cependant, on pourra rappeler que la probabilité qu'un accident sur une personne ou un bien se produise est très largement inférieure à la probabilité de départ de l'événement redouté.

La probabilité d'accident est en effet le produit de plusieurs probabilités :

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

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

$P_{orientation}$ = 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)

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

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

8.1.5 Acceptabilité

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

L'analyse d'acceptabilité est basée sur la matrice de criticité ci-dessous, adaptée de la circulaire du 29 septembre 2005 et reprise dans la circulaire du 10 mai 2010.

L'acceptabilité résulte du croisement entre probabilité d'occurrence et gravité de l'accident.

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

Légende de la matrice :

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

8.2 Caractérisation des scénarii retenus

Toutes les formules employées dans ce chapitre sont issues du guide technique INERIS/SER FEE.

Les caractéristiques techniques du gabarit étudié pour les calculs de risques dans la suite du document sont les suivantes :

Caractéristiques	Nordex N117
Eoliennes concernées	Eoliennes de E1 à E5
Puissance unitaire maximale	3,6 MW
Hauteur totale maximale	149,3 m
Hauteur maximale au moyeu	90,9 m
Diamètre maximal du rotor	116,8 m
Longueur maximale des pales	57,3 m
Largeur maximale à la base du mât	4,3 m
Corde maximale pale	3,36 m

Tableau 14. Caractéristiques techniques du gabarit d'éolienne

8.2.1 Effondrement de l'éolienne

Zone d'effet

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit **149,3** m dans le cas des éoliennes du **parc éolien de Demange-aux-Eaux**.

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

Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne.

- R est la longueur d'une pale (R= **57,3** m),
- H est la hauteur du moyeu (H= **90,9** m),
- D/2 est la longueur d'un demi diamètre (D/2= **58,4** m),
- L est la largeur du mât (L= **4,3** m),
- LB est la corde maximale de la pale (LB= **3,36** m).

Effondrement de l'éolienne **(dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)** **Soit H+D/2= 149,3 m**			
Zone d'impact en m²	*Zone d'effet du phénomène étudié en m²*	*Degré d'exposition du phénomène étudié en %*	*Intensité*
(H) x L + 3*R*LB/2	= π x (H+D/2)² [3]	$d=Z_i/Z_E$	Exposition modérée
679,7 m²	70 027,6 m²	0,971 %	

Tableau 15. Scénario d'effondrement – calcul de l'intensité

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

Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe « Rappel des définitions »), 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 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 d'effondrement et la gravité associée :

[3] Dans le guide technique la formule initiale est : *π x (H+R)², D/2 nous semble plus cohérent que R.*

Effondrement de l'éolienne ***(dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)*** **Soit H+D/2= 149,3 m**				
Eolienne	*Terrain* aménagé mais peu fréquenté (Cultures + Voie + Chemin)*		*Comptage du nombre de personnes totales*	*Gravité*
	Surface en m²	*Comptage sur la zone*		
E1	70 028	0,700	0,700	Modérée
E2	70 028	0,700	0,700	Modérée
E3	70 028	0,700	0,700	Modérée
E4	70 028	0,700	0,700	Modérée
E5	70 028	0,700	0,700	Modérée
**** Les surfaces agricoles et les voies non structurantes sont assimilées à des terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne par 10 ha), cf. § 3.4.2.*** **Hypothèse de travail** ***en page 18.***				

Tableau 16. Scénario d'effondrement – cotation de la gravité

Probabilité

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

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

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

Tableau 17. Probabilités d'effondrement et valeurs retenues

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C ». En effet, il a été recensé seulement 7 événements pour 15 667 années d'expérience[4], 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 : « *Evénement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité* ». Une probabilité de classe « C » est donc retenue par défaut pour ce type d'événement.

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

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

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

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

Acceptabilité

Dans le cas d'implantation d'éoliennes équipées des technologies récentes, compte tenu de la classe de probabilité d'un effondrement, on pourra conclure à l'acceptabilité de ce phénomène si moins de 100 personnes sont exposées.

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

Effondrement de l'éolienne **(dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)** **Soit H+D/2= 149,3 m**		
Eolienne	***Gravité***	***Niveau de risque***
E1	Modérée	Acceptable
E2	Modérée	Acceptable
E3	Modérée	Acceptable
E4	Modérée	Acceptable
E5	Modérée	Acceptable

Tableau 18. Scénario d'effondrement – acceptabilité du risque

Ainsi, pour le parc éolien de Demange-aux-Eaux, le phénomène d'effondrement d'éléments des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

[4] 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.

En cas de fréquentation du site pour visite organisée du parc éolien

Dans un cercle de 149,3 m autour de l'éolienne, le risque d'effondrement de l'éolienne reste acceptable jusqu'au seuil de 1 000 personnes exposées. Sachant que le comptage actuel estime une fréquentation moyenne de 0,7 personnes, alors chaque visite pourra être constituée d'un groupe maximum de 998 personnes.
Ce seuil de fréquentation sera respecté lors de l'organisation éventuelle d'évènements.

8.2.2 Chute de glace

Considérations générales

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

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

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

Zone d'effet

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne. Pour le parc éolien, la zone d'effet a donc **un rayon de 58,4 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.

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.

- Z_I est la zone d'impact,
- Z_E est la zone d'effet,
- D/2 est la longueur d'un demi-diamètre (D/2= **58,4** m),
- SG est la surface du morceau de glace majorant (SG= **1** m^2).

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = 58,4 m)			
Zone d'impact en m²	*Zone d'effet du phénomène étudié en m²*	*Degré d'exposition du phénomène étudié en %*	*Intensité*
Z_I= SG	Z_E= π x (D/2)² [5]	d=Z_I/Z_E	Exposition modérée
1,0 m^2	10 714,6 m²	0,009 %	

Tableau 19. Scénario chute de glace – calcul de l'intensité

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

[5] Dans le guide technique la formule initiale est : *π x R², D/2 nous semble plus cohérent que R.*

Gravité

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

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

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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = 58,4 m)				
Eolienne	*Terrain * aménagé mais peu fréquenté Cultures + Voie + Chemin*		*Comptage du nombre de personnes totales*	*Gravité*
	Surface en m²	*Comptage sur la zone*		
E1	10 715	0,107	0,107	Modéré
E2	10 715	0,107	0,107	Modéré
E3	10 715	0,107	0,107	Modéré
E4	10 715	0,107	0,107	Modéré
E5	10 715	0,107	0,107	Modéré
**** Les surfaces agricoles et les voies non structurantes sont assimilées à des terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne par 10 ha), cf. § 3.4.2.*** **Hypothèse de travail** ***en page 18.***				

Tableau 20. Scénario chute de glace – cotation de la gravité

Probabilité

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

Acceptabilité

Avec une classe de probabilité de 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.

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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = 58,4 m)		
Eolienne	***Gravité***	***Niveau de risque***
E1	Modéré	Acceptable
E2	Modéré	Acceptable
E3	Modéré	Acceptable
E4	Modéré	Acceptable
E5	Modéré	Acceptable

Tableau 21. Scénario chute de glace – acceptabilité du risque

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

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

En cas de fréquentation du site pour visite organisée du parc éolien

Dans un cercle de 58,4 m autour de l'éolienne, le risque de chute de glace reste acceptable jusqu'au seuil de 1 personne.

La probabilité de ce risque étant particulièrement forte, l'organisation de visites devra exclure les périodes de formation de glace.

8.2.3 Chute d'éléments de l'éolienne

Zone d'effet

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

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

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.

- d est le degré d'exposition,
- Z_I est la zone d'impact,
- Z_E est la zone d'effet,
- R est la longueur de pale (R = **57,3** m),
- LB est la corde maximale de la pale (LB = **3,36** m),
- D/2 est la longueur d'un demi-diamètre (D/2 = **58,4** m).

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = 58,4 m)			
Zone d'impact en m²	*Zone d'effet du phénomène étudié en m²*	*Degré d'exposition du phénomène étudié en %*	*Intensité*
Z_I= R*LB/2	Z_E= π x (D/2)² [6]	d=Z_I/Z_E	Exposition modérée
96,3 m²	10 714,6 m²	0,898 %	

Tableau 22. Scénario chute d'éléments de l'éolienne – calcul de l'intensité

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

Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe « Rappel des définitions »), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute d'élément, 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 de l'éolienne et la gravité associée :

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = 58,4 m)				
Eolienne	*Terrain* aménagé mais peu fréquenté Cultures + Voie + Chemin*		*Comptage du nombre de personnes totales*	*Gravité*
	Surface en m²	*Comptage sur la zone*		
E1	10 715	0,107	0,107	Modéré
E2	10 715	0,107	0,107	Modéré
E3	10 715	0,107	0,107	Modéré
E4	10 715	0,107	0,107	Modéré
E5	10 715	0,107	0,107	Modéré
**** Les surfaces agricoles et les voies non structurantes sont assimilées à des terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne par 10 ha), cf. § 3.4.2.*** **Hypothèse de travail** ***en page 18.***				

Tableau 23. Scénario chute d'éléments de l'éolienne – cotation de la gravité

Probabilité

Peu d'élément 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 » (8 chutes et 5 incendies pour 15 667 années d'expérience, soit 8,3 x 10^{-4}événement par éolienne et par an).

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 Septembre 2005 d'une probabilité « C » : « *Evénement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation*

[6] Dans le guide technique la formule initiale est : *π x R², D/2 nous semble plus cohérent que R.*

au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité ».

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

■ Acceptabilité

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

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

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = 58,4 m)		
Eolienne	***Gravité***	***Niveau de risque***
E1	Modéré	Acceptable
E2	Modéré	Acceptable
E3	Modéré	Acceptable
E4	Modéré	Acceptable
E5	Modéré	Acceptable

Tableau 24. Scénario chute d'éléments de l'éolienne – acceptabilité du risque

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

■ En cas de fréquentation du site pour visite organisée du parc éolien

Dans un cercle de 58,4 m autour de l'éolienne, le risque de chute d'éléments reste acceptable jusqu'au seuil de 100 personnes. Moins d'une personne est dénombrée sur cette surface en période d'exploitation.

Sur cette même surface, le risque de chute de glace nécessite de ne pas organiser de visite dans les conditions météorologiques de gel.

En l'absence de formation de glace, le risque de chute d'éléments reste acceptable avec un maximum de 99 personnes présentes dans le cercle de diamètre 58,4 m autour de l'éolienne.

8.2.4 Projection de pales ou de fragments de pales

Zone d'effet

Dans l'accidentologie française rappelée en Annexe 2, la distance maximale relevée et vérifiée par le groupe de travail INERIS/SER FEE précédemment mentionné pour une projection de fragment de pale est de 380 mètres par rapport au mât de l'éolienne. On constate que les autres données disponibles dans cette accidentologie montrent des distances d'effet inférieures.

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

Pour autant, des études de risques déjà réalisées dans le monde ont utilisé une distance de **500 mètres**, en particulier les études [5] et [6].

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

Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne.

- d est le degré d'exposition,
- ZI est la zone d'impact,
- ZE est la zone d'effet,
- R est la longueur de pale (R= **57,3** m),
- LB est la corde maximale de la pale (LB= **3,36** m).

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
Zone d'impact en m²	*Zone d'effet du phénomène étudié en m²*	*Degré d'exposition du phénomène étudié en %*	*Intensité*
Z_I=R*LB/2	Z_E= π x (500)²	d=Z_I/Z_E	Exposition modérée
96,3 m²	785398 m²	0,012 %	

Tableau 25. Scénario projection de pales ou de fragments de pales – calcul de l'intensité

Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe « Rappel des définitions », 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 chute d'éléments de l'éolienne et la gravité associée :

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)				
Eolienne	*Terrain *aménagé mais peu fréquenté Cultures + Voie + Chemin*		*Comptage du nombre de personnes totales*	*Gravité*
	Surface en m²	*Comptage sur la zone*		
E1	785 398	7,854	7,854	Sérieux
E2	785 398	7,854	7,854	Sérieux
E3	785 398	7,854	7,854	Sérieux
E4	785 398	7,854	7,854	Sérieux
E5	785 398	7,854	7,854	Sérieux
**** Les surfaces agricoles et les voies non structurantes sont assimilées à des terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne par 10 ha), cf. § 3.4.2.*** **Hypothèse de travail** ***en page 18.***				

Tableau 26. Scénario projection de pales ou de fragments de pales – cotation de la gravité

Probabilité

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

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

Tableau 27. Probabilité de rupture de tout ou partie de pale et valeurs retenues

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 x 10^{-4} événement par éolienne et par an).

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

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

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

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

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

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

Acceptabilité

Avec une classe de probabilité de « D », le risque de projection de tout ou partie de pale pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un nombre équivalent de personnes permanentes inférieur à 1 000 dans la zone d'effet.

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

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	***Gravité***	***Niveau de risque***
E1	Sérieux	Acceptable
E2	Sérieux	Acceptable
E3	Sérieux	Acceptable
E4	Sérieux	Acceptable
E5	Sérieux	Acceptable

Tableau 28. Scénario projection de pales ou de fragments de pales – acceptabilité du risque

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

En cas de fréquentation du site pour visite organisée du parc éolien

Dans un cercle de 500 m autour de l'éolienne, le risque de projection de pale ou de fragment de pale reste acceptable jusqu'au seuil de 1 000 personnes.

Sachant que le comptage actuel estime une fréquentation moyenne de 7,854 personnes, alors chaque visite pourra être constituée d'un groupe maximum de 992 personnes.

Ce seuil de fréquentation sera respecté lors de l'organisation éventuelle d'évènements.

8.2.5 Projection de glace

Zone d'effet

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

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

Distance d'effet = 1,5 x (hauteur de moyeu + diamètre de rotor)

Soit **312 m dans le cas du projet de Demange-aux-Eaux**.

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

Intensité

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

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

- d est le degré d'exposition,
- Z_I est la zone d'impact,
- Z_E est la zone d'effet,
- D est le diamètre du rotor (D= **116,8** m),
- H est la hauteur au moyeu (H=**90,9** m),
- SG est la surface majorante d'un morceau de glace (**1** m²).

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R_{PG} = 1,5 x (H+D) autour de l'éolienne soit 311,55 m)			
Zone d'impact en m²	*Zone d'effet du phénomène étudié en m²*	*Degré d'exposition du phénomène étudié en %*	*Intensité*
Z_I= SG	ZE = π x (1,5*(H+D))² [7]	d=Z_I/Z_E	Exposition modérée
1,0 m²	304933,7 m²	0,00033 %	

Tableau 29. Scénario projection de glace – calcul de l'intensité

Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe « Rappel des définitions », 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 1 000 personnes exposées → « Désastreux »
- Entre 100 et 1 000 personnes exposées → « Catastrophique »
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Important »
- Moins de 10 personnes exposées → « Sérieux »
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré »

Il a été observé dans la littérature disponible [17] qu'en cas de projection, les morceaux de glace se cassent en petits fragments dès qu'ils se détachent de la pale.

La possibilité de l'impact de glace sur des personnes abritées par un bâtiment ou un véhicule est donc négligeable et ces personnes ne doivent pas être comptabilisées pour le calcul de la gravité.

