



MAITRE D'OUVRAGE
ÉLECTRICITÉ DE LA SAÔNE LORRAINE
3 Place du Général de Gaulle
88000 EPINAL

Interlocuteur :
Benjamin PERRIN
benjamin.perrin@vent-d-est.com
06 47 13 82 90

BUREAU D'ÉTUDE
BIOTOPE
2 bis, rue Charles Oudille
54600 VILLERS-LÈS-NANCY

Interlocuteur :
Mélanie PICARD
mpicard@biotope.fr

ÉLECTRICITÉ DE LA SAÔNE LORRAINE

**ÉLECTRICITÉ DE LA
SAÔNE LORRAINE**

Demande d'Autorisation Environnementale

Parc éolien de la Colonne Saint-Joseph (88)

13 décembre 2024

Dossier « Étude de dangers »



Citation recommandée : Biotope, Décembre 2024, Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale pour le parc éolien de la Colonne Saint-Joseph (88) – « Étude de dangers » – ÉLECTRICITÉ DE LA SAÔNE LORRAINE. 103 p.

Les éléments mis en évidence par un surlignage bleu dans le présent document correspondent aux éléments révisés en réponse au relevé des insuffisances

Sommaire

1 Résumé non technique de l'étude de dangers	4	39
1.1 Contexte réglementaire et enjeux du projet	4	39
1.1.1 Objectifs de l'étude de dangers	4	39
1.1.2 Contexte législatif et réglementaire	4	40
1.1.3 Nomenclature des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement	5	40
1.2 Présentation du projet et de ses caractéristiques techniques	5	40
1.2.1 Localisation du site et du projet	5	40
1.2.2 Caractéristiques techniques	6	40
1.2.3 Description technique du projet	6	40
1.3 Environnement de l'installation et identification des enjeux	8	43
1.3.1 Environnement humain	8	43
1.3.2 Environnement naturel	9	43
1.3.3 Environnement matériel	10	43
1.3.4 Synthèse des enjeux	11	43
1.4 Potentiel de dangers de l'installation et réduction des risques à la source	11	43
1.4.1 Potentiels de dangers	11	43
1.4.2 Réduction des potentiels de dangers à la source	12	43
1.5 Analyse préliminaire des risques (APR)	12	43
1.5.1 Scénarios exclus	12	43
1.5.2 Effets dominos	12	43
1.6 Étude détaillée des risques	13	43
1.6.1 Rappel des définitions	13	43
1.7 Synthèse des scénarios retenus	14	43
1.7.1 Synthèse de l'acceptabilité des risques	15	43
1.7.2 Cartographie des risques	15	43
1.8 Conclusion	16	43
2 Préambule de l'étude de dangers	17	53
3 Contexte de l'étude et informations générales	18	53
3.1 Objectifs de l'étude de dangers et processus	18	53
3.2 Etapes et démarche générale	18	53
4 Contexte législatif et réglementaire	19	53
5 Nomenclature des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)	20	53
6 Informations générales concernant l'installation	21	53
6.1 Renseignements administratifs	21	53
6.1.1 Origine et présentation de la société porteur du projet	21	53
6.1.2 Identification du demandeur	21	53
6.2 Localisation du site	21	53
6.3 Définition de l'aire d'étude	21	53
7 Description de l'environnement de l'installation	24	53
7.1 Environnement humain	24	53
7.1.1 Zones d'habitat	24	53
7.1.2 Établissements recevant du public	25	53
7.1.3 Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et installations nucléaires de base (INB)	25	53
7.1.4 Autres activités	27	53
7.2 Environnement naturel	28	53
7.2.1 Contexte climatique	28	53
7.2.2 Risques naturels	32	53
7.2.3 Environnement matériel	32	53
7.2.4 Cartographie de synthèse	37	53
8 Description de l'installation	39	53
8.1 Caractéristiques de l'installation	39	53
8.1.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien	39	53
8.1.2 Éléments constitutifs d'un aérogénérateur	39	53
8.1.3 Emprise au sol	40	53
8.1.4 Chemins d'accès	40	53
8.1.5 Autres installations	40	53
8.1.6 Activité de l'installation	40	53
8.1.7 Composition de l'installation	40	53
8.2 Fonctionnement de l'installation	43	53
8.2.1 Principes de fonctionnement d'un aérogénérateur	43	53
8.2.2 Sécurité de l'installation	46	53
8.2.3 Opération de maintenance de l'installation	48	53
8.2.4 Stockage et flux de produits dangereux	51	53
8.3 Fonctionnement des réseaux de l'installation	51	53
8.3.1 Réseau inter-éolien	51	53
8.3.2 Postes de livraison électrique	51	53
8.3.3 Réseau électrique externe	51	53
8.3.4 Autres réseaux	52	53
9 Identification des potentiels de dangers de l'installation	53	53
9.1 Potentiels de dangers liés aux produits	53	53
9.1.1 Inventaires des produits	53	53
9.1.2 Dangers des produits	53	53
9.2 Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation	53	53
9.3 Réduction des potentiels de dangers à la source	54	53
9.3.1 Principales actions préventives	54	53
9.3.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles	55	53
10 Analyse de retours d'expérience	56	56
10.1 Inventaire des accidents et incidents en France	56	56
10.1.1 Base de données consultées	56	56
10.1.2 Inventaires des accidents en France	56	56
10.2 Inventaire des accidents et incidents à l'international	57	56
10.3 Inventaire des accidents majeurs survenus sur les sites de l'exploitant	57	56
10.4 Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience	57	56
10.4.1 Analyse de l'évolution des accidents en France	57	56
10.4.2 Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents	58	56
10.5 Moyens de préventions des accidents et de leurs conséquences	58	56
10.6 Limites d'utilisation de l'accidentologie	58	56
11 Analyse préliminaire des risques	59	59
11.1 Objectifs de l'analyse préliminaire des risques	59	59
11.2 Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques	59	59
11.3 Recensement des agressions externes potentielles	60	59
11.3.1 Agressions externes liées aux activités humaines	60	59
11.3.2 Agressions externes liés aux phénomènes naturels	61	59
11.4 Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques (APR)	61	59
11.5 Effet dominos	64	59
11.6 Mise en place des mesures de sécurité	64	59
11.7 Conclusion de l'analyse préliminaire des risques	69	59
12 Étude détaillée des risques	70	70
12.1 Rappel des définitions	70	70
12.1.1 La cinétique	70	70
12.1.2 L'intensité	70	70
12.1.3 Gravité	71	70
12.1.4 Probabilité	71	70
12.1.5 Acceptabilité	71	70
12.2 Rappel du modèle étudié	71	70
12.3 Caractérisation des scénarios retenus	72	70
12.3.1 Effondrement de l'éolienne	72	70
12.3.2 Chute de glace	73	70
12.3.3 Chute d'éléments de l'éolienne	74	70
12.3.4 Projection de pales ou de fragments de pales	75	70
12.3.5 Projection de glace	76	70
12.4 Synthèse de l'étude détaillée des risques	77	70
12.4.1 Tableau de synthèse des scénarios étudiés	77	70

12.4.2 Synthèse de l'acceptabilité des risques	78	Tableau 40 : Niveau de risque et acceptabilité du phénomène « Projection de morceaux de glace (dans un rayon de RPG = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)	77
12.5 Cartographie des risques	78	Tableau 41 : Synthèse des scénarios étudiés	77
12.6 Conclusion	80	Tableau 42 : Matrice de criticité du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph	78
13 Glossaire	81	Tableau 43 : Synthèse des niveaux d'acceptabilité des risques	80
14 Bibliographie et références utilisées	83		
15 Annexes	84		
Annexe 1 : Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne	84		
I.1 Terrains non bâties	84		
I.2 Voies de circulation	84		
I.3 Logements	84		
I.4 Établissements recevant du public (ERP)	84		
I.5 Zones d'activité	84		
Annexe 2 : Tableau d'accidentologie française	85		
Annexe 3 : Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques	102		
I.6 Scénarios relatifs aux risques liés à la glace (G01 et G02)	102	Figure 1 : Démarche générale de de l'étude de dangers (@Biotope)	18
I.7 Scénarios relatifs aux risques d'incendie (I01 à I07)	102	Figure 2 : Bâtiment de stockage agricole le long de la RD25 (à gauche) et monument de la Colonne Saint Joseph (à droite) (source : capture d'écran GoogleMaps, 2019), tous deux dans l'aire d'étude des dangers	25
I.8 Scénarios relatifs aux risques de fuites (F01 à F02)	102	Figure 3 : Circuit traversant l'aire d'étude des dangers (source : Géoportail et BD Topo IGN)	27
I.9 Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments (C01 à C03)	103	Figure 4 : Les climats de France (Source : Les types de climats en France, une construction spatiale, Daniel JOLY et al.)	28
I.10 Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales (P01 à P06)	103	Figure 5 : Diagramme ombrothermique de la station de Langres (Source : meteoblue)	29
I.11 Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E01 à E10)	103	Figure 6 : Cumul annuel des précipitations mesurées à la station de Langres de 1976 à 1991, puis de 2003 à 2020 (Source : infoclimat.fr)	29
Annexe 4 : Probabilité d'atteinte et risque individuel	103	Figure 7 : Durée d'ensevellement annuel moyen sur la période 1981-2010 au niveau de la station météo de Langres (Source : Infoclimat.fr)	29

Index des tableaux

Tableau 1 : Rubrique de la nomenclature ICPE	20	Figure 8 : Rose des vents à la station météo de Langres (Source : infoclimat.fr)	30
Tableau 2 : Communes concernées par le rayon d'affichage	20	Figure 9 : Occurrences de froid enregistrées à la station de Langres (Source : infoclimat.fr)	30
Tableau 3 : Identification du demandeur	21	Figure 10 : Carte de la ressource éolienne en région de Lorraine : vents moyens à 40 m (Source : SRE Lorraine) – Secteur de projet en rouge	30
Tableau 4 : Risques naturels au sein de l'aire d'étude	32	Figure 11 : Nombre de jours de brouillard, neige et d'orage enregistrés à la station de Langres (Source : infoclimat.fr)	31
Tableau 5 : Nombre équivalent-personnes permanentes dans l'aire d'étude de 78,54 ha par éolienne	37	Figure 12 : Nombre de jour de vents forts enregistrés à la station de Langres (Source : infoclimat.fr)	31
Tableau 6 : Coordonnées géographiques des aérogénérateurs	41	Figure 13 : Nombre de jours de brouillard, neige et d'orage enregistrés à la station de Langres (Source : infoclimat.fr)	31
Tableau 7 : Caractéristiques techniques du modèle d'éoliennes retenu	41	Figure 14 : Nombre de jour de vents forts enregistrés à la station de Langres (Source : infoclimat.fr)	31
Tableau 8 : Description des éléments constitutifs de l'installation du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph	43	Figure 15 : Niveau kéraunique (Nk) par département – Norme NF C 17.100 (Source : energie-foudre.com)	31
Tableau 9 : Sécurisation de l'installation	46	Figure 16 : Localisation des aéroports, aérodromes et plan de servitude aéronautique (PSA) (Source : Géoportail) - ZIP (en rouge) et de l'aire d'étude éloignée (en vert et noire)	33
Tableau 10 : Principaux contrôles effectués pour l'entretien préventif du matériel - Maintenance	49	Figure 17 : Zone d'exclusion du radar des armées de Contrexéville (Source : Courrier de la DIRCAM de 2019) – Localisation approximative du projet par le polygone bleu hachuré de rouge	33
Tableau 11 : Opérations de maintenance supplémentaire	50	Figure 18 : Réseau électrique géré par ENEDIS (https://data.enedis.fr)	34
Tableau 12 : Identification des dangers potentiels de l'installation	54	Figure 19 : Lignes électriques HTA traversant l'aire d'étude des dangers (source : capture d'écran GoogleMaps, 2019)	34
Tableau 13 : Principaux moyens de protection et de préventions adoptés pour réduire les accidents	58	Figure 20 : Distance minimale d'éloignement à respecter par rapport au type de radar	35
Tableau 14 : Principales agressions extérieures potentielles	60	Figure 21 : Schéma descriptif d'un parc éolien terrestre (rapports d'échelle non représentatifs) – Source : ministère de l'Environnement et du développement durable, Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens – Actualisation 2010	39
Tableau 15 : Principales agressions extérieures liées à des phénomènes naturels	61	Figure 22 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur	40
Tableau 16 : Analyse préliminaire des risques	62	Figure 23 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne	40
Tableau 17 : Mesures de sécurité	64	Figure 24 : Schéma des éoliennes du modèle V110-2MW 95m	41
Tableau 18 : Scénarios exclus de l'étude détaillée des risques	69	Figure 25 : Schéma simplifié de la chaîne cinématique	44
Tableau 19 : Degré d'exposition	70	Figure 26 : Illustration d'une nacelle et des éléments pris en compte pour définir les dimensions évoquées précédemment	45
Tableau 20 : Échelle de gravité des conséquences sur l'Homme	70	Figure 27 : Composants de la nacelle	45
Tableau 21 : Échelle de gravité des conséquences sur l'Environnement	71	Figure 28 : Illustration du principe de raccordement électrique des installations	51
Tableau 22 : Matrice de criticité	71	Figure 29 : Localisation du futur poste source de Darney et itinéraire potentiel de raccordement (source : Electricité de la Saône Lorraine)	52
Tableau 23 : Caractéristiques principales du modèle retenu V110-2MW 95m	71	Figure 30 : Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et fin 2022 (source principale : aria.developpement-durable.gouv.fr, analyse : ©Biotope, 2023)	56
Tableau 24 : Intensité du phénomène « Effondrement de l'éolienne » (dans un rayon ≤ hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)	72	Figure 31 : Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2022	57
Tableau 25 : Gravité du phénomène « Effondrement de l'éolienne » (dans un rayon ≤ hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)	72	Figure 32 : Nombre d'accidents recensés en fonction de l'évolution de la filière éolienne (sources : RTE, www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr et www.ecologie.gouv.fr/eolien-terrestre ; analyse : ©Biotope, 2023)	57
Tableau 26 : Probabilité du phénomène « Effondrement de l'éolienne » (dans un rayon ≤ hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)	72		
Tableau 27 : Niveau de risque et acceptabilité du phénomène « Effondrement de l'éolienne » (dans un rayon ≤ hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)	73		
Tableau 28 : Intensité du phénomène « Chute de glace » (dans un rayon ≤ D/2 = zone de survol)	73		
Tableau 29 : Gravité du phénomène « Chute de glace » (dans un rayon ≤ zone de survol)	73		
Tableau 30 : Niveau de risque et acceptabilité du phénomène « Chute de glace » (dans un rayon ≤ zone de survol)	74		
Tableau 31 : Intensité du phénomène « Chute d'éléments de l'éolienne » (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)	74		
Tableau 32 : Gravité du phénomène « Chute d'éléments de l'éolienne » (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)	75		
Tableau 33 : Niveau de risque et acceptabilité du phénomène « Chute d'éléments » (dans un rayon ≤ zone de survol)	75		
Tableau 34 : Intensité du phénomène de « Projection de pale ou de fragment de pale » (zone de 500 m autour de chaque éolienne)	75		
Tableau 35 : Gravité du phénomène « Projection de pale ou de fragment de pale » (zone de 500 m autour de chaque éolienne)	76		
Tableau 36 : Probabilité du phénomène « Projection de pales ou de fragments de pales »	76		
Tableau 37 : Niveau de risque et acceptabilité du phénomène « Projection de pale ou de fragment de pale » (zone de 500 m autour de chaque éolienne)	76		
Tableau 38 : Intensité du phénomène « Projection de morceaux de glace » (dans un rayon de RPG = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)	77		
Tableau 39 : Gravité du phénomène « Projection de morceaux de glace » (dans un rayon de RPG = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)	77		

Index des cartes

Carte 1 : Localisation du site	22		
Carte 2 : Aire d'étude des dangers	23		
Carte 3 : Environnement humain	26		
Carte 4 : Environnement naturel et matériel	36		
Carte 5 : Synthèse des enjeux	38		
Carte 6 : Plan détaillé de l'installation	42		
Carte 7 : Synthèse des risques	79		

1 Résumé non technique de l'étude de dangers

Auteurs de l'étude

Biotope – Agence Grand Est
2 bis, rue Charles Oudille
54603 VILLERS LES NANCY Cedex
Tél. : +33 (0)3 83 28 25 42
E-mail : grandest@biotope.fr



Rédactrice principale : Pauline RENAUT, Cheffe de projet
Relecture et compléments rédactionnels : Mélanie PICARD, Directrice d'études
Contrôle qualité : Béatrice BOUCHÉ, Responsable d'agence et directrice d'études

Identification du demandeur

Demandeur	ÉLECTRICITÉ DE LA SAÔNE LORRAINE
Forme juridique	Fond commun de créances (FCC), également appelé en anglais Special purpose vehicle (SPV)
Code NAF	Production d'électricité (3511Z) 7490B
Adresse	3 Place du Général de Gaulle 88000 EPINAL
N° SIREN	881340186
N° SIRET	88134018600017
Immatriculation RCS	Epinal B 881 340 186
Capital Social	550 000 €
Président(e)	VENT D'EST

1.1 Contexte réglementaire et enjeux du projet

La société ÉLECTRICITÉ DE LA SAÔNE LORRAINE envisage d'implanter un parc éolien sur les communes de Serécourt et Isches, dans le département des Vosges (88), en région Grand Est.

Ce projet porte sur la création d'un parc éolien terrestre, comprenant cinq éoliennes de 149 mètres de hauteur maximale (pales comprises) et d'une puissance unitaire de 2 MW. La puissance totale maximale envisagée de ce projet sera de 10 MW.

1.1.1 Objectifs de l'étude de dangers

L'étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par la société ÉLECTRICITÉ DE LA SAÔNE LORRAINE pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, autant que technologiquement réalisable et économiquement acceptable, que leurs causes soient intrinsèques aux substances ou matières utilisées, liées aux procédés mis en œuvre ou dues à la proximité d'autres risques d'origine interne ou externe à l'installation.

Cette étude est proportionnée aux risques présentés par les éoliennes du projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph. 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 projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, qui réduisent le risque à l'intérieur et à l'extérieur des éoliennes à un niveau jugé acceptable par l'exploitant.

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

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

1.1.2 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. 512-1, l'étude de dangers expose les risques que peut présenter l'installation pour les intérêts visés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation.

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 font l'objet d'une évaluation détaillée au sein de l'étude d'impact.

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

Selon le principe de proportionnalité, le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte tenu de son environnement et de sa vulnérabilité.

Ce contenu est défini par l'article R. 512-9 du Code de l'environnement :

- Description et caractérisation de l'environnement 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 ;
- Etude détaillée de réduction des risques ;
- Quantification et hiérarchisation des différents scénarios en termes 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.

1.1.3 Nomenclature des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

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

Rubrique	Désignation de l'activité	Caractéristiques de l'installation	Régime	Rayon d'affichage
2980	Installation terrestre de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs : 1. Comportant au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m.	5 éoliennes présentant une hauteur de moyenne de 95 mètres et un diamètre rotor de 110 mètres. La hauteur en bout de pale des éoliennes est de 149 mètres. Puissance nominale : 2 MW	Autorisation	6 km

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

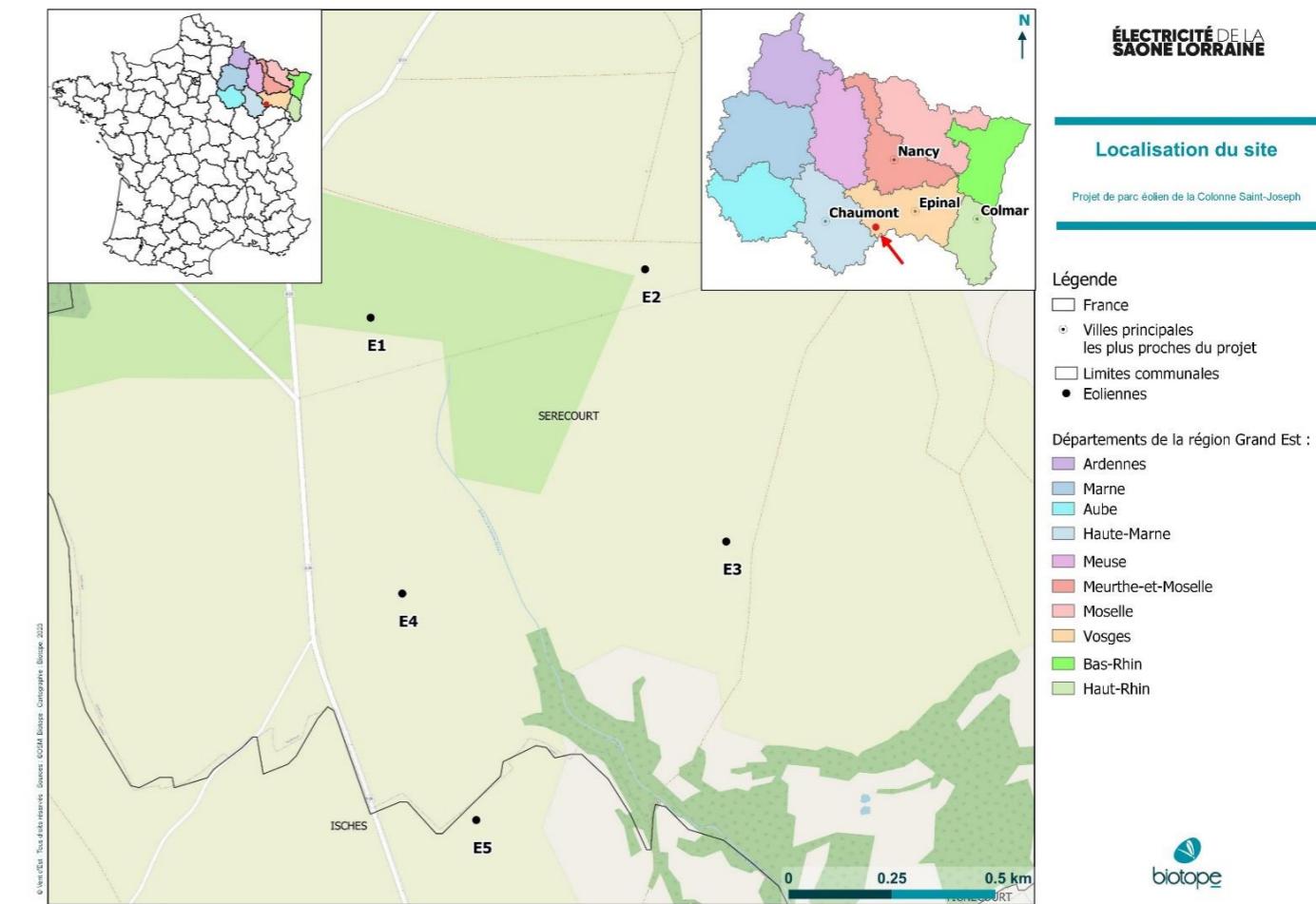
1.2 Présentation du projet et de ses caractéristiques techniques

1.2.1 Localisation du site et du projet

Le projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, composé de cinq aérogénérateurs et d'un poste de livraison, est localisé sur les communes de Serécourt et Isches, dans le département des Vosges (88), en région Grand Est.

Le parc s'inscrit en contexte agricole ouvert.

La carte suivante présente la localisation du projet.



1.2.2 Caractéristiques techniques

Trois modèles d'éoliennes ont été envisagés dans le cadre du projet de la Colonne Saint-Joseph. C'est finalement le modèle Vestas V110 à 95 m qui a été retenu.

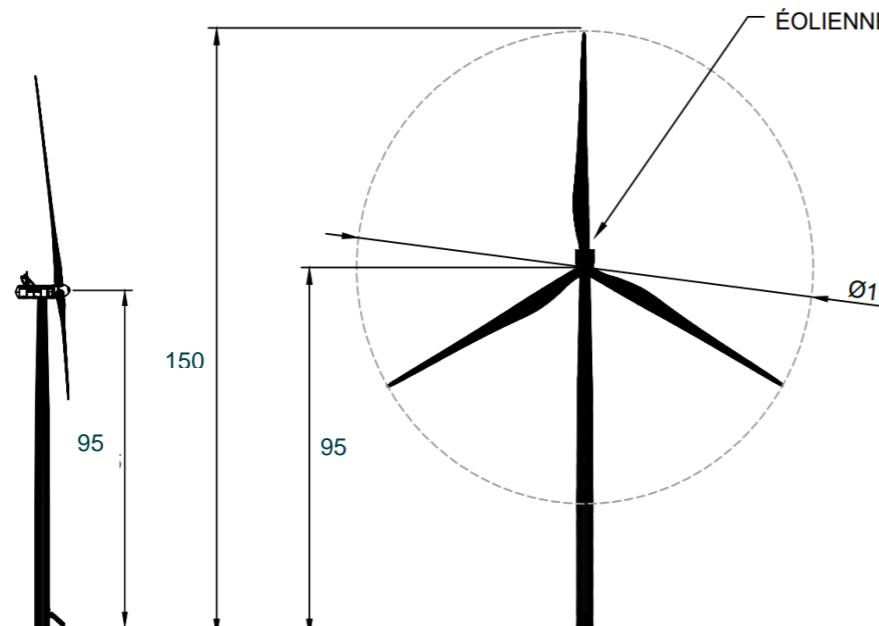


Schéma des éoliennes du modèle V110-2MW 95m

Les aérogénérateurs ont une hauteur de moyeu de 95 mètres et un diamètre de rotor de 110 mètres. La hauteur bout de pale des éoliennes est de 149 mètres.

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

Numéro de l'éolienne	Coordonnées X Lambert 93	Coordonnées Y Lambert 93	Altitude du terrain naturel en mètres NGF	Altitude en bout de pale en mètres NGF
E01	910779,755	6775338,64	395	544
E02	911443,24	6775465,64	393	542
E03	911639,43	6774807,32	369	518
E04	910856,25	6774681,61	368	517
E05	911035,17	6774133,86	361	510
PDL	910849,18	6774088,37	366	-

Altitude en mètre NGF : d'après les courbes de niveau IGN. Valeur brute ou +149m.

Le projet éolien de la Colonne Saint-Joseph est composé de cinq aérogénérateurs et d'un poste de livraison.

Les aérogénérateurs ont une hauteur de moyeu de 95 mètres et une longueur de pale de 54 mètres. La hauteur en bout de pale des éoliennes sera de 149 mètres.

1.2.3 Description technique du projet

1.2.3.1 Description du parc éolien

Un parc éolien est une centrale de production d'électricité à partir de l'énergie du vent. Il est composé de plusieurs aérogénérateurs et de leurs annexes :

- Plusieurs éoliennes fixées sur une fondation adaptée, accompagnée d'une aire stabilisée appelée « plateforme » ou « aire de grutage » ;
- Un réseau de câbles électriques enterrés permettant d'évacuer l'électricité produite par chaque éolienne vers le ou les poste(s) de livraison électrique (appelé « réseau inter-éolien ») ;
- Un ou plusieurs poste(s) de livraison électrique, concentrant l'électricité des éoliennes et organisant son évacuation vers le réseau public d'électricité au travers du poste source local (point d'injection de l'électricité sur le réseau public) ;
- Un réseau de câbles enterrés permettant d'évacuer l'électricité regroupée au(x) poste(s) de livraison vers le poste source (appelé « réseau externe ») et appartenant le plus souvent au gestionnaire du réseau de distribution d'électricité) ;
- Un réseau de chemins d'accès ;
- Éventuellement des éléments annexes type mât de mesure de vent, aire d'accueil du public, aire de stationnement, etc.
- La mise en place d'un parc éolien nécessite à la fois des aménagements qui ont vocation à exister pendant toute la vie du parc ; mais également d'aménagement de zones temporaires qui seront utiles pendant la phase de travaux.

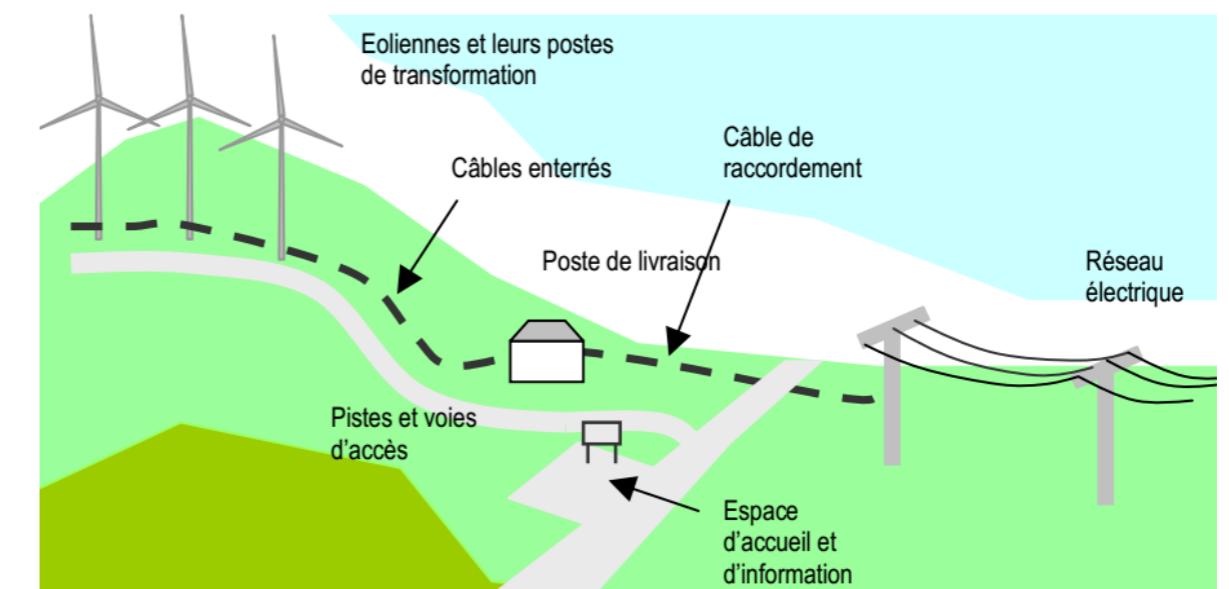


Schéma descriptif d'un parc éolien terrestre (rapports d'échelle non représentatifs) – Source : ministère de l'Environnement et du développement durable, Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens – Actualisation 2010)

Éléments constitutifs d'un parc éolien	Caractéristiques pour le projet de parc éolien terrestre de la Colonne Saint-Joseph
Éoliennes	Les éoliennes sont composées de : <ul style="list-style-type: none"> • 3 pales réunies au moyeu, formant un « rotor » de 110 mètres de diamètre ; • Une nacelle à laquelle est rattachée le rotor, qui abrite différents éléments fonctionnels de l'éolienne (générateur, système de freinage, balisages, outils de mesures...) ; • Un mât de 95 mètres de haut, supportant la nacelle et le rotor.
Fondations	Elles assurent l'amarrage de chaque éolienne au sol. Les fondations sont bétonnées et sont dimensionnées pour que les éoliennes résistent aux vents extrêmes.
Poste de livraison et raccordement électrique	Le tracé retenu pour les liaisons électriques internes (carte suivante) tient compte des sensibilités environnementales du site, et notamment écologiques, de façon à éviter toute nuisance liée à l'aménagement de ce dernier. Pour faire l'interface entre le réseau électrique des éoliennes et le réseau d'acheminement de l'électricité produite vers le réseau national, un poste de livraison sera situé à proximité des éoliennes.
Pistes d'accès	Sur le site, le choix a été fait d'utiliser au maximum les chemins existants (renforcement et élargissement si nécessaire) afin de limiter la création de nouveaux chemins. Les chemins nouvellement créés respectent aux mieux les milieux et pratiques agricoles, et tiennent compte des sensibilités écologiques du site.

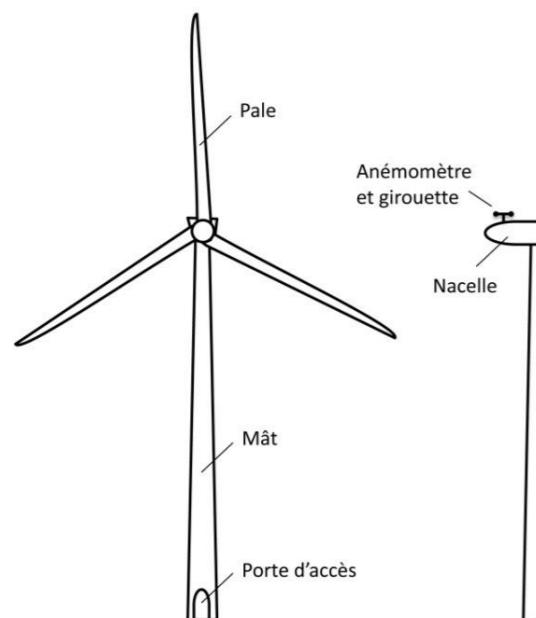


Schéma simplifié d'un aérogénérateur

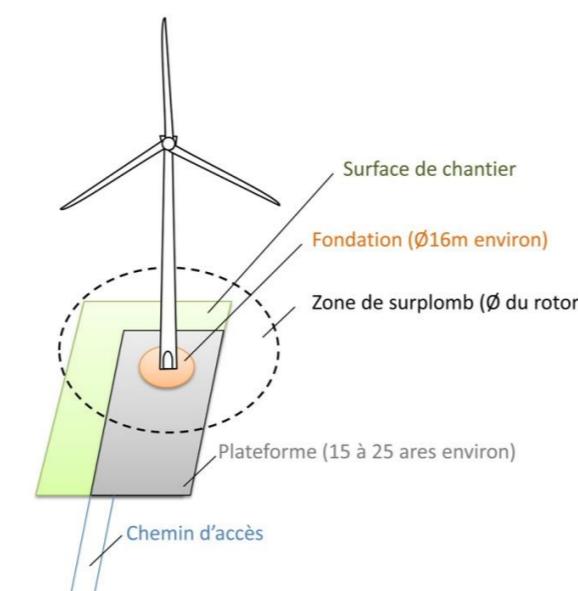


Illustration des emprises au sol d'une éolienne

La localisation des différents éléments constitutifs du parc est présentée sur la carte suivante.



ÉLECTRICITÉ DE LA
SAÔNE LORRAINE

Aménagements du projet

- Eoliennes
- Plateformes
- Poste de livraison
- Zones de stockage temporaires
- Accès à créer
- Accès existants à renforcer
- Raccordement électrique interne

biotope

1.2.3.2 Sécurité de l'installation

Les aérogénérateurs seront conformes aux dispositions de la norme NF EN 61 400-1 dans sa version en vigueur ou CEI 61 400-1 dans sa version en vigueur ou toute norme équivalente en vigueur dans l'Union européenne, à l'exception des dispositions contraires aux prescriptions de l'arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020).

Les éoliennes seront équipées d'un dispositif de contrôle qui assure le bon fonctionnement et l'intégrité des différents systèmes internes. En parallèle à ces systèmes de conduite et de contrôle, les machines sont équipées de dispositifs de sécurité afin de détecter tout début de dysfonctionnement et de limiter les risques liés à ceux-ci. L'objectif est de pouvoir stopper le fonctionnement de l'éolienne en toute sécurité, même en cas de défaillance du système contrôle commande. Les éoliennes implantées seront conformes aux prescriptions suivantes de l'arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020).

Les éoliennes sont équipées de :

- Dispositifs de contrôle visant la régulation de la production, avec des systèmes de régulation de la vitesse et de la puissance du courant délivré au réseau ;
- Dispositifs de sécurité et de surveillance permettant l'arrêt de l'éolienne en cas de besoin (dispositifs de freinage) ;
- Mécanisme de protection de survitesse ;
- Mécanisme de protection contre la foudre ;
- Dispositif de balisage aviation disposé sur la nacelle ;
- Dispositifs de surveillance des échauffements et des températures – formation de glace ;
- Dispositifs de surveillance de pression et de niveau du circuit hydraulique ;
- Dispositifs de détection d'incendie et de protection incendie.

1.3 Environnement de l'installation et identification des enjeux

1.2.3.3 Opération de maintenance de l'installation

Conformément à la directive 98/37/CE les machines feront l'objet de contrôles réguliers par des contrôleurs agréés. Le rythme de passage au moins annuel sera fixé et fera l'objet d'un engagement écrit auprès des autorités compétentes.

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

Compte tenu de la préfabrication des éoliennes, les opérations de montage de l'éolienne sur site se font dans un délai relativement court (un à deux jours pour assembler les diverses parties). Après montage, les opérations de raccordements électriques ainsi que les réglages et essais de fonctionnement de l'éolienne demandent quelques semaines. Tout au long des années de fonctionnement de l'éolienne, des opérations de maintenance programmées vérifient l'état et le fonctionnement des sous-systèmes de l'éolienne.

Conformément à l'arrêté modifié du 26 aout 2011 (dernière modification au 22 juin 2020) : avant la mise en service industrielle d'un aérogénérateur, l'exploitant réalise des essais permettant de s'assurer du fonctionnement correct de l'ensemble des équipements.

1.2.3.4 Fonctionnement des réseaux électriques

Le parc éolien et ses installations électriques seront conformes à l'arrêté du 9 juin 2020 relatif aux prescriptions techniques et conception et de fonctionnement pour le raccordement à un réseau public de distribution d'électricité en basse tension ou en moyenne tension d'une installation de production d'énergie électrique.