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

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R_{PG} = 1,5 x (H+D) = 311,55 m)				
Eolienne	*Terrain *aménagé mais peu fréquenté Cultures + Voie + Chemin*		*Comptage du nombre de personnes totales*	*Gravité*
	Surface en m²	*Comptage sur la zone*		
E1	304 934	3,049	3,049	Sérieux
E2	304 934	3,049	3,049	Sérieux
E3	304 934	3,049	3,049	Sérieux
E4	304 934	3,049	3,049	Sérieux
E5	304 934	3,049	3,049	Sérieux
**** Les surfaces agricoles et les voies non structurantes sont assimilées à des terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne par 10 ha), cf. § 3.4.2.*** **Hypothèse de travail** ***en page 18.***				

Tableau 30. Scénario projection de glace – cotation de la gravité

[7] Dans le guide technique la formule initiale est : *ZE = π x 1,5*(H+2R)², or H+2R ne correspond pas H+D préconisée dans l'étude [15], car R ne tient pas compte de la taille du moyeu.*

Probabilité

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

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

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

Acceptabilité

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

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

Projection de morceaux de glace ***(dans un rayon de RPG = 1,5 x (H+D) = 311,55 m)***			
Eolienne	*Gravité*	*Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage**	*Niveau de risque*
E1	Sérieux	Oui	Acceptable
E2	Sérieux	Oui	Acceptable
E3	Sérieux	Oui	Acceptable
E4	Sérieux	Oui	Acceptable
E5	Sérieux	Oui	Acceptable
**** Pour rappel, chaque aérogénérateur est équipé d'un système permettant de déduire la formation de glace sur les pales, voir § 7.6 fonctions 1 et 2.***			

Tableau 31. Scénario projection de glace – acceptabilité du risque

Ainsi, pour le parc éolien de Demange-aux-Eaux, le phénomène projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes.

Pour rappel, chaque aérogénérateur est équipé d'un système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales, voir fonction de sécurité n°1 (Cf. § 7.6, p. 43).

En cas de fréquentation du site pour visite organisée du parc éolien

Dans un cercle de 311,55 m autour de l'éolienne, le risque de projection de morceaux de glace reste acceptable jusqu'au seuil de 10 personnes. Sachant que 3,049 personnes sont déjà dénombrées en permanence sur cette surface, cela entraine une acceptabilité sous le seuil de 5 personnes présentes en cas de visite.

La probabilité de ce risque étant particulièrement forte, l'organisation de visites devra exclure les périodes de formation de glace.

8.3 Synthèse de l'étude détaillée des risques

8.3.1 Tableaux de synthèse des scénarii étudiés

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

Scénario		Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
S1	Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale Soit **149,3** m	Rapide	Exposition modérée	**D**	**Modéré**
S2	Chute de glace	Zone de survol Soit **58,4** m	Rapide	Exposition modérée	**A**	**Modéré**
S3	Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol Soit **58,4** m	Rapide	Exposition modérée	**C**	**Modéré**
S4	Projection de pale ou de fragment de pale	**500** m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	**D**	**Sérieux**
S5	Projection de glace	1,5 x (H + D) autour de l'éolienne Soit **311,55** m	Rapide	Exposition modérée	**B**	**Sérieux**

Tableau 32. Synthèse de la cotation des risques – étude détaillée

Les scénarii ci-dessus sont repris dans la matrice d'acceptabilité (voir paragraphe suivant).

8.3.2 Cartographie des risques

La cartographie des risques a été réalisée. Elle indique les différents périmètres de risques ainsi que les enjeux vulnérables identifiés. La carte des risques pour chaque éolienne est présentée ci-après.

8.3.3 Synthèse de l'acceptabilité des risques

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

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

Les scénarios étudiés dans ce chapitre précédent sont synthétisés dans la matrice de la circulaire :

GRAVITÉ des Conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		**S4** (toutes les éoliennes)		**S5** (toutes les éoliennes)	
Modéré		**S1** (toutes les éoliennes)	**S3** (toutes les éoliennes)		**S2** (toutes les éoliennes)

Tableau 33. Cotation des risques selon la matrice de criticité de la circulaire du 10 mai 2010

Légende de la matrice :

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

S1	Effondrement de l'éolienne
S2	Chute de glace
S3	Chute d'élément de l'éolienne
S4	Projection de pale ou de fragments
S5	Projection de glace

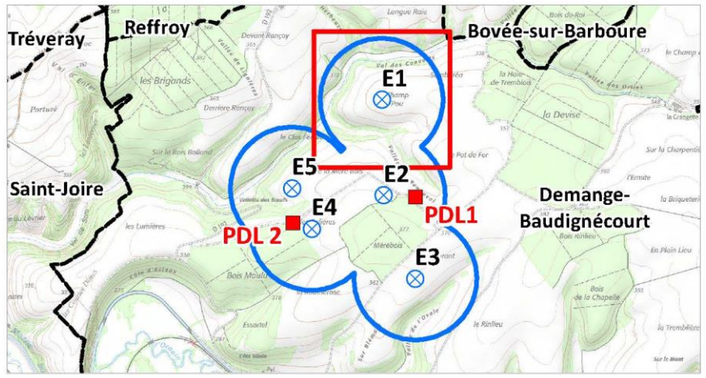
Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- **aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice ;**
- **certains accidents figurent en case jaune. Pour ces accidents, il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans le chapitre 7.6. Mise en place des mesures de sécurité en page 43 seront mises en place.**

Projet éolien de Demange-aux-Eaux (55)

Étude de danger

Carte des risques
Eolienne E1



Aire d'étude
- Aire d'étude (500 m)

Projet
- Eoliennes projetées
- Réseau inter éolien
- Poste de livraison
- Aire de survol
- Plateforme de levage
- Plateforme PDL
- Piste VL
- Piste à créer
- Piste à renforcer
- Pan coupé temporaire

Limites administratives
- Limite communale

Enjeux

Réseaux routier et ferroviaire
- Route départementale
- Chemin, sentier
- Voie ferrée

Végétation
- Boisement

Périmètre des zones d'effets des scénarios
- Chute d'élements de l'éolienne (58,4 m)
- Chute de glace (58,4 m)
- Effondrement de l'éolienne (149,3 m)
- Projection de glace (311,55 m)
- Projection de pales ou de fragments de pales (500 m)

0 — 100 — 200

Mètres

1:4 000

(Pour une impression sur format A3 sans réduction de taille)

Réalisation : AUDDICE, juillet 2024
Sources de fond de carte : IGN SCAN SCAN 25 - GGE ORTHORVB 55, 2018
Sources de données : IGN ADMIN EXPRESS - BD TOPO - LOCOGEN - AUDDICE, 2024

EFFONDREMENT D'EOLIENNE (zone d'effet de 149,3 m)
Personnes exposées : < 1 personne
Niveau de risque : **ACCEPTABLE, risque très faible**

CHUTE DE GLACE (zone d'effet de 58,4 m)
Personnes exposées : < 1 personne
Niveau de risque : **ACCEPTABLE, risque faible**

CHUTE D'ELEMENT (zone d'effet de 58,4 m)
Personnes exposées : < 1 personne
Niveau de risque : **ACCEPTABLE, risque très faible**

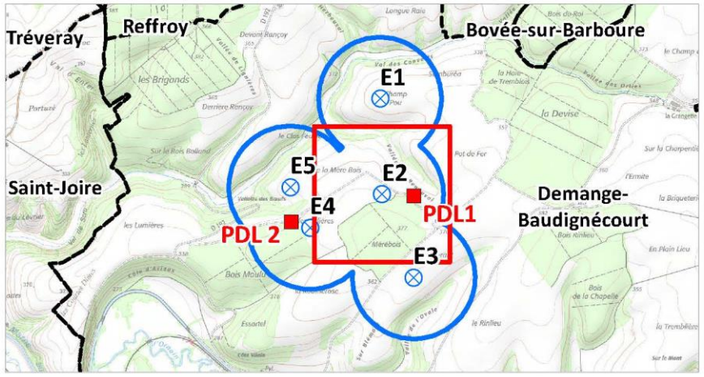
PROJECTION DE PALE (zone d'effet de 500 m)
Personnes exposées : 1 à 10 personnes
Niveau de risque **ACCEPTABLE, risque très faible**

PROJECTION DE GLACE (zone d'effet de 311,55 m)
Personnes exposées : 1 à 10 personnes
Niveau de risque : **ACCEPTABLE, risque faible**

Projet éolien de Demange-aux-Eaux (55)

Étude de danger

Carte des risques
Eolienne E2



Aire d'étude
- Aire d'étude (500 m)

Projet
- Eoliennes projetées
- Réseau inter éolien
- Poste de livraison
- Aire de survol
- Plateforme de levage
- Plateforme PDL
- Piste VL
- Piste à créer
- Piste à renforcer
- Pan coupé temporaire

Limites administratives
- Limite communale

Enjeux

Réseaux routier et ferroviaire
- Route départementale
- Chemin, sentier
- Voie ferrée

Végétation
- Boisement

Périmètre des zones d'effets des scénarios
- Chute d'élements de l'éolienne (58,4 m)
- Chute de glace (58,4 m)
- Effondrement de l'éolienne (149,3 m)
- Projection de glace (311,55 m)
- Projection de pales ou de fragments de pales (500 m)

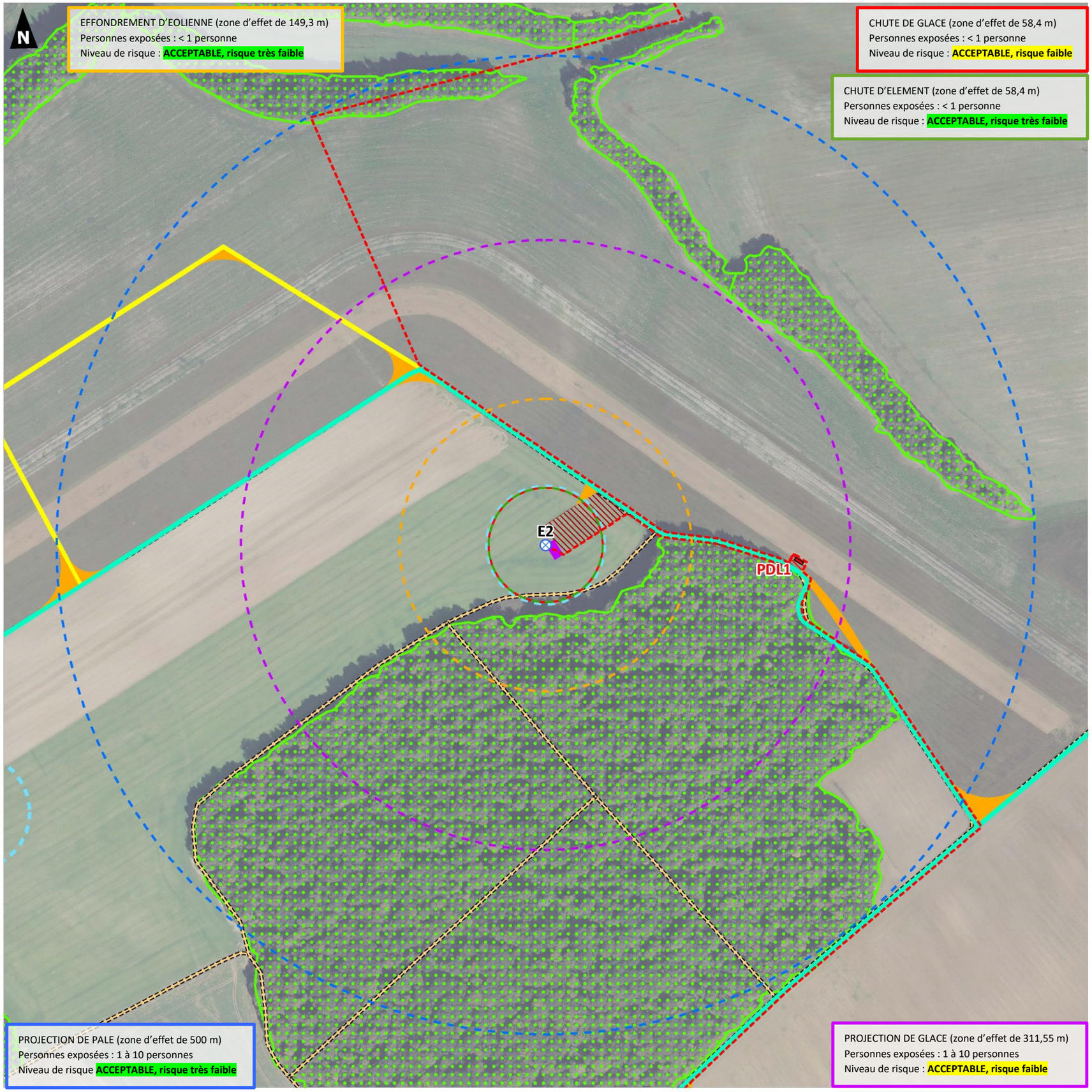
0 100 200

Mètres

1:4 000

(Pour une impression sur format A3 sans réduction de taille)

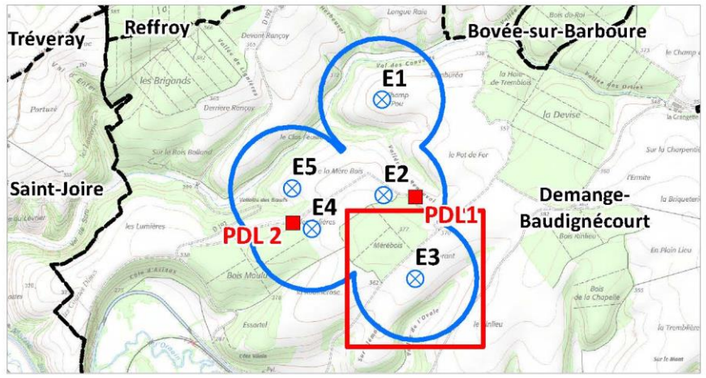
Réalisation : AUDDICE, juillet 2024
Sources de fond de carte : IGN SCAN SCAN 25 - GGE ORTHORVB 55, 2018
Sources de données : IGN ADMIN EXPRESS - BD TOPO - LOCOGEN - AUDDICE, 2024



Projet éolien de Demange-aux-Eaux (55)

Étude de danger

Carte des risques
Eolienne E3



Aire d'étude
- Aire d'étude (500 m)

Projet
- Eoliennes projetées
- Réseau inter éolien
- Poste de livraison
- Aire de survol
- Plateforme de levage
- Plateforme PDL
- Piste VL
- Piste à créer
- Piste à renforcer
- Pan coupé temporaire

Limites administratives
- Limite communale

Enjeux

Réseaux routier et ferroviaire
- Route départementale
- Chemin, sentier
- Voie ferrée

Végétation
- Boisement

Périmètre des zones d'effets des scénarios
- Chute d'élements de l'éolienne (58,4 m)
- Chute de glace (58,4 m)
- Effondrement de l'éolienne (149,3 m)
- Projection de glace (311,55 m)
- Projection de pales ou de fragments de pales (500 m)

0 100 200

Mètres

1:4 000

(Pour une impression sur format A3 sans réduction de taille)

Réalisation : AUDDICE, juillet 2024
Sources de fond de carte : IGN SCAN SCAN 25 - GGE ORTHORVB 55, 2018
Sources de données : IGN ADMIN EXPRESS - BD TOPO - LOCOGEN - AUDDICE, 2024

EFFONDREMENT D'EOLIENNE (zone d'effet de 149,3 m)
Personnes exposées : < 1 personne
Niveau de risque : **ACCEPTABLE, risque très faible**

CHUTE DE GLACE (zone d'effet de 58,4 m)
Personnes exposées : < 1 personne
Niveau de risque : **ACCEPTABLE, risque faible**

CHUTE D'ELEMENT (zone d'effet de 58,4 m)
Personnes exposées : < 1 personne
Niveau de risque : **ACCEPTABLE, risque très faible**

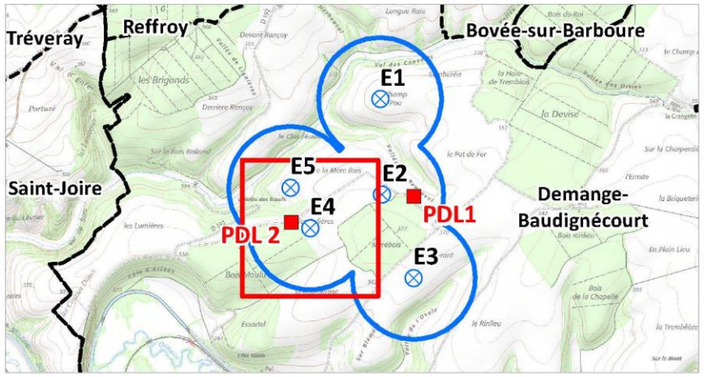
PROJECTION DE PALE (zone d'effet de 500 m)
Personnes exposées : 1 à 10 personnes
Niveau de risque **ACCEPTABLE, risque très faible**

PROJECTION DE GLACE (zone d'effet de 311,55 m)
Personnes exposées : 1 à 10 personnes
Niveau de risque : **ACCEPTABLE, risque faible**

Projet éolien de Demange-aux-Eaux (55)

Étude de danger

Carte des risques
Eolienne E4



Aire d'étude
- Aire d'étude (500 m)

Projet
- Eoliennes projetées
- Réseau inter éolien
- Poste de livraison
- Aire de survol
- Plateforme de levage
- Plateforme PDL
- Piste VL
- Piste à créer
- Piste à renforcer
- Pan coupé temporaire

Limites administratives
- Limite communale

Enjeux

Réseaux routier et ferroviaire
- Route départementale
- Chemin, sentier
- Voie ferrée

Végétation
- Boisement

Périmètre des zones d'effets des scénarios
- Chute d'élements de l'éolienne (58,4 m)
- Chute de glace (58,4 m)
- Effondrement de l'éolienne (149,3 m)
- Projection de glace (311,55 m)
- Projection de pales ou de fragments de pales (500 m)

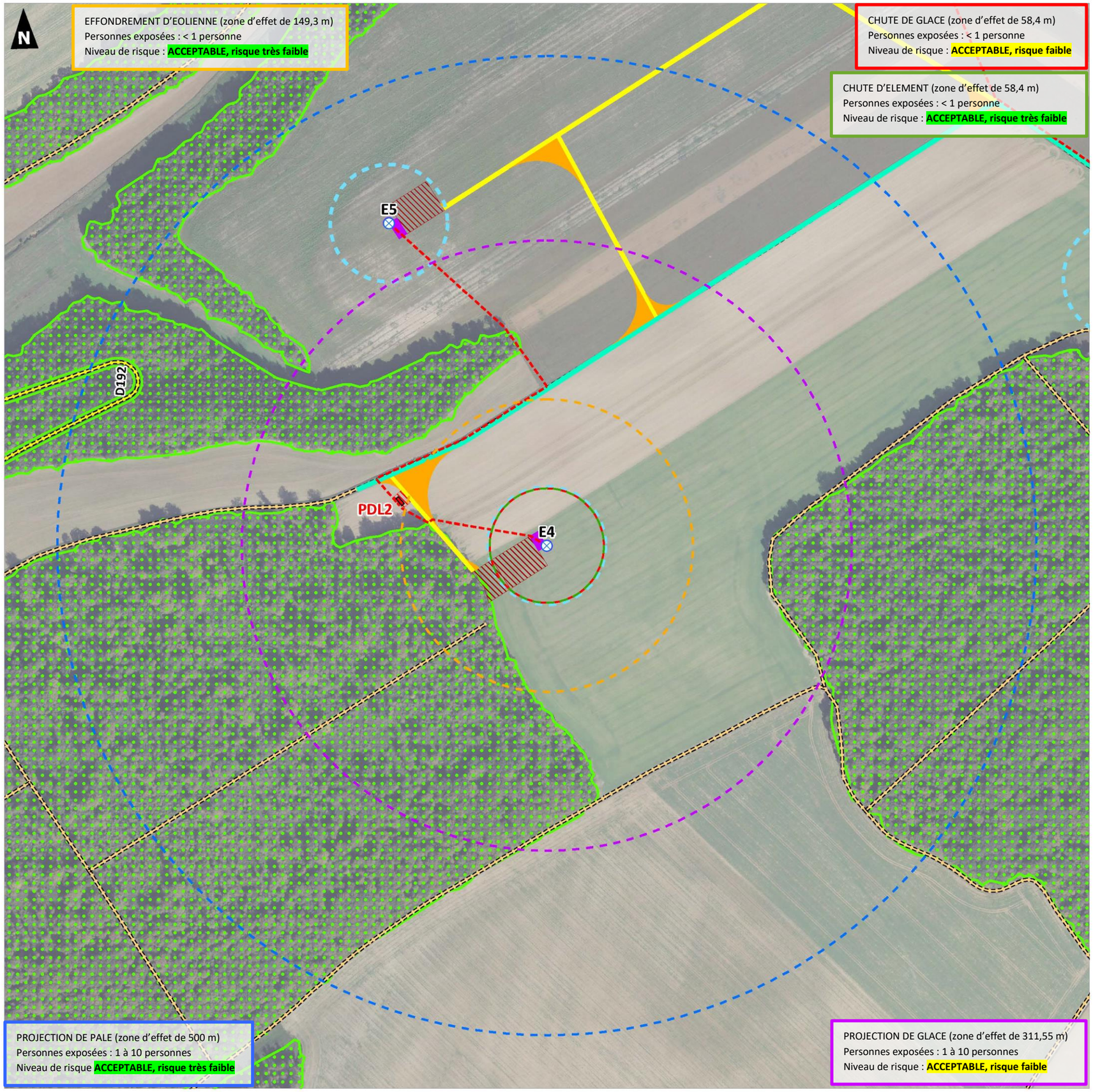
0 100 200

Mètres

1:4 000

(Pour une impression sur format A3 sans réduction de taille)

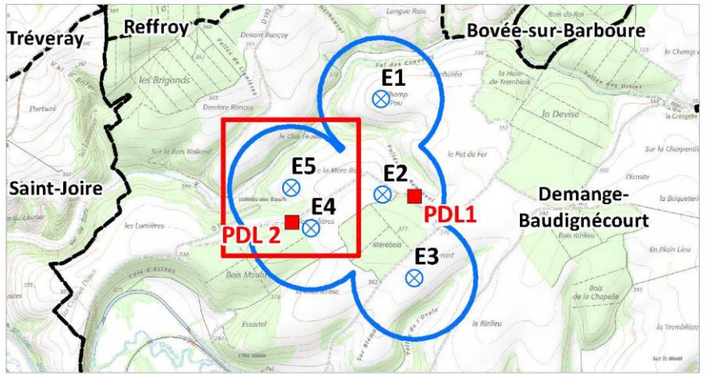
Réalisation : AUDDICE, juillet 2024
Sources de fond de carte : IGN SCAN SCAN 25 - GGE ORTHORVB 55, 2018
Sources de données : IGN ADMIN EXPRESS - BD TOPO - LOCOGEN - AUDDICE, 2024



Projet éolien de Demange-aux-Eaux (55)

Étude de danger

Carte des risques
Eolienne E5



Aire d'étude
- Aire d'étude (500 m)

Projet
- Eoliennes projetées
- Réseau inter éolien
- Poste de livraison
- Aire de survol
- Plateforme de levage
- Plateforme PDL
- Piste VL
- Piste à créer
- Piste à renforcer
- Pan coupé temporaire

Limites administratives
- Limite communale

Enjeux

Réseaux routier et ferroviaire
- Route départementale
- Chemin, sentier
- Voie ferrée

Végétation
- Boisement

Périmètre des zones d'effets des scénarios
- Chute d'élements de l'éolienne (58,4 m)
- Chute de glace (58,4 m)
- Effondrement de l'éolienne (149,3 m)
- Projection de glace (311,55 m)
- Projection de pales ou de fragments de pales (500 m)

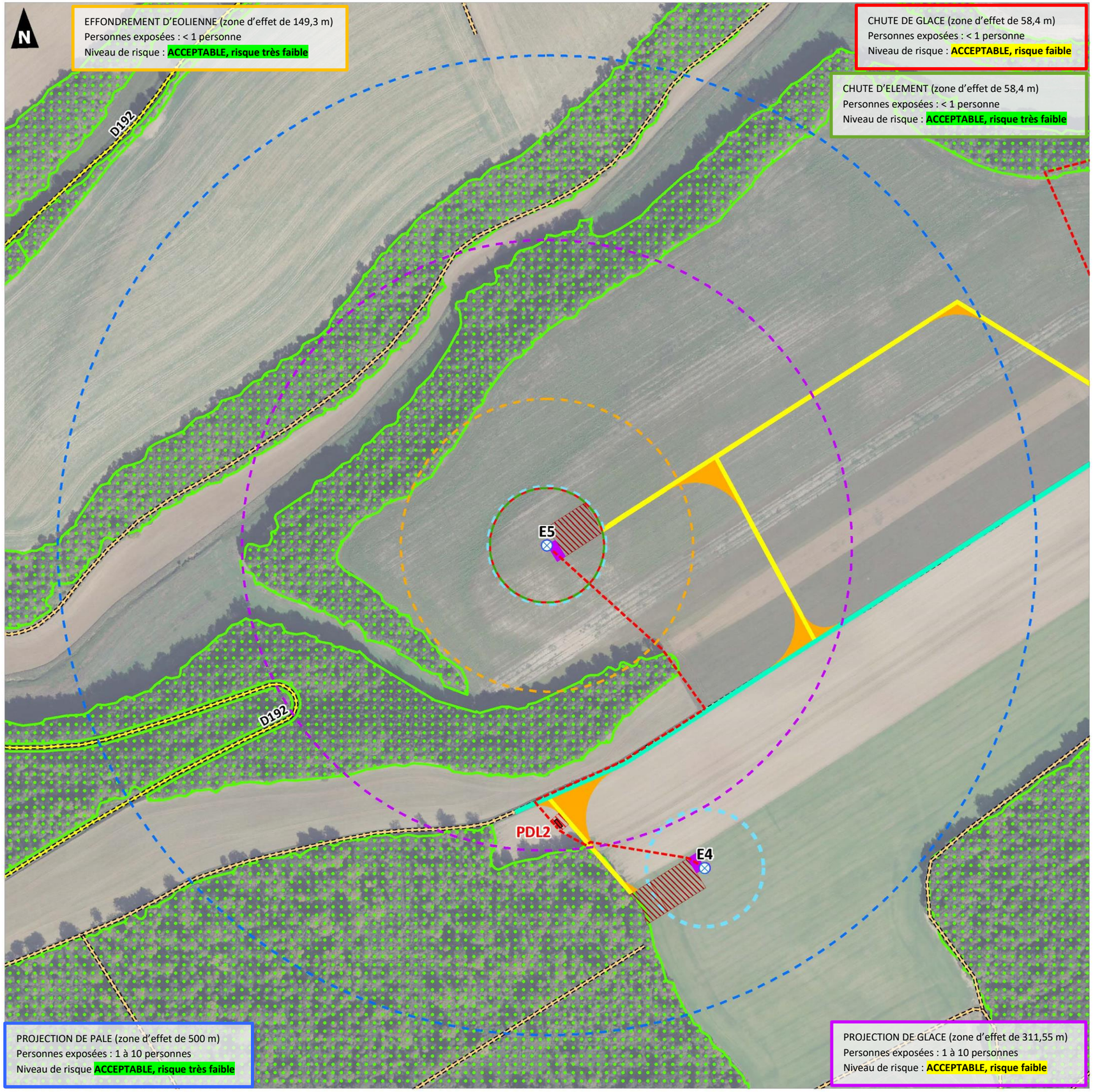
0 100 200

Mètres

1:4 000

(Pour une impression sur format A3 sans réduction de taille)

Réalisation : AUDDICE, juillet 2024
Sources de fond de carte : IGN SCAN SCAN 25 - GGE ORTHORVB 55, 2018
Sources de données : IGN ADMIN EXPRESS - BD TOPO - LOCOGEN - AUDDICE, 2024



CHAPITRE 9. CONCLUSION

Après description de l'installation et de son environnement, il ressort que les potentiels de dangers d'un parc éolien sont relatifs :

- à des causes externes :
  - Présence d'ouvrages (voies de communications) ;
  - Risques naturels (vents violents, foudre, mouvements de terrains, tremblements de terres, inondations) ;
- à des causes internes liées au fonctionnement des machines et aux produits utilisés :
  - Chute d'éléments de l'aérogénérateur (boulons, morceaux d'équipements, pale, etc.) ;
  - Projection d'éléments (morceaux de pale, brides de fixation, etc.) ;
  - Effondrement de tout ou partie de l'aérogénérateur ;
  - Echauffement de pièces mécaniques ;
  - Courts-circuits électriques (aérogénérateur ou poste de livraison).

Une analyse préliminaire des risques a été réalisée, basée d'une part sur l'accidentologie permettant d'identifier les accidents les plus courants et basée d'autre part sur une identification des scénarii d'accidents.

Pour chaque scénario d'accident, l'étude a procédé à une analyse systématique des mesures de maîtrise des risques.

Cinq catégories de scénarii sont ressorties de l'analyse préliminaire et font l'objet d'une étude détaillée des risques :

- Projection de tout ou 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. Une cotation en intensité, probabilité, gravité et cinétique de ces événements permet de caractériser les risques pour toutes les séquences d'accidents.

Une recherche d'enjeux humains vulnérables a été réalisée dans chaque périmètre d'effet des cinq catégories d'accident, permettant de repérer les interactions possibles entre les risques et les enjeux.

La cotation en gravité et probabilité pour chacune des éoliennes permet de classer le risque de chaque scénario selon la grille de criticité employée et inspirée de la circulaire du 10 mai 2010.

Après analyse détaillée des risques, selon la méthodologie de la circulaire du 10 mai 2010, il apparait qu'aucun scénario étudié ne ressort comme inacceptable.