1.2.3.4.1 Réseau inter-éolien

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur, intégré ou non 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

1.2.3.4.2 Poste de livraison

Le poste de livraison est le nœud de raccordement de toutes les éoliennes avant que l'électricité ne soit injectée dans le réseau public. Pour le projet éolien de la Colonne Saint-Joseph, un poste de livraison (PDL) est prévu, localisé à proximité de l'éolienne E5 au sud du parc.

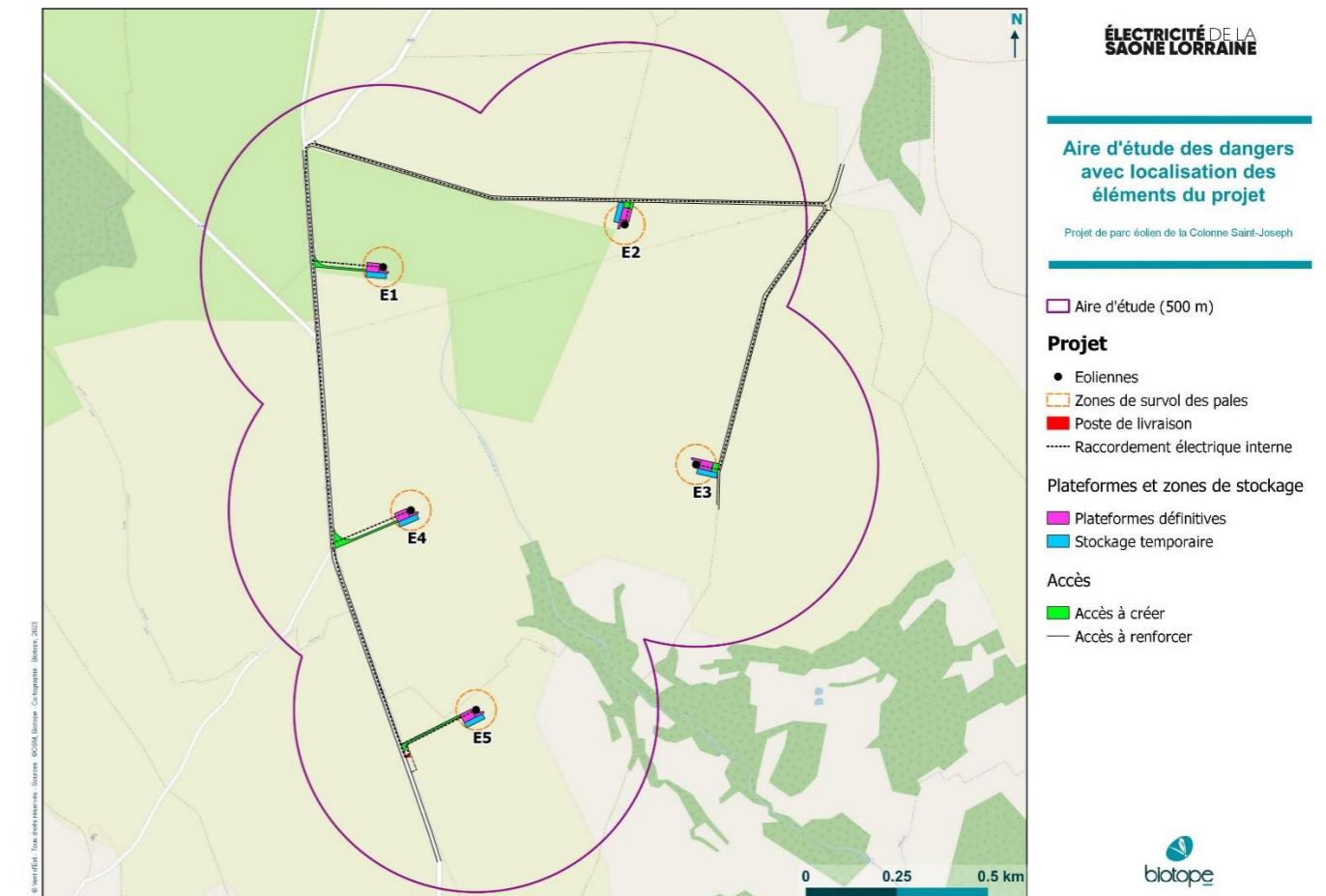
1.2.3.4.3 Réseau électrique externe

Le réseau électrique externe relie le poste de livraison avec le poste source (réseau public de transport d'électricité). Ce réseau est réalisé par le gestionnaire du réseau de distribution, ici ENEDIS. Il est lui aussi entièrement enterré.

Compte tenu des spécificités de l'organisation spatiale d'un parc éolien, composé de plusieurs éléments disjoints, l'aire d'étude globale 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 mètres à partir de l'emprise du mât de l'aérogénérateur. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection.

L'aire d'étude, résultant de tampons de 500 mètres autour de chaque éolienne, représente une surface totale de 308,885 ha (cf. carte suivante).



1.3.1 Environnement humain

1.3.1.1 Zones urbanisées et urbanisables

Les communes de Serécourt et Isches sont directement concernées par l'aire d'étude des dangers.

Les deux communes présentent un caractère majoritaire majoritairement rural très peu dense et agricole. L'aire d'étude de dangers est située respectivement à 560 mètres et à 1,35 km des bourgs de Serécourt et Isches (distance entre l'église et l'aire d'étude).

Sur les communes de Serécourt et Isches, les dispositions réglementant la construction sont fixées par le Règlement National de l'Urbanisme (RNU). D'après le RNU, « les constructions et installations nécessaires à l'exploitation agricole, à des équipements collectifs dès lors qu'elles ne sont pas incompatibles avec l'exercice d'une activité agricole, pastorale ou forestière sur le terrain sur lequel elles sont implantées » (2° de l'article L. 111-4 du code de l'urbanisme) peuvent être autorisées en dehors

des parties urbanisées de la commune. En dehors des secteurs constructibles des cartes communales, ce sont les mêmes principes qu'en zone naturelle et forestière et en zone agricole qui s'appliquent : les éoliennes peuvent donc être autorisées.

Le parc éolien de la Colonne Saint-Joseph :

Ne porte pas atteinte à la salubrité ou sécurité publique ;

Ne compromet pas la conservation ou la mise en valeur d'un site ou de vestiges archéologiques ;

Est desservi en grande partie par des chemins forestiers existants ;

Ne présente aucun risque pour la sécurité des usagers des voies publiques en raison du caractère rural et isolé du site d'implantation (passage occasionnel de véhicules et éloignement jugé suffisant de la RD25 qui borde l'ouest de la zone d'implantation du projet).

Aucun bâtiment à usage d'habitation ni aucune zone urbanisée ne se situe dans un rayon de 500 mètres autour des éoliennes.

1.3.1.2 Etablissements recevant du public (ERP)

Constituent des ERP tous les bâtiments, locaux et enceintes dans lesquels des personnes sont admises, soit librement, soit moyennant une rétribution ou une participation quelconque, ou dans lesquels sont tenues des réunions ouvertes à tout venant ou sur invitation, payantes ou non. Cela regroupe donc un très grand nombre d'établissements, comme les magasins et centres commerciaux, les cinémas, les théâtres, les hôpitaux, les écoles et universités, les hôtels et restaurants... (source : ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer).

Aucun établissement recevant du public ne se situe dans un rayon de 500 mètres autour des éoliennes, correspondant à l'aire d'étude des dangers.

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

1.3.1.3.1. ICPE

Toutes exploitation industrielle ou agricole susceptible de créer des risques ou de provoquer des pollutions ou nuisances, notamment pour la sécurité et la santé des riverains, est une installation classée.

Aucune ICPE n'est recensée au sein de l'aire d'étude des dangers. L'ICPE la plus proche se situe à 1,14 km au sud de l'éolienne E2 la plus proche, sur la commune d'Isches (autre régime qu'autorisation ou enregistrement). Aucun parc éolien n'est présent sur les communes concernées par le projet ainsi que sur les communes voisines.

Aucune de ces installations n'est soumise aux dispositions de l'arrêté du 10 mai 2000 dit « arrêté SEVESO ».

Aucune installation classée pour la protection de l'environnement n'est présente au sein de l'aire d'étude des dangers. Aucune entreprise SEVESO ni aucun plan de prévention des risques technologiques ne concerne l'aire d'étude des dangers.

1.3.1.3.2. Nucléaire

Aucune installation nucléaire de base n'est présente à moins de 20 km des communes du projet. La centrale nucléaire la plus proche se trouve à plus de 120 kilomètres, sur la commune de Fessenheim, dans le Haut Rhin.

L'aire d'étude des dangers ne se trouve donc pas dans le périmètre de sécurité de 20 kilomètres autour de la centrale nucléaire la plus proche.

1.3.1.4 Autres activités

Les activités présentes dans l'aire d'étude des dangers sont majoritairement des activités agricoles. L'agriculture est une activité économique importante sur le territoire concerné par le projet. L'aire d'étude des dangers est occupée en grande majorité par des parcelles cultivées ou des prairies semées. Aucun siège d'exploitation n'est présent au sein de l'aire d'étude.

Aucun lieu touristique, hôtel, gîte ou camping n'est recensé sur l'aire d'étude des dangers.

D'après l'office du tourisme des Vosges et la Fédération française de randonnée, les communes de d'Isches et Serécourt sont directement concernées par des circuits de randonnée et de cyclotourisme. Un seul tracé, qui concerne à la fois un sentier de randonnée, un circuit de VTT et un circuit de cyclotourisme, passe au sein de l'aire d'étude des dangers. De plus, des activités de chasse peuvent y être pratiquées en saison.

Les autres activités au sein de l'aire d'étude des dangers sont essentiellement des activités agricoles (parcelles cultivées). Secondairement, des activités cynégétiques et de promenade (à pied et à vélo) peuvent y avoir lieu. Le tracé passant par l'aire d'étude des dangers (concernant à la fois des circuits de randonnée, de VTT et de cyclotourisme) est d'importance locale et hors itinéraire de grande randonnée (GR).

1.3.2 Environnement naturel

1.3.2.1 Contexte climatique

Le département des Vosges présente un climat semi-continental (entre le type 1 : le climat de montagne, et le type 2 : le climat semi-continental et des marges montagnardes) selon la carte des climats de France ; avec des étés chauds et des hivers rudes.

La pluviométrie annuelle est relativement élevée avec un grand nombre de jours de neige ou de gel, ainsi que des pluies à caractère orageux l'été. Ce type de climat concerne le quart nord-est de la France, ainsi que certaines plaines encaissées du Massif central et des Alpes.

Une éolienne a besoin de vent présentant une vitesse minimale de l'ordre de 3 à 4 m/s pour que la rotation des pales puisse démarrer et que l'aérogénérateur puisse commencer à produire. Au-delà d'une certaine vitesse (de l'ordre de 20-25 m/s), des dispositifs de sécurité mettent l'éolienne à l'arrêt de manière à garantir sa sécurité.

Le vent est présent toute l'année même si les périodes les plus ventées correspondent à l'hiver et au début du printemps.

Les vitesses et directions moyennes du vent enregistrées à la station de Langres indiquent des vents dominants provenant principalement de secteur sud-sud-ouest, et dans une moindre mesure de direction nord-est. Les rafales de vent maximales sont de l'ordre de 160 km/h pour les mois de février-mars. D'après les données des fiches climatologiques de Météo France, le nombre de jours avec vents forts (dépassant les 16m/s soit 57,6 km/h) est relativement important avec une moyenne de 29,4 jours par an.

Le niveau kéraunique (Nk) correspond au nombre d'orages, et plus précisément au nombre de coups de tonnerre entendus dans une zone donnée ; sachant que la foudre frappe environ 1 fois pour 10 coups de tonnerre entendus. Cette mesure est très souvent la référence pour juger de l'activité orageuse d'un secteur et pour définir les zones où la pose d'une protection contre la foudre (parafoudre) devient obligatoire (Nk supérieur ou égale à 25).

La carte du niveau kéraunique de France qui représente ce risque lié aux impacts de foudre indique que le département des Vosges est concerné par une densité de foudroiement plutôt faible, de l'ordre de 22 Nk.

Le risque d'un impact de foudre susceptible d'avoir un impact sur le projet et son environnement proche est faible.

Toutefois, les éoliennes sont des objets de grande dimension localisés le plus souvent sur des points hauts du relief et dont une partie des composants est constituée de métaux susceptibles d'attirer la foudre. Il est ainsi recommandé d'intégrer à la conception du projet des mesures de protection contre la foudre.

1.3.2.2 Risques naturels

Les risques naturels majeurs principaux présents au sein de l'aire d'étude des dangers sont présentés dans le tableau suivant.

Risque majeur	Niveau de risque / aléa au sein de l'aire d'étude
Inondations	<p>Les communes de Serécourt et Isches (et donc a fortiori l'aire d'étude de dangers) ne sont concernées : ni par un Atlas des zones inondables (AZI), ni par un Plan de prévention des risques inondation (PPRI), ni par un Territoire à risque important d'inondation (TRI).</p> <p>Au droit du projet éolien, si le site est encadré par deux ruisseaux et que de petits ruisseaux la traversent, ces cours d'eau sont mineurs et ne représentent pas un risque de débordement. Les communes traversées par ces entités ne figurent pas parmi les communes soumises à l'aléa inondation.</p> <p>Aléa inondation par débordement nul.</p> <p>L'aire d'étude des dangers n'est pas concernée par un risque inondation dû à la remontée de nappe, mais uniquement pour inondation de cave (E1 et E4).</p> <p>Aléa inondation par remontée de nappe très faible.</p>
Séisme	D'après le DDRM, les communes de Serécourt et Isches sont concernées par un risque sismique faible (zone de sismicité 2). Aléa faible.
Mouvement de terrain : Aléa retrait-gonflement des argiles	<p>Selon le DDRM des Vosges, les communes de Serécourt et Isches sont concernées par le risque de retrait-gonflement des argiles.</p> <p>Aléa faible (éolienne E1). Dans le cadre du dimensionnement des fondations, des études géotechniques doivent être réalisées.</p>
Mouvement de terrain : Effondrement de cavités souterraines	<p>Des cavités naturelles sont recensées sur les communes de Serécourt et Lamarche au nord-est du projet. Cependant, aucune cavité souterraine n'est répertoriée au sein de l'aire d'étude des dangers.</p> <p>Aléa très faible.</p>
Mouvement de terrain (autre) : coulées, chutes, affaissements, glissements de terrain...	<p>Selon le DDRM des Vosges, les communes de Serécourt et Isches ne sont pas concernées par le risque de mouvement de terrain (hors retrait gonflement des argiles).</p> <p>Aléa très faible.</p>
Foudre	<p>La densité de foudroiement est de 2,2 coup/km²/an (moyenne nationale : 1,2 coup/km²/an) dans le département des Vosges.</p> <p>Aléa faible. Cependant, la hauteur des éoliennes augmente le risque.</p>
Tempêtes	<p>Compte tenu du caractère diffus de ce type de phénomène météorologique, il peut survenir n'importe où. Le risque n'est pas plus élevé qu'ailleurs.</p> <p>Aléa faible.</p>
Incendie de forêts et de cultures	<p>Les feux de forêt constituent un risque majeur pour le département des Vosges, d'après le DDRM. Compte-tenu que l'aire d'étude des dangers est occupée par des espaces ouverts agricoles, l'aléa feu de forêt est nul. Cependant, les incendies dans les cultures sont possibles.</p> <p>Aléa globalement très faible.</p>

Les risques naturels sont globalement faibles à nuls sur l'aire d'étude des dangers.

1.3.3 Environnement matériel

1.3.3.1 Voies de communication

L'aire d'étude des dangers est traversée sur sa partie ouest par la route départementale RD25, qui relie Serécourt et Isches du nord au sud. Il s'agit d'une route catégorisée comme peu fréquentée, c'est-à-dire à trafic journalier inférieur à 2000 véhicules. Selon le règlement de voirie départementale des Vosges, « en bordure des routes départementales, une distance minimum de 1,5 fois la hauteur de l'éolienne (mât + pale) devra séparer l'éolienne du bord de la chaussée » ; soit 225 m ici. Toutefois, au regard du caractère non structurant de la D25 et de la configuration du site, le Conseil Départemental des Vosges (CD88) a autorisé de déroger au recul indiqué dans le règlement de voirie, donnant son accord pour une distance moindre, d'au moins 195 m, des éoliennes du projet à cet axe routier.

L'aire d'étude des dangers est également traversée par plusieurs chemins communaux, principalement des chemins agricoles, orientés ouest-est et nord-sud.

Le projet n'est pas concerné par le transport ferroviaire ou fluvial.

Concernant le transport aérien, l'aire d'étude se situe en dehors de toute zone grevée de servitudes aéronautiques, radioélectriques ou domaniales gérée par le Ministère de la défense et est éloignée des aéroports et aérodromes les plus proches ainsi que des autres types de plateformes de vol.

L'aire d'étude des dangers est traversée par des voies de circulation locales non structurantes (< 2000 véhicules / jour). Le CD88 a donné son accord pour implanter les éoliennes à minimum 195 m de la départementale RD25 se situant à l'ouest du projet.

1.3.3.2 Réseaux publics et privés et servitudes

L'aire d'étude est concernée par les réseaux suivants :

- Une ligne électrique aérienne HTA gérée par ENEDIS et longeant la départementale D25, ne faisant pas l'objet de servitude associée ;
- Un faisceau hertzien Lamarche-Thons de l'opérateur de téléphonie Orange, passant à l'ouest entre les éoliennes E1 et la E4, impliquant une servitude de 33 mètres de part et d'autre du faisceau.

En dehors de cela, l'aire d'étude des dangers n'est pas concernée par des captages d'eau potable (ni périmètre de protection associé), des canalisations de transport de matière dangereuse (gaz, hydrocarbures, produits chimiques) ou des radars. Aucune servitude associée ne s'applique au projet.

L'aire d'étude des dangers est concernée par des servitudes d'utilité publique liées à une ligne électrique ENEDIS et un faisceau hertzien.

1.3.4 Synthèse des enjeux

Le tableau ci-après présente le nombre de personnes permanentes ou équivalent-personnes permanentes présentes dans l'aire d'étude de 500 mètres autour des éoliennes, selon la méthodologie détaillée dans la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers.

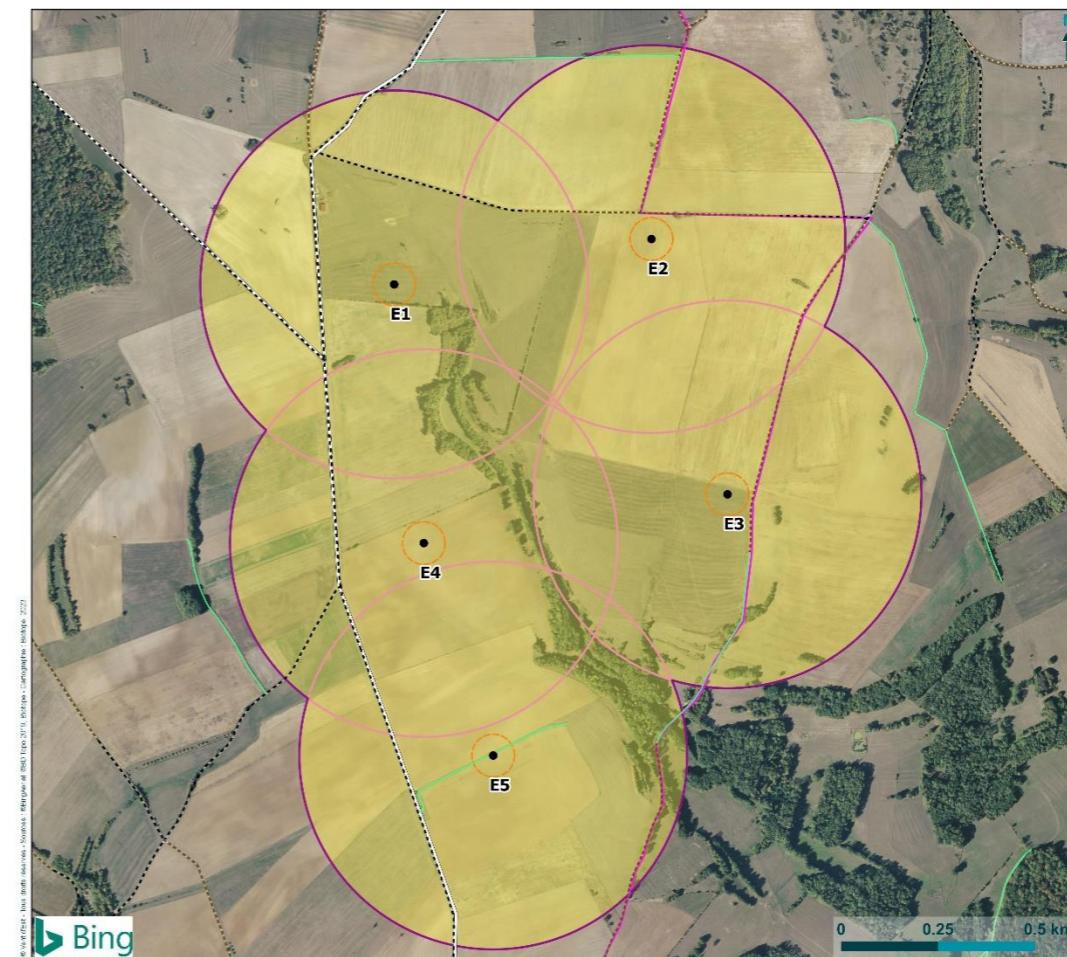
L'aire d'étude par éolienne (rayon de 500 m) est de 78,54 ha.

Éoliennes concernées	Secteur ou infrastructure	Surface / éléments ponctuels	Nombre équivalent personnes permanentes
E01	Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches, forêts...) – 1 personne pour 100 ha	76,740 ha	< 1 personne (0,767)
	Voies de circulation non structurantes* (RD, route, chemin agricole et chemins VTT) – 1 personne pour 10 ha	1,80 ha	< 1 personne (0,18)
E02	Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches, forêts...) – 1 personne pour 100 ha	77,005 ha	< 1 personne (0,770)
	Voies de circulation non structurantes* (RD, route, chemin agricole et chemins VTT) – 1 personne pour 10 ha	1,53 ha	< 1 personne (0,153)
	Chemins et voies piétonnes : chemin de promenade, de randonnée – 2 personnes pour 1 km par tranche de 100 promeneurs en moyenne	1,328 km	> 1 personne (2,66)
E03	Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches, forêts...) – 1 personne pour 100 ha	77,894 ha	< 1 personne (0,779)
	Voies de circulation non structurantes* (RD, route, chemin agricole et chemins VTT) – 1 personne pour 10 ha	0,646 ha	< 1 personne (0,065)
	Chemins et voies piétonnes : chemin de promenade, de randonnée – 2 personnes pour 1 km par tranche de 100 promeneurs en moyenne	0,998 km	> 1 personne (1,99)
E04	Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches, forêts...) – 1 personne pour 100 ha	77,558 ha	< 1 personne (0,776)
	Voies de circulation non structurantes* (RD, route, chemin agricole et chemins VTT) – 1 personne pour 10 ha	0,982 ha	< 1 personne (0,098)
E05	Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches, forêts...) – 1 personne pour 100 ha	77,213 ha	< 1 personne (0,772)
	Voies de circulation non structurantes* (RD, route, chemin agricole et chemins VTT) – 1 personne pour 10 ha	1,328 ha	< 1 personne (0,133)
	Chemins et voies piétonnes : chemin de promenade, de randonnée – 2 personnes pour 1 km par tranche de 100 promeneurs en moyenne	0,495 km	< 1 personne (0,99)

* La surface prise en compte pour les voies non structurantes a été calculée en considérant les largeurs de voiries suivantes : RD et route non structurante = 8 m / chemin ou sentier = 4 m. ** Pour le circuit local de randonnée, VTT et cyclotourisme, nous avons appliqué un ratio de 2 personnes / km passant par l'aire d'étude des dangers, car il est considéré un maximum de 100 promeneurs / jour (cf. annexe 1 : « méthode de comptage des personnes »).

Ainsi, sur l'aire d'étude des dangers, le nombre de personnes présentes en permanence est estimé à 10,135 personnes.

La carte suivante présente la synthèse des enjeux de l'environnement des installations.



ÉLECTRICITÉ DE LA
SAÔNE LORRAINE

Synthèse des enjeux de l'environnement des installations

Projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph

Terrains non aménagés et très peu fréquentés (<1 personne)

Projet

- Eoliennes
- Zones de survol des pales
- Rayon de 500 m autour de chaque éolienne

Voies de circulation non structurantes (<1 personne)

- Route à 1 chaussée
- Route empierrée
- Chemin
- D25

Chemins et voies piétonnes

- Chemin de promenade, randonnée pédestre et cycliste (2 pers/km)



1.4 Potentiel de dangers de l'installation et réduction des risques à la source

1.4.1 Potentiels de dangers

1.4.1.1 Potentiels de dangers liés aux produits

L'activité de production d'électricité par les éoliennes ne consomme pas de matières premières, ni de produits pendant la phase d'exploitation. De même, cette activité ne génère pas de déchet, ni d'émission atmosphérique, ni d'effluent potentiellement dangereux pour l'environnement. Les produits identifiés dans le cadre du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph 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 modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020) relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, aucun produit inflammable ou combustible n'est stocké dans les aérogénérateurs ou le poste de livraison.

Les produits utilisés ne présentent pas de réel danger, si ce n'est lorsqu'ils sont soumis à un incendie, où ils vont entretenir cet incendie, ou s'ils sont déversés dans l'environnement, générant alors un risque de pollution des sols ou des eaux.

1.4.1.2 Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph sont de cinq types :

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

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant :

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

1.4.2 Réduction des potentiels de dangers à la source

La réduction des potentiels de dangers à la source est réalisée à travers des mesures préventives et la mise en place de modalités de fonctionnement adaptées :

Choix des implantations : les choix réalisés pour définir l'implantation des éoliennes et du poste de livraison électrique ont tenu compte des contraintes techniques, réglementaires et de sécurité du site ;

- Conformité des éoliennes : les éoliennes satisferont aux exigences essentielles de sécurité de la directive européenne 98/37/CE ou les normes harmonisées traduisant ces exigences ;
- Contrôle technique des éoliennes : ces contrôles seront réalisés durant la phase de construction de l'éolienne. Ils concernent le massif de stabilité (fondation) de l'éolienne ainsi que les liaisons entre ce massif et la machine ;
- Maintenance et entretien du matériel : l'inspection et l'entretien du matériel sont effectués par des opérateurs des constructeurs des éoliennes, formés pour ces interventions. Tout au long des années de fonctionnement de l'éolienne, des opérations de maintenance programmées vérifient l'état et le fonctionnement des sous-systèmes de l'éolienne ;
- Formation du personnel : le personnel intervenant sur les installations (monteurs, personnel affecté à la maintenance) est formé et encadré.

1.5 Analyse préliminaire des risques (APR)

1.5.1 Scénarios exclus

L'analyse préliminaire des risques a été réalisée conformément au guide de l'étude de danger de l'INERIS. Elle est basée sur les retours d'expérience de près de 30 ans concernant l'activité éolienne.

Elle a mis en évidence quatre catégories de scénarios qui 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 modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020) encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques. Néanmoins, il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.
Incendie du poste de livraison ou du transformateur	En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté modifié du 26 août 2011 -dernière modification au 22 juin 2020 - 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.

Elle fait également ressortir cinq catégories de scénarios étudiés qui doivent faire l'objet d'une évaluation détaillée des risques :

- Projection de tout ou une partie de pale ;
- Effondrement de l'éolienne ;
- Chute d'éléments de l'éolienne ;
- Chute de glace (température inférieure à 0°C) ;
- Projection de glace (température inférieure à 0°C).

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

1.5.2 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 ».

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 de l'étude de dangers des parcs éoliens propose de limiter l'évaluation de la probabilité d'impact d'un élément de l'aérogénérateur sur une autre installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) que lorsque celle-ci se situe dans un rayon de 100 mètres. Aucune installation ICPE n'étant présente dans un rayon de 100 m ; il est proposé de ne pas prendre en compte les conséquences des effets dominos dans le cadre de la présente étude.

Aucun effet domino n'est à attendre dans le cadre de la présente étude, en l'absence d'installation classée à proximité du site.

1.6 Étude détaillée des risques

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

1.6.1 Rappel des définitions

1.6.1.1 La cinétique

La cinétique d'un accident est la vitesse d'enchaînement des événements constituant une séquence accidentelle, de l'événement initiateur aux conséquences sur les éléments vulnérables. Selon l'article 8 de l'arrêté du 29 septembre 2005, la cinétique peut être qualifiée de « lente » ou de « rapide ». Dans le cas d'une cinétique lente, les personnes ont le temps d'être mises à l'abri à la suite de l'intervention des services de secours. Dans le cas contraire, la cinétique est considérée comme rapide.

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

1.6.1.2 L'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).

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

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

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

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

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

1.6.1.3 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.

L'échelle de gravité des conséquences sur l'homme définie dans l'arrêté PCIG du 29 septembre 2005 est la suivante.

Gravité	Intensité	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition très forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée
« Désastreux »	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1 000 personnes exposées	
« Catastrophique »	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1 000 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 légalité hors établissement	Pas de zone de légalité hors établissement	Présence humaine exposée inférieure à « une personne »	

1.6.1.4 Probabilité

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

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

1.6.1.5 Acceptabilité

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

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	Vert	Acceptable
Risque faible	Jaune	Acceptable
Risque important	Orange	Non acceptable

1.7 Synthèse des scénarios retenus

Dans le cadre du projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph (88), un modèle d'aérogénérateur précis a été retenu : il s'agit du modèle Vestas V110 2MW à 95 m.

Le tableau suivant récapitule, pour chaque événement redouté central retenu, les paramètres de risques : la cinétique, l'intensité, la gravité et la probabilité. Le tableau regroupe les éoliennes qui ont le même profil de risque.

Remarque : lorsque cela n'est pas précisé, par défaut les résultats donnés sont indiqués pour l'ensemble des éoliennes étudiées.

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité	Acceptabilité
1 Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale = 149 m	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes)	Modérée	Acceptable
2 Chute de glace	Zone de survol = 54 m	Rapide	Exposition modérée	A sauf si les températures hivernales sont > à 0°C	Modérée	Acceptable
3 Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol = 54 m	Rapide	Exposition modérée	C	Modérée	Acceptable
4 Projection de pales ou fragments de pales	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes)	Modérée	Acceptable
5 Projection de glace	1,5 x (H + 2R) autour de l'éolienne = 304,5 m	Rapide	Exposition modérée	B sauf si les températures hivernales sont > à 0°C	Modérée	
					Sérieuse pour E2, E3 et E5	
					Sérieuse pour E2 et E3	

1.7.1 Synthèse de l'acceptabilité des risques

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

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

Gravité des conséquences	Classe de probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		Scénario 4 : projection de pales ou fragments (E2, E3 et E5)		Scénario 5 : projection de glace (E2 et E3)	
Modéré		Scénario 1 : effondrement de l'éolienne Scénario 4 : projection de pales ou fragments (autres éoliennes)	Scénario 3 : chute d'éléments	Scénario 5 : projection de glace (autres éoliennes)	Scénario 2 : chute de glace

Légende de la matrice :

Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible	Vert	Acceptable
Risque faible	Jaune	Acceptable
Risque important	Orange	Non acceptable

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- Aucun scénario d'accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice ;
 - Deux scénarios d'accident figurent en case jaune (chute de glace sur l'ensemble du parc et projection de glace pour E2 et E3). Pour ces accidents, il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie « 6 - Mise en place des mesures de sécurité » sont mises en place.

Ainsi l'ensemble des phénomènes étudiés sur le projet éolien de la Colonne Saint-Joseph constitue un risque acceptable

1.7.2 Cartographie des risques

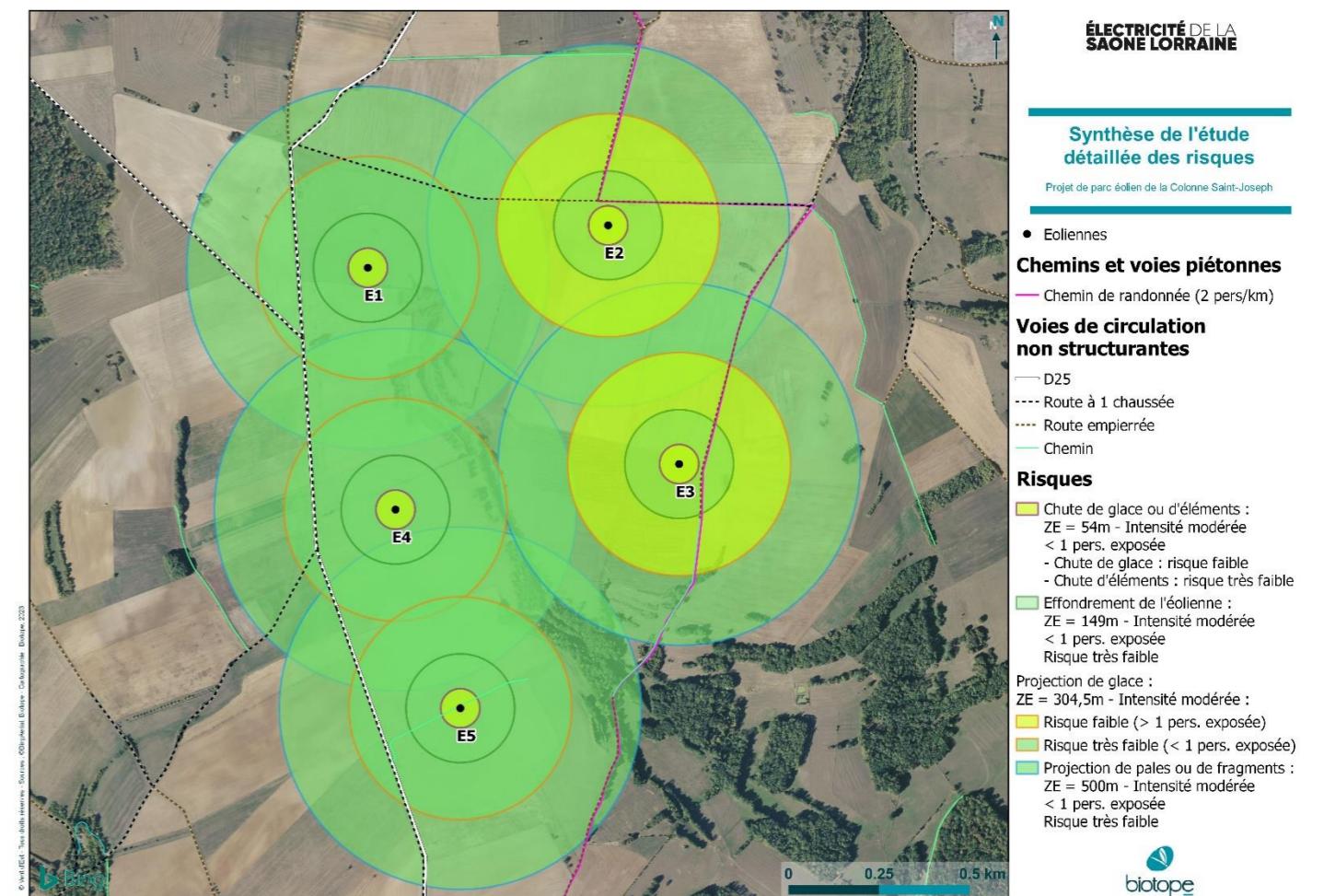
La carte ci-après présente la synthèse des risques pour chaque éolienne

Elle fait apparaître, pour les scénarios détaillés dans le tableau de synthèse :

- Les enjeux étudiés dans l'étude détaillée des risques ;
 - L'intensité des différents phénomènes dangereux dans les zones d'effet de chaque phénomène dangereux ;
 - Le nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) exposées par zone d'effet.

La carte de synthèse ci-après présente les zones d'effets pour les cinq phénomènes étudiés :

- Effondrement de l'éolienne (scénario 1) ;
 - Chute de glace (scénario 2) ;
 - Chute d'élément de l'éolienne (scénario 3) ;
 - Projection de pales ou fragments de pales (scénario 4)
 - Projection de glace (scénario 5).



1.8 Conclusion

La présente étude de dangers a été réalisée dans le cadre du projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, composé de cinq aérogénérateurs, localisé dans le département des Vosges (88), en région Grand Est. Elle a permis de mettre en évidence les dangers que peut présenter l'installation en cas d'accident d'origine externe (risques liés à l'environnement du site du projet) ou interne (dysfonctionnement des machines, problème technique, etc.).

Le site est localisé en contexte agricole ouvert. Bien qu'ils ne puissent pas être totalement écartés, les risques d'origine externe sont minimes car le site du projet ne présente pas de dangers particuliers. Il est situé en dehors des zones concernées par des risques naturels ou anthropiques majeurs.

En cas d'incendie, le Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS) mettra en place un périmètre de protection. Dans tous les cas, le lien entre l'exploitant, le turbinier en charge de la maintenance et le SDIS devra permettre une intervention terrestre la plus rapide possible. C'est à l'exploitant et au turbinier en charge de la maintenance de réaliser la mise à l'arrêt des turbines et de prévenir le SDIS en conséquence.

Après avoir analysé les risques d'accidents susceptibles de survenir et leurs causes, l'étude de dangers a permis d'évaluer :

- L'intensité de ces accidents exprimée en fonction d'une distance par rapport à l'éolienne et les conséquences possibles dans l'environnement du site ;
- Les niveaux de probabilité selon une échelle graduée de E (extrêmement rare) à A (courant).

Chaque phénomène dangereux présenté par le projet de parc éolien a été analysé en croisant son niveau de gravité avec sa probabilité. Il en résulte :

Scénario	Acceptabilité
1 - Effondrement de l'éolienne	Acceptable Pour toutes les éoliennes
2 - Chute de glace	Acceptable Pour toutes les éoliennes
3 - Chute d'élément de l'éolienne	Acceptable Pour toutes les éoliennes
4 - Projection de pales ou fragments de pales	Acceptable Pour toutes les éoliennes
5 - Projection de glace	Acceptable Pour toutes les éoliennes

Au regard des résultats, les risques concernant le projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph sont considérés comme acceptables.

L'industrie éolienne a connu ces dernières années un fort développement qui a permis d'améliorer les technologies mises en œuvre pour tirer le meilleur parti de la puissance du vent. En parallèle, les constructeurs ont également travaillé sur les dispositifs permettant de limiter les dysfonctionnements des machines et donc les périodes d'arrêt. Ces évolutions ont également concerné le renforcement de la sécurité des machines.

Les éoliennes qui seront installées sur le site du projet bénéficieront des dernières technologies permettant de prévenir les dysfonctionnements et de limiter les risques d'incident ou d'accident.

De plus, les fabricants d'éoliennes ont mis en place une procédure de suivi des incidents et accidents survenant sur leurs machines avec analyse des causes, ce qui permet une amélioration constante de la sécurité des parcs éoliens. L'analyse du retour d'expérience par les fabricants est à l'origine de la généralisation de procédure de sécurité et de nombreuses innovations permettant de réduire la probabilité d'accident ou de prévenir les dangers.

Au regard des résultats, les risques concernant le projet éolien de la Colonne Saint-Joseph sont faibles à très faibles et considérés comme acceptables.

2 Préambule de l'étude de dangers

Les références citées tout au long de l'étude sont à retrouver à la fin du document dans la partie [14. Bibliographie et références utilisées](#).

Un glossaire est également disponible en fin de document (partie [13. Glossaire](#)), donnant les définitions des principaux termes employés dans l'étude de dangers. Ces définitions sont reprises de la circulaire du 10 mai 2010 et sont couramment utilisées dans le domaine de l'évaluation des risques en France.

3 Contexte de l'étude et informations générales

3.1 Objectifs de l'étude de dangers et processus

L'**étude de dangers** a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par la société ÉLECTRICITÉ DE LA SAÔNE LORRAINE pour **caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques** du projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, autant que technologiquement réalisable et économiquement acceptable, que leurs causes soient intrinsèques aux substances ou matières utilisées, liées aux procédés mis en œuvre ou dues à la proximité d'autres risques d'origine interne ou externe à l'installation.

Cette étude est proportionnée aux risques présentés par les éoliennes du projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph. 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 projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, qui réduisent le risque à l'intérieur et à l'extérieur des éoliennes à un niveau jugé acceptable par l'exploitant.

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

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

L'étude de dangers est au cœur du processus de gestion des risques d'origine accidentelle pour les installations classées pour la protection de l'environnement. Elle est un outil présentant une analyse la plus exhaustive possible de tous les risques associés aux activités du site ; et démontrant la mise en place des mesures nécessaires pour éviter de porter atteinte à l'homme ou à l'environnement.

L'étude de dangers constitue une information préventive sur les risques des tiers et des exploitants des installations classées voisines et ainsi favoriser l'émergence d'une culture partagée du risque.

La présente étude est élaborée en suivant les préconisations du guide technique pour l'élaboration de l'étude de danger dans le cadre des parcs éoliens (INERIS, mai 2012).

L'étude de dangers précise les risques auxquels un ouvrage peut exposer la population, directement ou indirectement en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'ouvrage. Elle repose sur une démarche d'analyse des risques qui doit s'appuyer sur une description de l'ouvrage, de son environnement immédiat et éloigné, des causes et des conséquences des accidents potentiels.

3.2 Etapes et démarche générale

La démarche générale de l'étude de dangers est schématisée de la façon suivante :

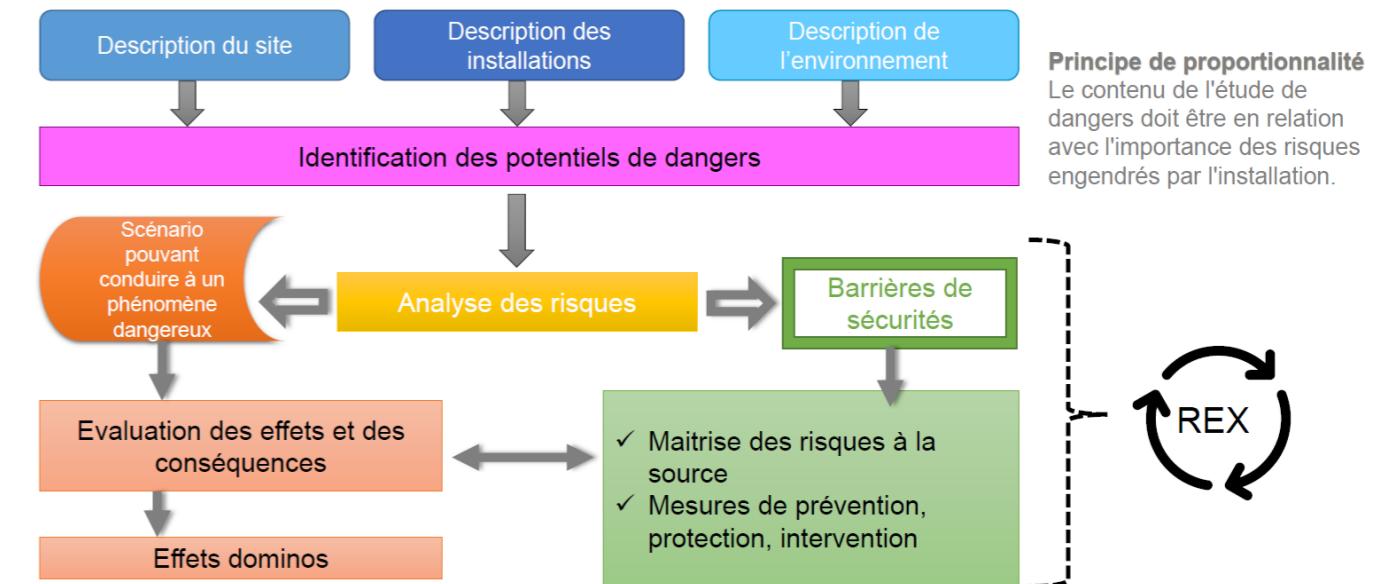


Figure 1 : Démarche générale de l'étude de dangers (©Biotope)

L'étude de dangers s'intéresse aux risques générés par les éoliennes en phase de fonctionnement du parc : la phase de construction est donc exclue de l'analyse. Elle expose les risques que peut présenter l'installation telle que construite, en cas d'accident. Pour cela, elle suit différentes étapes :

- 1. Connaissance de l'environnement et des installations ;
- 2. Identification, caractérisation et réduction potentiels des dangers, et retours d'expérience sur les accidents qui se sont déjà produits ;
- 3. Analyse des risques ;
- 4. Scénarios d'accident ;
- 5. Représentation du risques et ajout de mesures de maîtrise des risques si nécessaire ;
- 6. Evaluation et conclusions sur l'acceptabilité du risque.

4 Contexte législatif et réglementaire

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

Les impacts de l'installation sur ces intérêts en fonctionnement normal sont traités dans l'étude d'impact sur l'environnement.

Les intérêts visés à l'article L. 511-1 sont :

- La commodité du voisinage,
- La santé, la sécurité, la salubrité publiques,
- L'agriculture,
- La protection de la nature, de l'environnement et des paysages,
- L'utilisation rationnelle de l'énergie,
- La conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique.

L'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation [1] fournit un cadre méthodologique pour les évaluations des scénarios d'accident majeurs. Il impose une évaluation des accidents majeurs sur les personnes uniquement et non sur la totalité des enjeux identifiés dans l'article L. 511-1.

En cohérence avec cette réglementation et dans le but d'adopter une démarche proportionnée, l'évaluation des accidents majeurs dans l'étude de dangers d'un parc d'aérogénérateurs s'intéressera prioritairement aux dommages sur les personnes.

Pour les parcs éoliens, les atteintes à l'environnement, l'impact sur le fonctionnement des radars et les problématiques liées à la circulation aérienne font l'objet d'une évaluation détaillée au sein de l'étude d'impact.

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

Selon le principe de proportionnalité, le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte tenu de son environnement et de sa vulnérabilité.

Ce contenu est défini par l'article R. 512-9 du Code de l'environnement :

- Description et caractérisation de l'environnement 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 ;
- Etude détaillée de réduction des risques ;
- Quantification et hiérarchisation des différents scénarios en termes de gravité, de probabilité et de cinétique de développement en tenant compte de l'efficacité des mesures de prévention et de protection ;
- Représentation cartographique ;
- Résumé non technique de l'étude des dangers.

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

L'étude de dangers est requise lors du dépôt d'un dossier de demande d'autorisation environnementale pour les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

5 Nomenclature des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)

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

Tableau 1 : Rubrique de la nomenclature ICPE

Rubrique	Désignation de l'activité	Régime	Rayon d'affichage	Caractéristiques de l'installation
2980	Installation terrestre de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs : 1. Comportant au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50m.	A	6 km	5 éoliennes présentant une hauteur de moyeu de 95 mètres et un diamètre rotor de 110 mètres. La hauteur en bout de pale des éoliennes est de 149 mètres. Puissance nominale : 2 MW

A = Autorisation ; E = enregistrement ; et D = Déclaration.

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

Le rayon d'affichage est de 6 km. Il permet de définir le périmètre à l'intérieur duquel l'affichage de l'avis d'enquête publique est obligatoire. Les communes concernées par ce rayon d'affichage sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau 2 : Communes concernées par le rayon d'affichage

Nom de la commune	Département	Code INSEE	Nom de la commune	Département	Code INSEE
Ainvelle	88	88004	Monthureux-sur-Saône	88	88310
Bleurville	88	88061	Morizécourt	88	88314
Chatillon-sur-Saône	88	88096	Regnévelle	88	88377
Fignévelle	88	88171	Saint-Julien	88	88421
Fouchécourt	88	88179	Senaide	88	88450
Frain	88	88180	Serécourt	88	88455
Godoncourt	88	88208	Serocourt	88	88456
Grignoncourt	88	88220	Les Thons	88	88471
Isches	88	88248	Tignécourt	88	88473
Lamarche	88	88258	Villotte	88	88510
Lironcourt	88	88272	Aigremont	52	52002

Nom de la commune	Département	Code INSEE	Nom de la commune	Département	Code INSEE
Martigny-Les-Bains	88	88289	Fresnes-Sur-Apance	52	52208
Mont-Les-Lamarche	88	88307	Larivière-Arnoncourt	52	52273
Bousseraucourt	70	70091	Serqueux	52	52470

28 communes sont concernées par l'enquête publique, réparties au sein de trois départements : les Vosges (88), la Haute-Marne (52) et la Haute-Saône (une seule commune concernée).

6 Informations générales concernant l'installation

6.1 Renseignements administratifs

6.1.1 Origine et présentation de la société porteur du projet

La société ÉLECTRICITÉ DE LA SAÔNE LORRAINE a été créée dans le cadre du partenariat établi entre INNERGEX France et le porteur de projet historique, VENT D'EST. Les deux entités étant complémentaires dans les énergies renouvelables, elles ont souhaité travailler en bonne intelligence afin de développer le parc éolien de la Colonne Saint-Joseph.

La société ÉLECTRICITÉ DE LA SAÔNE LORRAINE est un fond commun de créances (FCC, également appelé en anglais Special purpose vehicle – SPV) et a été créée spécialement dans le but de construire et exploiter le parc éolien de la Colonne Saint-Joseph.

Grâce aux porteurs de projet, la société ÉLECTRICITÉ DE LA SAÔNE LORRAINE bénéficie de l'ensemble des compétences et capacités requises pour le développement, le financement, la construction, l'exploitation et le démantèlement du parc éolien projeté.

6.1.2 Identification du demandeur

Les coordonnées de la société ÉLECTRICITÉ DE LA SAÔNE LORRAINE, porteur de projet, sont les suivantes :

Tableau 3 : Identification du demandeur

Demandeur	ÉLECTRICITÉ DE LA SAÔNE LORRAINE
Forme juridique	Fond commun de créances (FCC), également appelé en anglais Special purpose vehicle (SPV)
Code NAF	Production d'électricité (3511Z) 7490B
Adresse	3 Place du Général de Gaulle 88000 EPINAL
N° SIREN	881340186
N° SIRET	88134018600017
Immatriculation RCS	Epinal B 881 340 186
Capital Social	550 000 €
Président(e)	VENT D'EST

Le présent dossier a été réalisé par le bureau d'étude BIOTOPÉ :

Biotope – Agence Grand Est
2 bis, rue Charles Oudille
54603 VILLERS LES NANCY Cedex
Tél. : +33 (0)3 83 28 25 42
E-mail : grandest@biotope.fr



Rédactrice principale : Pauline RENAUT, Cheffe de projet
Relecture et compléments rédactionnels : Mélanie PICARD, Directrice d'études
Contrôle qualité : Béatrice BOUCHÉ, Responsable d'agence et directrice d'études

6.2 Localisation du site

→ Cf. Carte 1 : Localisation du site et Carte 2 : Aire d'étude des dangers

Le projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, composé de cinq aérogénérateurs et d'un poste de livraison, est localisé sur les communes de Serécourt et Isches, dans le département des Vosges (88), en région Grand Est.
Les cartes suivantes présentent la localisation du projet.

6.3 Définition de l'aire d'étude

→ Cf. Carte 2 : Aire d'étude des dangers

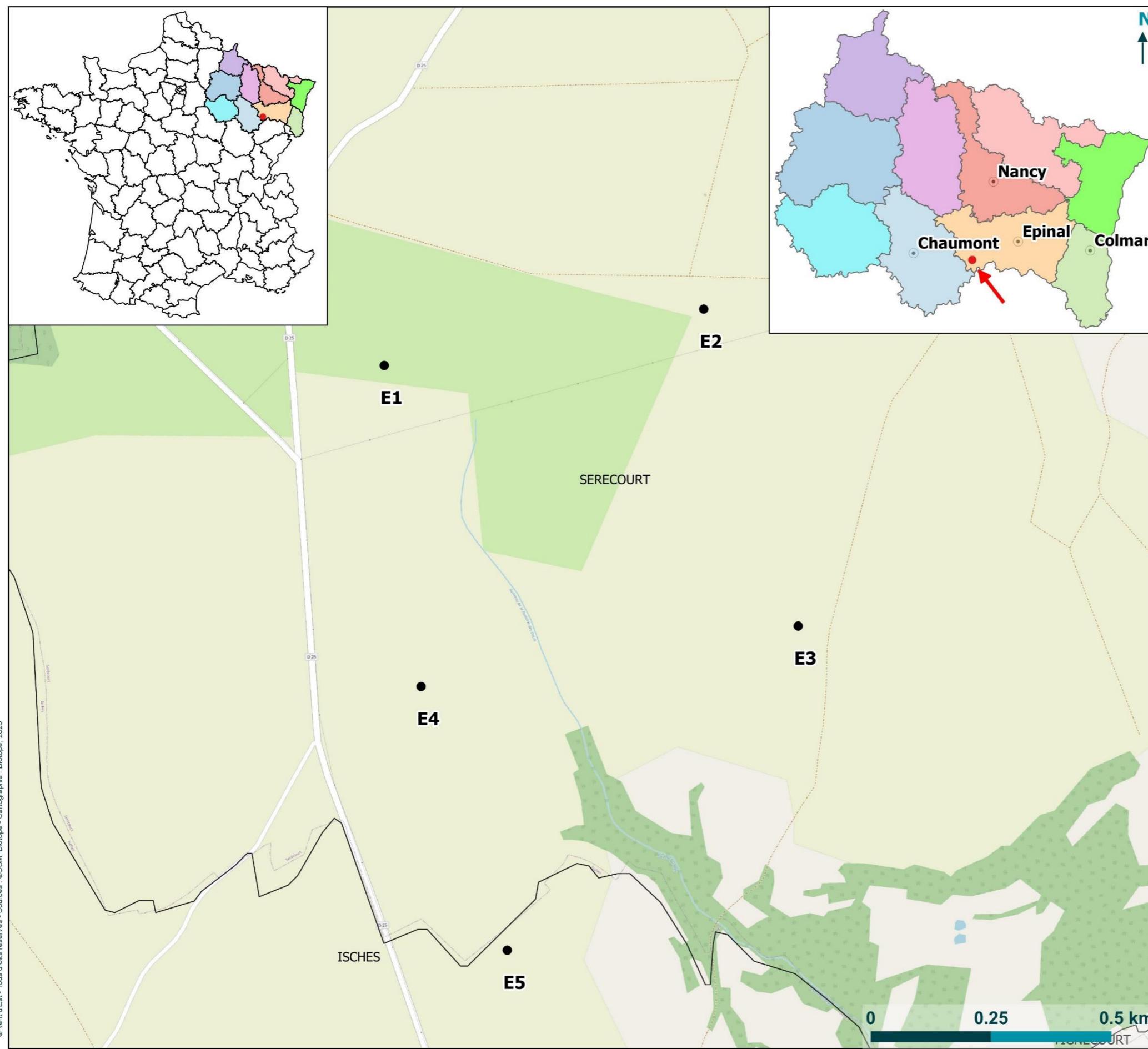
Compte tenu des spécificités de l'organisation spatiale d'un parc éolien, composé de plusieurs éléments disjoints, l'aire d'étude globale sur laquelle porte l'étude de dangers est constituée d'une aire d'étude par éolienne.

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.

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

L'aire d'étude, résultant de tampons de 500 mètres autour de chaque éolienne, représente une surface totale de 308,885 ha.

A noter : sur toutes les cartes, la zone de survol des pales est de 55 m, correspondant au diamètre de rotor maximal envisagé, soit 110 mètres.



ÉLECTRICITÉ DE LA
SAÔNE LORRAINE

Carte 1 : Localisation du site

Localisation du site

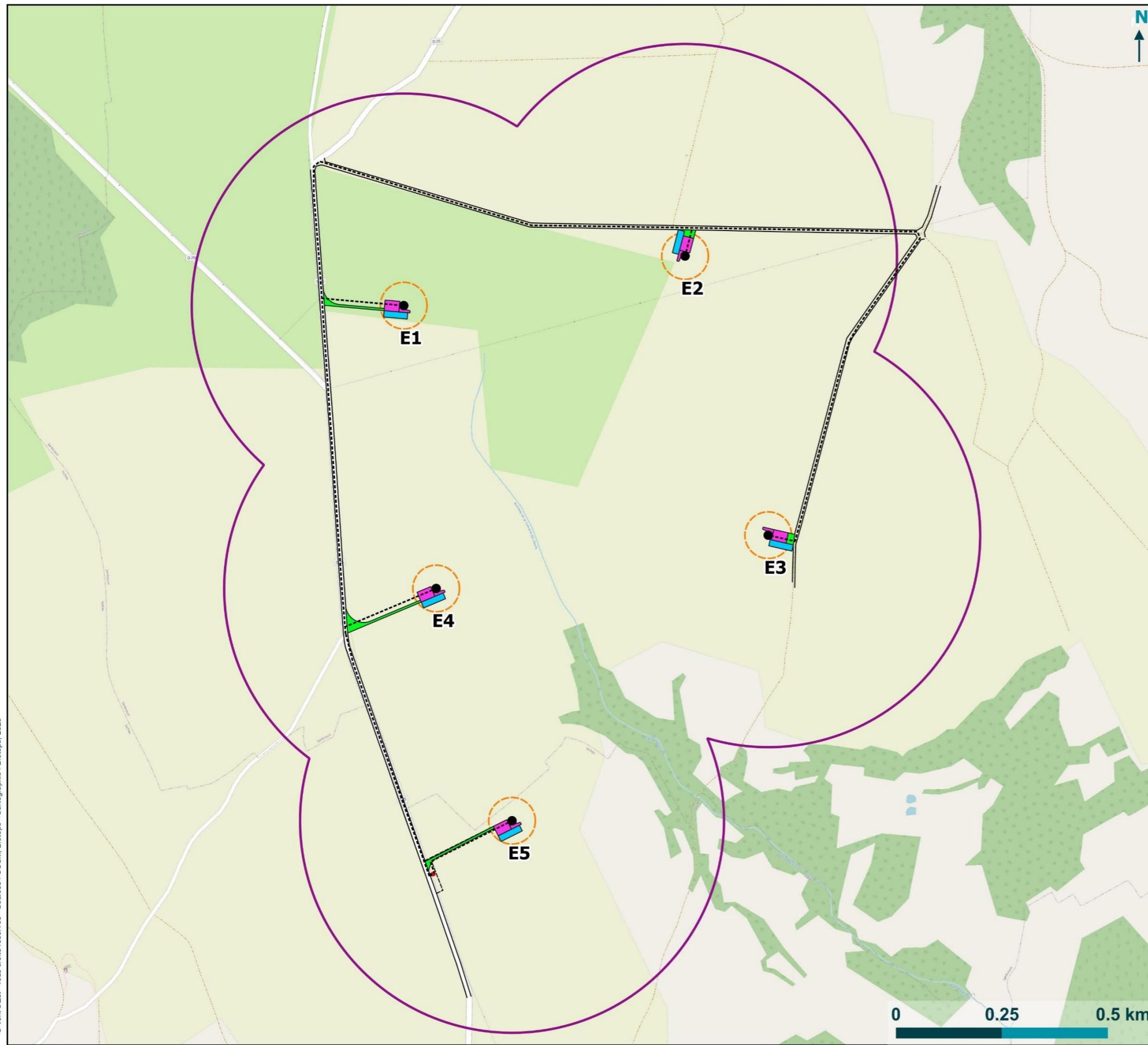
Projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph

Légende

- France
- Villes principales les plus proches du projet
- Limites communales
- Eoliennes

Départements de la région Grand Est :

- | |
|--------------------|
| Ardennes |
| Marne |
| Aube |
| Haute-Marne |
| Meuse |
| Meurthe-et-Moselle |
| Moselle |
| Vosges |
| Bas-Rhin |
| Haut-Rhin |



ÉLECTRICITÉ DE LA SAÔNE LORRAINE

Carte 2 : Aire d'étude des dangers

Aire d'étude des dangers avec localisation des éléments du projet

Projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph

Aire d'étude (500 m)

Projet

- Eoliennes
- Zones de survol des pales
- Poste de livraison
- Raccordement électrique interne

Plateformes et zones de stockage

- Plateformes définitives
- Stockage temporaire

Accès

- Accès à créer
- Accès à renforcer

7 Description de l'environnement de l'installation

Ce chapitre a pour objectif de décrire l'environnement dans l'aire d'étude, 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).

La description complète du site du projet et de son environnement est présentée dans la partie « État initial » de l'Étude d'impact. Une synthèse de cette partie est proposée dans les paragraphes suivants.

7.1 Environnement humain

7.1.1 Zones d'habitat

→ Cf. Carte 3 : Environnement humain

7.1.1.1 Zones urbanisées

La situation géographique du projet éolien de la Colonne Saint-Joseph se trouve sur les communes de Serécourt et Isches (88). L'aire d'étude des dangers recoupe ces deux communes également, qui couvrent respectivement :

- Serécourt : village des Vosges d'une superficie de 13,7 km² dans lequel vivent 98 habitants (données INSEE de 2019) ;
- Isches : village des Vosges d'une superficie de 13,6 km² comptant 174 habitants (données INSEE de 2019).

Les communes de Serécourt et Isches sont rattachées à l'arrondissement de Neufchâteau et membres de la Communauté de communes « Les Vosges côté Sud-Ouest », regroupant 60 communes pour une population totale de 12 195 habitants (INSEE, 2016) et dont Darney est le centre.

Les communes concernées par l'aire d'étude des dangers présentent un caractère majoritaire rural très peu dense et agricole.

L'aire d'étude des dangers est située respectivement à 560 mètres et à 1,35 km des bourgs de Serécourt et Isches (distance entre l'église et l'aire d'étude). Le tissu urbain de Serécourt est le plus proche de l'aire d'étude des dangers. L'éolienne la plus proche des habitations est celle située au nord du projet. Elle se situe à environ 910 mètres de distance de la première habitation. Toutes les autres éoliennes sont situées à plus d'1,2 km des habitations.

7.1.1.2 Zones urbanisables

La commune d'Isches est concernée par une carte communale approuvée. Néanmoins, les cartes communales ne comprenant pas de règlement, Isches est régie par le Règlement National de l'Urbanisme (RNU) ; au même titre que la commune de Serécourt qui ne possède pas de document d'urbanisme.

Le RNU édicte des règles générales codifiées aux articles R. 111-1 à R. 111-25 du Code de l'Urbanisme. Chaque article du RNU permet de limiter le droit pour le constructeur de réaliser une construction lorsque celle-ci porterait atteinte à l'intérêt public d'urbanisme, d'hygiène ou de sécurité et salubrité. Ces articles sont répartis en trois sections qui sont :

- Localisation et desserte des constructions (R.111-2 à R.111-15),
- Implantation et volume des constructions (R.111-16 à R.111-20),
- Aspect des constructions (R.111-21 à R.111-24).

D'après le RNU, « *les constructions et installations nécessaires à l'exploitation agricole, à des équipements collectifs dès lors qu'elles ne sont pas incompatibles avec l'exercice d'une activité agricole, pastorale ou forestière sur le terrain sur lequel elles sont implantées* » (2° de l'article L. 111-4 du code de l'urbanisme) peuvent être autorisées en dehors des parties urbanisées de la commune. En dehors des secteurs constructibles des cartes communales, ce sont les mêmes principes qu'en zone naturelle et forestière et en zone agricole qui s'appliquent.

En vertu de la jurisprudence¹ et de l'article 4 de l'arrêté ministériel du 10 novembre 2016 définissant les destinations et sous-destinations de constructions pouvant être réglementées par le règlement national d'urbanisme et les règlements des plans locaux d'urbanisme ou les documents en tenant lieu, les éoliennes sont considérées comme étant des équipements collectifs. Ainsi, les éoliennes peuvent donc être autorisées.

Le parc éolien de la Colonne Saint-Joseph :

- Ne porte pas atteinte à la salubrité ou sécurité publique ;
- Ne compromet pas la conservation ou la mise en valeur d'un site ou de vestiges archéologiques ;
- Est desservi en grande partie par des chemins agricoles existants ;
- Ne présente aucun risque pour la sécurité des usagers des voies publiques en raison du caractère rural et isolé du site d'implantation (passage occasionnel de véhicules et éloignement de la RD25, qui borde l'ouest de la zone d'implantation du projet, jugé suffisant par le Conseil Départemental des Vosges (CD88) : dérogation au recul indiqué dans le règlement de voirie, pouvant alors être d'au moins 195 mètres - mail du 26/04/2023).

Aucun bâtiment à usage d'habitation ni aucune zone urbanisée ne se situe dans l'aire d'étude de 500 mètres autour des éoliennes.

¹ Conseil d'État, 6ème et 1ère sous-sections réunies, 13/07/2012, 345970, Arrêt du 11/12/2018 de la cour administrative de Marseille (n°17MA04390)

7.1.2 Établissements recevant du public

→ Cf. Carte 3 : Environnement humain

Constituent des Établissements recevant du public (ERP) tous les bâtiments, locaux et enceintes dans lesquels des personnes sont admises, soit librement, soit moyennant une rétribution ou une participation quelconque, ou dans lesquels sont tenues des réunions ouvertes à tout venant ou sur invitation, payantes ou non. Cela regroupe donc un très grand nombre d'établissements, comme les magasins et centres commerciaux, les cinémas, les théâtres, les hôpitaux, les écoles et universités, les hôtels et restaurants... (source : ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la Mer).

Aucun ERP n'est situé dans un rayon de 500 mètres autour des éoliennes. L'ERP le plus proche se situe à 180 mètres au nord-est de l'aire d'étude de dangers. D'après le recensement dans la BD Topo, il s'agit d'un bar glacier implanté en dehors du centre bourg (cf. [Carte 3](#)).

Deux bâtiments sont identifiés au sein de l'aire d'étude des dangers, au nord. Cependant, ce ne sont pas des bâtiments à usage d'habitation ou de réception de public : il s'agit d'un hangar agricole pour du stockage lié à de l'élevage, et d'un monument religieux en bordure du chemin de la Haie des Cerisiers, la « Colonne Saint Joseph », qui a d'ailleurs donné son nom au projet.



Figure 2 : Bâtiment de stockage agricole le long de la RD25 (à gauche) et monument de la Colonne Saint Joseph (à droite) (source : capture d'écran GoogleMaps, 2019), tous deux dans l'aire d'étude des dangers

Aucun établissement recevant du public (ERP) n'est recensé dans un rayon de 500 mètres autour des éoliennes, correspondant à l'aire d'étude de dangers.

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

Toutes exploitation industrielle ou agricole susceptible de créer des risques ou de provoquer des pollutions ou nuisances, notamment pour la sécurité et la santé des riverains, est une installation classée.

7.1.3.1 Plans de Prévention des Risques technologiques (PPRT) et entreprises SEVESO

Le 24 juin 1982, la directive dite SEVESO demande aux États et aux entreprises d'identifier les risques associés à certaines activités industrielles dangereuses et de prendre les mesures nécessaires pour y faire face. La directive SEVESO a été modifiée à diverses reprises et son champ a été progressivement étendu. Elle fut transposée en droit français au travers de l'arrêté ministériel du 10 mai 2000, du décret de nomenclature des installations classées (permettant de distinguer les établissements SEVESO haut) et les procédures codifiées dans le code de l'environnement (article L. 515-8 pour la maîtrise de l'urbanisation future, article R. 512-9 pour l'étude de dangers, etc.).

Sa bonne mise en application est l'une des priorités importantes de l'inspection des installations classées, sous l'autorité des préfets.

La loi n°2003-699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages prévoit l'élaboration de plans de prévention des risques technologiques (PPRT). Leur objectif est de résoudre les situations difficiles en matière d'urbanisme héritées du passé et mieux encadrer l'urbanisation future. Les PPRT concernent les établissements SEVESO à « hauts risques » dits AS.

Aucune entreprise SEVESO ni aucun PPRT ne concerne l'aire d'étude des dangers.

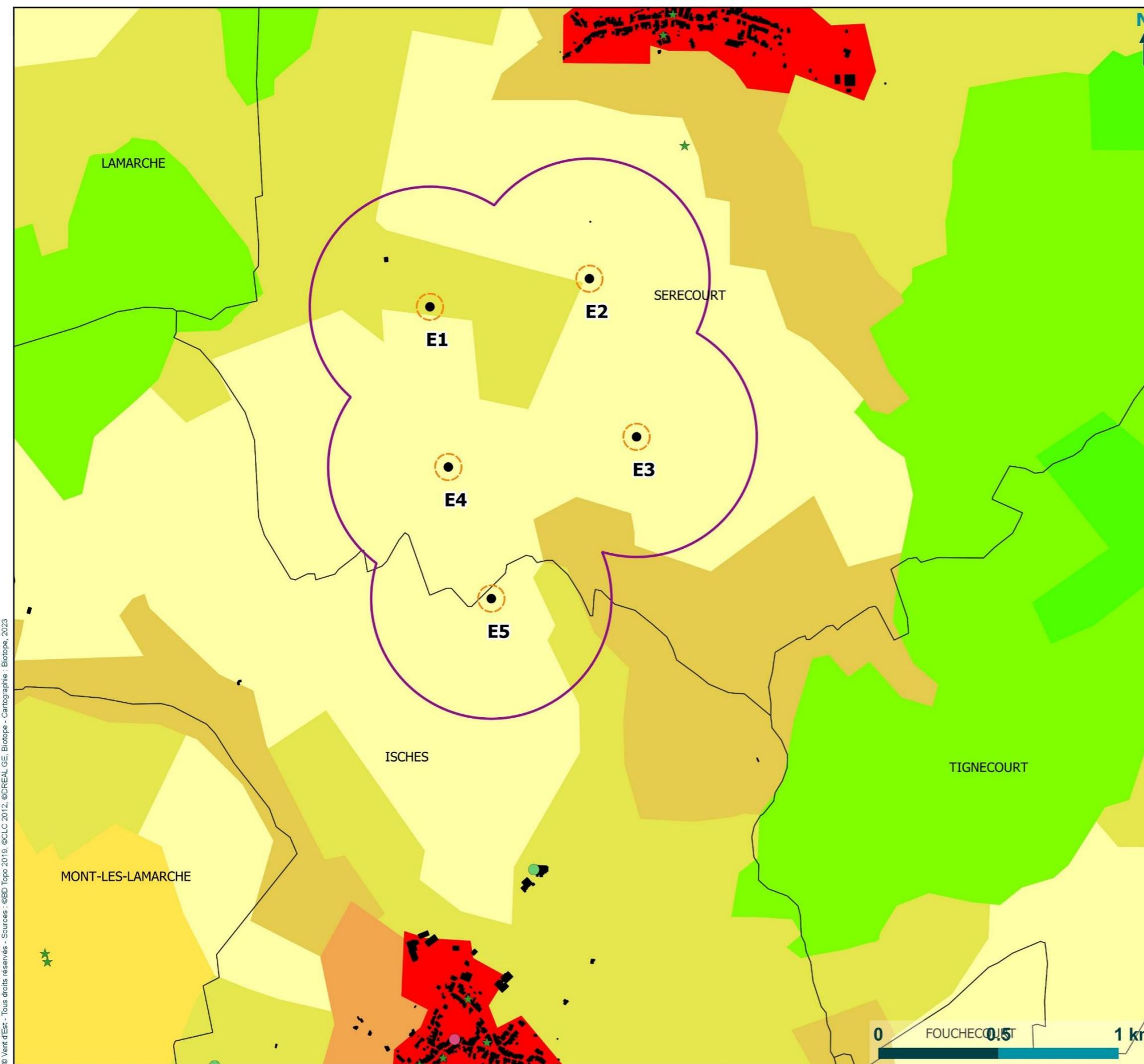
Aucune entreprise SEVESO ni aucun plan de prévention des risques technologiques (PPRT) ne concerne l'aire d'étude des dangers, et n'est donc présente dans un rayon de 500 mètres autour des éoliennes.

7.1.3.2 Nucléaire

Aucune centrale nucléaire ne se trouve à proximité des communes concernées par le projet et de l'aire d'étude des dangers.

La centrale nucléaire la plus proche se trouve à plus de 120 kilomètres, sur la commune de Fessenheim, dans le Haut Rhin. L'aire d'étude des dangers n'est donc pas concernée par le périmètre de sécurité de 20 kilomètres autour de la centrale nucléaire la plus proche.

L'aire d'étude des dangers ne se trouve pas dans le périmètre de sécurité de 20 kilomètres autour de la centrale nucléaire la plus proche.



ÉLECTRICITÉ DE LA SAÔNE LORRAINE

Carte 3 : Environnement humain

Environnement humain

Projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph

Aire d'étude (500 m)

Eoliennes

Zones de survol des pales

Limites communales

Bâtiments et installations

Bati

Etablissements recevant du public

Installations Classées

Autorisation

Autres régimes

Occupation du sol

112 - Tissu urbain discontinu

211 - Terres arables

222 - Vergers et petits fruits

231 - Prairies et autres surfaces toujours en herbe

242 - Systèmes culturaux et parcellaires complexes

243 - Surfaces essentiellement agricoles, interrompues par des espaces naturels

311 - Forêts de feuillus

313 - Forêts mélangées

7.1.3.3 Autres installations classées à proximité du projet

→ Cf. Carte 3 : Environnement humain

1) Parcs éoliens

Malgré l'activité industrielle principalement liée au développement de l'éolien, en plein essor en région Grand Est, le territoire du projet et le département des Vosges sont peu concernés par l'implantation de parcs éoliens.

Dans un périmètre de 20 km autour du projet, un seul parc éolien construit/en service et un seul projet éolien en instruction sont référencés, d'après le contexte éolien mis à disposition par la DREAL Grand Est en date du 01/02/2023. Le plus proche correspond au parc éolien Source de Meuse, situé à 16,2 km de l'aire d'étude des dangers ; soit à grande distance du projet.

Aucun parc éolien n'est présent sur les communes concernées par le projet ainsi que sur les communes voisines.

2) Autres Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)

Aucune ICPE n'est recensée au sein de l'aire d'étude des dangers. Deux exploitations agricoles, une Exploitation agricole à responsabilité limitée (EARL) et un Groupement Agricole d'Exploitation en Commun (GAEC), se situent à proximité de l'aire d'étude des dangers et sont recensées comme ICPE.

L'ICPE la plus proche (GAEC) se situe à 1,14 km au sud de l'éolienne E2 la plus proche, sur la commune d'Isches (autre régime qu'autorisation ou enregistrement).

Aucune autre ICPE n'est recensée sur l'aire d'étude des dangers.

7.1.4 Autres activités

Les activités présentes dans l'aire d'étude des dangers sont majoritairement des activités agricoles. L'agriculture est une activité économique importante sur le territoire concerné par le projet. L'aire d'étude des dangers est occupée en grande majorité par des parcelles cultivées ou des prairies semées. Aucun siège d'exploitation n'est présent au sein de l'aire d'étude.

Aucun lieu touristique, hôtel, gîte ou camping n'est recensé sur l'aire d'étude des dangers.