L'exploitant a mis en œuvre des mesures adaptées pour maîtriser les risques :

- l'implantation permet d'assurer un éloignement suffisant des zones fréquentées,
- l'exploitant respecte les prescriptions générales de l'arrêté du 26 août 2011,
- les systèmes de sécurité des aérogénérateurs sont adaptés aux risques.

Les systèmes de sécurité des aérogénérateurs seront maintenus dans le temps et testés régulièrement en conformité avec la section 4 de l'arrêté du 26 août 2011.

Le projet éolien de Demange-aux-Eaux 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 actuelles.

CHAPITRE 10. RESUME NON TECHNIQUE

10.1 Introduction

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

La démarche de l'étude consiste en une identification des dangers, des enjeux vulnérables et des conséquences éventuelles d'accidents. L'ajout systématique de mesures de prévention et/ou de protection doit permettre de diminuer le niveau de risque à un niveau acceptable.

Cette étude se base sur le guide technique version de mai 2012, qui a été réalisé par un groupe de travail constitué de l'INERIS et de professionnels du Syndicat des énergies renouvelables. Dans la suite de l'étude, ce guide sera appelé « guide technique ».

10.2 Présentation de l'installation

Le parc éolien de Demange-aux-Eaux est composé de 5 aérogénérateurs et 2 postes de livraison, localisés sur la commune de Demange-aux-Eaux dans la Meuse.

Carte 12 - Situation du projet, p.73

La zone d'étude (périmètre de 500 m autour des éoliennes) se situe uniquement sur la commune du projet :
Toutes les éoliennes du projet sont identiques.

Caractéristiques	Nordex N117
Eoliennes concernées	Eoliennes de E1 à E6
Puissance unitaire maximale	3,6 MW
Hauteur totale maximale	149,3 m
Hauteur maximale de moyeu	90,9 m
Diamètre maximal du rotor	116 ,8 m
Longueur maximale des pales	57,3 m
Largeur maximale à la base du mât	4,3 m
Corde maximale pale	3,36 m

Tableau 34. Caractéristiques techniques des éoliennes

Eolienne/PDL	Coordonnées (Lambert 93)		Altitude au sol	Hauteur (m) bout de pales)	Altitude en bout de pale	Modèle de machine
	X	Y				
E1	882314	6836913	355	149,3	505	N117
E2	882330	6836134	362	149,3	512	N117
E3	882589	6835456	365	149,3	515	N117
E4	881743	6835860	359	149,3	509	N117
E5	881581	6836190	338	149,3	488	N117
PDL 1	882588	6836117	359	/	/	/
PDL 2	881593	6835907	351	/	/	/

Tableau 35. Coordonnées géographiques des éoliennes et des postes de livraison

Les différents aérogénérateurs, le poste de livraison, les plateformes, les chemins d'accès et les réseaux enterrés sont représentés sur les plans réglementaires.

Cf. Plans réglementaires - Dossier de demande d'autorisation environnementale

Carte 12. Situation du projet

Projet éolien de Demange-aux-Eaux (55)

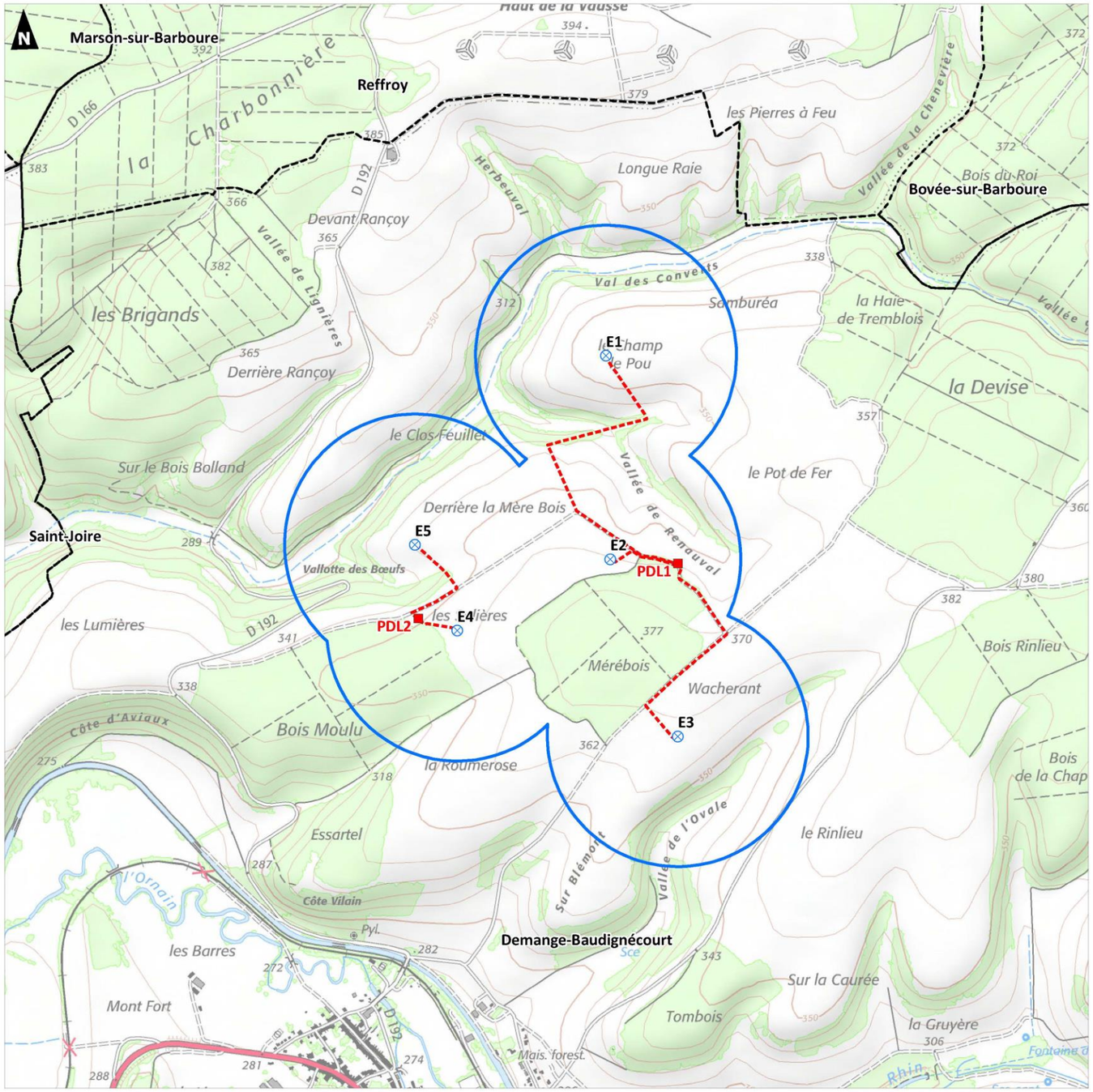
Étude de danger

Carte de situation

Aire d'étude
- Aire d'étude (500 m)

Projet
- Eoliennes projetées
- Poste de livraison
- Réseau inter éolien

Limites administratives
- Limite communale



0 0,5 1
Kilomètres
1:15 000
(Pour une impression sur format A3 sans réduction de taille)

Réalisation : AUDDICE, juillet 2024
Sources de fond de carte : IGN SCAN SCAN 25 et SCAN 1000
Sources de données : IGN ADMIN EXPRESS - LOCOGEN - AUDDICE, 2024

10.3 Identification des dangers et analyse des risques associés

10.3.1 Les sources de dangers

Un parc éolien est soumis aux risques naturels par les dimensions imposantes de l'ouvrage mais également aux risques de défaillance d'équipements constituants l'éolienne.

Les risques naturels sont susceptibles de constituer des agresseurs potentiels et sont donc pris en compte dans l'analyse préliminaire des risques :

- Sismicité
- Mouvements de terrain (aléas glissement de terrain, cavités souterraines, Aléa retrait-gonflement des argiles)
- Foudre
- Vents violents
- Incendies de forêts et de cultures
- Inondations

Des ouvrages (voies de communications par exemple) ou des installations classées à proximité des aérogénérateurs, peuvent présenter également un risque externe.

Les dangers potentiels relatifs au fonctionnement des éoliennes sont recensés dans le tableau suivant :

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

Tableau 36. Dangers potentiels relatifs aux éoliennes

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

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

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

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

Infrastructure	Fonction	Evénement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Distance par rapport au mât de l'éolienne la plus proche
Voies de circulation	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	Pas de voie structurante (fréquentation supérieure à 2 000 véhicules/jour) à moins de 200 m. E5 à 300 m de la RD192
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2 000 m	Non concerné, infrastructure au-delà du périmètre de 2 000 m
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	Non concerné, infrastructure au-delà du périmètre de 200 m
Autres aérogénérateurs (hors parc en projet)	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	Non concerné, infrastructure au-delà du périmètre de 500 m

Tableau 37. Agressions externes liées aux activités humaines

10.3.2 Les enjeux à protéger

Les enjeux dans le périmètre de 500 m autour des aérogénérateurs concernent :

- Des parcelles cultivées,
- Des axes de circulation non structurants (fréquentation inférieure à 2 000 véhicules/j) : route départementale RD192 et chemins d'exploitation,
- Des chemins de randonnées et des boisements.

Les différents enjeux identifiés précédemment apparaissent sur la carte des enjeux présentée page suivante.

Le détail des calculs pour l'aire d'étude de 500 m est le suivant, pour chaque phénomène dangereux identifié, sont comptabilisés l'ensemble des personnes présentes dans la zone d'effet correspondante :

- **Les zones agricoles, en terrains aménagés mais peu fréquentés** (catégorie majorante quant aux victimes potentielles)**, donc 1 personne par tranche de 10 ha.** Elles sont constituées d'éléments disparates : champs, voies de circulation non structurantes (chemins d'exploitation, chemins ruraux faiblement fréquentés...) ;
- **Les voies de communication,** conformément au guide technique, n'ont à être prises en considération que si elles sont empruntées par un nombre significatif de personnes, les voies de circulation non structurantes (inférieures à 2 000 véhicules/jour) étant déjà **comptées dans la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne par tranche de 10 ha),**
- **Les chemins de randonnées et boisements,** en l'absence de données concernant la fréquentation du site et le nombre de personnes concernées, nous l'assimilons à une fréquentation et nous considérerons la catégorie **des terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne par tranche de 10 ha).**

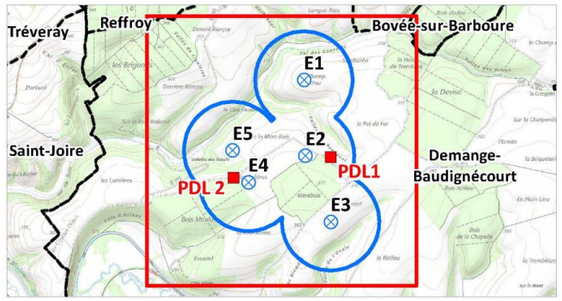
Carte 13. Carte des enjeux de l'étude de danger

Locogen

Projet éolien de Demange-aux-Eaux (55)

Étude de danger

Carte des enjeux



Aire d'étude
- Aire d'étude (500 m)

Projet
- Eoliennes projetées
- Réseau inter éolien
- Poste de livraison
- Aire de survol
- Plateforme de levage
- Plateforme PDL
- Piste VL
- Piste à créer
- Piste à renforcer
- Pan coupé temporaire

Limites administratives
- Limite communale

Enjeux

Réseaux routier et ferroviaire
- Route départementale
- Chemin, sentier
- Voie ferrée

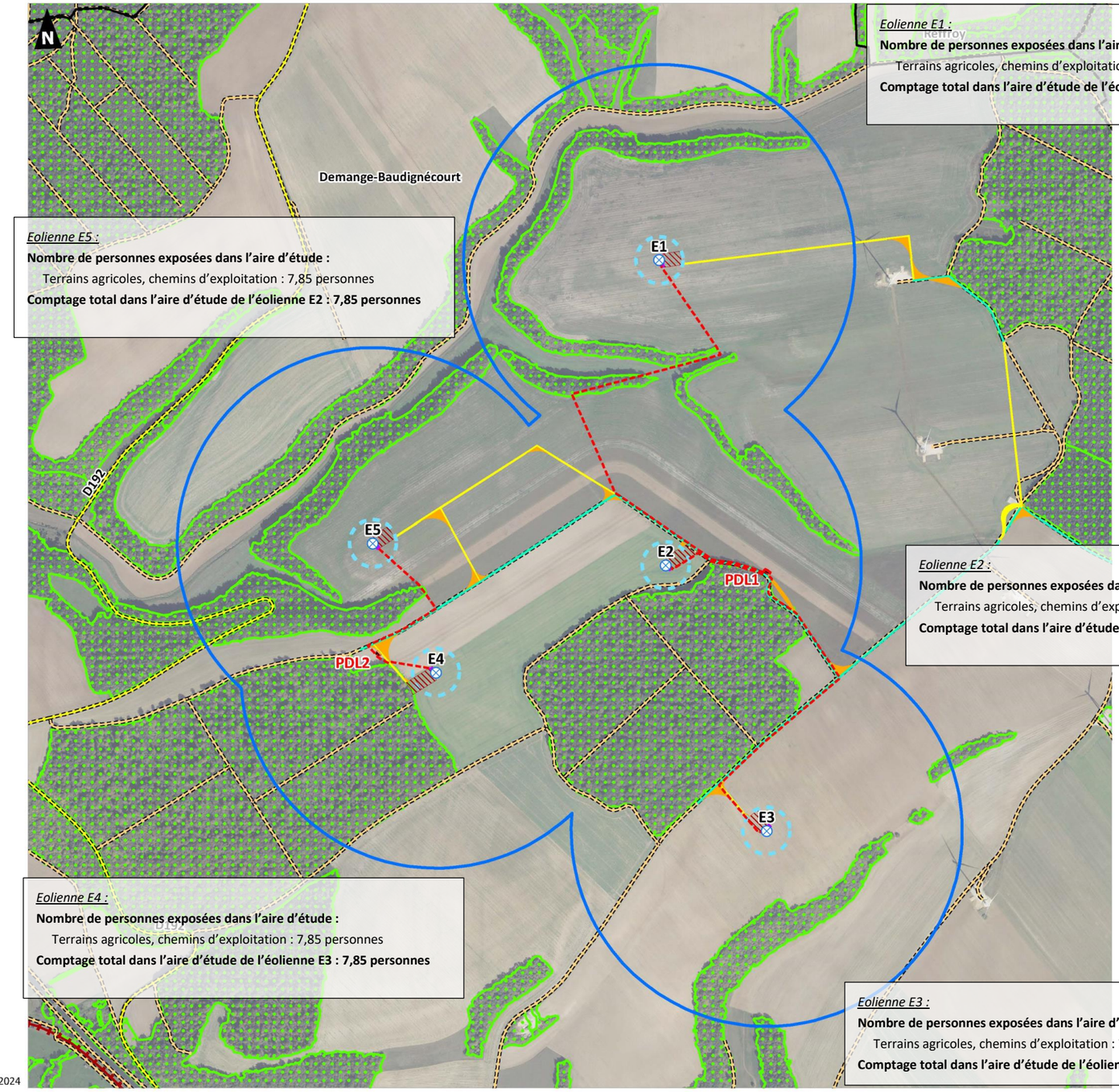
Végétation
- Boisement

0 — 0,5 — 1
Kilomètres

1:10 000
(Pour une impression sur format A3 sans réduction de taille)

auddicé

Réalisation : AUDDICE, juillet 2024
Sources de fond de carte : IGN SCAN SCAN 25 - GGE ORTHORVB 55, 2018
Sources de données : IGN ADMIN EXPRESS - BD TOPO - LOCOGEN - AUDDICE, 2024