D'après l'office du tourisme des Vosges (source : Tourisme-vosges, Office du tourisme des Vosges Côté Sud-Ouest) et la Fédération française de randonnée (FFRandonnée, Club Vosgien Monthurolais), les communes d'Isches et Serécourt sont directement concernées par des circuits de VTT et de cyclotourisme, et des sentiers de randonnée :

Trois circuits de VTT :

- Le Mont du Milieu (23 km) et la Petite Verpière (13 km) qui débutent à Isches, mais seul le circuit de la Petite Verpière traverse l'aire d'étude des dangers ;
- La Côte d'Ainvelle (20 km) qui débute à Mont-Lès-Lamarche et qui passe par Isches, mais qui ne concerne pas l'aire d'étude des dangers.
- Un circuit de vélo de route (cyclotourisme) : les Monts Faucilles (circuit familial), qui passe par l'aire d'étude des dangers et qui est globalement identique au circuit VTT de la Petite Verpière.

Trois sentiers de randonnée pédestre :

- Le sentier de l'Arboretum (5 km) au départ de Isches, qui ne concerne pas l'aire d'étude des dangers et qui est globalement identique aux circuits VTT de la Petite Verpière et de cyclotourisme des Monts Faucilles ;
- Le sentier des Étangs (12,3 km) au départ de Isches, qui passe par l'aire d'étude des dangers ;
- Le sentier À travers la Vôge (43 km) au départ Vioménil, qui passe par Isches et ne concerne pas l'aire d'étude des dangers.

Ainsi, un seul tracé, qui concerne à la fois un sentier de randonnée, un circuit de VTT et un circuit de cyclotourisme, passe au sein de l'aire d'étude des dangers (localisation sur la carte ci-dessous).

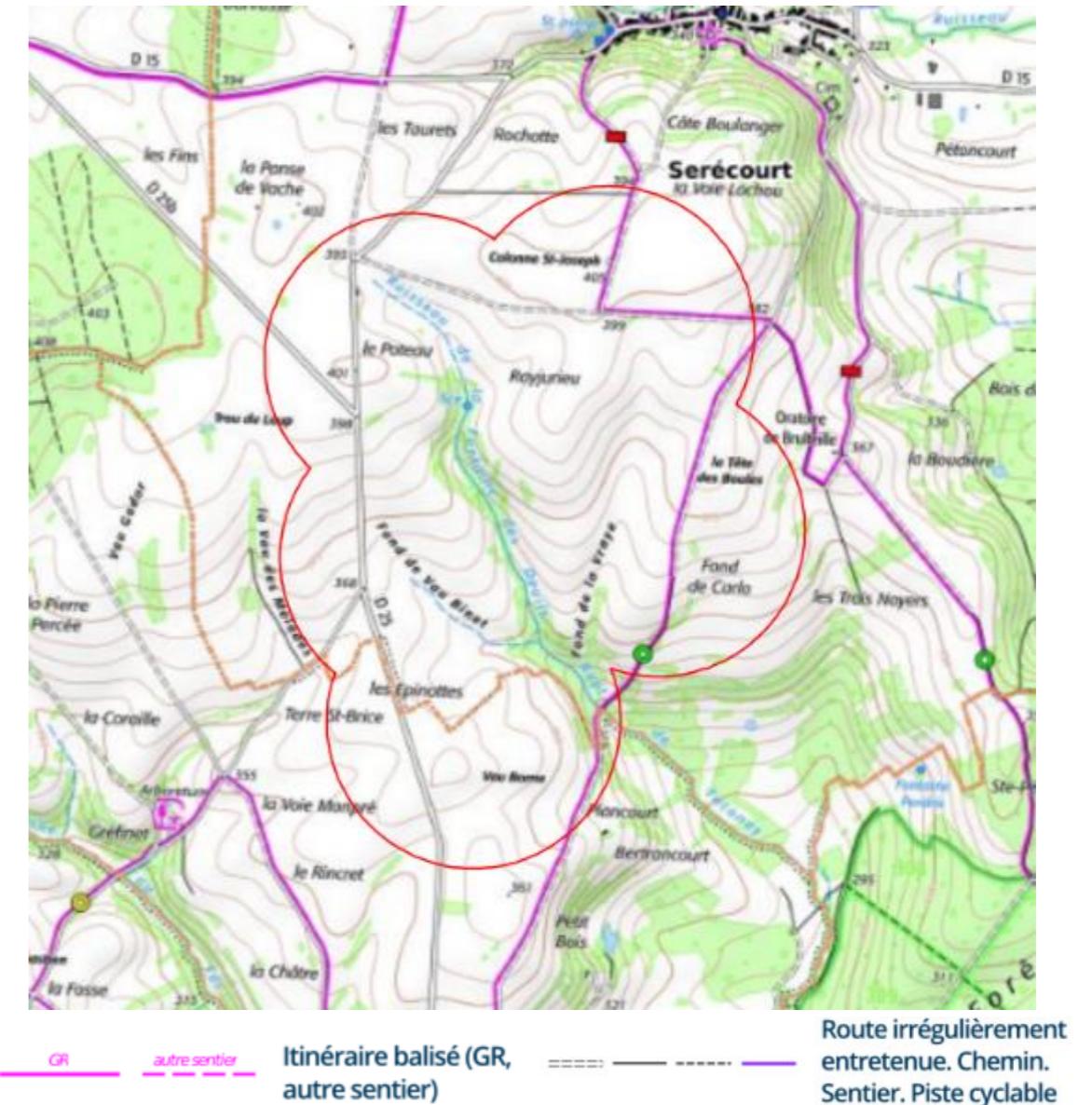


Figure 3 : Circuit traversant l'aire d'étude des dangers (source : Géoportail et BD Topo IGN)

Par ailleurs, la commune de Serécourt est concernée par le passage du sentier de grande randonnée GR7, dont l'idée est de suivre la ligne de partage des eaux entre Méditerranée et Atlantique. Il démarre du Ballon d'Alsace et termine à Andorre-la-Vieille (Andorre). Ce GR est toutefois situé en dehors de l'aire d'étude des dangers et passe à 450 mètres au nord.

Le tracé passant par l'aire d'étude des dangers (concernant à la fois des circuits de randonnée, de VTT et de cyclotourisme) est d'importance locale et hors itinéraire de grande randonnée (GR).

Il n'y a donc pas de sentier très fréquenté qui traverse l'aire d'étude des dangers, mais ce circuit correspond toutefois à un « chemin de promenade, de randonnée » selon l'Annexe 1. Puisqu'il s'agit d'une boucle locale, nous faisons l'hypothèse, dans la suite de l'étude des dangers, qu'elle est fréquentée par moins de 100 promeneurs par jour (soit un ratio de 2 personnes par kilomètre passant par l'aire d'étude des dangers).

De plus, des activités de chasse peuvent être pratiquées en saison sur l'aire d'étude des dangers. Les principaux gibiers sont les cerfs, les chevreuils, les sangliers et les lièvres.

Les autres activités au sein de l'aire d'étude des dangers sont essentiellement des activités agricoles (parcelles cultivées). Secondairement, des activités cynégétiques et de promenade locale (à pied et à vélo) peuvent y avoir lieu.

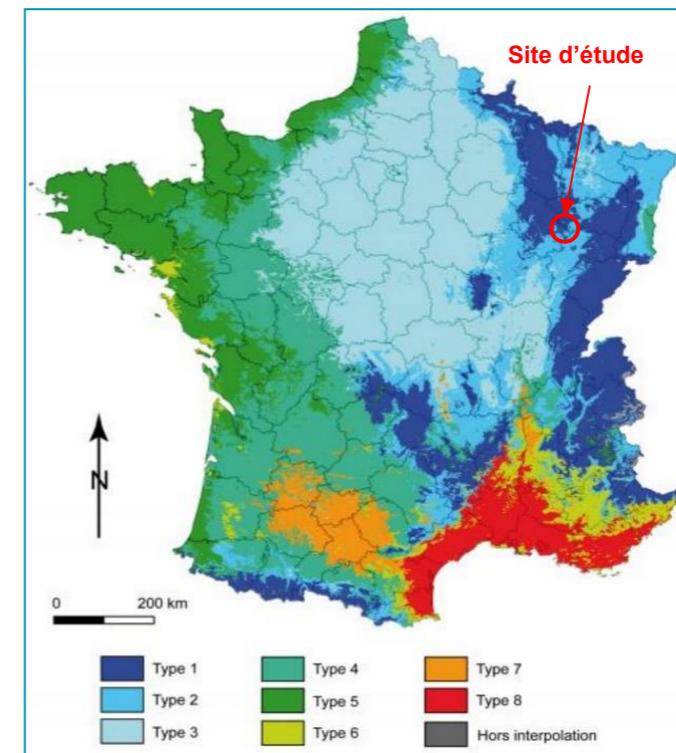


Figure 4 : Les climats de France (Source : *Les types de climats en France, une construction spatiale*, Daniel JOLY et al.)

7.2 Environnement naturel

Cette partie porte sur la description du contexte climatique et des risques naturels autour du site. Les risques naturels désignent l'ensemble des menaces que certains phénomènes et aléas naturels font peser sur des populations, des ouvrages et des équipements. Les risques technologiques (voies, canalisations, transport...) sont traités dans la partie suivante.

7.2.1 Contexte climatique

Source : Météo France, <http://www.energie-foudre.com/>, Article : *Les types de climats de France, une construction spatiale*, météoblue.fr

L'étude de dangers doit préciser l'ensemble des informations nécessaires à l'appréciation des conditions climatiques et météorologiques du site.

7.2.1.1 Climat de la région

Le département des Vosges présente un climat semi-continental (entre le type 1 : le climat de montagne, et le type 2 : le climat semi-continental et des marges montagnardes) selon la carte des climats de France ; avec des étés chauds et des hivers rudes.

La pluviométrie annuelle est relativement élevée avec un grand nombre de jours de neige ou de gel, ainsi que des pluies à caractère orageux l'été. Ce type de climat concerne le quart nord-est de la France, ainsi que certaines plaines encaissées du Massif central et des Alpes.

7.2.1.2 Climat local

Au niveau local, les données climatiques disponibles les plus représentatives du secteur d'étude sont celles issues de la station Météo France de Langres, située dans le département de la Haute-Marne (52), à environ 44 km au Sud-Ouest du site du projet.

7.2.1.2.1 Températures et précipitations

Les normales de saisons issues de la station Météo France de référence la plus proche, à savoir la station de Langres, sont présentées ci-après.

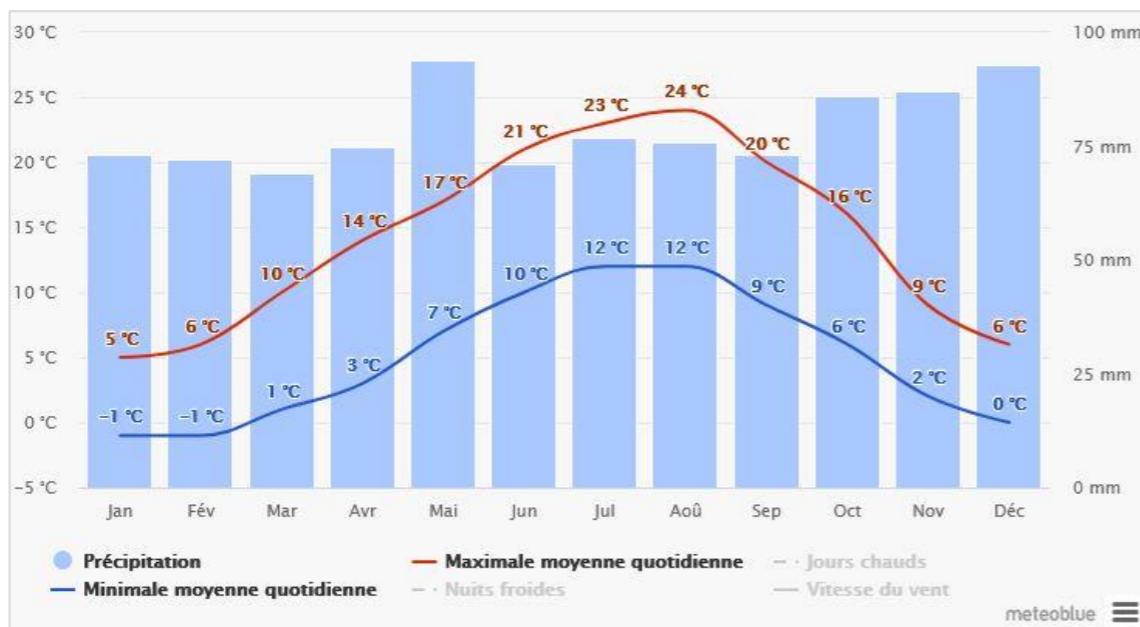


Figure 5 : Diagramme ombrothermique de la station de Langres (Source : meteoblue)

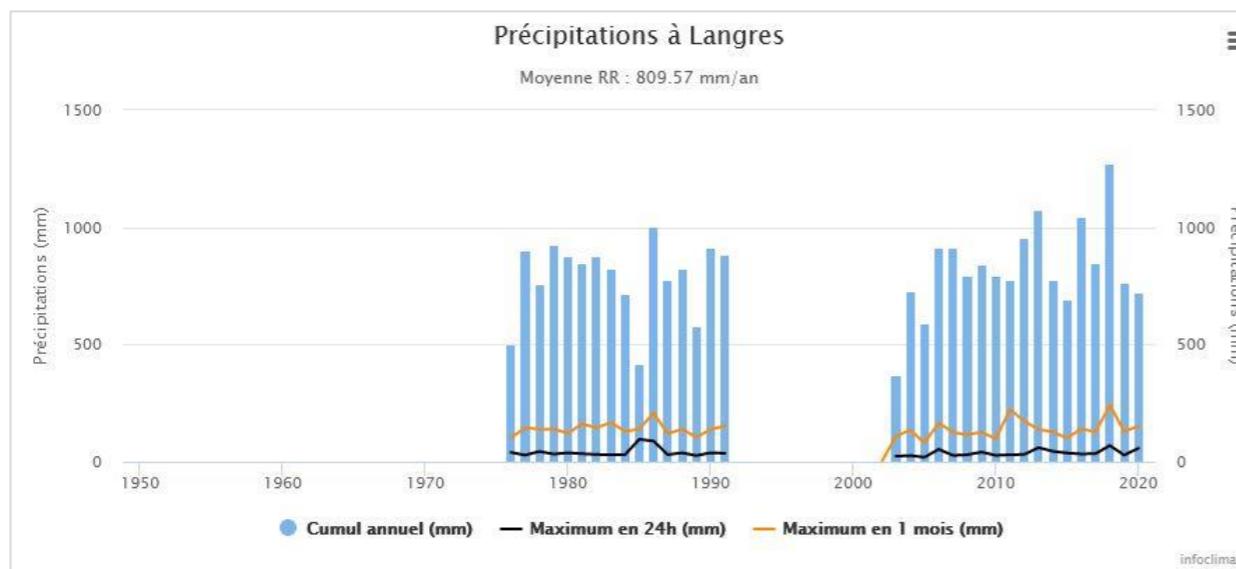


Figure 6 : Cumul annuel des précipitations mesurées à la station de Langres de 1976 à 1991, puis de 2003 à 2020 (Source : infoclimat.fr)

La température moyenne annuelle est de 9,7 °C, avec un minimum de -1,3 °C en janvier et un maximum de 23,5 °C en juillet. Il pleut en moyenne 173,9 jours par an pour un cumul annuel des précipitations de l'ordre de 895,5 mm, réparti durant l'année avec des hauteurs moyennes mensuelles plus importantes aux mois de mai, octobre, novembre et décembre (avec plus de 80 mm de précipitation par mois). Le mois d'avril est le mois le plus sec (59,9 mm).

On constate toutefois une certaine variabilité du cumul des précipitations d'une année sur l'autre, avec des années de sécheresse et des années plus arrosées. L'année 2018 a été marquée par des précipitations particulièrement abondantes (avec 1 273 mm de précipités dans l'année), tandis que l'année 2003 a connu un déficit hydrique important (avec 369,5 mm).

7.2.1.3 Ensoleillement

La durée moyenne d'ensoleillement enregistrée au niveau de la station de Langres est de 1 702,9 h sur la période 1981-2010. Le mois le plus ensoleillé est juillet (225,8 h), tandis que le mois de décembre correspond au mois où l'insolation est la plus faible (48,4 h).

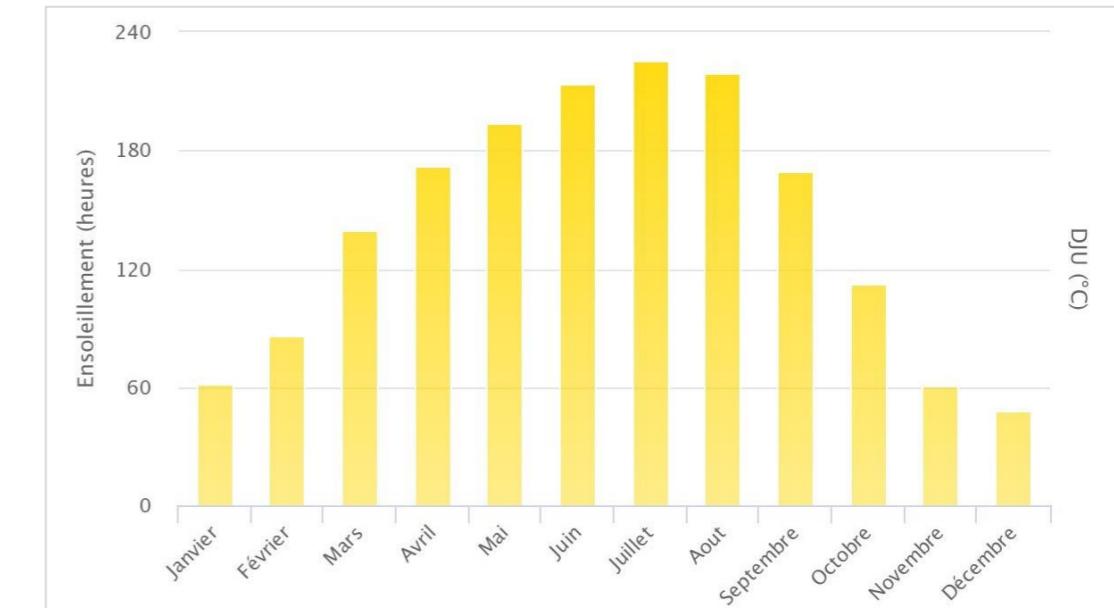


Figure 7 : Durée d'ensoleillement annuel moyen sur la période 1981-2010 au niveau de la station météo de Langres (Source : infoclimat.fr)

7.2.1.4 Vent

Une éolienne a besoin de vent présentant une vitesse minimale de l'ordre de 3 à 4 m/s pour que la rotation des pales puisse démarrer et que l'aérogénérateur puisse commencer à produire. Au-delà d'une certaine vitesse (de l'ordre de 20-25 m/s), des dispositifs de sécurité mettent l'éolienne à l'arrêt de manière à garantir sa sécurité.

Deux éléments sont à prendre en compte dans l'appréciation du potentiel éolien :

- La vitesse moyenne de vent pour une première approche ;
- La répartition des vents par classe de vitesse qui permet quant à elle de calculer l'énergie disponible.
- D'après le Schéma Régional Eolien de Lorraine, le potentiel éolien pour l'ancienne région Lorraine est considéré comme favorable lorsque le régime de vent est supérieur à 4,5 m/s à 40 mètres de hauteur.

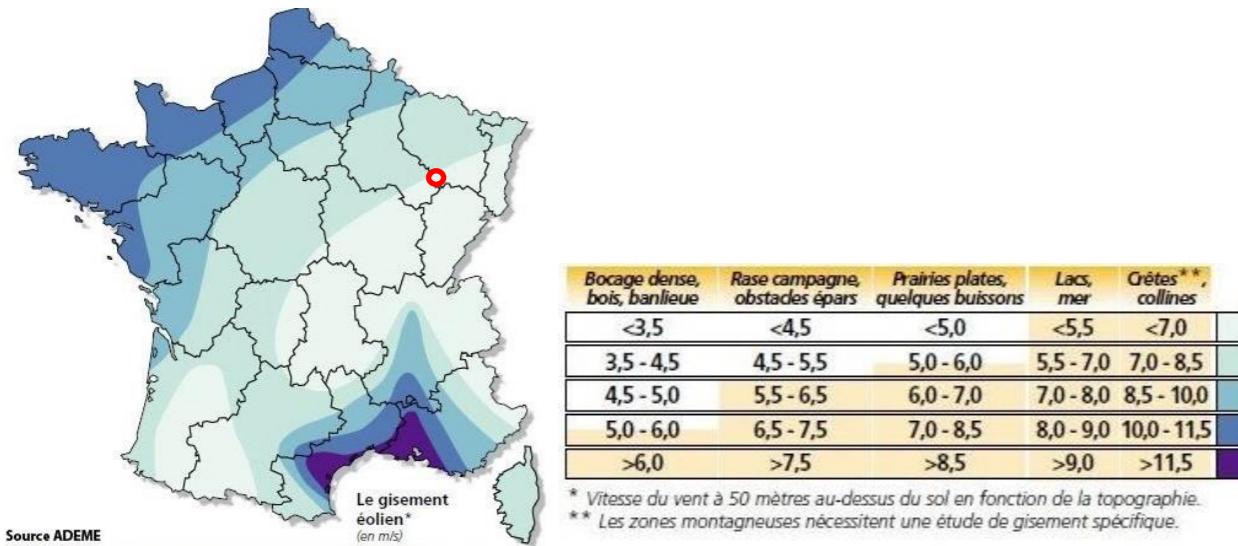


Figure 8 : Carte des vents de France (Source : ADEME) – Secteur de projet en rouge

Selon la cartographie du gisement éolien de l'ADEME (ci-avant), le site de projet apparaît dans un secteur où le vent à 50 mètres de hauteur se situe en dessous de 4,5 m/s en rase campagne et prairies plates ; tandis qu'il peut présenter une vitesse plus élevée sur les crêtes.

D'après la carte des vents moyens à 40 mètres du Schéma Régional Eolien de Lorraine (ci-après), le site de projet se situe dans un secteur de vent d'environ 5,15 m/s. Ainsi, cette valeur à 40 m est supérieure à la vitesse minimale considérée dans le Schéma Régional Eolien pour qu'une éolienne puisse fonctionner.

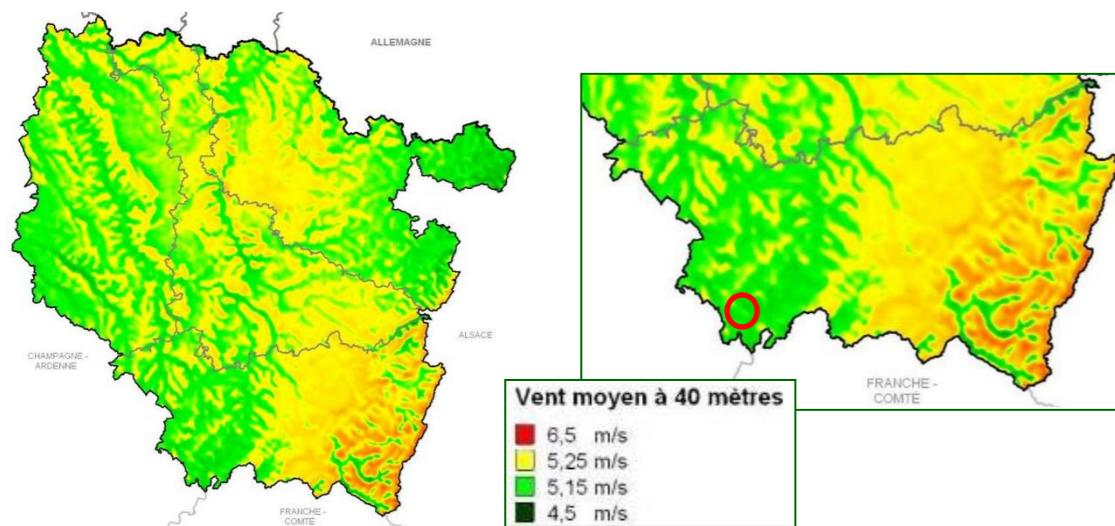


Figure 9 : Carte de la ressource éolienne en région de Lorraine : vents moyens à 40 m (Source : SRE Lorraine) – Secteur de projet en rouge

Le vent est présent toute l'année même si les périodes les plus ventées correspondent à l'hiver et au début du printemps.

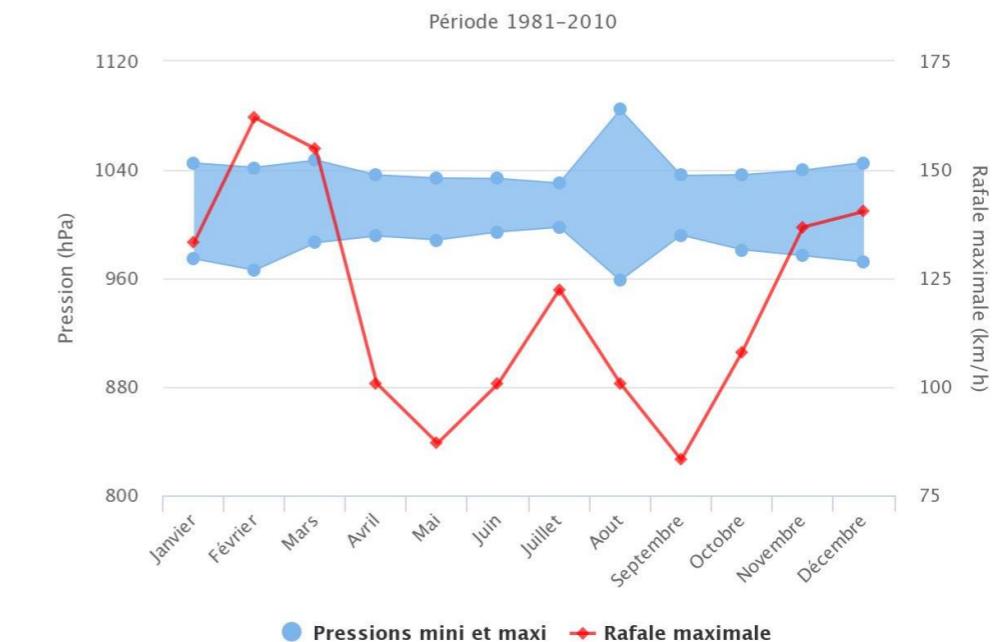


Figure 10 : Pression atmosphérique et vitesse maximale moyenne des vents à la station de Langres
(source : infoclimat.fr, normales 1981-2010)

Les rafales de vent maximales sont de l'ordre de 160 km/h pour les mois de février-mars.

Les vitesses et directions moyennes du vent enregistrées à la station de Langres sont présentées dans la rose des vents ci-après. Les vents dominants sont principalement de secteur sud-sud-ouest, et dans une moindre mesure de direction nord-est.

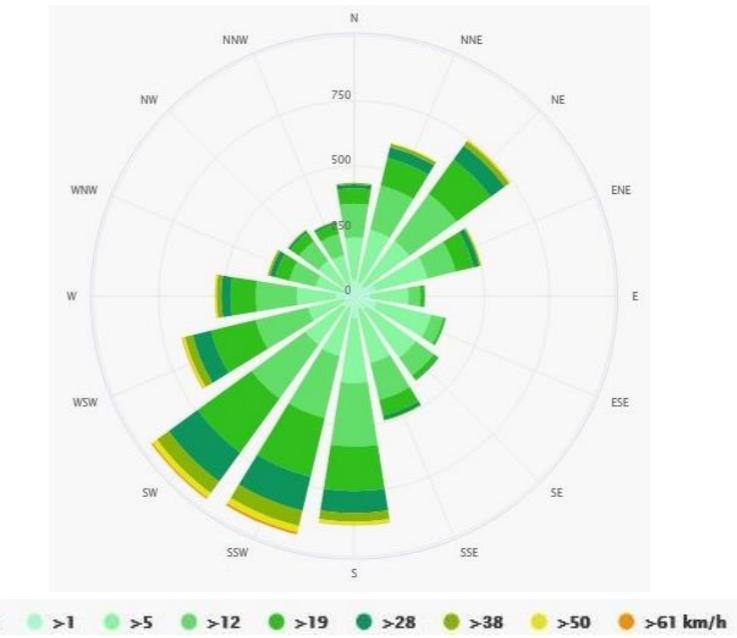


Figure 11 : Rose des vents à la station météo de Langres (Source : infoclimat.fr)

D'après les données des fiches climatologiques de Météo France, le nombre de jours avec vents forts (dépassant les 16m/s soit 57,6 km/h) est relativement important avec une moyenne de 29,4 jours par an.

Les conditions climatiques locales apparaissent donc favorables à la réalisation du projet.

7.2.1.5 Autres phénomènes météorologiques

Concernant le nombre moyen de jours par an d'apparition de phénomènes météorologiques comme le gel (températures inférieures à 0 °C), le brouillard, les orages, la neige et les vents au moins modérés (supérieurs à 16 m/s ou 57 km/h), on compte en moyenne :

- 77,5 jours de brouillard ;
- 23,4 jours d'orage ;
- 24,6 jours de neige.

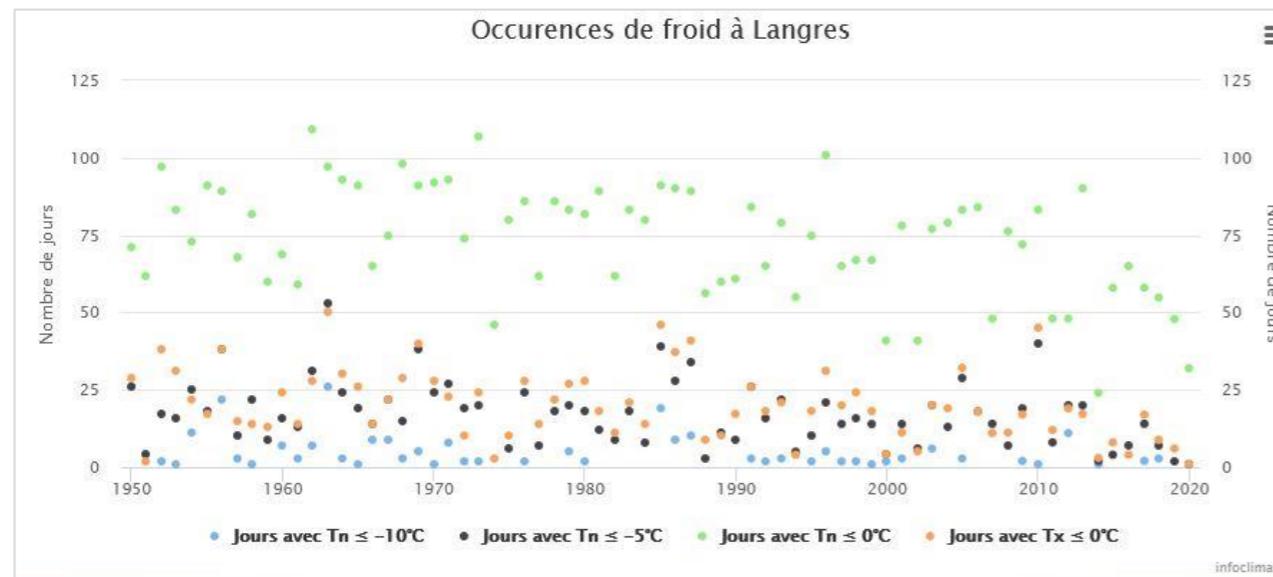


Figure 12 : Occurrences de froid enregistrées à la station de Langres (Source : infoclimat.fr)

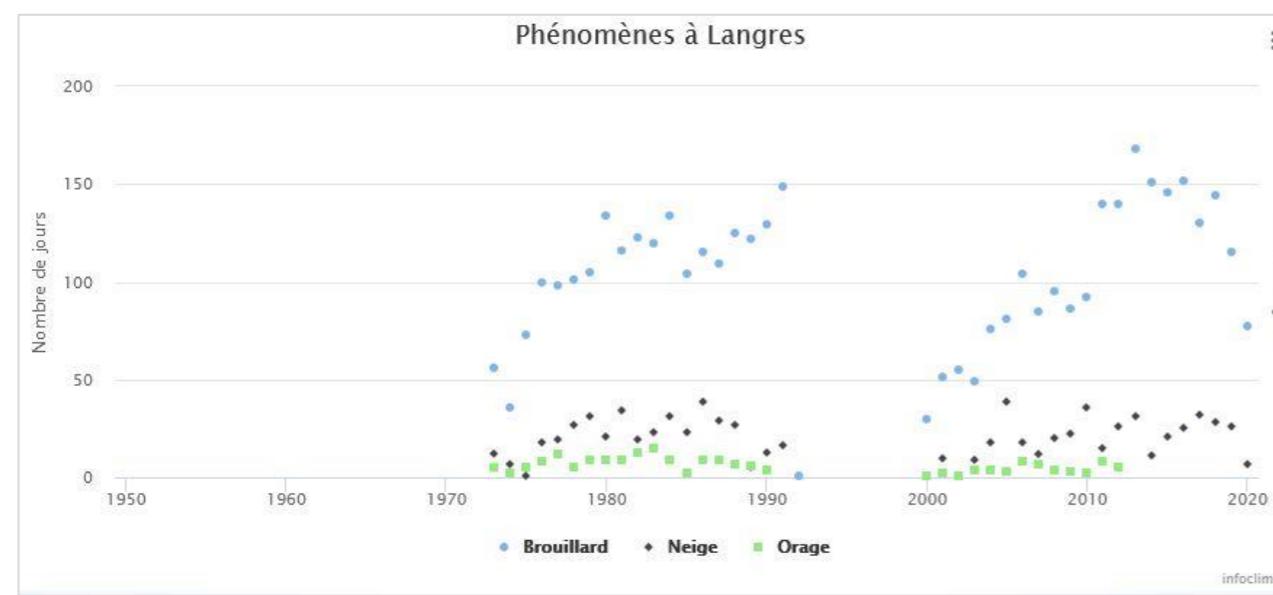


Figure 13 : Nombre de jours de brouillard, neige et d'orage enregistrés à la station de Langres (Source : infoclimat.fr)

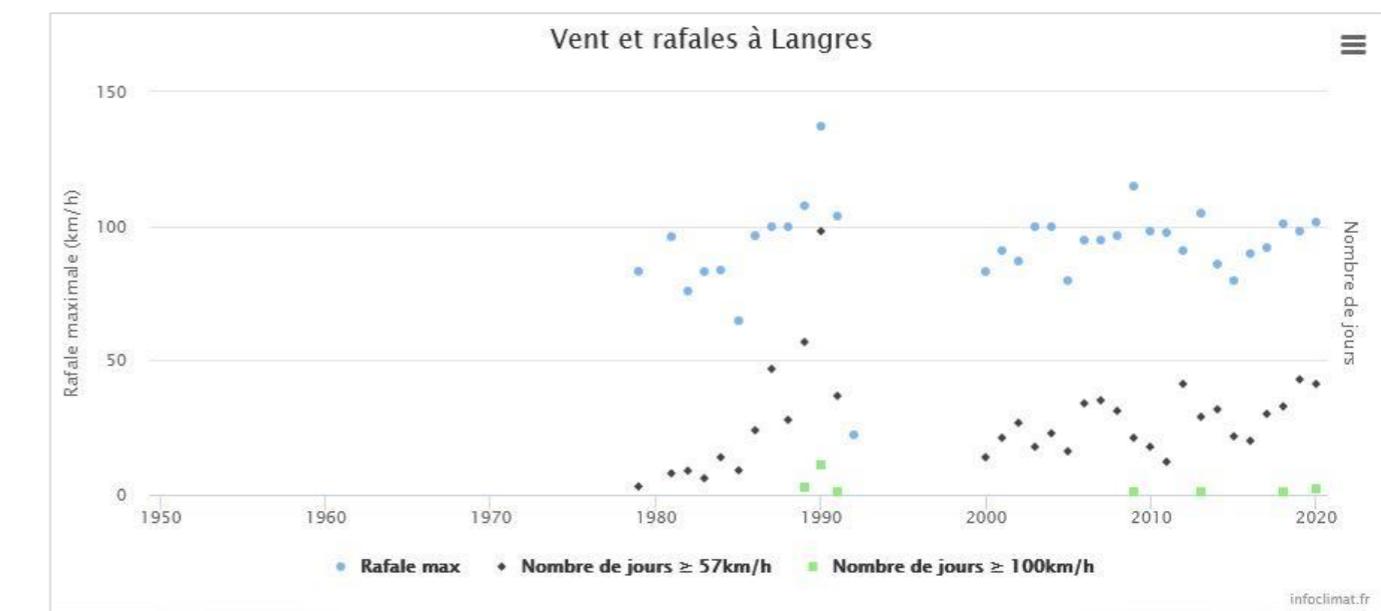


Figure 14 : Nombre de jour de vents forts enregistrés à la station de Langres (Source : infoclimat.fr)

7.2.1.6 Foudre

Le niveau kéraunique (Nk) correspond au nombre d'orages, et plus précisément au nombre de coups de tonnerre entendus dans une zone donnée ; sachant que la foudre frappe environ 1 fois pour 10 coups de tonnerre entendus. Cette mesure est très souvent la référence pour juger de l'activité orageuse d'un secteur et pour définir les zones où la pose d'une protection contre la foudre (parafoudre) devient obligatoire (Nk supérieur ou égale à 25).

La carte du niveau kéraunique de France qui représente ce risque lié aux impacts de foudre indique que le département des Vosges est concerné par une densité de foudroiement plutôt faible, de l'ordre de 22 Nk.

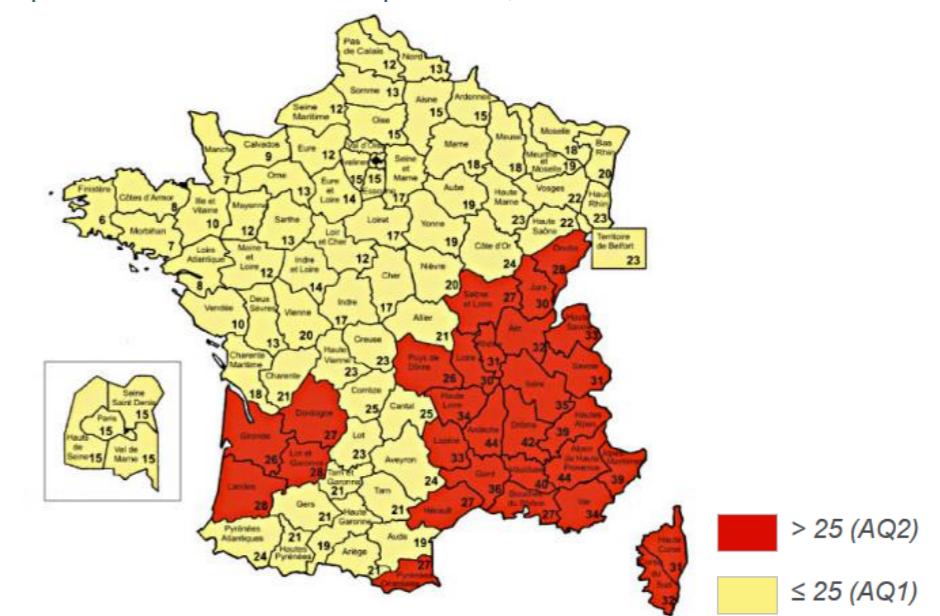


Figure 15 : Niveau kéraunique (Nk) par département – Norme NF C 17.100 (Source : energie-foudre.com)

Le risque d'un impact de foudre susceptible d'avoir un impact sur le projet et son environnement proche est faible. Toutefois, les éoliennes sont des objets de grande dimension localisées le plus souvent sur des points hauts du relief et dont une partie des composants est constituée de métaux susceptibles d'attirer la foudre.

7.2.2 Risques naturels

L'étude de dangers doit lister les différents risques naturels identifiés dans la zone d'étude. En effet, ces risques sont susceptibles de constituer des agresseurs potentiels pour les éoliennes et doivent donc être pris en compte dans l'analyse préliminaire des risques.

→ Cf. Carte 4 : Environnement naturel et matériel

La base de données du BRGM, Infoterre et du Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM) des Vosges (mis à jour en 2021), permettent de synthétiser les risques naturels en présence (Cf. détails dans le sous-dossier 3-1 : *Étude d'Impact sur l'environnement*). Ce chapitre a des liens avec l'étude d'impact qui analyse les conséquences sur l'environnement et la santé du fonctionnement normal des installations.

Les risques naturels majeurs principaux présents au sein de l'aire d'étude des dangers sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 4 : Risques naturels au sein de l'aire d'étude

Risque majeur	Niveau de risque / aléa au sein de l'aire d'étude
Inondations	<p>Les communes de Serécourt et Isches (et donc a fortiori l'aire d'étude de dangers) ne sont concernées : ni par un Atlas des zones inondables (AZI), ni par un Plan de prévention des risques inondation (PPRI), ni par un Territoire à risque important d'inondation (TRI).</p> <p>Au droit du projet éolien, si le site est encadré par deux ruisseaux et que de petits ruisseaux la traversent, ces cours d'eaux sont mineurs et ne représentent pas un risque de débordement. Les communes traversées par ces entités ne figurent pas parmi les communes soumises à l'aléa inondation.</p> <p>Aléa inondation par débordement nul.</p> <p>L'aire d'étude des dangers n'est pas concernée par un risque inondation dû à la remontée de nappe, mais uniquement pour inondation de cave (E1 et E4).</p> <p>Aléa inondation par remontée de nappe très faible.</p>
Séisme	<p>D'après le DDRM, les communes de Serécourt et Isches sont concernées par un risque sismique faible (zone de sismicité 2).</p> <p>Aléa faible.</p>
Mouvement de terrain : Aléa retrait-gonflement des argiles	<p>Selon le DDRM des Vosges, les communes de Serécourt et Isches sont concernées par le risque de retrait-gonflement des argiles.</p> <p>Aléa faible (éolienne E1). Dans le cadre du dimensionnement des fondations, des études géotechniques doivent être réalisées.</p>
Mouvement de terrain : Effondrement de cavités souterraines	<p>Des cavités naturelles sont recensées sur les communes de Serécourt et Lamarche au nord-est du projet. Cependant, aucune cavité souterraine n'est répertoriée au sein de l'aire d'étude des dangers.</p> <p>Aléa très faible.</p>
Mouvement de terrain (autre) : coulées, chutes, affaissements, glissements de terrain...	<p>Selon le DDRM des Vosges, les communes de Serécourt et Isches ne sont pas concernées par le risque de mouvement de terrain (hors retrait gonflement des argiles).</p> <p>Aléa très faible.</p>
Foudre	<p>La densité de foudroiement est de 2,2 coup/km²/an (moyenne nationale : 1,2 coup/km²/an) dans le département des Vosges.</p> <p>Aléa faible. Cependant, la hauteur des éoliennes augmente le risque.</p>
Tempêtes	<p>Compte tenu du caractère diffus de ce type de phénomène météorologique, il peut survenir n'importe où. Le risque n'est pas plus élevé qu'ailleurs.</p> <p>Aléa faible.</p>

Risque majeur	Niveau de risque / aléa au sein de l'aire d'étude
Incendie de forêts et de cultures	<p>Les feux de forêt constituent un risque majeur pour le département des Vosges, d'après le DDRM. Compte-tenu que l'aire d'étude des dangers est occupée par des espaces ouverts agricoles, l'aléa feu de forêt est nul. Cependant, les incendies dans les cultures sont possibles.</p> <p>Aléa globalement très faible.</p>

Les risques naturels sont globalement faibles à nuls sur l'aire d'étude des dangers.

7.2.3 Environnement matériel

7.2.3.1 Voies de communication

7.2.3.1.1. Transport routier

L'aire d'étude des dangers est traversée sur sa partie ouest par la route départementale RD25, qui relie Serécourt et Isches du nord au sud. Cette départementale ne fait pas partie des routes catégorisées dans le « Classement sonore des infrastructures de transports des Routes Départementales » du département des Vosges. D'après les données de trafic routier sur la région Grand Est par CoMPTAGE (DREAL), le trafic moyen journalier sur la D25 était de 393 véhicules en 2021 et 356 en 2020, dont moins de 10 poids-lourds. Le trafic y est donc nettement inférieur à 2000 véhicules par jour.

Selon le règlement de voirie départementale des Vosges, « en bordure des routes départementales, une distance minimum de 1,5 fois la hauteur de l'éolienne (mât + pale) devra séparer l'éolienne du bord de la chaussée » ; soit 225 m ici. Toutefois, au regard du caractère non structurant de la D25 et de la configuration du site, le Conseil Départemental des Vosges (CD88) a autorisé de déroger au recul indiqué dans le règlement de voirie, donnant son accord pour une distance moindre, d'au moins 195 m, des éoliennes du projet à cet axe routier (mail du 26/04/2023).

L'aire d'étude des dangers est également traversée par plusieurs chemins communaux, principalement des chemins agricoles, orientés ouest-est et nord-sud. Aucune donnée de trafic n'est disponible sur ces axes. Cependant, l'hypothèse est faite que compte-tenu de la nature de ces infrastructures, moins de 1000 voitures par jour passent sur ces axes.

Ainsi, toutes les voies de communication à l'intérieur de l'aire d'étude des dangers sont des routes non structurantes (trafic inférieur à 2000 véhicules par jour).

L'aire d'étude des dangers est parcourue par plusieurs chemins communaux et par la RD25, une route non structurante, passant à l'ouest de E01, E4 et E05.

Le CD88 a donné son accord pour implanter les éoliennes à au moins 195 m de la départementale. Les enjeux liés au transport routier sont considérés comme faibles.

7.2.3.1.2. Transport ferroviaire

Le site d'étude est situé à environ 5,6 km au sud de la voie ferrée de Chaumont et Langres, qui se dirige vers le nord, vers Vittel et Nancy. Aucune voie ferrée n'est située dans l'aire d'étude des dangers.

7.2.3.1.3. Transport fluvial

Aucune voie navigable n'est située dans l'aire d'étude des dangers.

7.2.3.1.4. Transport aérien

L'aire d'étude des dangers est encadrée par un aéroport et deux aérodromes et se situe :

- À une quarantaine de kilomètres de l'aéroport de Luxeuil-les-Bains et de l'aérodrome de Damblain ;
- À une cinquantaine de kilomètres de l'aérodrome d'Epinal - Dogneville.

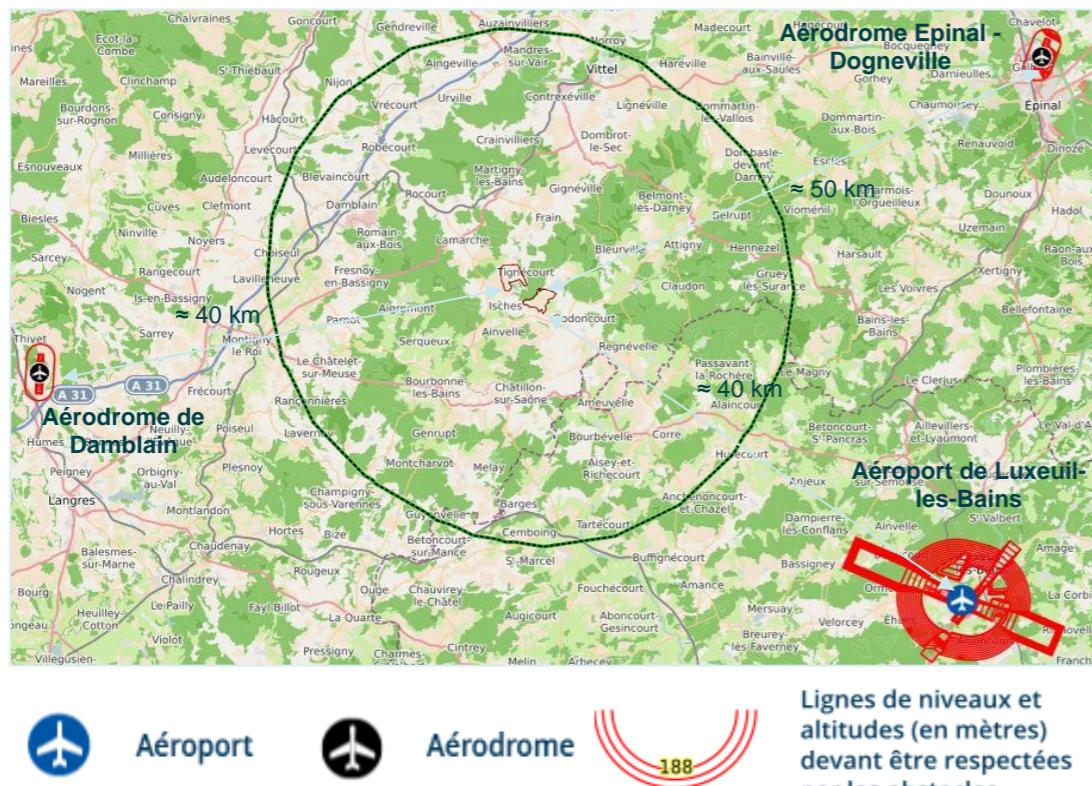


Figure 16 : Localisation des aéroports, aérodromes et plan de servitude aéronautique (PSA) (Source : Géoportail) - ZIP (en rouge) et de l'aire d'étude éloignée (en vert et noire)

Associées aux infrastructures que sont les bases aériennes, les servitudes aéronautiques sont destinées à assurer la protection d'un aérodrome contre les obstacles, de façon à ce que les avions puissent y atterrir et en décoller dans de bonnes conditions de sécurité et de régularité. Différentes catégories de servitudes protègent les aérodromes, notamment les servitudes aéronautiques de dégagement (S.A.D.) et les servitudes de balisage.

La Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC), consultée sur le présent projet, a indiqué qu'aucune servitude ou contrainte aéronautique rédhibitoire liée à la proximité immédiate d'un aérodrome civil, à la circulation aérienne ou à la protection d'appareils de radio-navigation n'est applicable sur la zone d'implantation du projet.

La Direction de la Circulation Aérienne Militaire (DIRCAM), consultée sur le présent projet, précise que du point de vue des contraintes aéronautiques, une partie de la ZIP se situe sous un tronçon du réseau de vol à très basse altitude (RTBA) des armées, dénommé LF-R 45 NS, destiné à protéger les aéronefs des armées qui évoluent à très grande vitesse et par toutes conditions météorologiques sans détecter systématiquement les obstacles ou éoliennes en-dessous et à proximité immédiate.

La DIRCAM indique toutefois que l'application des dispositions de vol des aéronefs qui doivent être respectées de part et d'autre de tout obstacle, sur l'équivalent d'une minute de vol, est compatible avec la hauteur du projet, ici d'une hauteur sommitale maximale de 150 m (149 mètres exactement).

La DIRCAM indique également que du point de vue des contraintes radioélectriques, l'extrême nord-ouest de la ZIP du projet, se situe dans la zone des 5-20 km autour du radar des forces armées de Contrexéville, qui comprend une zone d'exclusion à partir d'une altitude supérieure ou égale à 419,50 mètres NGF, dans laquelle toute construction d'aérogénérateurs est interdite. Cependant, l'aire d'étude des dangers est située au-delà des 20 km et n'est pas concernée.

Cartographie de la zone d'exclusion du radar des armées de Contrexéville

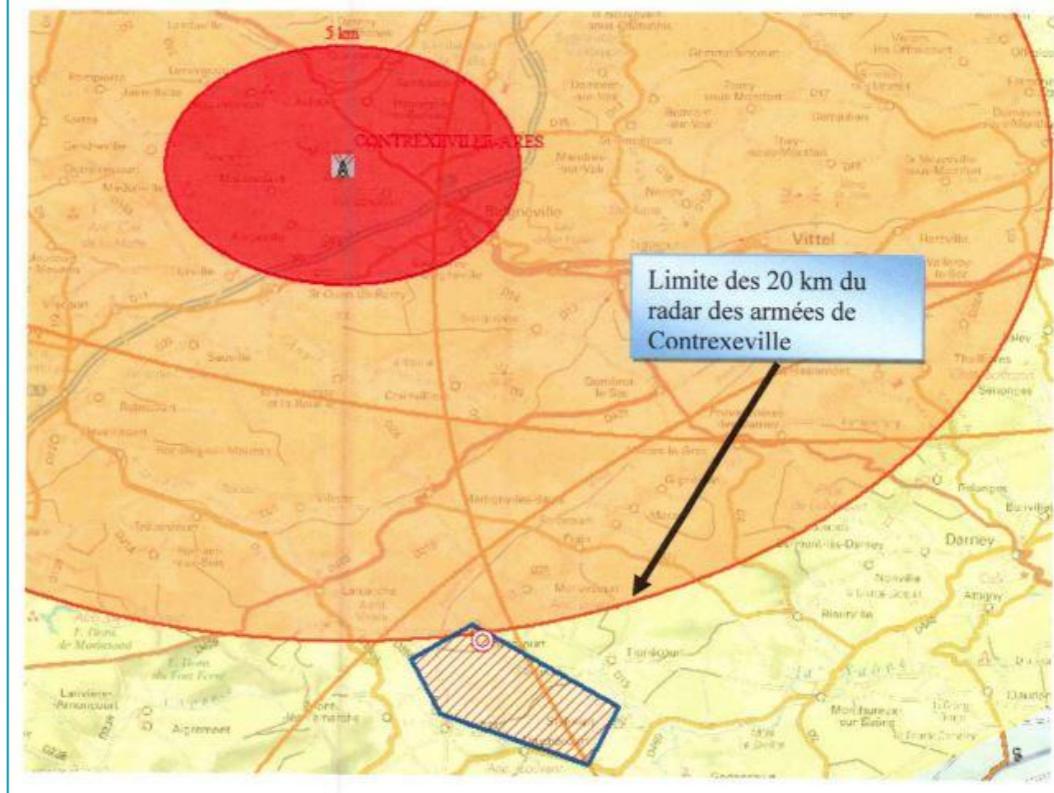


Figure 17 : Zone d'exclusion du radar des armées de Contrexéville (Source : Courrier de la DIRCAM de 2019) – Localisation approximative du projet par le polygone bleu hachuré de rouge

Le reste de la ZIP est concerné par la zone des 20-30 km autour de ce même radar, où le nombre d'éoliennes et/ou leur disposition sont encadrés. En effet, un nombre trop important d'éoliennes dans le même secteur angulaire du radar serait de nature à augmenter les perturbations induites sur celui-ci.

L'implantation des éoliennes est bien en dehors de la zone de 5-20 km correspondant à la zone d'exclusion du radar des armées.

Par ailleurs, le projet devra tenir compte de l'arrêté du 23 avril 2018 relatif à la réalisation du balisage des obstacles à la navigation aérienne, qui abroge et remplace l'arrêté du 13 novembre 2009 modifié relatif à la réalisation du balisage des éoliennes situées en dehors des zones grevées de servitudes aéronautiques et l'arrêté du 7 décembre 2010 relatif à la réalisation du balisage des obstacles à la navigation aérienne.

7.2.3.2 Réseaux publics et privés

7.2.3.2.1. Réseaux électriques

RTE s'occupe du transport de l'électricité depuis les centres de production sur les lignes à très haute tension jusqu'aux réseaux de distribution et peut distribuer directement l'électricité sous haute tension aux grosses industries. ENEDIS, ex- ERDF, se charge quant à lui de la distribution à moyenne et basse tension pour les autres clients (particuliers, entreprises, collectivités...) sur 95% du territoire métropolitain.

L'ensemble des réseaux concessionnaires présents au droit de l'aire d'étude des dangers et susceptibles d'être impactés par les travaux devront être identifiés et rétablis.

Le réseau électrique haute tension (HT) et très haute tension (THT) géré par RTE est raccordé au poste de transformation de Vittel. Selon RTE, consulté dans le cadre du projet, aucun poste électrique et aucune ligne électrique aérienne ou souterraine haute ou très haute tension ne sont présents au sein de l'aire d'étude de danger.

En revanche, le site d'étude est concerné par des réseaux ENEDIS (cf. carte suivante) ne faisant pas l'objet de servitude associée. Il s'agit essentiellement de lignes électriques aériennes moyenne tension HTA, le long de la RD25 et traversant l'aire d'étude des dangers.

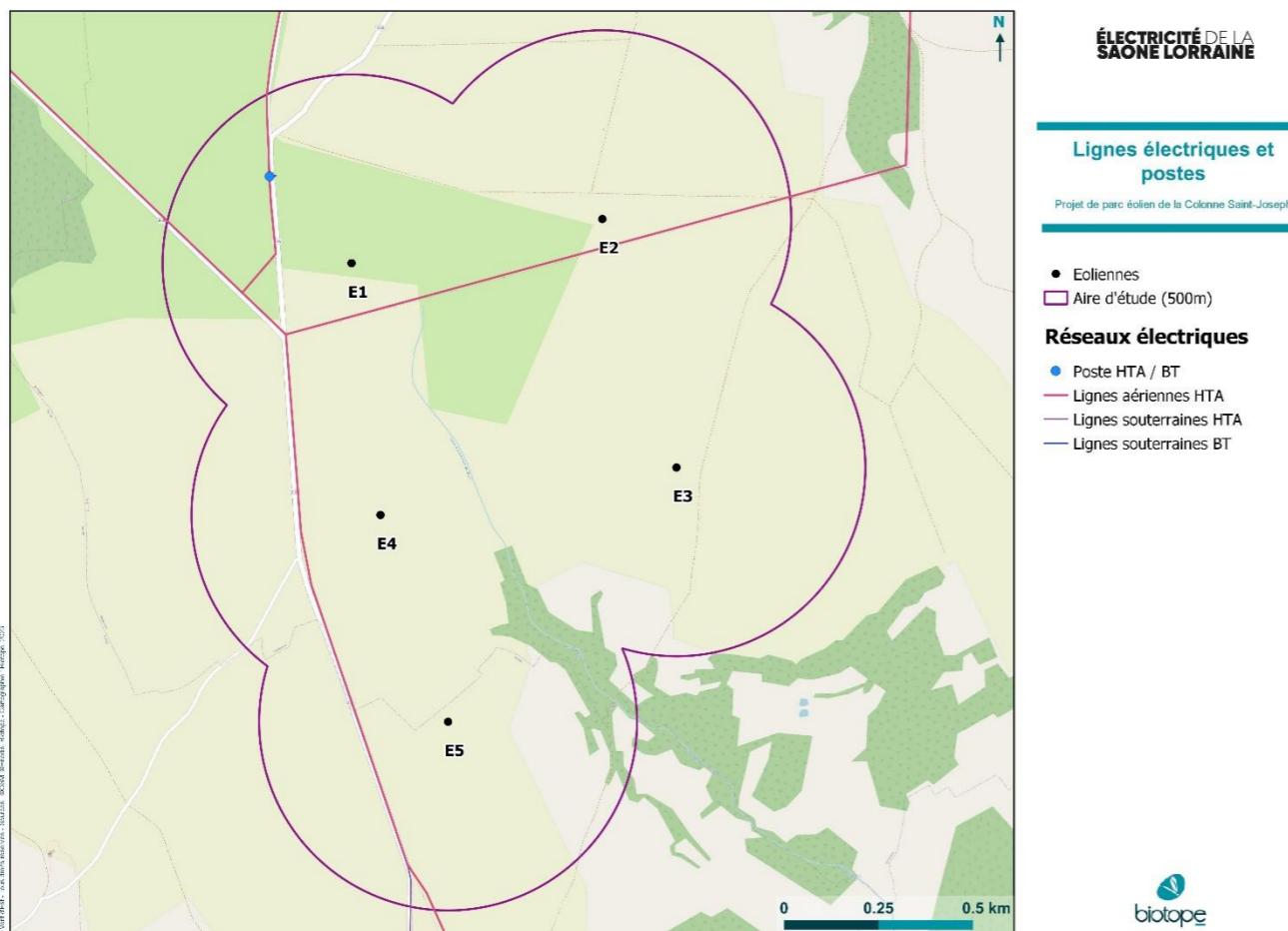


Figure 18 : réseau électrique géré par ENEDIS (<https://data.enedis.fr>)



Figure 19 : lignes électriques HTA traversant l'aire d'étude des dangers (source : capture d'écran GoogleMaps, 2019)

L'éolienne E1 est située à 133 mètres de la ligne électrique aérienne HTA et la E2 à une distance de 72 mètres. Des postes HTA/BT sont également recensés à proximité, dont un dans l'aire d'étude des dangers, au nord, le long de la RD25.

Aucune ligne électrique aérienne ou souterraine de tension supérieure à 50 000 Volts ne traverse l'aire d'étude des dangers.

Le réseau de distribution d'électricité moyenne et basse tension géré par ENEDIS recense une ligne aérienne moyenne tension (HTA) qui longe la RD25, au nord-ouest de l'aire d'étude, et une autre qui la traverse et passe à proximité des éoliennes E1 et E2. Il n'y a pas de servitude associée à ces lignes électriques, mais ENEDIS a fourni des recommandations prises en compte et explicitées dans la suite du présent rapport.

7.2.3.2.2. Autres réseaux : canalisations

Aucune canalisation de transport de gaz n'est présente dans les 10 km autour du projet. D'après Géorisques, aucune canalisation de transport de matière dangereuse n'est recensée sur les communes de Isches et Serécourt (gaz, hydrocarbures, produits chimiques).

D'après le site des réseaux et canalisations (Ineris), l'aire d'étude des dangers n'est pas concernée par des canalisations d'eau potable et d'eaux usées.

L'aire d'étude des dangers n'est donc pas concernée par des servitudes d'utilité publique liées à des canalisations.

7.2.3.2.3. Réseaux d'alimentation en eau potable

Un captage pour l'alimentation en eau potable (forage de la Côte Beutin) est recensé sur la commune de Serécourt, en dehors de l'aire d'étude des dangers.

Dans le cadre du projet, une consultation auprès de l'ARS (Agence Régionale de Santé) a été menée. Il en ressort que l'aire d'étude des dangers est située en dehors de tout périmètre de protection de captages actif du territoire.

L'aire d'étude des dangers n'est donc pas concernée par des périmètres de protection de captages.

7.2.3.2.4. Servitudes radioélectriques

L'obstacle que constitue une éolienne, le mouvement et l'orientation des pales ainsi que les champs électromagnétiques créés par la génératrice peuvent provoquer des perturbations radioélectriques de différentes natures :

- Perturbations électromagnétiques à proximité de zones d'émission ou de réception (servitude PT1) ;
- Perturbations de la propagation des ondes électromagnétiques émises ou reçues à proximité ou entre des zones d'émission et de réception, dites perturbations d'obstacles (servitude PT2). Les servitudes PT2 regroupent également les faisceaux hertziens reliant certains émetteurs entre eux (couloir de 200 m de large environ).

Dans le cadre du projet de la Colonne Saint-Joseph, l'ANFR (Agence nationale des fréquences), la DSIC (Direction des Systèmes d'Information et de Communication), la DDT88 et les différents opérateurs téléphoniques ont été consultés. Il en ressort :

- Un avis favorable de la DSIC avec un éloignement suffisant du projet de toute infrastructure du ministère de l'Intérieur (courrier du 14 avril 2020) ;
- La présence d'une servitude de protection des centre-radio-électriques d'émission et de réception contre les obstacles (Serécourt) ;
- La présence de plusieurs faisceaux hertziens autour de l'aire d'étude, dont 1 traversant l'aire d'étude des dangers et passant entre les éoliennes E1 et E4. La distance à prendre en compte est de 33 mètres de part et d'autre de l'axe du faisceau pour le faisceau concerné (Lamarche - Les Thons), d'après les informations fournies par l'opérateur Orange exploitant ce faisceau (réponse mail du 21 février 2019).

L'aire d'étude des dangers est concernée par une servitude de 33 mètres de part et d'autre du faisceau hertzien Lamarche-Thons, passant à l'ouest, entre les éoliennes E1 et E4.

7.2.3.2.5. Radars

D'après Météo France, consultée sur le présent projet, l'aire d'étude des dangers se situerait à une distance supérieure à 90 kilomètres du radar le plus proche utilisé dans le cadre des missions de sécurité météorologique des personnes et des biens, à savoir le radar de Réchicourt-la-Petite, situé en Meurthe-et-Moselle (courrier du 28 janvier 2020).

Cette distance est supérieure à la distance minimale d'éloignement fixée par l'arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020) relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie éolienne. Dès lors, aucune contrainte réglementaire spécifique ne pèse sur le projet.

D'après la DIRCAM, consultée dans le cadre du projet, et comme vu précédemment, seul l'extrême nord-ouest de l'aire d'étude initiale se situe dans la zone d'exclusion des 5-20 km autour du radar de Contrexéville (radar de bande de fréquence C). Cependant, l'aire d'étude des dangers est bien au-delà des 20 km et n'est pas concernée.

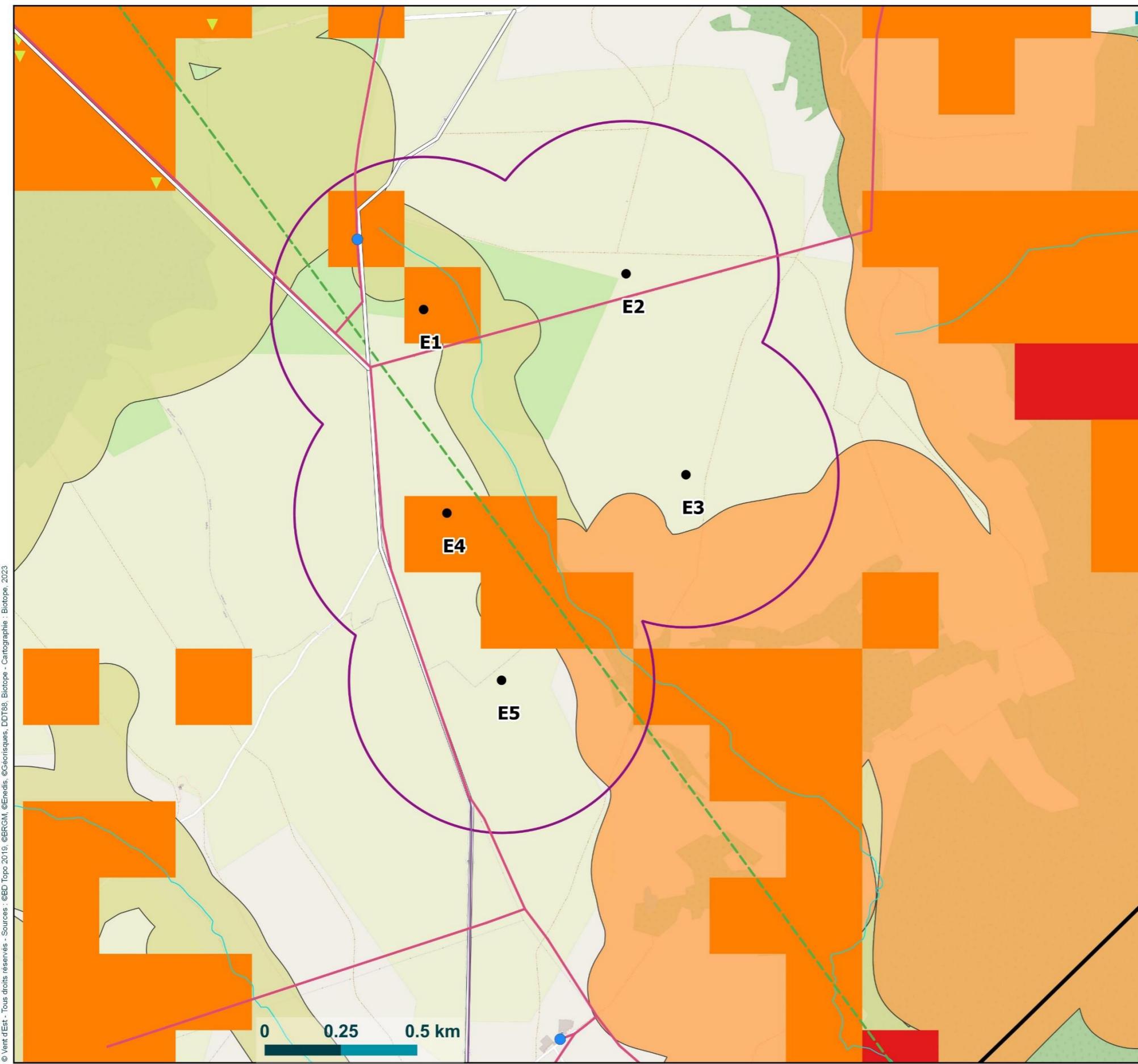
Le reste de l'aire d'étude des dangers se situe dans la zone de 30 km du même radar (qui utilise donc aussi une bande de fréquence S), où le nombre et la disposition des éoliennes sont encadrés. Le projet se situe enfin à plus de 30 km des radars des armées d'Epinal et Luxeuil.

Distance minimale d'éloignement en kilomètres	
Radar météorologique	
- Radar de bande de fréquence C	20
- Radar de bande de fréquence S	30
- Radar de bande de fréquence X	10
Radar de l'aviation civile	
- Radar primaire	30
- Radar secondaire	16
- VOR (Visual Omni Range)	15
Radar des ports (navigations maritimes et fluviales)	
- Radar portuaire	20
- Radar de contre régional de surveillance et de sauvetage	10

Figure 20 : Distance minimale d'éloignement à respecter par rapport au type de radar

L'aire d'étude des dangers est compatible avec les distances d'éloignement à respecter pour les différents types de radars.

L'aire d'étude des dangers n'est pas concernée par les servitudes liées à des radars.



ÉLECTRICITÉ DE LA SAÔNE LORRAINE

Carte 4 : Environnement naturel et matériel

Environnement naturel et matériel

Projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph

- Eoliennes
- Aire d'étude (500m)

Risques naturels

- Faille majeure
- Cours d'eau
- ▼ Cavité naturelle

Inondation par remontée de nappe

- Zones potentiellement sujettes aux débordements de nappe
- Zones potentiellement sujettes aux inondations de cave

Retrait-gonflement des argiles

- Aléa faible
- Aléa moyen

Réseaux

- D25
- Faisceau hertzien
- Poste HTA / BT
- Lignes aériennes HTA
- Lignes aériennes BT
- Lignes souterraines HTA
- Lignes souterraines BT

7.2.4 Cartographie de synthèse

→ Cf. Carte 5 : Synthèse des enjeux

Le tableau ci-après présente le nombre de personnes permanentes ou équivalent-personnes permanentes présentes dans l'aire d'étude de 500 m autour des éoliennes, selon la méthodologie détaillée dans la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers (cf. Annexe 1).

La détermination du nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) permet d'identifier les enjeux à protéger dans l'aire d'étude. La méthodologie de comptage est précisée en fin de rapport dans la partie « Méthodologie ».

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

La surface d'étude se situe dans un rayon de 500 mètres autour de chaque éolienne, et est donc :

Surface autour d'une éolienne : $\pi \cdot R^2 = \pi \cdot 500^2 = 78,54 \text{ ha}$

Le tableau ci-après présente le nombre de personnes permanentes ou équivalent-personnes permanentes présentes dans l'aire d'étude de 500 m autour des éoliennes.

Les largeurs suivantes sont considérées pour les calculs :

- 4 mètres de large pour un chemin ;
- 8 mètres de large pour une route secondaire et départementale non structurante.

Pour le circuit local de randonnée, VTT et cyclotourisme, nous avons appliqué un ratio de 2 personnes / km passant par l'aire d'étude des dangers, car il est considéré un maximum de 100 promeneurs / jour (cf. annexe 1 : « méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne »).

L'aire d'étude par éolienne (rayon de 500 m) est de 78,54 ha.

Tableau 5 : Nombre équivalent-personnes permanentes dans l'aire d'étude de 78,54 ha par éolienne

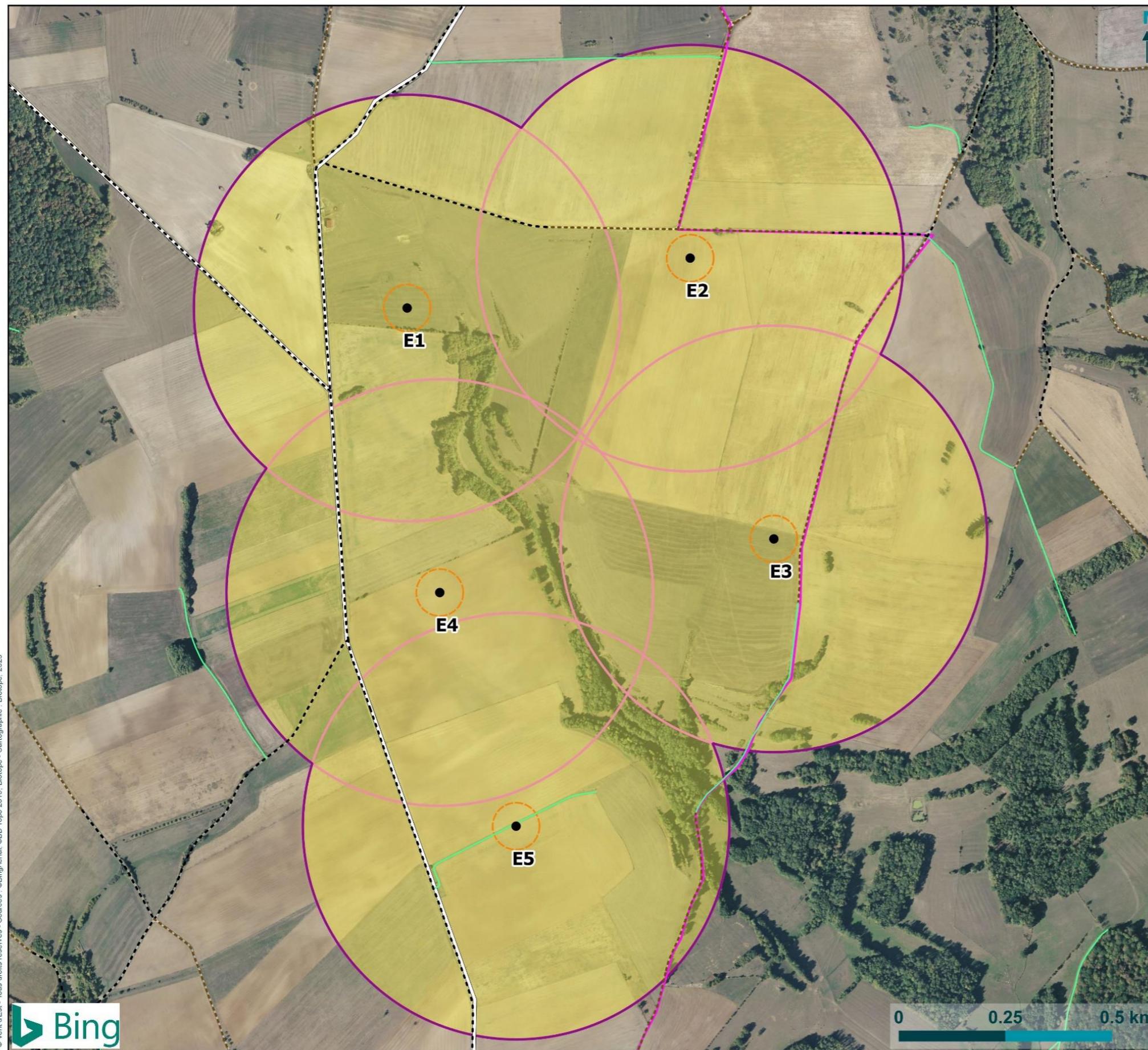
Éoliennes concernées	Secteur ou infrastructure	Surface / éléments ponctuels	Nombre équivalent personnes permanentes
E01	Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches, forêts...) – 1 personne pour 100 ha	76,740 ha	< 1 personne (0,767)
	Voies de circulation non structurantes* (RD, route, chemin agricole et chemins VTT) – 1 personne pour 10 ha	1,80 ha	< 1 personne (0,18)
E02	Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches, forêts...) – 1 personne pour 100 ha	77,005 ha	< 1 personne (0,770)
	Voies de circulation non structurantes* (RD, route, chemin agricole et chemins VTT) – 1 personne pour 10 ha	1,53 ha	< 1 personne (0,153)
	Chemins et voies piétonnes : chemin de promenade, de randonnée – 2 personnes pour 1 km par tranche de 100 promeneurs en moyenne	1,328 km	> 1 personne (2,66)
E03	Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches, forêts...) – 1 personne pour 100 ha	77,894 ha	< 1 personne (0,779)
	Voies de circulation non structurantes* (RD, route, chemin agricole et chemins VTT) – 1 personne pour 10 ha	0,646 ha	< 1 personne (0,065)
	Chemins et voies piétonnes : chemin de promenade, de randonnée – 2 personnes pour 1 km par tranche de 100 promeneurs en moyenne	0,998 km	> 1 personne (1,99)
E04	Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches, forêts...) – 1 personne pour 100 ha	77,558 ha	< 1 personne (0,776)
	Voies de circulation non structurantes* (RD, route, chemin agricole et chemins VTT) – 1 personne pour 10 ha	0,982 ha	< 1 personne (0,098)
E05	Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches, forêts...) – 1 personne pour 100 ha	77,213 ha	< 1 personne (0,772)
	Voies de circulation non structurantes* (RD, route, chemin agricole et chemins VTT) – 1 personne pour 10 ha	1,328 ha	< 1 personne (0,133)
	Chemins et voies piétonnes** : chemin de promenade, de randonnée – 2 personnes pour 1 km par tranche de 100 promeneurs en moyenne	0,495 km	< 1 personne (0,99)

* La surface prise en compte pour les voies non structurantes a été calculée en considérant les largeurs de voiries suivantes : RD et route non structurante = 8 m / chemin ou sentier = 4 m. ** Pour le circuit local de randonnée, VTT et cyclotourisme, nous avons appliqué un ratio de 2 personnes / km passant par l'aire d'étude des dangers, car il est considéré un maximum de 100 promeneurs / jour (cf. annexe 1 : « méthode de comptage des personnes »).