Eolienne E1 :
Nombre de personnes exposées dans l'aire d'étude :
Terrains agricoles, chemins d'exploitation : 7,85 personnes
Comptage total dans l'aire d'étude de l'éolienne E1 : 7,85 personnes

Eolienne E5 :
Nombre de personnes exposées dans l'aire d'étude :
Terrains agricoles, chemins d'exploitation : 7,85 personnes
Comptage total dans l'aire d'étude de l'éolienne E2 : 7,85 personnes

Eolienne E2 :
Nombre de personnes exposées dans l'aire d'étude :
Terrains agricoles, chemins d'exploitation : 7,85 personnes
Comptage total dans l'aire d'étude de l'éolienne E1 : 7,85 personnes

Eolienne E4 :
Nombre de personnes exposées dans l'aire d'étude :
Terrains agricoles, chemins d'exploitation : 7,85 personnes
Comptage total dans l'aire d'étude de l'éolienne E3 : 7,85 personnes

Eolienne E3 :
Nombre de personnes exposées dans l'aire d'étude :
Terrains agricoles, chemins d'exploitation : 7,85 personnes
Comptage total dans l'aire d'étude de l'éolienne E1 : 7,85 personnes

10.3.3 Analyse des risques

10.3.3.1 Analyse du retour 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.

Les retours d'expérience de la filière éolienne française et internationale permettent d'identifier les principaux accidents suivants :

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

10.3.3.2 Analyse préliminaire des risques

Une analyse préliminaire des risques sous forme d'un tableau générique est réalisée permettant d'identifier de manière représentative les scénarios d'accident pouvant potentiellement se produire :

- Scénarios relatifs aux risques liés à la glace ;
- Scénarios relatifs aux risques d'incendie ;
- Scénarios relatifs aux risques de fuites ;
- Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments ;
- Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales ;
- Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes.

L'analyse est réalisée de la manière suivante :

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

10.3.3.3 Mesures de maitrise des risques

Afin de limiter les risques d'accidents ou d'incidents liés aux activités du parc éolien, les constructeurs d'aérogénérateurs ont prévus différentes mesures :

- **Systèmes de sécurité contre la survitesse** (freins aérodynamiques passifs et actifs, surveillance de la rotation, détection de la vitesse du vent) ;
- **Systèmes de sécurité contre le risque de vents forts** (coupure de l'éolienne en cas de détection de vents forts) ;
- **Systèmes de sécurité contre le risque électrique** (organes de coupure électrique, isolement, mise à la terre) ;
- **Systèmes contre l'échauffement des pièces mécaniques** (détecteurs de température, systèmes de refroidissement) ;
- **Systèmes de sécurité contre le risque de foudre** (installation anti foudre comprenant un paratonnerre sur la nacelle et les pales) ;
- **Systèmes de sécurité contre le risque d'incendie** (détection de fumée, de température, alarme du centre de contrôle et intervention des moyens de secours) ;
- **Systèmes de sécurité contre le risque de fuite de liquides** (détecteur de niveau de liquide, rétention formée par la structure de l'éolienne) ;
- **Systèmes de sécurité contre la formation du givre** (basés sur la détection et arrêt de l'éolienne, affichage du risque pour les promeneurs) ;
- **Systèmes de sécurité contre le risque d'effondrement de l'éolienne** (conception des fondations basées sur des normes et de l'ingénierie, conception des éoliennes adaptée à la force du vent) ;
- **Systèmes de sécurité contre le risque d'erreurs de maintenance** (formation du personnel, manuel de maintenance).

10.3.3.4 Conclusion de l'analyse préliminaire

Dans le cadre de l'analyse préliminaire des risques génériques des parcs éoliens, trois catégories de scénarios sont exclues de l'étude détaillée, en raison de leur faible intensité : incendie du poste de livraison, incendie de l'éolienne et infiltration de liquides dans le sol.

Les scénarios qui doivent faire l'objet d'une étude détaillée sont les suivants :

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

10.3.4 Etude détaillée des risques

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

10.3.4.1 Cotation de chaque scénario

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

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.

La cotation du risque est basée sur cette réglementation.

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

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

Tableau 38. Classes de probabilité

Tableau de synthèse de l'étude détaillée

Scénario		Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
S1	Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale Soit **149,3** m	Rapide	Exposition modérée	**D**	**Modéré**
S2	Chute de glace	Zone de survol Soit **58,4** m	Rapide	Exposition modérée	**A**	**Modéré**
S3	Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol Soit **58,4** m	Rapide	Exposition modérée	**C**	**Modéré**
S4	Projection de pale ou de fragment de pale	**500** m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	**D**	**Sérieux**
S5	Projection de glace	1,5 x (H + D) autour de l'éolienne Soit **311,55** m	Rapide	Exposition modérée	**B**	**Sérieux**

Tableau 39. Synthèse de la cotation des risques – étude détaillée

Il apparaît au regard de l'étude détaillée qu'aucun accident ne ressort comme inacceptable selon les règles de cotation de la probabilité, de la gravité et de l'utilisation de la matrice d'acceptabilité issue de la circulaire du 10 mai 2010.

10.3.5 Synthèse de l'acceptabilité des risques

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

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

Les scénarii étudiés dans ce chapitre précédent sont synthétisés dans la matrice de la circulaire :

GRAVITÉ des Conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		**S4** (toutes les éoliennes)		**S5** (toutes les éoliennes)	
Modéré		**S1** (toutes les éoliennes)	**S3** (toutes les éoliennes)		**S2** (toutes les éoliennes)

Tableau 40. Cotation des risques selon la matrice de criticité de la circulaire du 10 mai 2010

Légende de la matrice :

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

S1	Effondrement de l'éolienne
S2	Chute de glace
S3	Chute d'élément de l'éolienne
S4	Projection de pale ou de fragments
S5	Projection de glace

Il apparaît au regard de l'étude détaillée que, selon les règles de cotation de la probabilité, de la gravité et de l'utilisation de la matrice d'acceptabilité issue de la circulaire du 10 mai 2010, le risque associé à chaque événement redouté étudié est acceptable quelle que soit l'éolienne considérée.

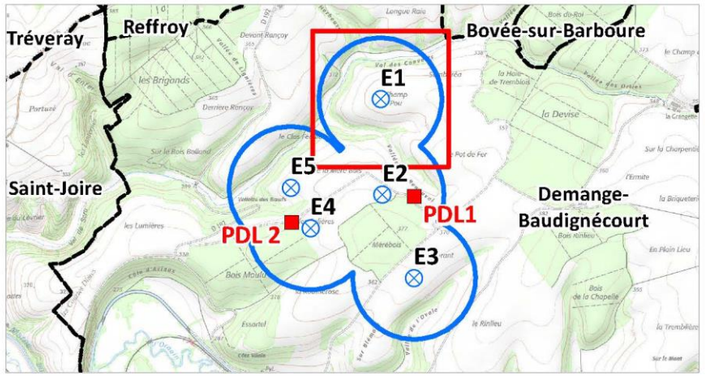
10.3.6 Cartes des risques avec zones de risques et vulnérabilités identifiées.

La cartographie des risques a été réalisée. Elle indique les différents périmètres de risques ainsi que les enjeux vulnérables identifiés.

Projet éolien de Demange-aux-Eaux (55)

Étude de danger

Carte des risques
Eolienne E1



Aire d'étude
- Aire d'étude (500 m)

Projet
- Eoliennes projetées
- Réseau inter éolien
- Poste de livraison
- Aire de survol
- Plateforme de levage
- Plateforme PDL
- Piste VL
- Piste à créer
- Piste à renforcer
- Pan coupé temporaire

Limites administratives
- Limite communale

Enjeux

Réseaux routier et ferroviaire
- Route départementale
- Chemin, sentier
- Voie ferrée

Végétation
- Boisement

Périmètre des zones d'effets des scénarios
- Chute d'élements de l'éolienne (58,4 m)
- Chute de glace (58,4 m)
- Effondrement de l'éolienne (149,3 m)
- Projection de glace (311,55 m)
- Projection de pales ou de fragments de pales (500 m)

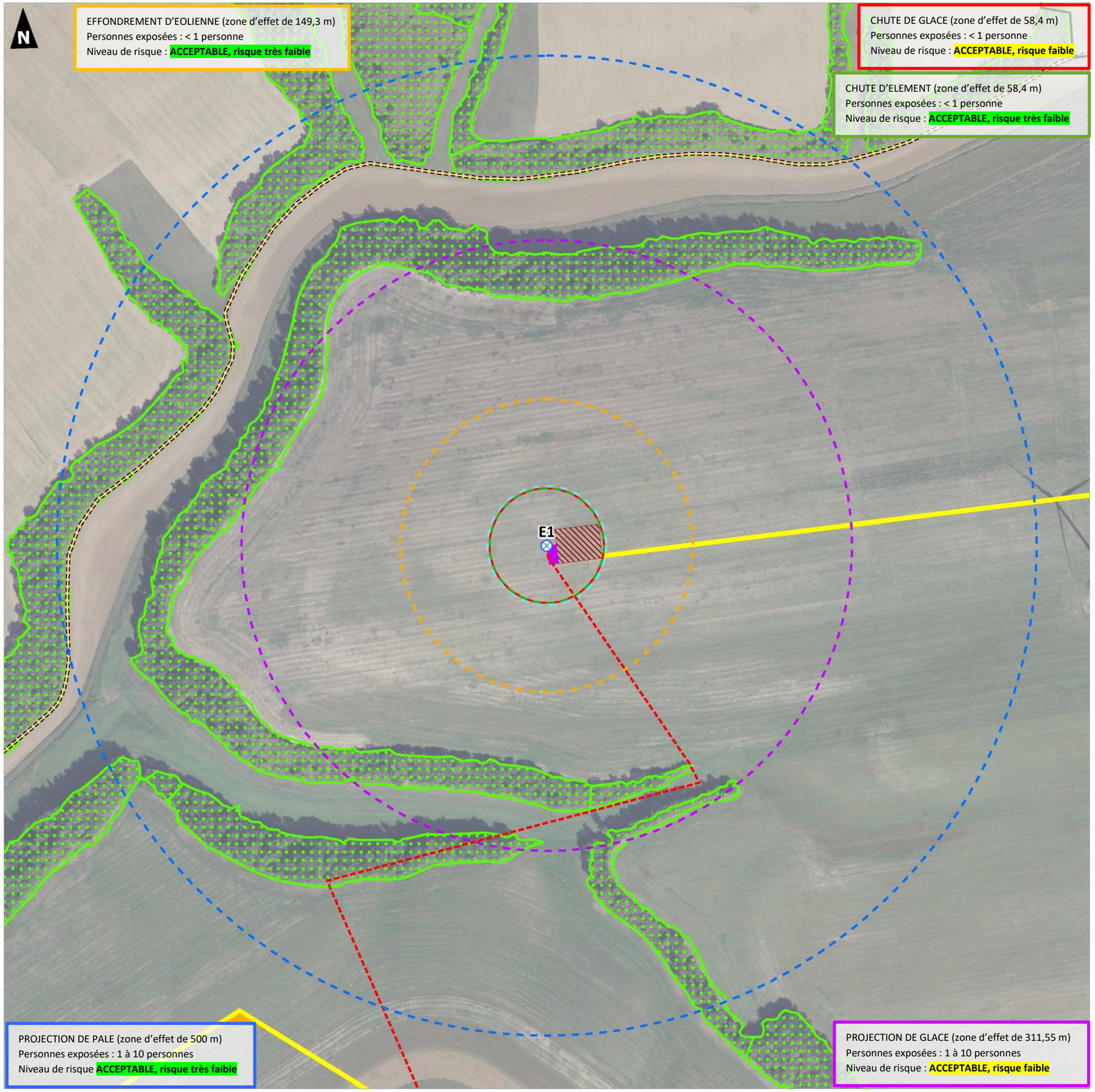
0 100 200

Mètres

1:4 000

(Pour une impression sur format A3 sans réduction de taille)

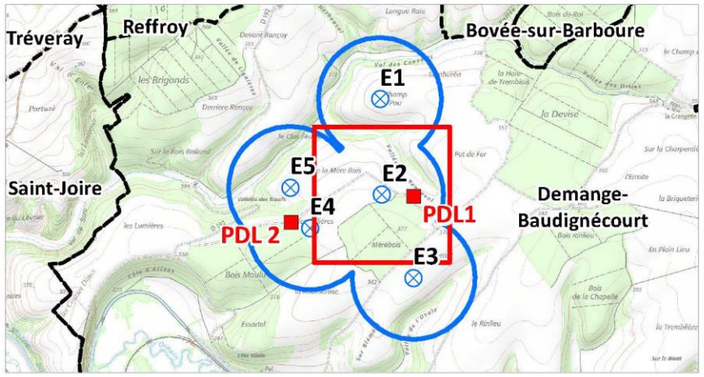
Réalisation : AUDDICE, juillet 2024
Sources de fond de carte : IGN SCAN SCAN 25 - GGE ORTHORVB 55, 2018
Sources de données : IGN ADMIN EXPRESS - BD TOPO - LOCOGEN - AUDDICE, 2024



Projet éolien de Demange-aux-Eaux (55)

Étude de danger

Carte des risques
Eolienne E2



Aire d'étude
- Aire d'étude (500 m)

Projet
- Eoliennes projetées
- Réseau inter éolien
- Poste de livraison
- Aire de survol
- Plateforme de levage
- Plateforme PDL
- Piste VL
- Piste à créer
- Piste à renforcer
- Pan coupé temporaire

Limites administratives
- Limite communale

Enjeux

Réseaux routier et ferroviaire
- Route départementale
- Chemin, sentier
- Voie ferrée

Végétation
- Boisement

Périmètre des zones d'effets des scénarios
- Chute d'élements de l'éolienne (58,4 m)
- Chute de glace (58,4 m)
- Effondrement de l'éolienne (149,3 m)
- Projection de glace (311,55 m)
- Projection de pales ou de fragments de pales (500 m)

0 100 200
Mètres

1:4 000
(Pour une impression sur format A3 sans réduction de taille)

Réalisation : AUDDICE, juillet 2024
Sources de fond de carte : IGN SCAN SCAN 25 - GGE ORTHORVB 55, 2018
Sources de données : IGN ADMIN EXPRESS - BD TOPO - LOCOGEN - AUDDICE, 2024

EFFONDREMENT D'EOLIENNE (zone d'effet de 149,3 m)
Personnes exposées : < 1 personne
Niveau de risque : **ACCEPTABLE, risque très faible**