Il y a donc un équivalent de personnes permanentes total de (dans un rayon de 500 mètres autour de l'éolienne) :

- 0,947 pour l'éolienne E1,
- 3,580 pour l'éolienne E2, dont 2,65 personnes en permanence localisées sur le chemin de randonnée/VTT ;
- 2,840 pour l'éolienne E3, dont 2 personnes en permanence localisées sur le chemin de randonnée/VTT
- 0,874 pour l'éolienne E4,
- 1,895 pour l'éolienne E5, dont 0,99 personnes en permanence localisées sur le chemin de randonnée/VTT.

Ainsi, sur l'aire d'étude des dangers, le nombre de personnes présentes en permanence est estimé à 10,135 personnes.



ÉLECTRICITÉ DE LA
SAÔNE LORRAINE

Carte 5 : Synthèse des enjeux

Synthèse des enjeux de l'environnement des installations

Projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph

Terrains non aménagés et très peu fréquentés (<1 personne)

Projet

- Eoliennes
- ◻ Zones de survol des pales
- Rayon de 500 m autour de chaque éolienne

Voies de circulation non structurantes (<1 personne)

- Route à 1 chaussée
- - - Route empierrée
- Chemin
- D25

Chemins et voies piétonnes

- Chemin de promenade, randonnée pédestre et cycliste (2 pers/km)

8 Description de l'installation

8.1 Caractéristiques de l'installation

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

8.1.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien

Un parc éolien est une centrale de production d'électricité à partir de l'énergie du vent. Il est composé de plusieurs aérogénérateurs et de leurs annexes :

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

La mise en place d'un parc éolien nécessite à la fois des aménagements qui ont vocation à exister pendant toute la vie du parc ; mais également d'aménagement de zones temporaires qui seront utiles pendant la phase de travaux.

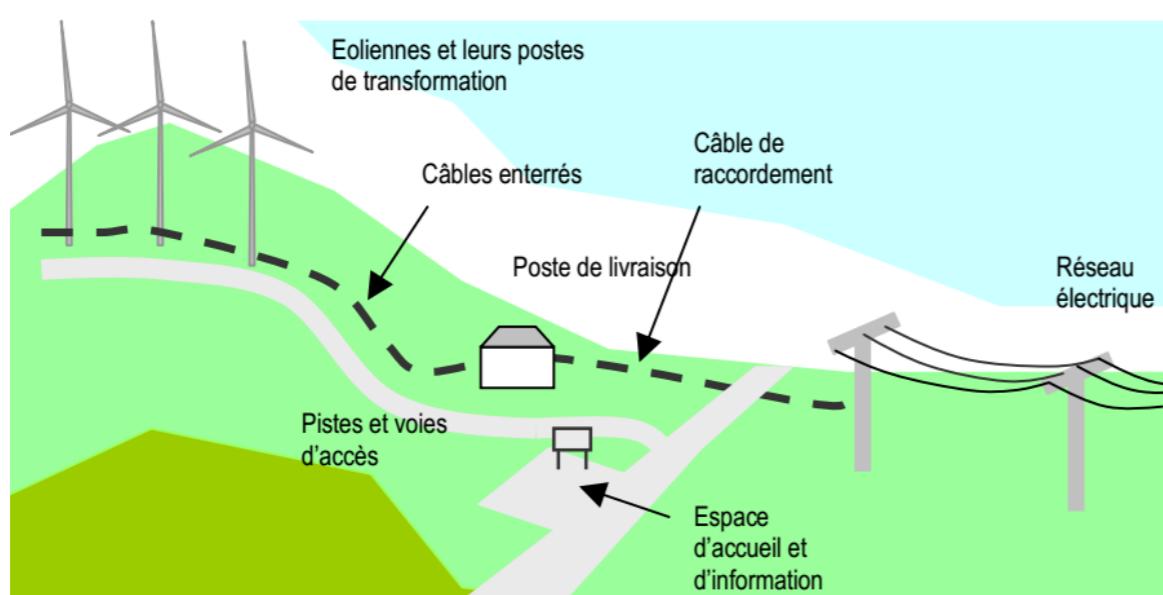


Figure 21 : Schéma descriptif d'un parc éolien terrestre (rapports d'échelle non représentatifs) – Source : ministère de l'Environnement et du développement durable, Guide de l'étude d'impact sur l'environnement des parcs éoliens – Actualisation 2010)

Dans le cadre du présent projet, les surfaces concernées sont les suivantes :

- Surfaces permanentes :
 - Le renforcement de chemins d'accès existants, sur 2 667 mètres linéaires équivalents à 13 335 m² de voies existantes à renforcer/consolider ;
 - La création de chemins d'accès, sur 574 mètres linéaires équivalents à 2 870 m² de voies à créer ;
 - L'implantation des 5 éoliennes via la réalisation de 5 plateformes, de surface unitaire par éolienne de 1 065 à 1 538 m² (variable selon l'éolienne), pour un total de 6 217 m² pour les 5 éoliennes en phase d'exploitation ;
 - L'implantation d'un poste de livraison via la réalisation d'une plateforme de 48 m² ;
- Surfaces temporaires :
 - L'aménagement de 3 virages temporaires, pour une surface totale de 1 663 m² en phase travaux ;
 - L'implantation des éoliennes via la réalisation d'aires de stockage temporaires, de surface unitaire par éolienne de 840 m², soit un total de 4 200 m² pour 5 éoliennes en phase travaux ;
 - Le raccordement électrique inter-éoliennes (câbles enterrés), sur 4 776 mètres linéaires, soit 1 433 m².

Les éoliennes sont connectées par des câbles souterrains au poste de livraison électrique où sont installés les organes de coupure, les compteurs et systèmes de contrôles. Ces postes concentrent l'énergie produite par toutes les éoliennes du parc éolien, avant de l'acheminer vers le poste source du réseau électrique national, également par des lignes souterraines.

8.1.2 Éléments constitutifs d'un aérogénérateur

Au sens du l'arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020) 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 : 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 : composé généralement 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 : elle abrite plusieurs éléments fonctionnels :
 - Le générateur, qui transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique ;
 - Le multiplicateur (certaines technologies n'en utilisent pas) ;
 - Le système de freinage mécanique ;
 - Le système d'orientation de la nacelle, qui place le rotor face au vent pour une production optimale d'énergie ;
 - Les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette) ;
 - Le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique.

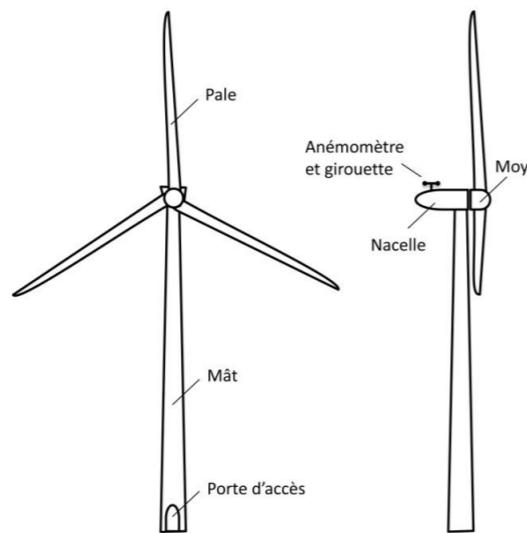


Figure 22 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

8.1.3 Emprise au sol

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

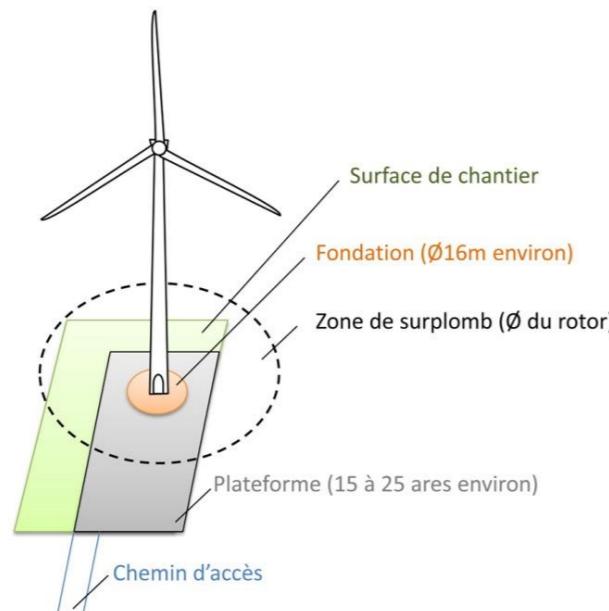


Figure 23 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne

8.1.4 Chemins d'accès

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 voies communales ou chemins ruraux existants ; si nécessaire, de nouveaux chemins sont créés sur les parcelles agricoles.

Le réseau existant est privilégié pour desservir le parc éolien et la création de nouvelles pistes est limitée au maximum. Si nécessaire, les voies existantes sont restaurées et améliorées afin de rendre possible le passage des convois exceptionnels.

Différents paramètres doivent être pris en compte pour l'accès au site :

- La charge des convois durant la phase de travaux ;
- L'encombrement des éléments à transporter (pales, tours et nacelles) ;
- La minimisation des virages à créer.

Concernant l'encombrement, ce sont les pales qui représentent la plus grosse contrainte, avec ici **une longueur de 54 m par pale**. Leur transport est réalisé en convoi exceptionnel à l'aide de camions adaptés (tracteur et semi-remorque).

En raison de la taille importante des véhicules transportant les éléments constitutifs des éoliennes, les accès empruntés doivent présenter **une largeur minimale de 4,5 m à 5 m maximum**. Une surlargeur peut être appliquée dans les virages afin de permettre la giration des véhicules longs.

Lors du transport des aérogénérateurs, le poids maximal à supporter est celui du transport des nacelles. Le poids total du véhicule chargé avec la nacelle est d'environ 140 tonnes.

Les différentes sections du mât sont transportées à l'aide de semi-remorques. La longueur totale de l'ensemble et son poids sont variables selon la section transportée.

574 mètres linéaires de chemins seront créés afin d'accéder aux éoliennes E1, E4 et E5 à partir de chemins existants. Ces chemins présenteront une largeur de 5 m, avec des surlargeurs dans les virages. D'autre part, **2422 mètres linéaires de chemins déjà existants seront renforcés** de manière permanente.

Les chemins seront utilisés pendant toute la durée de fonctionnement du parc (opérations d'entretien et de maintenance). Sur l'ensemble de cette période, ils seront entretenus, sur leur section utilisée, par l'exploitant du parc éolien. L'accès aux véhicules de secours sera par conséquent possible à tout moment tel que l'impose la réglementation (arrêté modifié du 26 août 2011 - dernière modification au 22 juin 2020-, relatif aux parcs éoliens soumis au régime d'autorisation des installations classées).

Ces chemins pourront être démantelés à la fin de l'exploitation du parc éolien selon le souhait des propriétaires.

8.1.5 Autres installations

Le projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph ne prévoit pas d'autre installation particulière.

La localisation de la base vie n'est pas encore arrêtée à ce stade de l'étude.

8.1.6 Activité de l'installation

L'activité principale du projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent, avec une hauteur de moyeu de 95 m. Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

8.1.7 Composition de l'installation

→ Cf. Carte 6 : Plan détaillé de l'installation

Le projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph est composé de 5 aérogénérateurs et de 1 poste de livraison.

Les aérogénérateurs ont une hauteur de moyeu de 95 mètres et un diamètre de rotor de 110 mètres. La hauteur bout de pale des éoliennes est de 149 mètres.

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

Tableau 6 : Coordonnées géographiques des aérogénérateurs

Numéro de l'éolienne	Coordonnées X Lambert 93	Coordonnées Y Lambert 93	Altitude du terrain naturel en mètres NGF	Altitude en bout de pale en mètres NGF
E01	910779,755	6775338,64	395	544
E02	911443,24	6775465,64	393	542
E03	911639,43	6774807,32	369	518
E04	910856,25	6774681,61	368	517
E05	911035,17	6774133,86	361	510
PDL	910849,18	6774088,37	366	-

Altitude en mètre NGF : d'après les courbes de niveau IGN. Valeur brute ou +149m.

Trois modèles d'éoliennes ont été envisagés dans le cadre du projet. C'est finalement le **modèle Vestas V110 à 95 m** qui a été retenu.

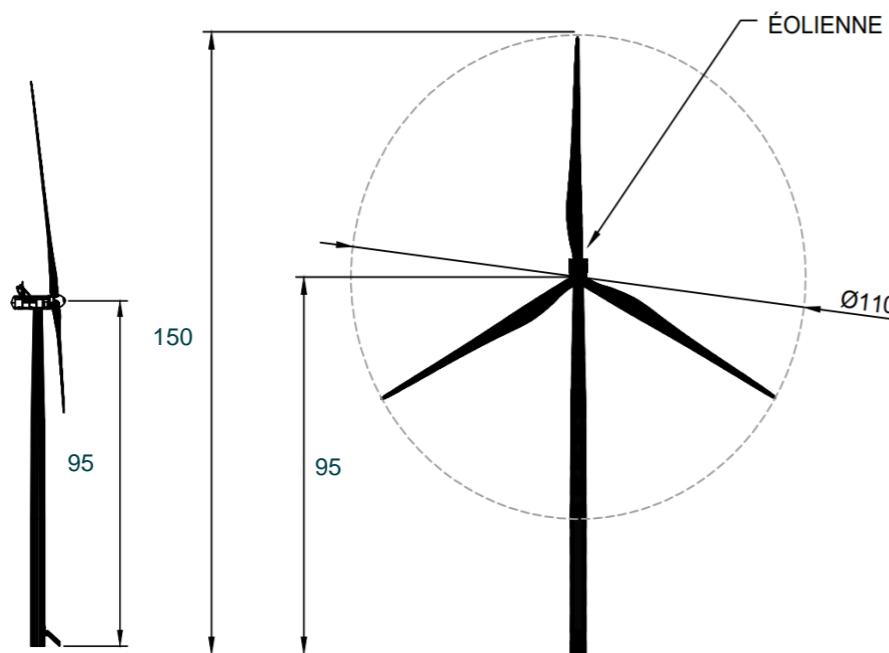


Figure 24 : Schéma des éoliennes du modèle V110-2MW 95m

Les caractéristiques techniques du modèle V110-2MW 95m sont présentées dans le tableau ci-après.

Tableau 7 : Caractéristiques techniques du modèle d'éoliennes retenu

Caractéristiques techniques		V110-2MW 95m
Puissance nominale		2 MW
Vitesse de vent	Au démarrage	3 m/s
	De coupe	21 m/s
Rotor	Nombre de pales	3
	Diamètre du rotor	110 m
	Longueur des pales	54 m
	Largeur de la base des pales	1874 mm
	Surface balayée	9 503 m ²
	Vitesse de rotation nominale	1680 tours/min
Mât	Hauteur du moyeu	95 m
	Hauteur au sens de la réglementation ICPE (hauteur de la nacelle)	93 m
	Largeur moyenne du mât	3,98 m
	Hauteur en bout de pale	149 m
Nacelle	Dimensions (longueur*largeur*hauteur)	10,4*3,5*5,4 m
Générateur	Type	Asynchrone



ÉLECTRICITÉ DE LA SAÔNE LORRAINE

Carte 6 : Plan détaillé de
l'installation

Aménagements du projet

- Eoliennes
- Plateformes
- Poste de livraison
- Zones de stockage temporaires
- Accès à créer
- Accès existants à renforcer
- Raccordement électrique interne

8.2 Fonctionnement de l'installation

8.2.1 Principes de 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 l'anémomètre (aussi appelé 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 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 5 et 20 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 entraînée 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 2,5 MW par exemple, la production électrique atteint 2 500 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 environ 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 100 km/h (variable selon le type d'éoliennes), 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, activé en cas d'arrêt d'urgence.

Tableau 8 : Description des éléments constitutifs de l'installation du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph

Élément de l'installation	Fonction	Caractéristiques
Fondation	Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol	<p>Le massif de fondation est composé de béton armé et conçu pour répondre aux prescriptions de l'Eurocode 2. Les fondations ont entre 2,5 et 3,5 mètres d'épaisseur pour un diamètre de l'ordre d'une vingtaine de mètres. Ceci représente une masse de béton d'environ 1 000 tonnes. Un insert métallique disposé au centre du massif sert de fixation pour la base de la tour. Il répond aux prescriptions de l'Eurocode 3.</p> <p>Cette structure doit répondre aux calculs de dimensionnement des massifs qui prennent en compte les caractéristiques suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> Le type d'éolienne ; La nature des sols ; Les conditions météorologiques extrêmes ; Les conditions de fatigue.
Mât	Supporter la nacelle et le rotor	<p>La tour des éoliennes (également appelée mât) est constituée de plusieurs sections tubulaires en acier, de plusieurs dizaines de millimètres d'épaisseur et de forme tronconique, qui sont assemblées entre elles par brides. Fixée par une bride à l'insert disposé dans le massif de fondation, la tour est autoportante.</p> <p>La hauteur de la tour, ainsi que ses autres dimensions, sont en relation avec le diamètre du rotor, la classe des vents, la topographie du site et la puissance recherchée.</p> <p>La tour a avant tout une fonction de support de la nacelle mais elle permet également le cheminement des câbles électriques de puissance et de contrôle et abrite :</p> <ul style="list-style-type: none"> Une échelle d'accès à la nacelle ; Un élévateur de personnes ; Une armoire de contrôle et des armoires de batteries d'accumulateurs (en point bas) ; Les cellules de protection électriques. <p>→ Hauteur du mât : 95 m</p>
Nacelle	Supporter le rotor Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (générateur, etc.) ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité	<p>La nacelle se situe au sommet de la tour et abrite les composants mécaniques, hydrauliques, électriques et électroniques, nécessaires au fonctionnement de l'éolienne (voir figure ci-après).</p> <p>Elle est constituée d'une structure métallique habillée de panneaux en fibre de verre, et est équipée de fenêtres de toit permettant d'accéder à l'extérieur.</p> <p>Un système de refroidissement assure le refroidissement des principaux éléments de l'éolienne.</p> <p>Une sonde de température extérieure est placée à l'extérieur de la nacelle et reliée au contrôle commande.</p> <p>La nacelle n'est pas fixée de façon rigide à la tour. La partie intermédiaire entre la tour et la nacelle constitue le système d'orientation, appelé « yaw system », permettant à la nacelle de s'orienter face au vent, c'est-à-dire de positionner le rotor dans la direction du vent (l'orientation du rotor est forcée).</p> <p>Le système d'orientation est constitué de plusieurs dispositifs motoréducteurs solidaires de la nacelle, dont les arbres de sortie comportent un pignon s'engrenant sur une couronne dentée solidaire de la tour. Ces dispositifs permettent la rotation de la nacelle et son maintien en position face au vent. La vitesse maximum d'orientation de la nacelle est de moins de 0,45 degrés par seconde soit environ une vingtaine de minutes pour faire un tour complet.</p> <p>Afin d'éviter une torsion excessive des câbles électriques reliant la génératrice au réseau public, il existe un dispositif de contrôle de rotation de la nacelle. Celle-ci peut faire 3 à 5 tours de part et d'autre d'une position moyenne. Au-delà, un dispositif automatique provoque l'arrêt de l'éolienne, le retour de la nacelle à sa position dite « zéro », puis la turbine redémarre.</p> <p>Tension dans les armoires électriques : entre 0 et 1200 V.</p> <p>Dimensions nacelle VESTAS modèle V110 – 2MW :</p> <ul style="list-style-type: none"> Longueur : 10,5 m Largeur avec refroidisseur : 4,1 m Hauteur sans refroidisseur : 3,9 m Hauteur avec refroidisseur : 5,4 m Poids total (sans refroidisseur, moyeu et équipements internes) : 67,4 t
Rotor / pales	Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice	<p>Les rotors sont composés de trois pales fixées au moyeu via des couronnes à deux rangées de billes et double contact radial. La rotation du rotor permet de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Elle est transmise à la génératrice via le multiplicateur.</p> <p>Les pales peuvent pivoter d'environ 90 degrés sur leur axe grâce à des vérins hydrauliques montés dans le moyeu. La position des pales est alors ajustée par un système d'inclinaison. Ainsi, les variations de vitesse de vents sont constamment compensées par l'ajustement de l'angle d'inclinaison des pales. Ce système de pitch est conçu pour optimiser au maximum la production de l'éolienne.</p>

Élément de l'installation	Fonction	Caractéristiques	Élément de l'installation	Fonction	Caractéristiques
		<p>Dans le cas où la vitesse de vent devient trop importante, risquant d'amener une usure prématuée des divers composants ou de conduire à un emballement du rotor, ce même système ramène les pales dans une position où elles offrent le moins de prise au vent, dite « en drapeau », conduisant à l'arrêt du rotor (freinage aérodynamique). Ce système comprend également la présence d'accumulateurs hydropneumatiques disposés au plus près des vérins. Ces accumulateurs permettent, même en cas de perte du système de contrôle, de perdre d'alimentation électrique ou de défaillance du système hydraulique, de ramener les pales en drapeau.</p> <p>Chaque pale est indépendante et équipée de son propre pitch system afin de garantir un calage continu même en cas de dysfonctionnement du contrôle commande.</p> <p>Plusieurs notions caractérisent les pales :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La longueur, fonction de la puissance désirée ; • La corde (largeur maximale), fonction du couple nécessaire au démarrage et de celui désiré en fonctionnement ; • Les matériaux, fonction de la résistance souhaitée. <p>La géométrie de la pale est légèrement vrillée autour de son axe longitudinal pour un meilleur rendement.</p> <p>Dimensions modèle V110 – 2MW :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Diamètre rotor : 110 m • Plage de rotation opératoire : 14,9 tours/min • Longueur des pales : 54 m • Largeur maximale : 3,6 m • Matériau : Fibre de verre renforcée avec époxy et fibre de carbone • Surface balayée : 9 503 m². 	Poste de livraison (PDL)	Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public	<p>Les éoliennes d'un même champ éolien sont ensuite raccordées au réseau électrique de distribution (ERDF, ENEDIS ou autres régies) ou de transport (RTE) via un ou plusieurs postes de livraison. Ces postes font ainsi l'interface entre les installations et le réseau électrique.</p> <p>Chaque poste est équipé d'appareils de comptage d'énergie indiquant l'énergie soutirée au réseau mais également celle injectée. Il comporte aussi la protection générale dont le but est de protéger les éoliennes et le réseau inter-éolien en cas de défaut sur le réseau électrique amont.</p> <p>Les liaisons électriques entre éoliennes et postes de livraison sont assurées par des câbles souterrains. Les édifices sont en préfabriqués.</p> <p>1 PDL prévu pour le projet, avec les dimensions suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Longueur : 8 m • Largeur : 6 m • Hauteur : 3 m • Surface totale au sol : 48m²
Multiplicateur (Gearbox)	Multiplier la vitesse de rotation issue de l'arbre lent	<p>Le rotor est directement relié à un arbre de transmission appelé « arbre lent ». Cet arbre, qui tourne à la vitesse du rotor est connecté au multiplicateur. Le multiplicateur (Gearbox) permet de multiplier la vitesse de rotation d'un facteur compris entre 100 et 130 selon les modèles, de telle sorte que la vitesse de sortie (« arbre rapide ») est d'environ 1500 tours par minute.</p> <p>Le dispositif de transmission entre l'arbre rapide et la génératrice (coupling) est un dispositif flexible, réalisé en matériau composite afin de compenser les défauts d'alignement mais surtout afin de constituer une zone de moindre résistance et de pouvoir rompre en cas de blocage d'un des deux équipements.</p> <p>Sur l'arbre rapide du multiplicateur est monté un disque de frein, à commande hydraulique, utilisé pour l'arrêt de la turbine en cas d'urgence.</p>	Alimentation électrique	Fonctionnement de certains équipements Contrôle commande Éclairage	<p>Une seule liaison électrique relie l'éolienne au réseau public – fonctionnant en alimentation du réseau lors du fonctionnement de l'éolienne et en retour depuis le réseau lors des phases d'arrêt.</p> <p>Des onduleurs assurent temporairement l'alimentation des balisages lumineux et des systèmes de commande en cas de perte du réseau d'alimentation public.</p> <p>En cas de perte d'alimentation, l'éolienne est rapidement mise en sécurité avec un arrêt progressif du rotor.</p> <p>L'alimentation du balisage aérien est prévue pour une durée minimum de 12h et fera l'objet d'une déclaration auprès des services de l'aviation civil au-delà.</p>
Générateur et transformateur	Convertir l'énergie mécanique en énergie électrique Élever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau	<p>Les éoliennes sont équipées d'un système générateur/transformateur fonctionnant à vitesse variable (et donc à puissance mécanique fluctuante).</p> <p>Le générateur est ici de type asynchrone à double alimentation délivrant un courant alternatif entre 480 et 690 V à vitesse nominale. Un système de conversion permet d'assurer la régulation du fonctionnement du générateur et la qualité du courant produit. Il permet d'alimenter le transformateur élévateur de tension en courant alternatif 50 Hz.</p> <p>Cette tension est élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur sec, puis régulée par des dispositifs électroniques de façon à pouvoir être compatible avec le réseau public. Le transformateur est localisé dans une pièce fermée à l'arrière de la nacelle.</p> <p>Un câble relie ensuite la nacelle et les cellules de protection du réseau, disposées dans une armoire en partie basse de la tour. Il s'agit de cellules à isolation gazeuse (SF₆) qui permettent une séparation électrique de l'éolienne par rapport aux autres machines du champ éolien en cas d'anomalie (court-circuit, surtension, défaut d'isolement, ...).</p> <p>Le refroidissement du générateur et du dispositif de conversion est effectué par une boucle d'eau.</p>			<p>Le schéma illustre la chaîne cinématique d'une éolienne. À l'extrémité gauche, le Rotor est connecté à l'Arbre lent. Ce dernier passe par le Multiplicateur pour atteindre l'Arbre rapide. Sur l'Arbre rapide se trouve la Génératrice et un disque de frein (Frein). L'Arbre lent est également relié à un autre élément non identifié (peut-être un autre multiplicateur ou un autre type de transmission).</p>

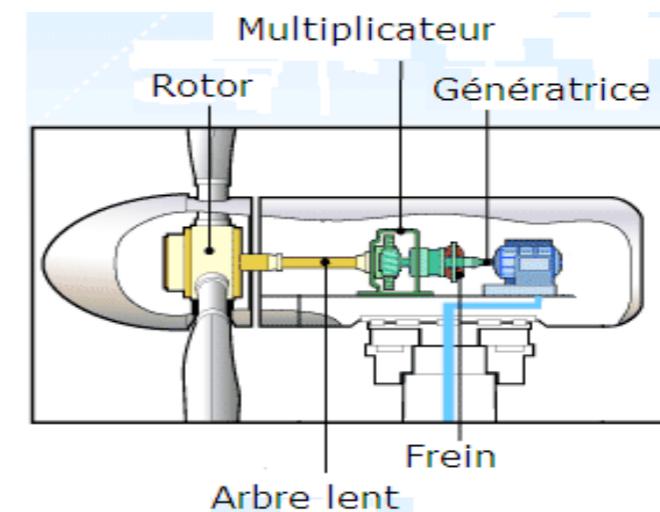


Figure 25 : Schéma simplifié de la chaîne cinématique

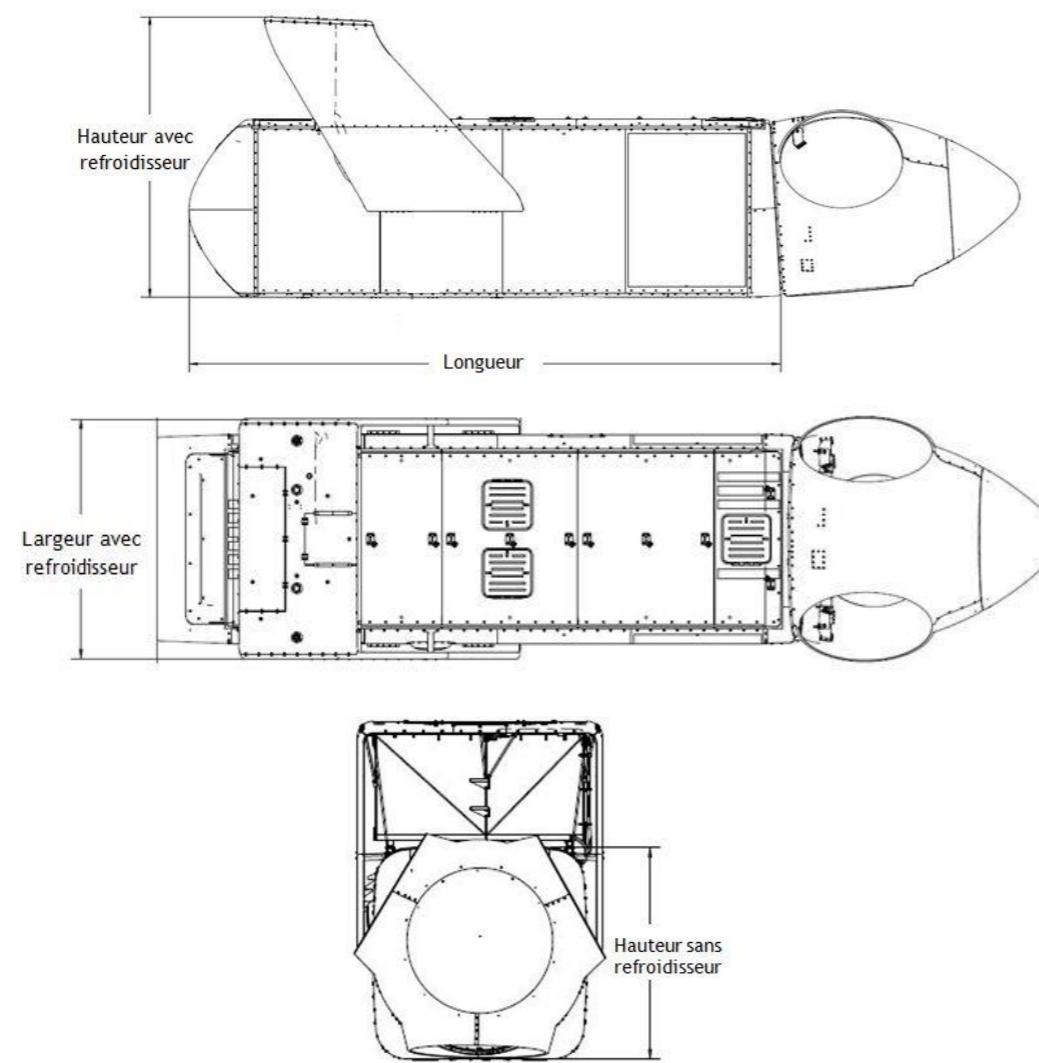


Figure 26 : Illustration d'une nacelle et des éléments pris en compte pour définir les dimensions évoquées précédemment

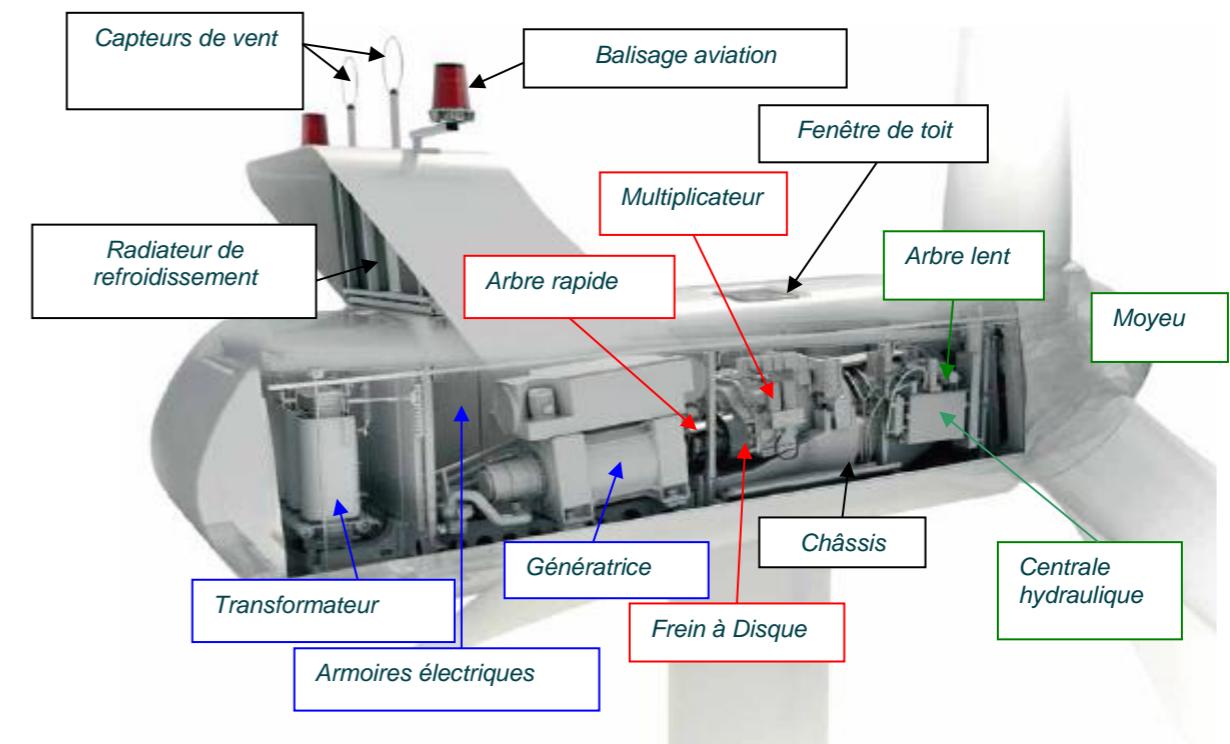


Figure 27 : Composants de la nacelle

8.2.2 Sécurité de l'installation

Les aérogénérateurs seront conformes aux dispositions de la norme NF EN 61 400-1 dans sa version en vigueur ou CEI 61 400-1 dans sa version en vigueur ou toute norme équivalente en vigueur dans l'Union européenne, à l'exception des dispositions contraires aux prescriptions de l'arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020).

Les éoliennes seront équipées d'un dispositif de contrôle qui assure le bon fonctionnement et l'intégrité des différents systèmes internes. En parallèle à ces systèmes de conduite et de contrôle, les machines sont équipées de dispositifs de sécurité afin de détecter tout début de dysfonctionnement et de limiter les risques liés à ceux-ci. L'objectif est de pouvoir stopper le fonctionnement de l'éolienne en toute sécurité, même en cas de défaillance du système contrôle commande. Les éoliennes implantées seront conformes aux prescriptions suivantes de l'arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020).

Selon la réglementation européenne, une éolienne mise sur le marché est soumise à une quadruple obligation :

Satisfaire aux exigences essentielles de sécurité énoncées par la directive ;

Disposer du marquage CE ;

Disposer d'une « auto-certification » (procédure par laquelle le fabricant ou l'importateur déclare, sous sa responsabilité, que la machine soumise à ladite procédure est conforme aux règles techniques qui lui sont applicables) ;

Enfin, le fabricant ou l'opérateur qui met une éolienne sur le marché doit tenir à la disposition des services de contrôle des États membres une documentation prouvant la conformité de la machine aux exigences essentielles de la directive.

Tableau 9 : Sécurisation de l'installation

Arrêté modifié du 26/08/11		Prescription
Section	Article	
Implantation	3	Implantation des éoliennes à une distance minimale de 300 m d'une installation nucléaire de base ou d'une ICPE (hormis parc éolien existant dont le projet fait l'objet d'un prolongement du parc existant).
	4	L'installation est implantée de façon à ne pas perturber de manière significative le fonctionnement des radars et des aides à la navigation.
	5	Lorsqu'un aérogénérateur est implanté à moins de 250 m d'un bureau, les ombres projetées de l'éolienne ne doivent pas impacter plus de 30 h/an et 30 min/j le bâtiment
	6	L'installation est implantée de manière à ne pas exposer les habitations à un champ magnétique supérieur à 100 microteslas à 50-60 Hz.
Dispositions constructives	7	Maintien d'une voie d'accès carrossable entretenue, ainsi que les abords.
	8	Conformité des éoliennes aux normes en vigueur (norme NF EN 61 400-1 ou IEC 61 400-1 dans leur version en vigueur) et aux dispositions de l'article R. 111-38 du code de la construction et de l'habitation. Contrôle de la conformité de chaque aérogénérateur par un organisme compétent avant mise en service.
	9	Conformité des éoliennes à la norme IEC 400-24. Installation mise à la terre. Contrôle de la mise à la terre par un organisme compétent avant mise en service et contrôles périodiques effectués.
	10	Prévention des risques électriques : <ul style="list-style-type: none"> • Installations électriques à l'intérieur de l'aérogénérateur respectant la directive du 17 mai 2006 ; • Installations électriques extérieures à l'aérogénérateur conformes aux normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200 ; • Contrôle de la conformité de l'installation par un organisme compétent avant mise en service.
	11	Balisage de l'installation conforme aux dispositions prises en application des articles L. 6351-6 et L. 6352-1 du code des transports et des articles R. 243-1 et R. 244-1 du code de l'aviation civile

Arrêté modifié du 26/08/11		Prescription
Section	Article	
Exploitation	13	Accès à l'intérieur des aérogénérateurs, des postes de transformation et postes de livraison fermés à clé et réservé au personnel autorisé
	14	Numérotation des aérogénérateurs affichée en caractère lisible sur le mât. Affichage des prescriptions à observer par les tiers, sur le chemin d'accès à chaque éolienne et sur le PDL (le cas échéant sur le poste de raccordement)
	15	Personnel compétent disposant d'une formation (risques accidentels, moyens pour les éviter). Réalisation d'exercices d'entraînement et tenue d'un registre d'accidents/incidents
	16	Maintien de la propreté à l'intérieur de l'aérogénérateur. L'entreposage à l'intérieur de l'aérogénérateur de matériaux combustibles ou inflammables est interdit
	17	Avant la mise en service : Réalisation d'essais permettant de s'assurer du bon fonctionnement de l'ensemble des équipements mobilisés pour mettre l'aérogénérateur en sécurité. Contrôle des installations électriques par une personne compétente avant la mise en service. En service : Entretien, maintenance et contrôle des installations électriques à fréquence annuelle. Réalisation de tests pour vérifier l'état fonctionnel des équipements de mise à l'arrêt, de mise à l'arrêt d'urgence et de mise à l'arrêt depuis un régime de survitesse en application des préconisations du constructeur de l'aérogénérateur.
	18	Contrôle de l'aérogénérateur 3 mois puis un an après la mise en service puis suivant une périodicité qui ne peut excéder 3 ans. Contrôle visuel (impact foudre) tous les 6 mois minimum. L'installation est équipée de systèmes instrumentés de sécurité, de détecteurs et de systèmes de détection destinés à identifier tout fonctionnement anormal de l'installation. Tenue à jour de la liste de ces équipements de sécurité, précisant leurs fonctionnalités, leurs fréquences de tests et les opérations de maintenance destinées à garantir leur efficacité dans le temps. Contrôle de ces équipements de sécurité selon une périodicité qui ne peut excéder un an
	19	L'exploitant dispose d'un manuel d'entretien et tient à jour un registre pour chaque installation
	20 et 21	Élimination des déchets conformément à l'article L. 511-1 du code de l'environnement Bonne gestion des déchets, avec récupération, valorisation ou élimination dans des installations autorisées des déchets non dangereux et non souillés par des produits toxiques ou polluants.
Risques	22	Des consignes de sécurité sont établies et portées à la connaissance du personnel en charge de l'exploitation et de la maintenance. Les consignes de sécurité indiquent également les mesures à mettre en œuvre afin de maintenir les installations en sécurité dans les situations dangereuses.
	23	En cas de détection d'un fonctionnement anormal, notamment en cas d'incendie ou d'entrée en survitesse d'un aérogénérateur, l'exploitant ou une personne qu'il aura désigné et formé est en mesure de mettre en œuvre les procédures d'arrêt d'urgence dans un délai maximal de 60 minutes et de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes.
	24	Aérogénérateurs équipés de moyens de lutte et de prévention contre l'incendie conformes aux normes en vigueur.
	25	Aérogénérateurs équipés de système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace, et l'aérogénérateur est mis à l'arrêt dans un délai maximal de 60 min.

8.2.2.1 Dispositif de contrôle de l'éolienne

8.2.2.1.1 Régulation de vitesse

L'objectif d'une éolienne est la production d'électricité à destination du réseau public tout en limitant les perturbations de celui-ci. Ceci passe par une qualité de courant la plus constante possible, malgré les variations de vitesse du vent. En utilisant les différentes données mesurées par les capteurs (vitesse de vent angle des pales, vitesses de rotation de l'arbre lent et de l'arbre rapide) le système de contrôle de l'éolienne supervise la production des éoliennes et s'assure que les conditions de fonctionnement sont optimales. Pour une vitesse de vent inférieure à la vitesse nominale, l'éolienne n'atteint pas sa production nominale. Dans ce cas, le système assure une production partielle. Si la vitesse de vent atteint la valeur nominale de productivité de l'éolienne, la production est constante jusqu'à ce que la limite haute de vent soit atteinte. Les éoliennes sont équipées de capteurs de vent.

8.2.2.1.2 Régulation de puissance

Les systèmes de conversion assurent la régulation du fonctionnement du générateur et du courant délivré au réseau. Ils déclenchent le couplage de l'éolienne au réseau à l'atteinte d'une certaine vitesse minimale de rotation de la génératrice et provoquent l'arrêt de celle-ci sur vitesse trop élevée. Les systèmes de conversion assurent également la régulation en tension et fréquence du courant délivré au réseau.

8.2.2.2 Dispositifs de sécurité et de surveillance

8.2.2.2.1 Mode d'arrêt de l'éolienne

Il existe plusieurs modes d'arrêt de l'éolienne :

- La mise en pause : La machine est découpée du réseau électrique haute tension (le générateur ne produit plus), mais reste néanmoins sous tension. Le rotor est laissé en libre rotation, mais dans certains cas les pales sont ramenées dans une position offrant moins de prise au vent (à environ 85° par rapport à la direction de vent). Cet arrêt peut être déclenché volontairement ou en cas d'attente de conditions de production favorables (vitesses de vent, températures). Dans ce cas, la machine sera redémarrée automatiquement par le système de contrôle après une temporisation (au retour d'une vitesse de vent suffisante par exemple) ou par une action de l'utilisateur pour une mise en pause manuelle ;
- L'arrêt de type « Stop » : Ce mode est similaire au mode pause, mais l'ensemble des sous-systèmes et actionneurs sont désactivés. Les pales sont ramenées en position dite « en drapeau » (à environ 90° par rapport à la direction de vent) par le système de conduite. Cet état peut survenir par commande utilisateur ou en cas d'anomalies mineures. Le redémarrage de la machine nécessite une action humaine, soit à distance, soit en local (pas de redémarrage automatique) ;
- L'arrêt en cas d'urgence : Les pales sont ramenées en position dite « en drapeau » (à environ 90° par rapport à la direction de vent) par le système de sécurité. Cet état peut survenir lors de détection d'anomalies (température trop élevée sur un palier, déclenchement d'un détecteur de vibration, déclenchement du détecteur d'arc ...).

Si l'anomalie disparait, la machine peut être redémarrée automatiquement par le système de contrôle après une temporisation ou par une action à distance.

8.2.2.2.2 Dispositifs de freinage

Le frein principal de l'éolienne est un frein aérodynamique. Il est dimensionné pour arrêter la rotation du rotor par action sur l'orientation des pales. Il peut être déclenché :

- Par le système de conduite lors d'un arrêt normal ou par une action volontaire (mise en pause) ;
- Par le système de conduite en cas de dépassement de la vitesse maximale de vent, ou sur autre défaut (défaillance électrique, température trop élevée, ...) ;
- Par action humaine volontaire sur un arrêt d'urgence ;
- Par le système de sécurité qui assure une protection contre la survitesse (voir ci-après au paragraphe suivant).

Le frein aérodynamique consiste à orienter les pales de façon à mettre celle-ci en position où elles offrent peu de prise au vent et plus de résistance à la rotation. L'orientation des pales est assurée par action sur le pitch system, soit par le dispositif de

conduite, soit par les dispositifs de sécurité. Pour les cas d'arrêt de type « Stop » ou « Emergency Stop » le rotor s'arrête ainsi en quelques secondes. Dans ces deux cas, un verrouillage mécanique est automatiquement activé sur chaque pale après mise en drapeau. En complément de ce frein aérodynamique, il existe un frein hydraulique qui permet le maintien à l'arrêt du rotor par action sur l'arbre rapide.

Il existe également un dispositif mécanique de blocage du rotor qui est utilisé pour les opérations de maintenance, nécessitant des interventions dans le moyeu, dans le multiplicateur ou sur le générateur. Ce blocage est actionné manuellement par l'opérateur.

8.2.2.2.3 Protection de survitesse

Il est essentiel de pouvoir arrêter l'éolienne en cas de survitesse liée aux conditions atmosphériques, à la déconnexion du réseau électrique ou en cas de détection d'une anomalie (surchauffe ou défaillance d'un composant). Le freinage est effectué en tournant ensemble les 3 pales à un angle de 85 à 90°, afin de positionner celles-ci en position où elles offrent peu de prise au vent. Les vitesses de rotation du générateur et de l'arbre lent sont mesurées et analysées en permanence par le système de contrôle. Cette mesure redondante permet de limiter les défaillances liées à un seul capteur. En cas de discordance des mesures, l'éolienne est mise à l'arrêt. Les parties en rotation sont donc protégées contre les erreurs de rotations.

8.2.2.2.4 Protection contre la foudre

Toutes les éoliennes sont équipées d'un système de protection contre la foudre et d'un système de mise à la terre conçu pour répondre à la classe de protection I de la norme internationale IEC 61400. Compte tenu de leur situation et des matériaux de construction, les pales sont les éléments les plus sensibles à la foudre. En effet, le point haut de l'éolienne est constitué du sommet de la pale qui culmine, dans le cas présent, à 149 m de hauteur et représente donc un point singulier en cas d'orage. De plus, les matériaux constituant la pale sont des matériaux synthétiques (résine et fibre de verre) mauvais conducteurs électriques et donc ne facilitant pas l'écoulement des charges en cas de coup de foudre. Les composants électrique et électroniques de l'éolienne sont protégés par des barrières surtension.

8.2.2.2.5 Balisage aviation

L'arrêté du 23 avril 2018 impose que les éoliennes soient repérables par les aéronefs. Ainsi, les éoliennes dont la hauteur totale haute (en bout de pale) est inférieure ou égale à 150 m, doivent être munies d'un balisage lumineux suivant les règles suivantes :

- Feux à éclats (jour et nuit) : Les feux à éclats de même fréquence implantés sur toutes les éoliennes sont synchronisés. La fréquence des feux de balisage à éclats implantés sur les éoliennes terrestres non côtières (c'est-à-dire à plus de 25 km de la côte) est de 20 éclats par minute ;
- Balisage lumineux de jour : Chaque éolienne est dotée d'un balisage lumineux diurne assuré par des feux d'obstacle de moyenne intensité de type A (feux à éclats blancs de 20 000 candelas [cd]). Ces feux d'obstacle sont installés sur le sommet de la nacelle et sont visibles dans tous les azimuts (360°) ;
- Balisage lumineux de nuit : Chaque éolienne est dotée d'un balisage lumineux nocturne assuré par des feux d'obstacle de moyenne intensité de type B (feux à éclats rouges de 2 000 cd). Ces feux d'obstacle sont installés sur le sommet de la nacelle et sont visibles dans tous les azimuts (360°).

8.2.2.2.6 Surveillance des échauffements et températures – formation de glace

Les évolutions de température ambiante peuvent perturber le fonctionnement de l'éolienne. Ainsi, une température trop élevée peut limiter l'efficacité des systèmes de refroidissement (mauvaise évacuation des énergies) ou affecter le fonctionnement de certains composants. De même, une température trop basse peut limiter l'efficacité des systèmes de lubrification ou affecter le fonctionnement des systèmes hydrauliques (augmentation de la viscosité de l'huile). Ainsi, des capteurs sont mis en place pour mesurer les températures ambiantes. Ces capteurs ont des seuils hauts qui, une fois dépassés, conduisent à une alarme et à une mise à l'arrêt du rotor (mise en drapeau des pales). Certains capteurs ont également des seuils bas qui déclenchent un système de chauffage localisé.

Chaque aérogénérateur est équipé d'un système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. En cas de formation importante de glace, l'aérogénérateur est mis à l'arrêt dans un délai maximal de soixante minutes. L'exploitant définit une procédure de redémarrage de l'aérogénérateur en cas d'arrêt automatique lié à la présence de glace sur les pales.

L'identification des dépôts de glace repose sur trois principes indépendants :

- Contrôle de la courbe de puissance : à chaque vitesse de vent, une comparaison est faite entre la puissance électrique réelle mesurée de l'éolienne et la valeur de la courbe théorique de puissance. La déviance du couple Vitesse

vent/Puissance électrique est expliquée par la dégradation de l'aérodynamisme des pales causée par la formation de glace. Dans ce cas, l'éolienne est arrêtée automatiquement.

- Contrôle des anémomètres : La présence de deux anémomètres de technologie différente (ultrasonique chauffé et mécanique à coupelles non chauffé) offre une possibilité de détection en cas de discordance de mesure. Cela peut provenir du givrage de l'anémomètre mécanique à coupelles (qui indiquera alors une vitesse de vent inférieure à la réalité). Dans ce cas, l'éolienne est arrêtée automatiquement.
- Contrôle des vibrations : un dispositif d'acquisition de charge de la pale ou capteur de fréquence propre de la pale permet de mesurer le déséquilibre de la pale causé par un dépôt de glace. Ces informations sont prises en considération lors des phases de démarrage ou lors du fonctionnement des éoliennes. Dans ce cas, l'éolienne est mise en sécurité automatiquement.

8.2.2.7. Surveillance de pression et de niveau

Le circuit hydraulique est équipé de capteurs de pression (une mesure de pression dans le bloc hydraulique de chaque pale) permettant de s'assurer de son bon fonctionnement. Toute baisse de pression au-dessous d'un seuil préalablement déterminé, conduit au déclenchement de l'arrêt du rotor (mise en drapeau des pales).

8.2.2.8. Détection incendie et protection incendie

Les normes de construction et les caractéristiques intrinsèques des matériaux utilisés pour le circuit électrique font que la probabilité d'apparition d'un incendie est presque nulle et que sa propagation est limitée au maximum par le choix des matériaux et des traitements appliqués.

Tous les composants mécaniques et électriques de l'éolienne dans lesquels un incendie pourrait potentiellement se déclencher sont continuellement surveillés par des capteurs lors du fonctionnement, et cela en premier lieu afin de s'assurer de leur bon fonctionnement. Lorsqu'un capteur de sécurité signale un défaut ou qu'un interrupteur correspondant se déclenche, l'éolienne est stoppée.

Chaque aérogénérateur est équipé d'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 adaptés aux risques à combattre.

8.2.2.9. Système de sécurité en cas de tempête

L'éolienne ne démarre pas si elle se trouve à l'arrêt ou en fonctionnement ralenti lorsque la vitesse du vent dépasse la vitesse de vent de coupure. L'éolienne s'arrête également si l'angle maximum admis pour les pales est dépassé. Un anémomètre gelé ne constitue donc pas un risque pour la sécurité. Dans tous les cas, l'éolienne passe en fonctionnement au ralenti. L'éolienne démarre automatiquement lorsque la vitesse du vent tombe en-dessous de la vitesse de vent de coupure pendant 10 minutes consécutives.

Les éoliennes sont équipées d'un système permettant d'éviter un arrêt brutal si les vitesses du vent dépassent la vitesse maximale admissible, mais la puissance est progressivement réduite par le réglage de l'angle des pales du rotor.

8.2.2.10. Certification de conformité aux normes européennes

Les éoliennes répondront aux normes européennes de sécurité et un document de conformité sera remis au bureau de contrôle avant l'installation du modèle choisi. La conformité avec le réseau électrique fera aussi l'objet d'une attestation remise au bureau de contrôle lors de la réalisation.

8.2.2.11. Vérification de stabilité des ouvrages

Le projet fera l'objet d'une vérification de stabilité par un bureau d'étude agréé. Un coordonnateur de sécurité produira un Plan général de coordination. Les plans particuliers de sécurité, prévention, santé (PPSPS) seront à produire par les entreprises participant à la construction.

8.2.3 Opération de maintenance de l'installation

Conformément à la directive 98/37/CE les machines feront l'objet de contrôles réguliers par des contrôleurs agréés. Le rythme de passage au moins annuel sera fixé et fera l'objet d'un engagement écrit auprès des autorités compétentes.

8.2.3.1 Formation des personnels

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

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

8.2.3.2 Modalités de maintenance

Compte tenu de la préfabrication des éoliennes, les opérations de montage de l'éolienne sur site se font dans un délai relativement court (un à deux jours pour assembler les diverses parties). Après montage, les opérations de raccordements électriques ainsi que les réglages et essais de fonctionnement de l'éolienne demandent quelques semaines. Tout au long des années de fonctionnement de l'éolienne, des opérations de maintenance programmées vérifient l'état et le fonctionnement des sous-systèmes de l'éolienne.

Conformément à l'arrêté modifié du 26 aout 2011 (dernière modification au 22 juin 2020) : avant la mise en service industrielle d'un aérogénérateur, l'exploitant réalise des essais permettant de s'assurer du fonctionnement correct de l'ensemble des équipements. Ces essais comprennent :

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

Suivant une périodicité qui ne peut excéder 1 an, l'exploitant réalise des tests pour vérifier l'état fonctionnel des équipements de mise à l'arrêt, de mise à l'arrêt d'urgence et de mise à l'arrêt depuis un régime de survitesse en application des préconisations du constructeur de l'aérogénérateur. Les résultats de ces tests sont consignés dans le registre de maintenance visé à l'article 19.

Avant la mise en service industrielle des aérogénérateurs et des équipements connexes, les installations électriques visées à l'article 10 sont contrôlées par une personne compétente.

Par ailleurs, elles sont entretenues, elles sont maintenues en bon état et elles sont contrôlées à fréquence annuelle après leur installation ou leur modification. L'objet et l'étendue des vérifications des installations électriques ainsi que le contenu des rapports de contrôle sont fixés par l'arrêté du 10 octobre 2000 susvisé. Les rapports de contrôle des installations électriques sont annexés au registre de maintenance visé à l'article 19 de l'arrêté modifié du 26 aout 2011 (dernière modification au 22 juin 2020).

Des consignes de sécurité sont établies et portées à la connaissance du personnel en charge de l'exploitation et de la maintenance. Ces consignes indiquent :

- Les procédures d'arrêt d'urgence et de mise en sécurité de l'installation ;
- Les limites de sécurité de fonctionnement et d'arrêt (notamment pour les défauts de structures des pales et du mât, pour les limites de fonctionnement des dispositifs de secours notamment les batteries, pour les défauts de serrages des brides) ;
- Les précautions à prendre avec l'emploi et le stockage de produits incompatibles ;
- Les procédures d'alertes avec les numéros de téléphone du responsable d'intervention de l'établissement, des services d'incendie et de secours ;
- Le cas échéant, les informations à transmettre aux services de secours externes (procédures à suivre par les personnels afin d'assurer l'accès à l'installation aux services d'incendie et de secours et de faciliter leur intervention).

Les consignes de sécurité indiquent également les mesures à mettre en œuvre afin de maintenir les installations en sécurité dans les situations suivantes : survitesse, conditions de gel, orages, tremblements de terre, haubans rompus ou relâchés, défaillance des freins, balourd du rotor, fixations détendues, défauts de lubrification, tempêtes de sables, incendie ou inondation.

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 seront surveillées et pilotées à distance**.

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.

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

Par contre, en cas d'arrêt 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.

8.2.3.2.1. Entretien préventif 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.

Tableau 10 : Principaux contrôles effectués pour l'entretien préventif du matériel - Maintenance

	Composants	Opérations
Inspection après 3 mois de fonctionnement	Etat général	Vérification de la propreté de l'intérieur de l'éolienne Vérification qu'aucun matériau combustible ou inflammable n'est entreposé dans l'éolienne
	Moyeu	Inspection visuelle du moyeu Vérification des boulons entre le moyeu et les supports de pale* Vérification des boulons maintenant la coque du moyeu
	Pales	Vérification des roulements et du jeu Vérification des joints d'étanchéité Inspection visuelle des pales, de l'extérieur et de l'intérieur Vérification des boulons de chaque pale* Vérification des bruits anormaux Vérification des bandes paratonnerres
	Système de transfert de courant foudre Moyeu / nacelle	Vérification des boulons et de l'absence d'impacts de foudre.
	Arbre principal	Vérification des boulons fixant l'arbre principal et le moyeu* Inspection visuelle des joints d'étanchéité Vérification des bruits anormaux et des vibrations Vérification du fonctionnement du système de lubrification Vérification des dommages au niveau des boulons de blocage du rotor

	Composants	Opérations
	Système d'orientation de la nacelle (Yaw System)	Vérification des boulons fixant le haut du palier d'orientation et la tour* Vérification des bruits anormaux Vérification du système de lubrification
	Tour	Vérification de l'état du béton à l'intérieur et à l'extérieur de la tour Vérification des boulons entre la partie fondation et la tour, entre les sections de la tour et sur l'échelle* Vérification des brides et des cordons de soudure Vérification des plateformes Vérification du câble principal
	Bras de couple	Vérification boulons Vérification et serrage de la connexion à la terre
	Système d'inclinaison des pales (Pitch System)	Vérification des boulons du cylindre principal et du bras de manivelle Vérification des boulons de l'arbre terminal et des roulements
	Multiplicateur	Changement d'huile et nettoyage du multiplicateur si nécessaire Vérification du niveau sonore lors du fonctionnement du multiplicateur Vérification des joints, de l'absence de fuite, etc... Vérification d'absence de fuites au niveau des points de lubrification Vérification des capteurs de débris
	Huile du multiplicateur	Vérification du niveau d'huile Vérification des composants du bloc hydraulique et des pompes
	Système de freinage	Vérification des étriers, des disques et des plaquettes de freins Inspection des entrées et des sorties de tuyaux
	Générateur	Vérification des câbles électriques dans le générateur Vérification des fuites de liquides de refroidissement et de graisse Lubrification des roulements
	Système de refroidissement par eau	Vérification du fonctionnement des pompes à eau Vérifications des tubes et des tuyaux Vérification du niveau de liquide de refroidissement
	Système hydraulique	Vérification d'absence de fuites dans la nacelle, l'arbre principal et les pompes
	Onduleur	Vérification du fonctionnement de l'onduleur.
	Capteur de vent et balisage aérien	Vérification du bon fonctionnement du balisage aérien et inspection visuelle du capteur de vitesse de vent.
	Nacelle	Vérification boulons Vérification d'absence de fissures autour des raccords Vérification des points d'ancre et des fissures autour de ceux-ci
	Extérieur	Vérification de la protection de surface Nettoyage des têtes de boulons et d'écrous, des raccords, etc.

	Composants	Opérations
	Transformateur	Inspection mécanique et électrique du transformateur
	Sécurité générale	Inspection des câbles électriques Inspection du système de mise à la terre

*Ces vérifications sont effectuées au bout de trois mois, puis d'un an de fonctionnement, puis tous les trois ans, conformément à l'arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020).

Ces opérations de maintenance courante seront répétées lors de l'inspection après la première année de fonctionnement, puis régulièrement selon le calendrier de maintenance. Les opérations de maintenance supplémentaires sont présentées ci-après.

Tableau 11 : Opérations de maintenance supplémentaire

	Composants	Opérations
Inspection après chaque année de fonctionnement	Moyeu	Vérification de l'état de la fibre de verre Vérification des joints d'étanchéité Vérification de la fonctionnalité des trappes d'accès et de leurs verrous
	Pales	Vérification des tubes de graissage et du bloc de distribution de graisse Vérification du niveau de graisse dans les collecteurs de graisse et remplacement s'ils sont pleins Remplissage du distributeur de graisse
	Système de transfert de courant foudre Moyeu / nacelle	Vérification du câble connectant les bandes anti-foudre Vérification des amortisseurs d'usure Vérification des bandes anti-foudre
	Système d'inclinaison des pales (Pitch System)	Vérification du bon fonctionnement du système d'inclinaison des pales Vérification de la pression des accumulateurs Vérification de la tension des fixations des accumulateurs Vérification des boulons Vérification des pistons des vérins hydrauliques
	Arbre principal	Vérification et lubrification des roulements principaux tous les 5 ans Vérification de l'ajustement des capteurs RPM Lubrification des boulons de blocage du rotor
	Bras de couple	Vérification des boulons entre le bras de couple et le bâti tous les 4 ans
	Multiplicateur	Vérification et remplacement (si nécessaire) des filtres à air Remplacement des filtres à air tous les 10 ans Remplacement du système de détection de particules tous les 10 ans Vérification des flexibles de drainage. Remplacement si nécessaire. Remplacement des flexibles de drainage tous les 10 ans Remplacement des tuyaux tous les 7 ans Inspection des boulons du système d'accouplement entre le multiplicateur et l'arbre principal tous les 4 ans Extraction d'un échantillon d'huile pour analyse
	Système de freinage	Vérification du câblage des capteurs d'usure et de chaleur Remplacement des plaquettes de freins tous les 7 ans

	Composants	Opérations
	Générateur	Vérification du bruit des roulements Vérification du système de graissage automatique Vérification du système de refroidissement
	Système de refroidissement par eau	Remplacement du liquide de refroidissement tous les 5 ans
	Système hydraulique	Vérification des niveaux d'huile et remplacement si nécessaire Extraction d'un échantillon d'huile pour analyse Changement d'huile selon les rapports d'analyse Remplacement des filtres (tous les ans, tous les 2 ans ou tous les 4 ans, selon le filtre) Remplacement des filtres (tous les ans, tous les 2 ans ou tous les 4 ans, selon le filtre) Contrôle des flux et de la pression Vérification de la pression dans le système de frein
	Onduleur	Vérification du bon fonctionnement de l'onduleur Remplacement des différents filtres des ventilateurs Remplacement des différents ventilateurs tous les 5 ans Remplacement de la batterie tous les 5 ans
	Capteur de vent et balisage aérien	Inspection visuelle du capteur de vitesse de vent et du bon fonctionnement du balisage.
	Nacelle	Changement des filtres à air Changement des batteries des processeurs
	Tour	Changement des filtres de ventilation contaminés Maintenance de l'élévateur de personnes
	Système de détection d'arc électrique	Test du capteur de détection d'arc électrique du jeu de barres et dans la salle du transformateur
	Système d'orientation nacelle (Yaw System)	Lubrification de la Couronne d'orientation Vérification du niveau d'huile des motoréducteurs, et remplissage si besoin Changement de l'huile des motoréducteurs tous les 10 ans Vérification et ajustement du couple de freinage
	Armoire de contrôle en pied de tour	Test des batteries Remplacement des batteries de secours tous les 5 ans Remplacement des radiateurs en cas de défaillance
	Sécurité générale	Test des boutons d'arrêt d'urgence Test d'arrêt en cas de survitesse Vérification des équipements de sauvetage Vérification de la date d'inspection des extincteurs Test des détecteurs de fumée (si installés) Vérification du système antichute

8.2.3.2.2. Contrôles réglementaires périodiques

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

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

8.2.3.2.3. 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.

8.2.3.2.4. Prise en compte du retour d'expérience

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

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

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

8.2.4 Stockage et flux de produits dangereux

Conformément à l'article 16 de l'arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020), aucun produit dangereux ne sera stocké dans les éoliennes du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph.

Le parc éolien et ses installations électriques seront conformes à l'arrêté du 9 juin 2020 relatif aux prescriptions techniques et conception et de fonctionnement pour le raccordement à un réseau public de distribution d'électricité en basse tension ou en moyenne tension d'une installation de production d'énergie électrique.

8.3.1 Réseau inter-éolien

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur, intégré ou non 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 (souvent entre 0,8 et 1,1 m) et une largeur de 0,3 m conformément à la norme NFC 13-200. Ils représentent au total un linéaire d'environ 4,78 km.

La connexion électrique entre les éoliennes et le poste de livraison, appelé réseau interne, est réalisée par l'enfouissement d'un câble électrique HTA (20 kV) en aluminium dans des tranchées.

Les liaisons électriques souterraines sont constituées de trois câbles en cuivre ou aluminium pour le transport de l'électricité, d'un ruban de cuivre pour la mise à la terre, d'une gaine PVC avec des fibres optiques pour les communications et d'un grillage ou d'un ruban avertisseur. Les tranchées contiennent donc :

- Des câbles électriques : Ils sont destinés à transporter l'énergie produite en 20 000 Volts vers la structure de livraison. L'installation des câbles respectera l'ensemble des normes et standards en vigueur.
- D'un réseau de mise à la terre : Constitué de câbles en cuivre nus, il permet la mise à la terre des masses métalliques, la mise en place du régime de neutre, ainsi que l'évacuation d'éventuels impacts de foudre ;
- Des câbles optiques : Ils permettent de créer un réseau informatique permettant l'échange d'informations entre chaque éolienne et le local informatique (SCADA), situé dans la structure de livraison. Une connexion Internet permet également d'accéder à ces informations à distance.

Un réseau de tranchées est construit entre les éoliennes et les structures de livraison. Ces tranchées sont construites en bordure des pistes d'accès du parc éolien afin de minimiser les linéaires d'emprise des travaux.

8.3.2 Postes de livraison électrique

L'évacuation de l'énergie produite par les éoliennes nécessite la mise en place de structures de livraison positionnées, tant que possible, à proximité des pistes d'accès ou des éoliennes. 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 peuvent posséder plusieurs postes de livraison, voire se raccorder directement sur un poste source, qui assure la liaison avec le réseau de transport d'électricité (lignes haute tension).

La localisation exacte des emplacements des postes de livraison est fonction de la proximité du réseau inter-éolien et de la localisation du poste source vers lequel l'électricité est ensuite acheminée.

Les postes de livraison permettent de faire la liaison entre le parc éolien et le réseau de distribution. Ils assurent également le suivi de comptage de la production sur le site injectée dans le réseau. Ils serviront par ailleurs d'organes principaux de sécurité contre les surintensités et feront office d'interrupteur fusible. Il est impératif que le gestionnaire du réseau électrique puisse y avoir accès en permanence.

Le projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph compte un poste de livraison électrique. Il est localisé à proximité de l'éolienne E5 et sera d'une longueur de 8 m, d'une largeur de 6 m et d'une hauteur de 3 m maximum, pour une surface au sol de 48m².

8.3.3 Réseau électrique externe

Le réseau électrique externe relie le **poste de livraison** avec le **poste source** (réseau public de transport d'électricité). Ce réseau est réalisé par le gestionnaire du réseau de distribution (ENEDIS dans le cas présent). Il est lui aussi entièrement enterré.

8.3 Fonctionnement des réseaux de l'installation

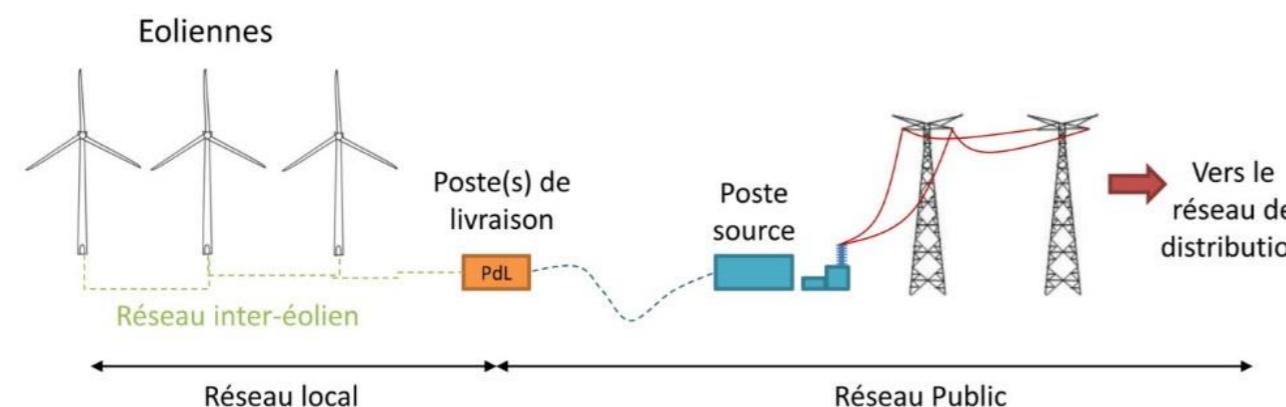


Figure 28 : Illustration du principe de raccordement électrique des installations

Le producteur doit prendre toutes dispositions nécessaires pour que l'installation de production soit sans risque pour la sécurité des personnes et des biens.

Le poste source est relié au réseau public d'électricité et permet ensuite à l'électricité d'être redistribuée. Le poste source est un ouvrage électrique qui permet de relier le réseau public de transport d'électricité au réseau public de distribution d'électricité.

Le raccordement est réalisé sous maîtrise d'ouvrage du gestionnaire de réseau (applications des dispositions de la loi n°85-704 du 12 juillet 1985, dite « MOP »), ici ENEDIS. La solution de raccordement sera définie par le gestionnaire de réseau dans la cadre de la Proposition Technique et Financière soumise au producteur, demandeur du raccordement. Selon la procédure d'accès au réseau, le gestionnaire de réseau étudie les différentes solutions techniques de raccordement seulement lorsque le dossier de demande d'autorisation d'exploiter est déposé.

Actuellement, la meilleure solution de raccordement envisagée pour le parc éolien de la Colonne Saint-Joseph est un raccordement au poste source de Darney, qui serait le plus proche ayant la disponibilité nécessaire pour raccorder le projet.

La création et mise en service de ce poste est programmée pour 2025 dans le cadre du S3REnR (schéma régional de raccordement au réseau des énergies renouvelables) Grand Est. Dans le cas où ce poste ne serait finalement pas construit, ou déjà saturé lors de l'étude du raccordement par ENEDIS, une solution alternative sera proposée.