CHUTE DE GLACE (zone d'effet de 58,4 m)
Personnes exposées : < 1 personne
Niveau de risque : **ACCEPTABLE, risque faible**

CHUTE D'ELEMENT (zone d'effet de 58,4 m)
Personnes exposées : < 1 personne
Niveau de risque : **ACCEPTABLE, risque très faible**

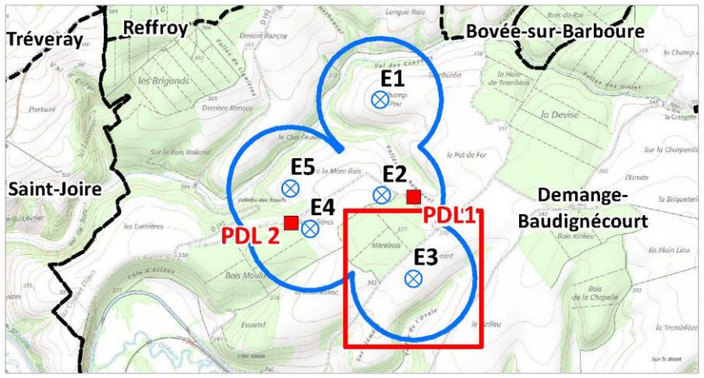
PROJECTION DE PALE (zone d'effet de 500 m)
Personnes exposées : 1 à 10 personnes
Niveau de risque **ACCEPTABLE, risque très faible**

PROJECTION DE GLACE (zone d'effet de 311,55 m)
Personnes exposées : 1 à 10 personnes
Niveau de risque : **ACCEPTABLE, risque faible**

Projet éolien de Demange-aux-Eaux (55)

Étude de danger

Carte des risques
Eolienne E3



Aire d'étude
- Aire d'étude (500 m)

Projet
- Eoliennes projetées
- Réseau inter éolien
- Poste de livraison
- Aire de survol
- Plateforme de levage
- Plateforme PDL
- Piste VL
- Piste à créer
- Piste à renforcer
- Pan coupé temporaire

Limites administratives
- Limite communale

Enjeux

Réseaux routier et ferroviaire
- Route départementale
- Chemin, sentier
- Voie ferrée

Végétation
- Boisement

Périmètre des zones d'effets des scénarios
- Chute d'élements de l'éolienne (58,4 m)
- Chute de glace (58,4 m)
- Effondrement de l'éolienne (149,3 m)
- Projection de glace (311,55 m)
- Projection de pales ou de fragments de pales (500 m)

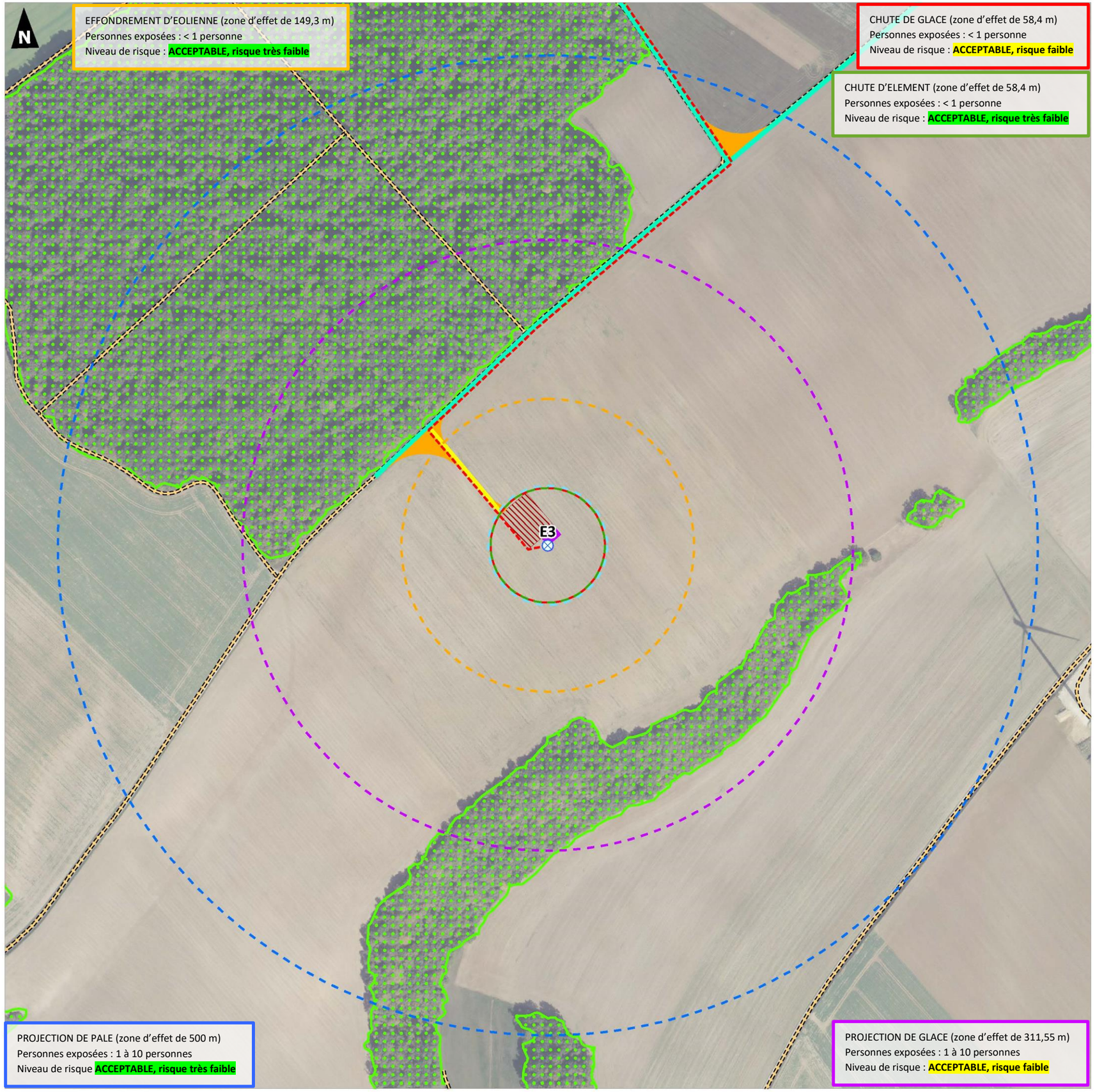
0 100 200

Mètres

1:4 000

(Pour une impression sur format A3 sans réduction de taille)

Réalisation : AUDDICE, juillet 2024
Sources de fond de carte : IGN SCAN SCAN 25 - GGE ORTHORVB 55, 2018
Sources de données : IGN ADMIN EXPRESS - BD TOPO - LOCOGEN - AUDDICE, 2024

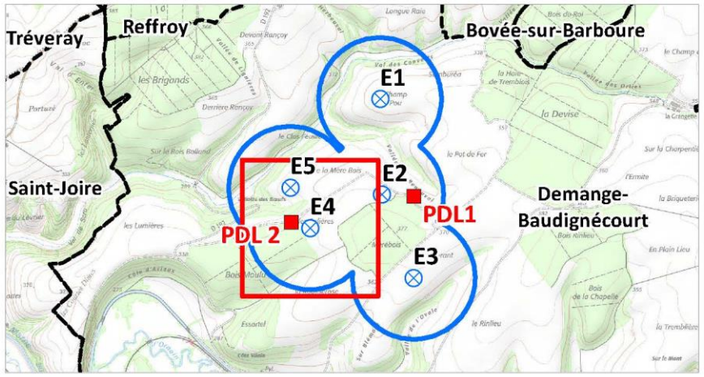


Locogen

Projet éolien de Demange-aux-Eaux (55)

Étude de danger

Carte des risques
Eolienne E4



Aire d'étude
- Aire d'étude (500 m)

Projet
- Eoliennes projetées
- Réseau inter éolien
- Poste de livraison
- Aire de survol
- Plateforme de levage
- Plateforme PDL
- Piste VL
- Piste à créer
- Piste à renforcer
- Pan coupé temporaire

Limites administratives
- Limite communale

Enjeux

Réseaux routier et ferroviaire
- Route départementale
- Chemin, sentier
- Voie ferrée

Végétation
- Boisement

Périmètre des zones d'effets des scénarios
- Chute d'élements de l'éolienne (58,4 m)
- Chute de glace (58,4 m)
- Effondrement de l'éolienne (149,3 m)
- Projection de glace (311,55 m)
- Projection de pales ou de fragments de pales (500 m)

0 100 200

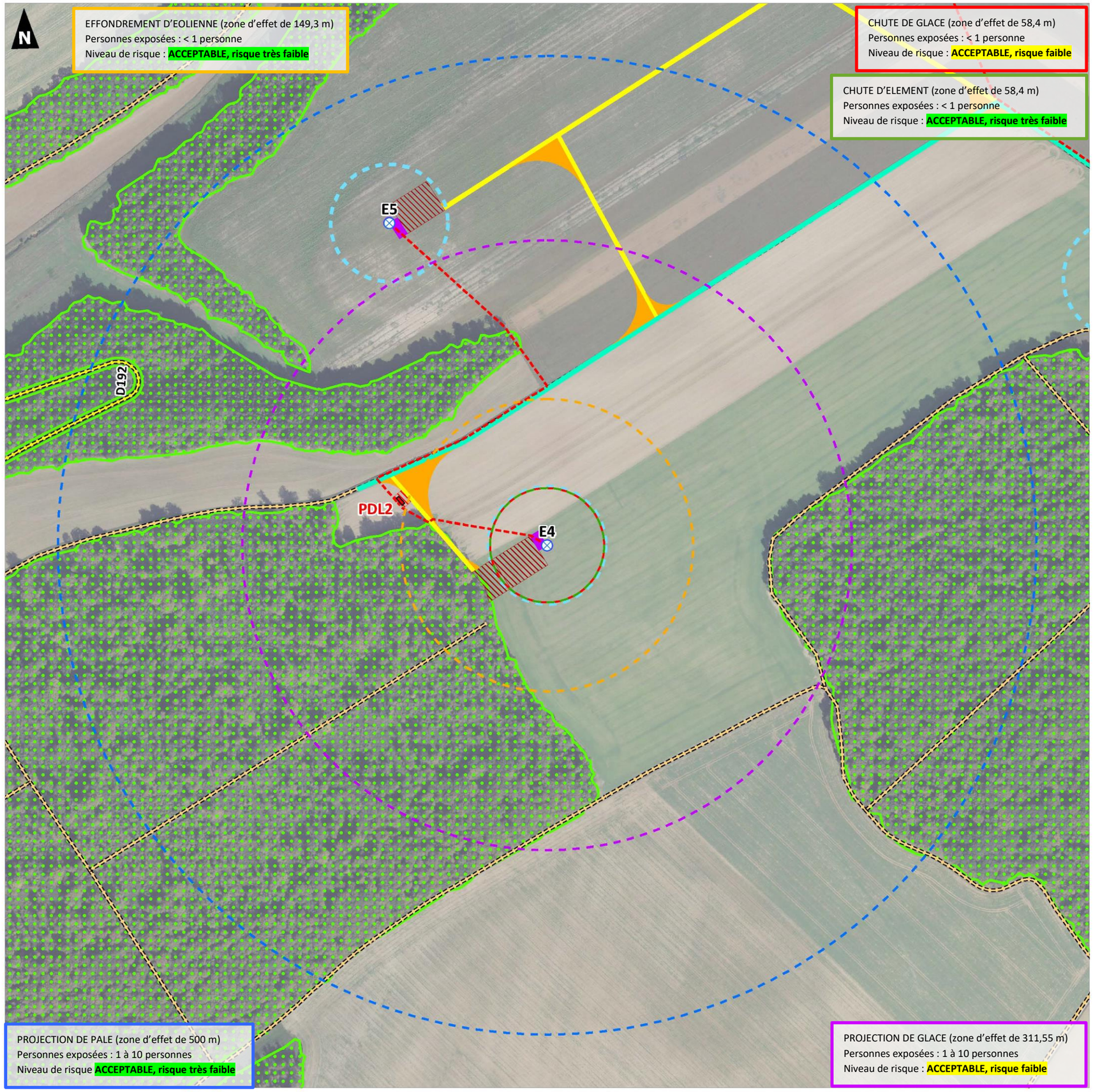
Mètres

1:4 000

(Pour une impression sur format A3 sans réduction de taille)

auddicé

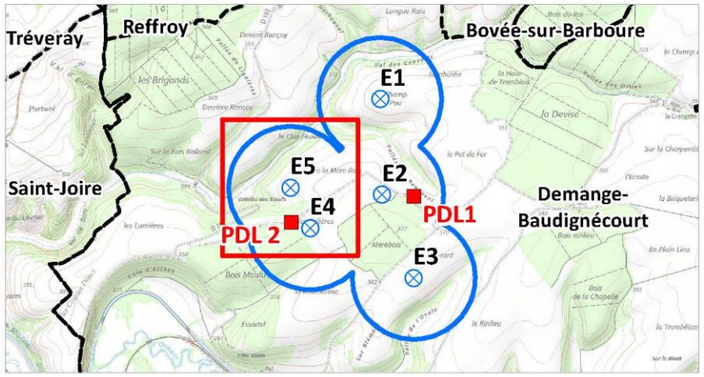
Réalisation : AUDDICE, juillet 2024
Sources de fond de carte : IGN SCAN SCAN 25 - GGE ORTHORVB 55, 2018
Sources de données : IGN ADMIN EXPRESS - BD TOPO - LOCOGEN - AUDDICE, 2024



Projet éolien de Demange-aux-Eaux (55)

Étude de danger

Carte des risques
Eolienne E5



Aire d'étude
- Aire d'étude (500 m)

Projet
- Eoliennes projetées
- Réseau inter éolien
- Poste de livraison
- Aire de survol
- Plateforme de levage
- Plateforme PDL
- Piste VL
- Piste à créer
- Piste à renforcer
- Pan coupé temporaire

Limites administratives
- Limite communale

Enjeux

Réseaux routier et ferroviaire
- Route départementale
- Chemin, sentier
- Voie ferrée

Végétation
- Boisement

Périmètre des zones d'effets des scénarios
- Chute d'élements de l'éolienne (58,4 m)
- Chute de glace (58,4 m)
- Effondrement de l'éolienne (149,3 m)
- Projection de glace (311,55 m)
- Projection de pales ou de fragments de pales (500 m)

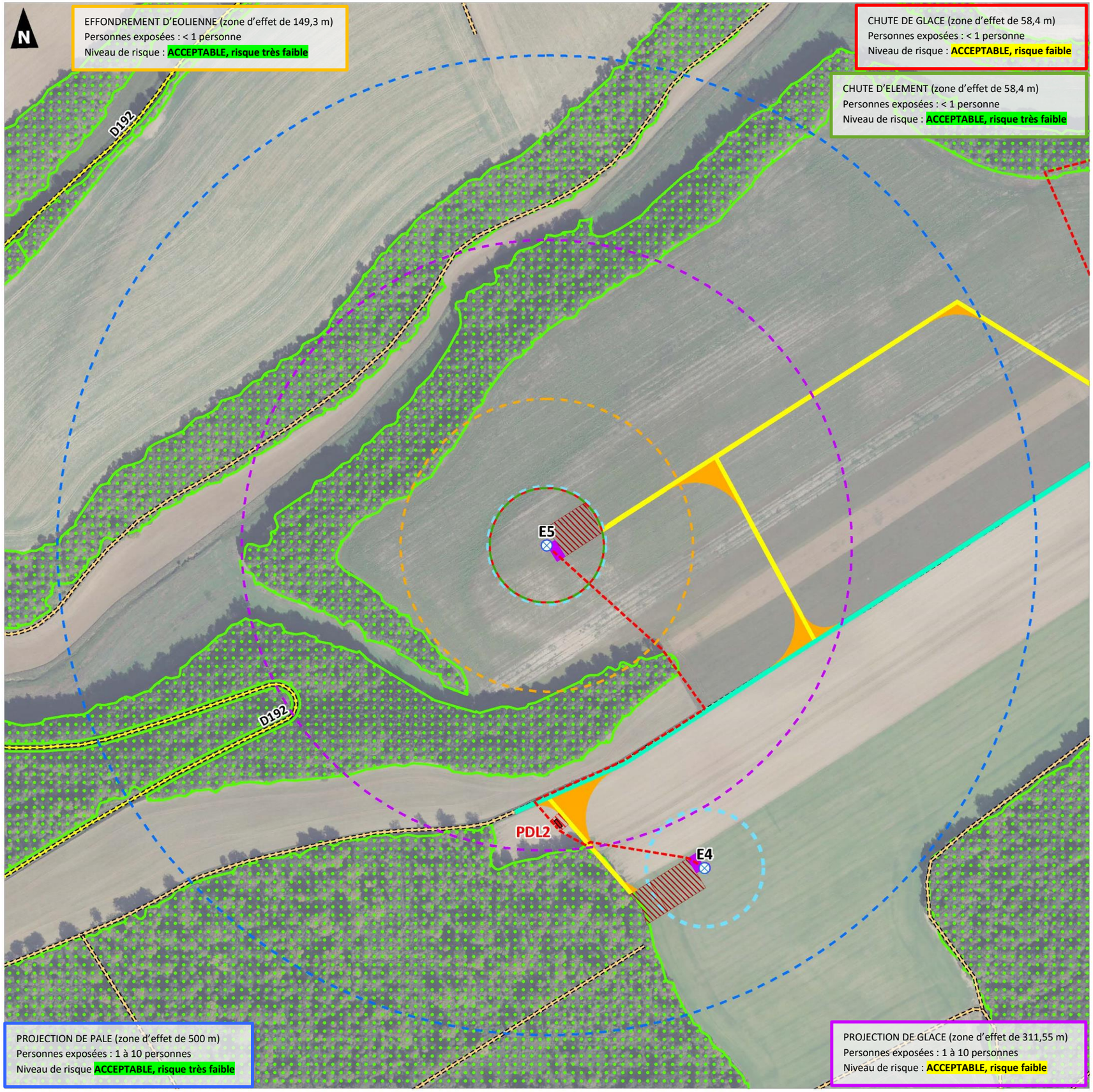
0 100 200

Mètres

1:4 000

(Pour une impression sur format A3 sans réduction de taille)

Réalisation : AUDDICE, juillet 2024
Sources de fond de carte : IGN SCAN SCAN 25 - GGE ORTHORVB 55, 2018
Sources de données : IGN ADMIN EXPRESS - BD TOPO - LOCOGEN - AUDDICE, 2024



10.4 Conclusion

Une analyse préliminaire des risques a été réalisée, basée d'une part sur l'accidentologie permettant d'identifier les accidents les plus courants et basée d'autre part sur une identification exhaustive des scénarios d'accidents.

Pour chaque scénario d'accident, l'étude a procédé à une analyse systématique des mesures de maîtrise des risques.

Cinq catégories de scénarios ressortent de l'analyse préliminaire et font l'objet d'une étude détaillée des risques :

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

Ces scénarios regroupent plusieurs causes et séquences d'accident. Une cotation en intensité, probabilité, gravité et cinétique de ces événements ont permis de caractériser les risques pour toutes les séquences d'accidents.

Une recherche d'enjeux humains vulnérables a été réalisée dans chaque périmètre d'effet des cinq scénarii d'accident, permettant de repérer les interactions possibles entre les risques et les enjeux.

La cotation en gravité et probabilité pour chacune des éoliennes a permis de classer le risque de chaque scénario selon la grille de criticité employée et inspirée de la circulaire du 10 mai 2010.

Après analyse détaillée des risques, selon la méthodologie de la circulaire du 10 mai 2010, il apparait qu'aucun scénario étudié ne ressort comme inacceptable.

L'exploitant a mis en œuvre des mesures adaptées pour maîtriser les risques :

- l'implantation permet d'assurer un éloignement suffisant des zones fréquentées,
- l'exploitant respecte les prescriptions générales de l'arrêté du 26 août 2011,
- les systèmes de sécurités des aérogénérateurs sont adaptés aux risques.

Les systèmes de sécurité des aérogénérateurs seront maintenus dans le temps et testés régulièrement en conformité avec la section 5 de l'arrêté du 26 août 2011.

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 actuelles

ANNEXES

Annexe 1 – Bibliographie

[1] L'évaluation des fréquences et des probabilités à partir des données de retour d'expérience (ref DRA-11-117406-04648A), INERIS, 2011 ;

[2] NF EN 61400-1 Eoliennes – Partie 1 : Exigences de conception, Juin 2006 ;

[3] Wind Turbine Accident data to 31 March 2011, Caithness Windfarm Information Forum ;

[4] Site Specific Hazard Assessment for a wind farm project – Case study – Germanischer Lloyd, Windtest Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH, 2010/08/24;

[5] Guide for Risk-Based Zoning of wind Turbines, Energy research centre of the Netherlands (ECN), H. Braam, G.J. van Mulekom, R.W. Smit, 2005;

[6] Specification of minimum distances, Dr-ing. Veenker ingenieurgesellschaft, 2004;

[7] Permitting setback requirements for wind turbine in California, California Energy Commission – Public Interest Energy Research Program, 2006;

[8] Oméga 10: Evaluation des barrières techniques de sécurité, INERIS, 2005 ;

[9] Arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement ; A ce jour, ce texte est modifié par l'arrêté du 22 juin 2020.

[10] Arrêté du 29 Septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation ;

[11] Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 Juillet 2003 ;

[12] Bilan des déplacements en Val-de-Marne, édition 2009, Conseil Général du Val-de-Marne ;

[13] Arrêté du 29 Septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation ;

[14] Alpine test site Gütsch : monitoring of a wind turbine under icing conditions- R. Cattin etal.;

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

[16] Rapport sur la sécurité des installations éoliennes, Conseil Général des Mines - Guillet R., Leteurtrois J.-P. - juillet 2004 ;

[17] Risk analysis of ice throw from wind turbines, Seifert H., Westerhellweg A., Kröning J. - DEWI, avril 2003;

[18] Wind energy in the BSR: impacts and causes of icing on wind turbines, Narvik University College, novembre 2005.

Annexe 2 – Annexes au guide technique INERIS et compléments à l'accidentologie

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

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

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

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

Terrains non bâtis

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

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

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

Voies de circulation

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

Voies de circulation automobiles

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

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

Nombre de personnes exposées sur voies de communication structurantes en fonction du linéaire et du trafic

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 B – TABLEAU DE L'ACCIDENTOLOGIE FRANÇAISE

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

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

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	25/02/2002	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pale en bois (avec inserts) sur une éolienne bipale	Tempête	Article de presse (La Dépêche du 26/03/2003)	Information peu précise
Rupture de pale	05/11/2003	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts) sur trois éoliennes. Morceaux de pales disséminés sur 100 m.	Dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Article de presse (Midi Libre du 15/11/2003)	-
Effondrement	01/01/2004	Le Portel – Boulogne sur Mer	Pas de Calais	0,75	2002	Non	Cassure d'une pale, chute du mât et destruction totale. Une pale tombe sur la plage et les deux autres dérivent sur 8 km.	Tempête	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (Windpower Monthly May 2004, La Voix du Nord du 02/01/2004)	-
Effondrement	20/03/2004	Loon Plage – Port de Dunkerque	Nord	0,3	1996	Non	Couchage du mât d'une des 9 éoliennes suite à l'arrachement de la fondation	Rupture de 3 des 4 micropieux de la fondation, erreur de calcul (facteur de 10)	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (La Voix du Nord du 20/03/2004 et du 21/03/2004)	-
Rupture de pale	22/06/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50 m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	-
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5m à 50m, mat intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	Incident identique à celui s'étant produit 15 jours auparavant
Rupture de pale	2004	Escales-Conilhac	Aude	0,75	2003	Non	Bris de trois pales		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale + incendie	22/12/2004	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne (survitesse de plus de 60 tr/min)	Survitesse due à une maintenance en cours, problème de régulation, et dysfonctionnement du système de freinage	Base de données ARIA Article de presse (La Tribune du 30/12/2004) Site Vent de Colère	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	2005	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris de pale		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale	08/10/2006	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2004	Non	Chute d'une pale de 20 m pesant 3 tonnes	Allongement des pales et retrait de sécurité (débridage), pas de REX suite aux précédents accidents sur le même parc	Site FED Articles de presse (Ouest France) Journal FR3	-
Incendie	18/11/2006	Roquetaillade	Aude	0,66	2001	Oui	Acte de malveillance: explosion de bonbonne de gaz au pied de 2 éoliennes. L'une d'entre elles a mis le feu en pieds de mat qui s'est propagé jusqu'à la nacelle.	Malveillance / incendie criminel	Communiqués de presse exploitant Articles de presse (La Dépêche, Midi Libre)	-
Effondrement	03/12/2006	Bondues	Nord	0,08	1993	Non	Sectionnement du mât puis effondrement d'une éolienne dans une zone industrielle	Tempête (vents mesurés à 137Kmh)	Article de presse (La Voix du Nord)	-
Rupture de pale	31/12/2006	Ally	Haute-Loire	1,5	2005	Oui	Chute de pale lors d'un chantier de maintenance visant à remplacer les rotors	Accident faisant suite à une opération de maintenance	Site Vent de Colère	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident pendant la phase chantier)
Rupture de pale	03/2007	Clitourps	Manche	0,66	2005	Oui	Rupture d'un morceau de pale de 4 m et éjection à environ 80 m de distance dans un champ	Cause pas éclaircie	Site FED Interne exploitant	-
Chute d'élément	11/10/2007	Plouvien	Finistère	1,3	2007	Non	Chute d'un élément de la nacelle (trappe de visite de 50 cm de diamètre)	Défaut au niveau des charnières de la trappe de visite. Correctif appliqué et retrofit des boulons de charnières effectué sur toutes les machines en exploitation.	Article de presse (Le Télégramme)	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Emballement	03/2008	Dinéault	Finistère	0,3	2002	Non	Emballement de l'éolienne mais pas de bris de pale	Tempête + système de freinage hors service (boulon manquant)	Base de données ARIA	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (événement unique et sans répercussion potentielle sur les personnes)
Collision avion	04/2008	Plouguin	Finistère	2	2004	Non	Léger choc entre l'aile d'un bimoteur Beechcraftch (liaison Ouessant-Brest) et une pale d'éolienne à l'arrêt. Perte d'une pièce de protection au bout d'aile. Mise à l'arrêt de la machine pour inspection.	Mauvaise météo, conditions de vol difficiles (sous le plafond des 1000m imposé par le survol de la zone) et faute de pilotage (altitude trop basse)	Articles de presse (Le Télégramme, Le Post)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident aéronautique)
Rupture de pale	19/07/2008	Erize-la-Brûlée - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale et projection de morceaux de pale suite à un coup de foudre	Foudre + défaut de pale	Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain 22/07/2008)	-
Incendie	28/08/2008	Vauvillers	Somme	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Problème au niveau d'éléments électroniques	Dépêche AFP 28/08/2008	-
Rupture de pale	26/12/2008	Raival - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale		Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain)	-
Maintenance	26/01/2009	Clastres	Aisne	2,75	2004	Oui	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance	Accident électrique (explosion d'un convertisseur)	Base de données ARIA	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Rupture de pale	08/06/2009	Bolléne	Vaucluse	2,3	2009	Oui	Bout de pale d'une éolienne ouvert	Coup de foudre sur la pale	Interne exploitant	Non utilisable dans les chutes ou les projections (la pale est restée accrochée)

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Incendie	21/10/2009	Froidfond - Espinassière	Vendée	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit dans transformateur sec embarqué en nacelle ?	Article de presse (Ouest-France) Communiqué de presse exploitant Site FED	-
Incendie	30/10/2009	Freyssenet	Ardèche	2	2005	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit faisant suite à une opération de maintenance (problème sur une armoire électrique)	Base de données ARIA Site FED Article de presse (Le Dauphiné)	-
Maintenance	20/04/2010	Toufflers	Nord	0,15	1993	Non	Décès d'un technicien au cours d'une opération de maintenance	Crise cardiaque	Article de presse (La Voix du Nord 20/04/2010)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	30/05/2010	Port la Nouvelle	Aude	0,2	1991	Non	Effondrement d'une éolienne	Le rotor avait été endommagé par l'effet d'une survitesse. La dernière pale (entière) a pris le vent créant un balourd. Le sommet de la tour a plié et est venu buter contre la base entrainant la chute de l'ensemble.	Interne exploitant	-
Incendie	19/09/2010	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Emballement de deux éoliennes et incendie des nacelles.	Maintenance en cours, problème de régulation, freinage impossible, évacuation du personnel, survitesse de +/- 60 tr/min	Articles de presse Communiqué de presse SER-FEE	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Maintenance	15/12/2010	Pouillé-les-Côteaux	Loire Atlantique	2,3	2010	Oui	Chute de 3 m d'un technicien de maintenance à l'intérieur de l'éolienne. L'homme de 22 ans a été secouru par le GRIMP de Nantes. Aucune fracture ni blessure grave.		Interne SER-FEE	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Transport	31/05/2011	Mesvres	Saône-et-Loire	-	-	-	Collision entre un train régional et un convoi exceptionnel transportant une pale d'éolienne, au niveau d'un passage à niveau Aucun blessé		Article de presse (Le Bien Public 01/06/2011)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident de transport hors site éolien)
Rupture de pale	14/12/2011	Non communiqué	Non communiqué	2,5	2003	Oui	Pale endommagée par la foudre. Fragments retrouvés par l'exploitant agricole à une distance n'excédant pas 300 m.	Foudre	Interne exploitant	Information peu précise sur la distance d'effet
Incendie	03/01/2012	Non communiqué	Non communiqué	2,3	2006	Oui	Départ de feu en pied de tour. Acte de vandalisme : la porte de l'éolienne a été découpée pour y introduire des pneus et de l'huile que l'on a essayé d'incendier. Le feu ne s'est pas propagé, dégâts très limités et restreints au pied de la tour.	Malveillance / incendie criminel	Interne exploitant	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'incendie)
Rupture de pale	05/01/2012	Widehem	Pas-de-Calais	0,75	2000	Non	Bris de pales, dont des fragments ont été projetés jusqu'à 380 m. Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne).	Tempête + panne d'électricité	Article de presse (La Voix du Nord 06/01/2012) Vidéo DailyMotion Interne exploitant	-

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

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

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

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

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

Scénario G01

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

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

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

ⓘ Note : Si les enjeux principaux seront principalement humains, il conviendra d'évoquer les enjeux matériels, avec la présence éventuelle d'éléments internes au parc éolien (poste de livraisons, sous-stations), ou extérieurs sous le surplomb de la machine.

Scénario G02

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Scénarios relatifs aux risques de fuites (F01 à F02)

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

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

Scénario F01

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

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

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

Deux événements peuvent être aggravants :

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

Scénario F02

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

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

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

Ce scénario est à adapter en fonction des produits utilisés.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Scénario P01

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

Scénario P02

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

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

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

Scénarios P03

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

Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E01 à E10)

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

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

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

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

ANNEXE D – PROBABILITE D'ATTEINTE ET RISQUE INDIVIDUEL

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

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

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

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

$P_{orientation}$ = 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)

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

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

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

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

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

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

ANNEXE 5 –GLOSSAIRE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Attention aux confusions possibles :

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 exposées, ce qui n'est pas toujours le cas, notamment si la cinétique permet une mise à l'abri ;

2. Probabilité d'occurrence d'un accident x sur un site donné et probabilité d'occurrence de l'accident x, en moyenne, dans l'une des N installations du même type (approche statistique).

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

SER : Syndicat des Energies Renouvelables

FEE : France Energie Eolienne (branche éolienne du SER)

INERIS : Institut National de l'EnviRonnement Industriel et des RisqueS

EDD : Etude de dangers

APR : Analyse Préliminaire des Risques

ERP : Etablissement Recevant du Public

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Complément à l'accidentologie listée dans le guide INERIS de mai 2012										
Rupture de pale	15/05/2012	Chemin d'Ablis	Eure-et-Loir	2	2008	Oui	Chute d'une pale de 9 tonnes et rupture du roulement raccordant la pale au hub	Traces de corrosion dans les trous d'alésage traversant une des bagues du roulement	Articles de presse (leFigaro 22/05/2012) et ARIA (n°42919)	-
Effondrement de la tour	30/05/2012	Non communiqué	Aude	0,2	1991	Non	Effondrement de la tour en treillis de 30 m de haut	Rafales de vent à 130 km/h observées durant la nuit	ARIA (n°43110)	-
Projection d'un élément de la pale	01/11/2012	Non communiqué	Cantal	2,5	2011	Oui	Projection d'un élément de 400 g constitutif d'une pale d'éolienne à 70 m du mât		ARIA (n°43120)	-
Incendie	05/11/2012	Non communiqué	Aude	0,66	-	-	Projections incandescentes enflamment 80 m² de garrigue environnante	Câbles électriques non résistants au feu à l'intérieur du mât	ARIA (n°43228)	-
Incendie	17/03/2013		Marne		2011	Oui	Feu dans la nacelle d'une éolienne. Une des pales tombe au sol, une autre menace de tomber.	Défaillance électrique	ARIA (n°43630)	L'exploitant et la société chargée de la maintenance étudient la possibilité d'installer des détecteurs de fumées dans les éoliennes.

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Incendie	09/01/2014		Champagne-Ardenne	2,5	-	-	Feu se déclarant vers 18 h au niveau de la partie moteur d'une éolienne.	Incident électrique	ARIA (n°44831)	-
Rupture de pale	20/01/2014		Aude				Chute de pale liées à la rupture d'une pièce à la base de la pale	Usure prématurée	ARIA (n°44870)	Changement du design des pièces
Rupture de pale	14/11/2014	Sources de la Loire	Ardèche				Chute d'une pale un jour d'orage ou les vents atteignent 130km/h		ARIA (n°45960)	
Rupture de pale	05/12/2014		Aude				Lors d'une inspection, des techniciens de maintenance constatent le détachement de l'extrémité d'une pale	Défaillance matérielle ou à un décollage sur les plaques en fibre de verre	ARIA (n°46030)	
Incendie	24/08/2015		Eure-et-Loir		2007		Le moteur d'une éolienne a pris feu		Article de presse (la république du centre 24/08/2015)	
Chute d'élément	10/11/2015	Ménil-la-Horgne	Meuse	10.5	2007		Chute des trois pales et du rotor d'une éolienne		Article de presse (France 3 Lorraine 14/11/2015 et L'est républicain 13/11/2015)	

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	07/02/2016	Conilhac-Corbières	Aude				Chute de l'aérofrein d'une des pales	Rupture du point d'attache du système mécanique de commande de l'aérofrein	ARIA (n°47675)	
Chute de pale	08/02/2016	Dineault	Finistère	0,3 MW	1999		Une pale chute au sol, un autre se déchire et est retrouvé à 40m du pied du mât		ARIA (n°47680)	
Chute de pale	07/03/2016	Calanhel	Côtes-d'Armor	0,80 MW			Rupture et chute de la pale à 5m du mât.	Rupture du système d'orientation	ARIA (n°47763)	
Détérioration	11/01/2017	Le Quesnoy	Nord				Fissuration d'une pale		Base de données ARIA (N° 49413)	
Chute de pale	12/01/2017	Tuchan	Aude	0,6 M>	2002		3 pales chutent au sol	Défaillance matérielle	Base de données ARIA (N° 49104)	
Chute de pale	18/01/2017	Nurlu	Somme				Décrochage et chute d'une partie de pale	Tempête ?	Article de presse (France 3 Picardie 19/01/2017) Base de données ARIA (N° 49151)	

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	27/02/2017	Parc éolien de Levoncourt	Meuse	2 MW	2011		La pointe d'une pale d'éolienne s'est rompue pendant un orage	Rafale de vent	Base de données ARIA (N° 49359)	
Rupture de pale	27/02/2017	Commune de Trayes	Deux-Sèvres	2 MW	2011		Fragments de pale projetés	Défaillance matérielle	Base de données ARIA (N° 49374)	
Incendie	06/06/2017	Allonnes	Eure-et-Loir				Incendie du moteur de l'éolienne	Défaillance matérielle	Article de presse (L'écho républicain, 06/06/2017) Base de données ARIA (N° 49746)	
Chute de pale	08/06/2017	Aussac-Vadalle	Charente					Foudre	Base de données ARIA (N° 49768)	
Chute de pale	24/06/2017	Conchy-sur-Canche	Pas-de-Calais				Une pale d'une éolienne se brise au niveau de sa jonction avec le rotor	Inconnue	Base de données ARIA (N° 49902)	
Chute d'éléments	17/07/2017	Fécamp	Seine-Maritime				Un aérofrein se détache d'une pale d'éolienne	Défaillance matérielle ou humaine	Base de données ARIA (N° 50291)	L'exploitant étudie l'opportunité d'augmenter la fréquence d'inspection des mécanismes de fixation des aérofreins ou leur modification

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Fuite d'huile	24/07/2017	Mauron	Morbihan					Rupture flexible	Base de données ARIA (N° 50898)	
Rupture de pale	03/08/2017	Parc de l'Osière, commune de Priez	Aisne				Rupture d'une partie de la pale d'éolienne		Article de presse (L'ardennais, 10/08/2017, l'Union 10/08/2017) Base de données ARIA (N° 50148)	
Chute d'éléments	08/11/2017	Commune de Roman	Eure		2010		le carénage de la pointe de la nacelle d'une éolienne tombe au sol	Défaillance dans l'installation	Base de données ARIA (N° 50694)	
Effondrement de l'éolienne	01/01/2018	Parc éolien de Bouin	Vendée	2,4 MW	2003		Effondrement de l'éolienne	Tempête Le protocole des inspections de maintenance ne couvrait pas la liaison mécanique entre le moteur et les freins. L'usure de cet équipement n'a pas été détectée	Presse Base de données ARIA (N° 50913)	
Chute de pale	04/01/2018	Parc éolien de Rampont	Meuse	2 MW	2008		Chute d'une pale d'éolienne	Episode venteux	Base de données ARIA (n°50905 – 04/01/2018)	Les morceaux les plus éloignés sont ramassés à 200 m

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute d'élément	06/02/2018	Parc éolien de Conilhac-Corbières	Aude	2,3 MW	2014		L'aérofrein d'une pale d'éolienne a chuté au sol	Défaut sur l'électronique de puissance	Base de données ARIA (n°51122 – 06/02/2018)	
Incendie	01/06/2018	Parc éolien de Marsanne	Drôme	2 MW	2008		Incendie	Incendie criminel	Communiqué de presse (RES, 01/06/2018) Base de données ARIA (n°51675)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers
Incendie	05/06/2018	Parc éolien du Causse d'Aumelas	Hérault	1,45 MW	2013	Non	Incendie de la nacelle et chute d'éléments au sol	Incendie électrique	Base de données ARIA (n°51681)	
Chute de pale	04/07/2018	Commune de Port-la-Nouvelle	Aude		1993	Non	Dislocation de deux pales d'une éolienne		Base de données ARIA (n° 51853)	Des éléments sont projetés à 150 m du mât après s'être décrochés
Incendie	03/08/2018	Parc des Monts de l'Ain	Ain	2,05 MW	2017		Incendie	Incendie criminel	France 3 Auvergne-Rhône-Alpes (03/08/2018)	
Incendie	28/09/2018	Sauveterre	Tarn		2009		Incendie	Incendie criminel	Base de données ARIA (n°52641)	

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Effondrement de l'éolienne	06/11/2018	Parc éolien de la Vallée du Moulin, commune de Guigneville	Loiret	3 MW	2010		Effondrement de l'éolienne	Une survitesse de rotation des pales de l'éolienne a conduit à une surcharge de contraintes sur la structure	Article de presse (France Info Centre Val de Loire, 07/11/2018) Base de données ARIA N°52558	
Chute d'éléments	18/11/2018	Parc éolien de Conilhac-Corbières	Aude	2,3 MW	2014		Les 3 aérofreins d'une pale d'éolienne a chuté au sol	L'éolienne s'est arrêtée à la suite de l'ouverture de la chaîne de sécurité	Base de données ARIA N° 52653	
Rupture de pale	19/11/2018	Parc éolien des Tournevent du Cos, Commune d'Ollezy	Aisne	2,4 MW	2017		Chute d'un morceau de pale	Défaut de fabrication	Base de données ARIA N°52638	Un morceau de 40 m est au sol à environ 60 m, dans un champ
Chute d'éléments	03/01/2019	Parc éolien de la Limouzinière	Loire Atlantique	2,05 MW	2010		Un feu se déclare au niveau de la nacelle d'une éolienne de 78 m de haut, avec débris au sol et huile enflammée au sol.	Un phénomène harmonique à la fréquence de rotation de la génératrice	Base de données ARIA N°52838	
Incendie	20/01/2019	Commune de Roussas	Drôme	1,75 MW	2006				Base de données ARIA N°52993	
Effondrement d'une éolienne	23/01/2019	Parc éolien de Boutavent	Oise	1,2 MW	2011		Mât de l'éolienne plié en 2 probablement dû à un problème sur le générateur		France 3 Hauts-de-France Base de données ARIA N°53010	Débris retrouvés dans un rayon de 300 m autour de l'éolienne

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute d'une pale	30/01/2019	Parc éolien de Roquetaillade	Aude		2001	Non	La pale d'un aérogénérateur a chuté au sol.	Défaillance matérielle	Ladepeche.fr (19/02/2019) Base de données ARIA N°53139	Incidents similaires déjà produits sur ce parc éolien
Rupture de pale	17/01/2019	Parc éolien du Bambesch	Moselle	2 MW	2007		Bris et projection de plusieurs morceaux de pale	Défaillance matérielle	Le Républicain Lorrain (30/01/2019) Base de données ARIA N° 52967	Deux morceaux, l'un de 5 m (coque) et l'autre de 28 m (fibre de verre), chutent au sol. Celui de 28 m est projeté à 100 m de l'éolienne
Incendie	18/06/2019	Parc éolien de Quesnoy sur Airaines	Somme	> 2,05 MW	2011-2013				Base de données ARIA N°53857	Selon la presse, un court-circuit sur un condensateur est à l'origine du sinistre
Chute d'éléments	25/06/2019	Parc éolien d'Ambon	Morbihan	1,67 MW	2008		Suite à un incendie, des éléments chutent de l'éolienne	Maintenance	Base de données ARIA N°53860	
Rupture de pale	27/06/2019	Parc éolien de la Picoterie, Commune de Charly-sur-Marne	Aisne	2 MW	2009		Projection d'un bout de pale abîmée lors de la mise à l'arrêt suite à une inspection	Défaillance	Base de données ARIA N° 53894	Projection de deux morceaux, l'un à 15 m, l'autre à 100 m
Détérioration	03/07/2019	Port la Nouvelle – Sigean	Aude	0,66	2000		Impact de foudre sur une pale causant une ouverture du bout de la pale	Foudre	Base de données ARIA N° 53955	

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute d'éléments	04/09/2019	Parc éolien d'Escales-Corniilhac	Aube	750 kW	2003		Arrêt brutal suivi de la chute de deux aérofreins	Inconnue	Base de données ARIA N°54407	Débris retrouvés à 5 et 65 m du mât de l'éolienne
Chute d'éléments	28/11/2019	Hangest-en-Santerre	Somme	2,05 MW	2015		Le capot se situant à l'extrémité de la nacelle d'une éolienne se décroche et tombe au sol.	Inconnue	Base de données ARIA N°54761	
Rupture de pale	09/12/2019	Parc éolien de Montjean, commune de la Forêt de Tessé	Charente	2 MW	2016		Pale brisée en plusieurs morceaux	Inconnue	Base de données ARIA N°54810	
Incendie	17/12/2019	Parc éolien de Mont Gomont, Commune d'Ambonville	Haute-Marne	2 MW	2010			Défaillance électrique	Base de données ARIA N°54820	
Chute d'éléments	22/01/2020	Parc éolien de Saint-Seine-L'Abbaye	Côte d'Or		2009		Glissement d'un joint de pale	Défaillance matérielle	Base de données ARIA N°55331	
Rupture de pale	09/02/2020	Parc éolien de Beaurevoir	AIsne	2 MW	2009		Chute d'une pale lors de l'arrêt d'une machine pour maintenance	Tempête	Base de données ARIA N°55055	

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute d'éléments	26/02/2020	Parc éolien de Theil-Rabier	Charente	2 MW	2016		Une pale d'éolienne se rompt et des fragments tombent au sol	Défaillance matérielle	Base de données ARIA N°55311	
Incendie	29/03/2020	Commune de Boisbergues	Somme	2 MW	2015		Fuite d'huile		Base de données ARIA N°55133	
Incendie	24/03/2020	Parc éolien de la Bouleste, commune de Flavin	Aveyron	2 MW	2010			Inconnue	Base de données ARIA N°55294	
Incendie	20/04/2020	Parc éolien de Morne-Carrière, commune du Vauclin	Martinique		2004		Incendie sur éolienne au sol en cours de démantèlement	Présence animale	Base de données ARIA N°55456	