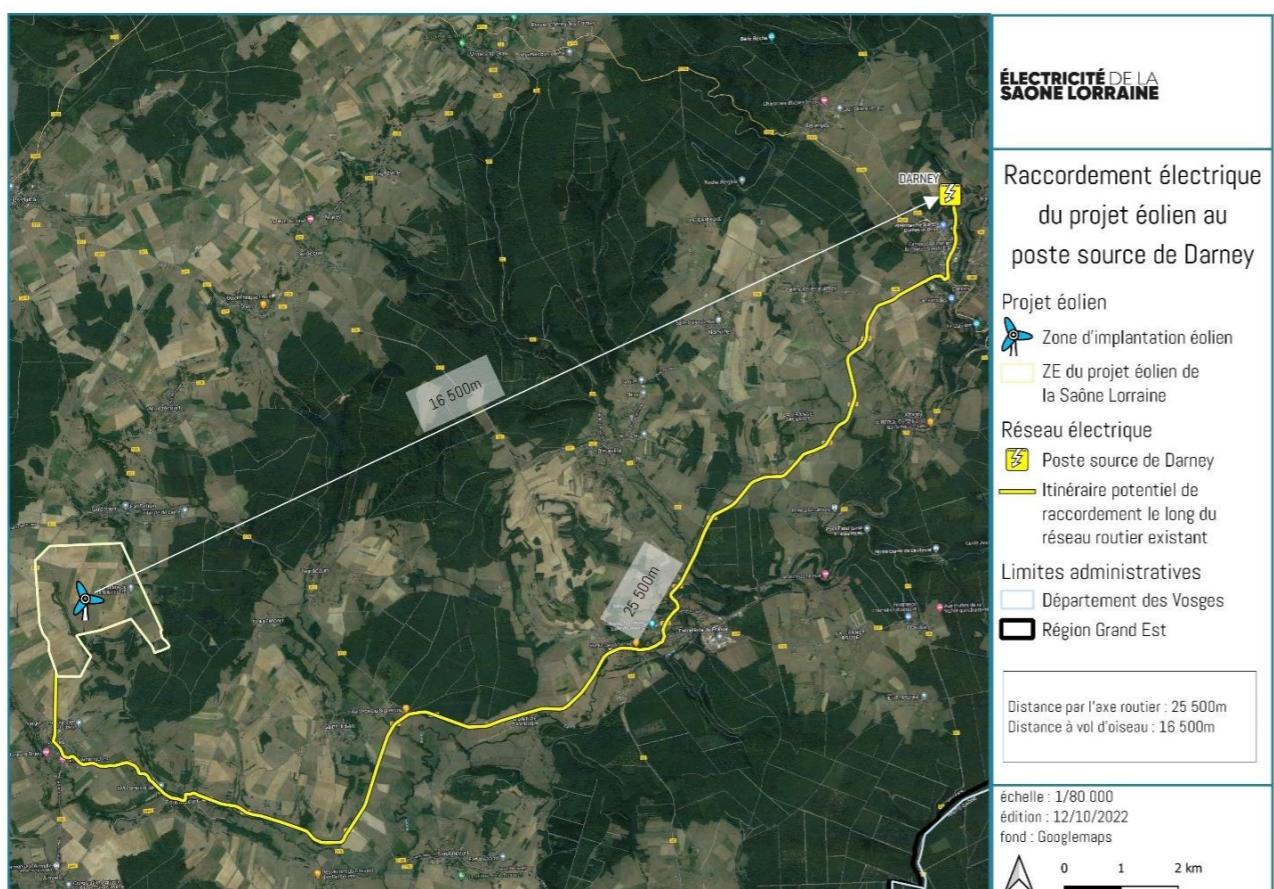


Figure 29 : Localisation du futur poste source de Darney et itinéraire potentiel de raccordement (source : Electricité de la Saône Lorraine)

8.3.4 Autres réseaux

Le parc éolien de la Colonne Saint-Joseph 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.

9 Identification des potentiels de dangers de l'installation

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

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

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

9.1 Potentiels de dangers liés aux produits

L'activité de production d'électricité par les éoliennes ne consomme pas de matières premières, ni de produits pendant la phase d'exploitation. De même, cette activité ne génère pas de déchet, ni d'émission atmosphérique, ni d'effluent potentiellement dangereux pour l'environnement. Les produits identifiés dans le cadre du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph 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 modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020) relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, aucun produit inflammable ou combustible n'est stocké dans les aérogénérateurs ou le poste de livraison.

9.1.1 Inventaires des produits

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

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

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

9.1.2 Dangers des produits

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

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

Certains produits de maintenance peuvent être inflammables mais ils ne sont amenés dans l'éolienne que pour les interventions et sont repris en fin d'opération. Le SF6 est pour sa part ininflammable.

9.1.2.2 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).

9.1.2.3 Dangerosité pour l'Environnement

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

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

En conclusion, il ressort que les produits ne présentent pas de réel danger, si ce n'est lorsqu'ils sont soumis à un incendie, où ils vont entretenir cet incendie, ou s'ils sont déversés dans l'environnement générant un risque de pollution des sols ou des eaux.

Les produits utilisés ne sont donc pas retenus comme une source potentielle de danger pour le parc éolien de la Colonne Saint-Joseph. Cela, si ce n'est lorsqu'ils sont soumis à un incendie, où ils vont entretenir cet incendie ; ou s'ils sont déversés dans l'environnement, générant alors un risque de pollution des sols ou des eaux.

9.2 Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

Les dangers liés au fonctionnement au parc éolien de la Colonne Saint-Joseph sont de cinq types :

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

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant :

Tableau 12 : Identification des dangers potentiels de l'installation

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

Dans ce tableau, il ne faut pas confondre le terme de « Danger potentiel » et « Accident redouté ». La notion d'accident sera traitée dans la partie « Analyse préliminaire des risques » de l'étude de dangers.

Ces précautions ont permis de réduire à la source le potentiel de dangers du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph.

Le respect des règles préconisées par le constructeur sur les inter-distances entre les éoliennes afin de limiter les problématiques d'écoulement générant des vibrations sur les éoliennes en aval des vents dominants, ainsi que la recherche de la hauteur des éoliennes en fonction des éoliennes présentes sur site et permettant une efficience énergétique optimisé, sont également rentrés en ligne de compte dans ce projet.

Rappelons également que les aérogénérateurs sont en conformité avec la réglementation en vigueur. Ce qui permet de garantir une sécurité optimale du parc éolien.

9.3.1.2 Réduction des potentiels de dangers liés aux produits

Les produits dangereux présents sur l'éolienne (huile, fluide de refroidissement) sont des produits classiques utilisés dans ce type d'activité et ne peuvent pas être supprimés, car ils sont nécessaires au bon fonctionnement du procédé (lubrification).

En revanche, leur utilisation et leur stockage seront dûment contrôlés.

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

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

9.3.1.3 Réduction des potentiels de dangers liés au fonctionnement

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

Un autre danger est lié à la présence d'installations électriques avec des tensions élevées (jusqu'à 35 000 volts dans un aérogénérateur), 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.

9.3.1.3.1. Conformité des éoliennes

Une éolienne est une machine au sens de la directive européenne 98/37/CE concernant le rapprochement des législations des États membres relatives aux machines et qui est transposée en droit français par les articles L. 233-5 et suivants du code du travail ainsi que par les décrets d'application de ces textes. Les éoliennes installées sur le site de la Colonne Saint-Joseph seront conformes à la directive 98/37/CE et aux dispositions pertinentes du code du travail.

Ainsi, les éoliennes :

- Satisferont aux exigences essentielles de sécurité de cette directive ou les normes harmonisées traduisant ces exigences,
- Seront revêtues du marquage "CE" ;
- Disposeront d'une déclaration de conformité délivrée par le fabricant au titre de l'article R. 233-73 du code du travail, attestant de la conformité de la machine aux prescriptions techniques la concernant.

9.3 Réduction des potentiels de dangers à la source

9.3.1 Principales actions préventives

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

9.3.1.1 Choix de l'emplacement des installations

Les choix réalisés pour définir l'implantation des éoliennes et des postes de livraison électrique ont tenu compte des contraintes techniques, réglementaire et de sécurité du site :

- Respect d'une distance minimale d'éloignement par rapport aux habitations ou zones urbanisées de plus de 1 kilomètre, distance plus importante que les 500 m réglementaires ;
- Respect d'une distance d'éloignement par rapport à la route départementale RD25 d'au moins 195 mètres, conformément au retour du CD88 ;
- Eoliennes distantes de plus de 20 km (donc hors de la zone d'exclusion) du radar de Contrexéville ;
- Eloignement de plus de 70 mètres aux lignes électriques aériennes HT et THT ;
- L'implantation évite les secteurs à plus forts enjeux écologiques et se situe quasiment exclusivement en secteurs à enjeu écologique faible ;
- Absence de zonage réglementaire de protection des milieux naturels ou des paysages au droit du projet ;
- Absence d'autres servitudes réglementaires rédhibitoires.

Les éléments de détail concernant le choix de l'emplacement des installations sont présentés dans l'étude d'impact au chapitre dédié aux raisons du choix du projet.

Le choix du modèle d'éolienne a été effectué en tenant compte du régime de vent du site et des contraintes paysagères.

La directive 98/37/CE sera appliquée par les dispositions suivantes :

- Chaque machine portera de manière lisible et indélébile les indications minimales suivantes (point 1.7.3 de l'annexe 1 sous l'article R. 233-84 du Code du Travail) :
 - Le nom du fabricant et son adresse ;
 - Le marquage "CE" de conformité constituée des initiales "CE" (art R. 233-73 du Code du Travail) ;
 - La désignation de la série ou du type ;
 - Le numéro de série (s'il existe) ;
 - L'année de construction ;
- L'exploitant disposera de la déclaration "CE" de conformité (art R. 233-73 du Code du Travail) établit par le fabricant pour attester la conformité des machines et des composants de sécurité à la directive pour chacune des machines ou chacun des composants de sécurité fabriqués ;
- L'exploitant disposera de la notice d'instructions (point 1.7.4 de l'annexe 1 sous l'article R. 233-84 du Code du Travail) pour chaque machine qui comportera notamment les instructions nécessaires pour que la mise en service, l'utilisation et la maintenance s'effectuent sans risque.

De plus, les éoliennes du parc éolien seront dimensionnées afin de répondre aux exigences de :

- Bonne application des principes généraux de prévention (art. L. 230-1 et suivants) ;
- Stabilité des machines (point 1.3.1 de l'annexe 1 sous art. R. 233-84 du Code du Travail) ;
- Risques de rupture en service (point 1.3.2 de l'annexe 1 sous art. R. 233-84 du Code du Travail) ;
- Risques dus aux chutes et projections d'objets (point 1.3.3 de l'annexe 1 sous art. R. 233-84 du Code du Travail) ;
- Risques de chutes (point 1.5.15 de l'annexe 1 sous art. R. 233-84 du Code du Travail).

Elles disposeront d'un dossier de maintenance (art. R.235-5) ou d'un dossier d'interventions ultérieures sur l'ouvrage.

Lorsque les travaux seront réalisés, en fonction de la coordination mise en œuvre :

- Soit le plan de prévention sera établi en respect des prescriptions particulières applicables aux travaux réalisés dans des sites en exploitation (art. R. 237-1 et suivants) ;
- Soit la mise en œuvre de la coordination s'effectuera en respect des prescriptions particulières applicables aux opérations de bâtiment ou de génie civil (art. R. 238-1 et suivants).

9.3.1.3.2. Contrôle technique des éoliennes

Le décret n° 2007-1327 du 11 septembre 2007 introduit un contrôle technique obligatoire pour les éoliennes dont la hauteur du mât et de la nacelle est supérieure à 12 mètres. Ces contrôles seront réalisés durant la phase de construction de l'éolienne. Ils concernent le massif de stabilité (fondation) de l'éolienne ainsi que les liaisons entre ce massif et la machine.

9.3.1.3.3. Maintenance et entretien du matériel

L'inspection et l'entretien du matériel sont effectués par des opérateurs des constructeurs des éoliennes, formés pour ces interventions.

Tout au long des années de fonctionnement de l'éolienne, des opérations de maintenance programmées vérifient l'état et le fonctionnement des sous-systèmes de l'éolienne :

- À chaque anniversaire de la première mise en route de l'éolienne,
- Tous les 4 ou 5 ans (selon l'élément) après la première mise en route de l'éolienne,
- Tous les 10 ans après la première mise en route de l'éolienne.
- Autres contrôles réglementaires périodiques.

Conformément à la réglementation, un contrôle de l'ensemble des installations électriques sera réalisé tous les ans par un organisme agréé. En cas de besoin, des contrôles complémentaires seront opérés tels que :

- La vérification de l'absence de dommage visible pouvant affecter la sécurité,
- La résistance d'isolation de l'installation électrique,

- La séparation électrique des circuits,
- Les conditions de protection par coupure automatique de l'alimentation.

Les équipements et accessoires de levage feront également l'objet de contrôles périodiques par des organismes agréés. Le matériel incendie sera contrôlé périodiquement par le fabricant du matériel ou un organisme agréé extérieur.

Les résultats des contrôles des installations électriques, des équipements de levage et du matériel incendie seront consignés dans des registres tenus à la disposition de l'Inspection des installations classées.

9.3.1.3.4. 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.

9.3.1.3.5. Formation du personnel

Le personnel intervenant sur les installations (monteurs, personnel affecté à la maintenance) est formé et encadré.

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

9.3.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles

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

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

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

10 Analyse de retours d'expérience

Dans cette partie de l'étude de dangers sont recensés et analysés les accidents survenus sur des installations similaires à l'installation concernée par l'étude de dangers.

Rappelons que l'objectif de l'accidentologie n'est pas de dresser une liste exhaustive de tous les accidents ou incidents survenus, ni d'en tirer des données statistiques. Il s'agit avant tout de rechercher les types de sinistres les plus fréquents, leurs causes et leurs effets, ainsi que les mesures prises pour limiter leur occurrence ou leurs conséquences.

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'accident rencontrés tant au niveau national qu'international. Ces typologies apportent un éclairage sur les scénarios les plus rencontrés. D'autres informations sont également utilisées dans la partie 12,_Étude détaillée des risques_.

10.1 Inventaire des accidents et incidents en France

10.1.1 Base de données consultées

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

L'accidentologie relatée ci-après résulte de la consultation principalement de :

- La base ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) du BARPI (Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles – Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire) qui recense et analyse les accidents et incidents, survenus en France ou à l'étranger, depuis le 1er janvier 1992 (date de création du BARPI). Les événements les plus graves qui ont pu se produire avant 1992 sont également répertoriés (6% des accidents français ou étrangers recensés dans ARIA sont antérieurs à 1988).
- La note technique accidentologie du SER – FEE, qui recense des incidents liés aux parcs éoliens en France, sur la base des informations suivantes :
 - Rapport du Conseil Général des Mines (juillet 2004) [16],
 - Base de données ARIA,
 - Communiqués de presse du SER – FEE et/ou des exploitants éoliens,
 - Site Internet de l'association « Vent de Colère » (anti-éolien),
 - Site Internet de l'association « Fédération Environnement Durable » (anti-éolien),
 - Articles de presse divers,
 - Données diverses fournies par les exploitants de parcs éoliens en France.

Cette note fournit également, dans sa deuxième partie, des indications qualitatives sur les typologies d'accidents ayant affectés des parcs éoliens dans le reste du monde. La note précise qu'il apparaît impossible aujourd'hui d'effectuer un recensement exhaustif à l'échelle internationale, en raison notamment du grand nombre de parcs installés et du manque de retours d'expérience dans certains pays.

- La note « Recommandations pour la constitution des dossiers de demande d'autorisation environnementale de projets éoliens » de la DREAL Grand Est, recensant 7 accidents récents à prendre en compte dans la région Grand Est.

10.1.2 Inventaires des accidents 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 concerne essentiellement les incidents les moins graves.

Dans l'état actuel, la base de données élaborée par le groupe de travail de SER/FEE ayant élaboré le guide technique d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis l'année 2000. L'ensemble de ces sources permet d'arriver à un inventaire aussi complet que possible des incidents survenus en France. Un total de 37 incidents a pu être recensé entre 2000 et début 2012 (cf. tableau en Annexe 2). Ce tableau de travail a été validé par les membres du groupe de travail précédemment mentionné.

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

Dans le cadre de la présente étude, le tableau de l'accidentologie a été complété afin d'intégrer les nouveaux accidents connus à partir de 2012 (publiés par le BARPI) jusqu'à début 2023 (dernier accident répertorié).

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et début 2023. Cette synthèse exclut les accidents du travail (maintenance, chantier de construction, etc.) et les événements qui n'ont pas conduit à des effets sur les zones autour des aérogénérateurs.

Dans ce graphique sont présentés :

- La répartition des événements effondrement, rupture de pale, chute de pale, chute d'éléments, incendie et autres, par rapport à la totalité des accidents observés en France ;
- La répartition des causes premières pour chacun des événements décrits ci-dessus, par rapport à la totalité des accidents observés en France.

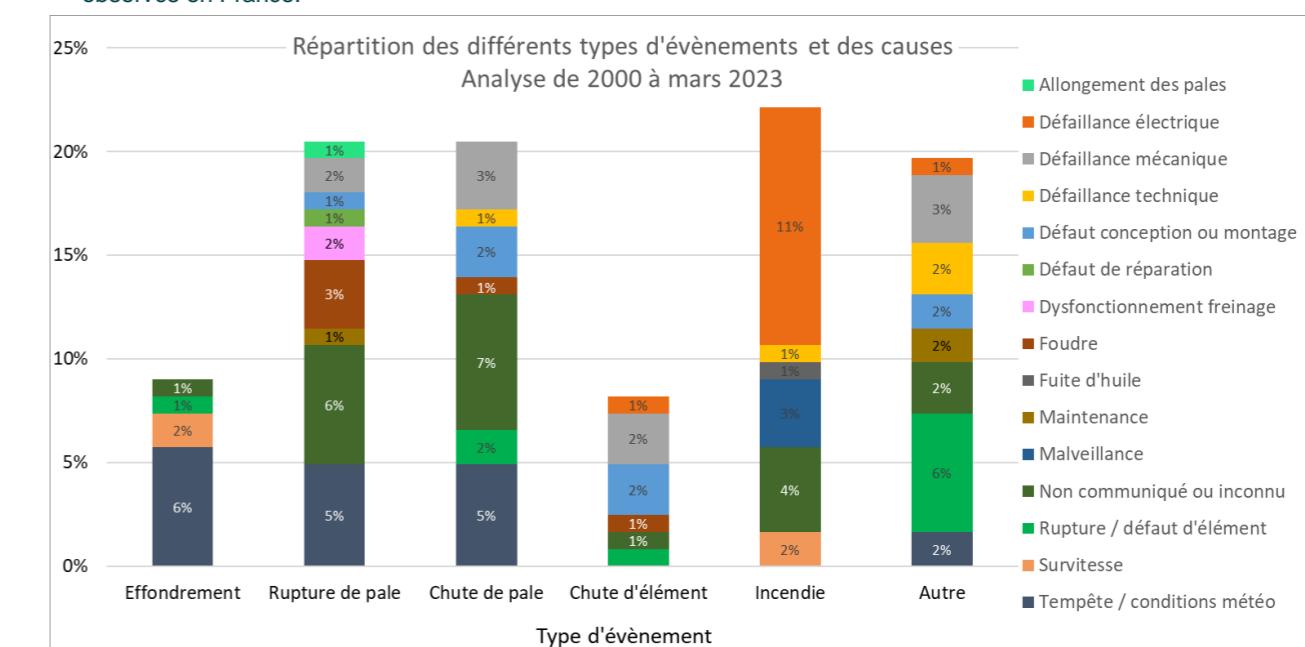


Figure 30 : Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et fin 2022 (source principale : aria.developpement-durable.gouv.fr, analyse : ©Biotope, 2023)

Par ordre d'importance, les accidents les plus recensés en France sont les incendies, puis les ruptures de pale et les chutes de pales. Viennent ensuite les effondrements et les chutes d'autres éléments de l'éolienne (aérofrein, carénage, élément de nacelle...). La catégorie « autres » regroupe tous les autres types d'évènements : fuites d'huile, collisions, emballages, fissures, explosion, infiltration...

Tous accidents confondus, les tempêtes sont la principale cause de leur survenue (17%). Dans ce cas, la conception des machines ou leur ancienneté est régulièrement mise en cause. En second résultat, la cause de l'évènement est la défaillance électrique pour 13% (court-circuit, incident, etc.).

A noter que dans 20% des cas, la cause probable de l'évènement n'est soit pas identifiée, soit non communiquée par l'exploitant auprès du public ou sur la base de données Aria.

A noter que plus de 50% des incidents répertoriés sont catégorisés en « autre » : ils comprennent des défaillances de composants ou mécaniques hors dommages structurels consécutifs, les défauts d'entretien, les pannes électriques (non provoquées par un incendie ou une électrocution) etc.

10.3 Inventaire des accidents majeurs survenus sur les sites de l'exploitant

Le projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph n'est pas une extension d'une installation existante. De plus, cette étude de dangers ne relève pas d'une révision d'une ancienne étude de dangers.

La synthèse des accidents majeurs survenus sur les installations des sites du porteur de projet n'est pas nécessaire dans le cadre de ce projet.

10.2 Inventaire des accidents et incidents à l'international

La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF) : Summary of Wind Turbine Accident data to 31 December 2022 (<https://scotlandagainstspin.org/turbine-accident-statistics/>). Cette base de données comprend l'ensemble des accidents et incidents documentés d'éoliennes, retrouvés dans la presse et les informations officielles, jusqu'au 31 décembre 2022 (édité et mis à jour chaque semestre).

Sur les 3 354 accidents décrits dans cette base de données au 31 décembre, date correspondant à l'analyse de l'association Caithness Wind Information Forum dans son résumé de 2022, 165 ont été fatals pour des hommes. Dans ces 165 accidents fatals, 229 décès ont été répertoriés : 135 morts d'accidents de travail et 94 morts de public (transporteurs, écologistes, etc.).

349 accidents ont blessé des hommes, dont majoritairement des travailleurs, pendant la construction ou la maintenance des éoliennes (379 blessés). Depuis 2012, 211 incidents d'éoliennes ayant un impact sur la santé humaine sont enregistrés.

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

Répartition des évènements accidentels dans le monde entre 2000 et le 31 décembre 2022

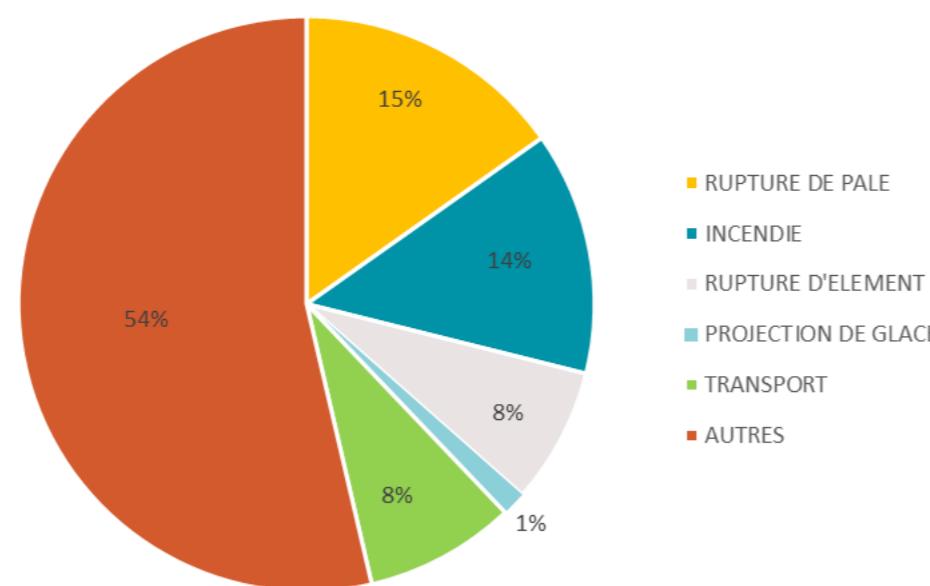


Figure 31 : Répartition des évènements accidentels dans le monde entre 2000 et 2022

D'après les données recueillies par l'association Caithness Wind Information Forum [6], la première cause d'incidents est la rupture de pale comprenant à la fois l'effondrement d'une pale et la projection de morceaux de pale : 510 incidents ont été répertoriés. La deuxième cause sont les incendies avec 459 incidents répertoriés, et la troisième lors des transports d'éléments d'éoliennes avec 284 cas documentés.

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

10.4.1 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 : il y apparaît clairement que le nombre d'accidents n'augmente pas proportionnellement à la puissance d'éoliennes installées. Depuis 2005, l'énergie éolienne s'est en effet fortement développée en France, mais le nombre d'accidents 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.

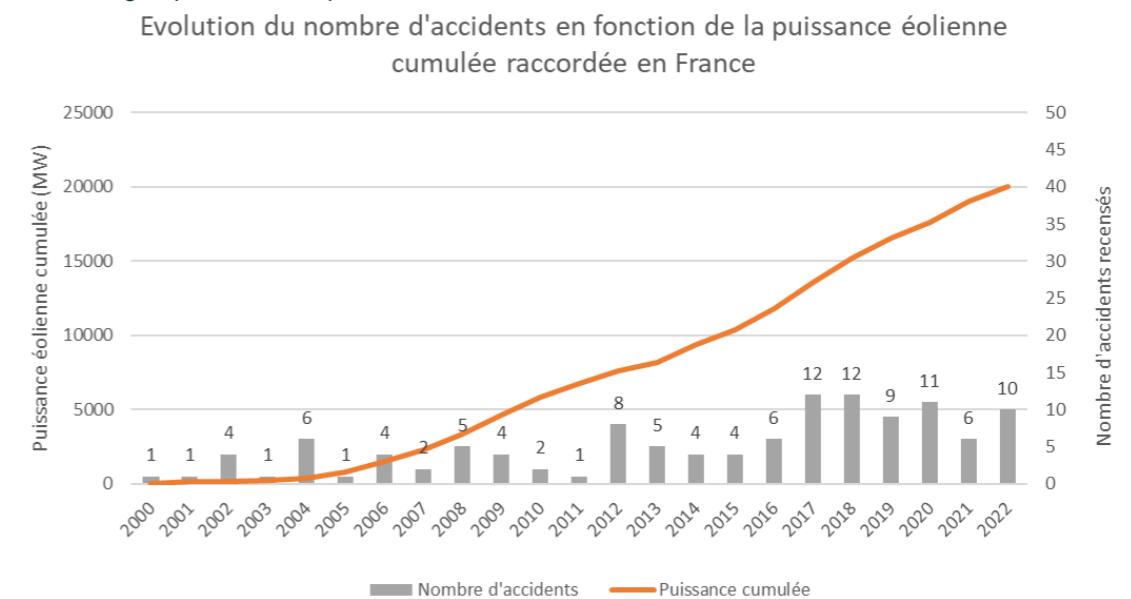


Figure 32 : Nombre d'accidents recensés en fonction de l'évolution de la filière éolienne (sources : RTE, www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr et www.ecologie.gouv.fr/eolien-terrestre; analyse : ©Biotope, 2023)

10.4.2 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.

- 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.

10.5 Moyens de préventions des accidents et de leurs conséquences

Sur la base de l'ensemble des accidents énumérés ci-dessus, le tableau suivant présente, par typologie d'accident, les principaux moyens de protection et de prévention adoptés par le porteur de projet, capables de supprimer ou de réduire leurs conséquences.

Tableau 13 : Principaux moyens de protection et de préventions adoptés pour réduire les accidents

Evènement	Descriptions des moyens mis en œuvre
Chute d'éléments (dont glace) et de nacelle	Contrôle périodique Détection de balourd et système de détection de givre
Effondrement	Etude préalable de sol Calcul des fondations selon les normes en vigueur Contrôle des calculs et des travaux Renforcement du sol naturel Déclaration de conformité selon normes en vigueur
Incendie	Capteurs de température avec alarmes Alarme de niveau sur les circuits d'huiles Vérification périodique des organes de sécurité Détecteurs de fumée Protection foudre (mise à la terre + para-surtenseurs) Consignes et procédures
Rupture de pale	Choix des matériaux adaptés aux contraintes Essais de résistance et de fatigue sur séries prototypes avec validation par une société de contrôle Contrôles lors de la fabrication Protection foudre
Collisions	Luminaire d'aviation sur chaque turbine
Survitesse de la turbine	Capteur de vitesse de vent alarmé avec arrêt du système de conduite pour des vents supérieurs à 25 m/s (mise en drapeau de la turbine) Arrêt lors d'une survitesse du rotor par le système de sécurité

10.6 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 ;

11 Analyse préliminaire des risques

11.1 Objectifs de l'analyse préliminaire des risques

L'analyse des risques a pour objectif principal d'identifier les scénarios d'accident majeurs et les mesures de sécurité qui empêchent ces scénarios de se produire ou en limitent les effets.

Cet objectif est atteint au moyen d'une identification de tous les scénarios d'accident potentiels pour une installation (ainsi que des mesures de sécurité) basée sur un questionnement systématique des causes et conséquences possibles des événements accidentels, ainsi que sur le retour d'expérience disponible.

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

11.2 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.

11.3 Recensement des agressions externes potentielles

11.3.1 Agressions externes liées aux activités humaines

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

Tableau 14 : Principales agressions extérieures potentielles

Infrastructures	Fonction	Évènement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Distance par rapport au mât des éoliennes (en m)				
					E1	E2	E3	E4	E5
Voies de circulation	Transport	Accident entraînant la sortie d'un ou plusieurs véhicules	Énergie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	Voie de circulation non structurante : • RD25 : 195 m • VC*/CR** au nord : 265 m	Voie de circulation non structurante : • RD25 : 857 m à l'ouest • VC/CR : 65 m au nord	Voie de circulation non structurante : • RD25 : > 1 km à l'ouest • VC/CR à l'est : 65 m	Voie de circulation non structurante : • RD25 : 219 m • VC/CR à l'ouest : 245 m	Voie de circulation non structurante : • RD25 : 228 m • VC/CR au centre : 0 m • VC/CR à l'est : 420 m
Lignes HTA	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	Ligne électrique aérienne moyenne tension (HTA) : 133 m	Ligne électrique aérienne moyenne tension (HTA) : 72 m	Non concernée : > 200 m	Non concernée : > 200 m	Non concernée : > 200 m
Lignes THT et HT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	Absence de ligne très haute tension (THT) et haute tension (HT) dans le périmètre. Non concerné.				
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Énergie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2000 m	Absence d'aérodrome dans le périmètre. Non concerné.				
Autres aérogénérateurs	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Énergie cinétique des éléments projetés	500 m	Absence de parc éolien dans le périmètre. Non concerné.				

* VC : Voie communale ; ** CR : Chemin rural

11.3.1.1 Danger lié à la ligne électrique HTA

Une ligne électrique est très fortement chargée électriquement. Cela induit une différence de potentiel électrique (tension) entre la ligne et tout objet extérieur. L'air étant un isolant naturel, en situation normale, la distance entre un être humain au sol et les câbles électriques est suffisamment importante pour écarter tout risque d'arc électrique.

Un phénomène d'arc électrique se forme lorsque la distance entre l'objet et la ligne électrique est trop courte. L'air perd alors son caractère isolant et devient localement conducteur, ce qui permet aux particules électriques de la ligne de se frayer un chemin vers l'objet. Dès lors, un arc électrique se forme. Pour les lignes électriques aériennes telles que celles gérées par ENEDIS ou RTE, **la distance nécessaire pour observer un phénomène d'arc électrique est de quelques centimètres ou de quelques dizaines de centimètres tout au plus. À plus de 2 m de distance, il n'y a aucun risque.**

En effet, selon les recommandations d'ENEDIS, consulté dans le cadre du projet, en cas de travail à proximité d'une ligne électrique, la distance à respecter est de 3 mètres en HTA pour les lignes aériennes (et de 1,5 mètres pour les lignes souterraines). Cette distance entre la ligne électrique et la personne, l'engin ou l'outil garantit la sécurité en écartant le risque d'arc électrique (source : www.sousleslignes-prudence.com).

Dans le cas des éoliennes du parc de la Colonne Saint-Joseph, compte-tenu des distances (plus de 70 m pour l'éolienne E1 et plus de 130 m pour l'éolienne E1) et en raison du pouvoir isolant de l'air, les risques de formation d'un arc électrique entre la ligne et l'extrémité d'une pale des éoliennes sont totalement exclus, que ce soit en situation normale ou en situation dégradée.

La rupture d'un câble de la ligne électrique HTA peut survenir suite à un événement météorologique majeur (accumulation de neige collante, tempête) ou un problème technique (fragilisation des supports des câbles). Dans ce cas, le ou les câble(s) de la ligne électrique peuvent chuter au sol. Le danger est présent au voisinage des câbles pour des personnes car il n'y a plus la protection par le caractère isolant de l'air. Vis-à-vis des éoliennes du projet, même en situation dégradée, la distance entre la ligne électrique et l'extrémité des pales resterait largement supérieure, ce qui écarte tout risque de formation d'arc électrique.

11.3.2 Agressions externes liés aux phénomènes naturels

Le tableau ci-après synthétise les principales agressions externes liées aux phénomènes naturels.

Tableau 15 : Principales agressions extérieures liées à des phénomènes naturels

Agression externe	Intensité
Vents et tempête	D'après les données recueillies par la station météo de Langres, les vents dominants proviennent des axes sud-sud-ouest et dans une moindre mesure nord-est. Les vents forts viennent principalement des axes sud-sud-ouest. Le nombre de jours avec vents forts (dépassant les 16 m/s soit 57,6 km/h) est relativement important avec une moyenne de 29,4 jours par an. Le secteur concerné n'est pas affecté par des cyclones tropicaux.
Foudre	Le département des Vosges connaît un niveau kéraunique et une densité de foudroiement plutôt faibles (22 Nk et 0,64 nsg/km ² /an enregistrés sur le département). Les éoliennes respectent la norme IEC 61 400-24 (Juin 2010).
Glissement de sols / affaissements miniers	L'aire d'étude est concernée par un risque lié au phénomène de retrait-gonflement des argiles (aléa faible), dont le projet devra tenir compte. L'aire d'étude n'est pas concernée par les autres mouvements de terrain.

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

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

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

11.4 Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques (APR)

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

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

L'échelle utilisée pour l'évaluation de l'intensité des événements a été adaptée au cas des éoliennes (qualification de la zone d'effet) :

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

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

Tableau 16 : Analyse préliminaire des risques

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effets
G01	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales, le mât et la nacelle	Chute de glace lorsque les éoliennes sont arrêtées	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace (N°2)	Impact de glace sur les enjeux	1
G02	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	Projection de glace lorsque les éoliennes sont en mouvement	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de la glace (N°1)	Impact de glace sur les enjeux	2
I01	Humidité / Gel	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I02	Dysfonctionnement électrique	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I03	Survitesse	Échauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3) Prévenir la survitesse (N°4)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I04	Désaxage de la génératrice / Pièce défectueuse / Défaut de lubrification	Échauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I05	Conditions climatiques humides	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I06	Rongeur	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I07	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2
F01	Fuite système de lubrification (quantité limitée en nacelle car modèle de turbine retenu à entraînement direct) Fuite convertisseur Fuite transformateur	Écoulement 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 captage d'eau destiné à l'irrigation agricole se trouve à environ 360 m de E01 et 2 en bordure Ouest de l'aire d'étude)	1
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Écoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement (1 captage d'eau destiné à l'irrigation agricole se trouve dans l'aire d'étude et 2 en bordure Ouest de l'aire d'étude)	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

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effets
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 importantes sur les pales	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue - Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Impact sur cible	2
P03	Serrage inapproprié Erreur maintenance – desserrage	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9)	Impact sur cible	2
E01	Effets dominos autres installations	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E02	Glissement de sol	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E05	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E07	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du plan de prévention (N°13)	Chute fragments et chute mât	2
E08	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°12) Dans les zones cycloniques, mettre en place un système de prévision cyclonique et équiper les éoliennes d'un dispositif d'abattage et d'arrimage au sol (N°13)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

Des précisions sur les différents scénarios décrits dans ce tableau sont disponibles en Annexe 3.

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

11.5 Effet dominos

Lors d'un accident majeur sur une éolienne, une possibilité est que les effets de cet accident endommagent d'autres installations. Ces dommages peuvent conduire à un autre accident. Par exemple, la projection de pale impactant les canalisations d'une usine à proximité peut conduire à des fuites de canalisations de substances dangereuses. Ce phénomène est appelé « effet domino ». Les effets dominos susceptibles d'impacter les éoliennes sont décrits dans le tableau d'analyse des risques génériques présentés ci-dessous.

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 ».

11.5.1.1.1. Installations ICPE

Le guide de l'étude de dangers des parcs éoliens propose 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.

L'ICPE la plus proche se situe à 1,14 km au sud de l'éolienne E2 la plus proche, sur la commune d'Isches (autre régime).

Aucune installation ICPE n'est présente dans un rayon de 100 m ; c'est pourquoi il est proposé de ne pas prendre en compte les conséquences des effets dominos dans le cadre de la présente étude.

11.5.1.1.2. Lignes électriques

Dans le cas des éoliennes du parc de la Colonne Saint-Joseph, compte-tenu des distances (plus de 70 m pour l'éolienne E1 et plus de 130 m pour l'éolienne E1) et en raison du pouvoir isolant de l'air, les risques de formation d'un arc électrique entre la ligne et l'extrémité d'une pale des éoliennes sont totalement exclus, que ce soit en situation normale ou en situation dégradée. Aucun effet domino n'est donc attendu.

11.6 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 le parc éolien de la Colonne Saint-Joseph. 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 (détecteur + traitement de l'information + action).
- Description** : cette ligne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires.
- Indépendance** (« oui » ou « non ») : cette caractéristique décrit le niveau d'indépendance d'une mesure de maîtrise des risques vis-à-vis des autres systèmes de sécurité et des scénarios d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner « oui ») ou non (renseigner « non »).
- Temps de réponse** (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité.
- Efficacité** (100% ou 0%) : l'efficacité mesure la capacité d'une mesure de maîtrise des risques à remplir la fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation.

• **Test (fréquence)** : dans ce champ sont rappelés les tests/essais qui seront réalisés sur les mesures de maîtrise des risques. Conformément à la réglementation, un essai d'arrêt, d'arrêt d'urgence et d'arrêt à partir d'une situation de survie 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 survie et sur tous les systèmes instrumentés de sécurité.

Conformément à l'arrêté du 26 août 2011, « l'exploitant dispose d'un manuel d'entretien de l'Installation dans lequel sont précisées la nature et les fréquences des opérations d'entretien afin d'assurer le bon fonctionnement de l'installation, 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 chaque 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. ».

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

Les fonctions de sécurité présentées ci-après proviennent des données du constructeur du modèle d'aérogénérateur sélectionné dans le cadre du projet : Vestas.

Tableau 17 : Mesures 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 de la formation de glace.		
Description	Ce système détecte la formation de glace sur les pales à partir des données de température et de rendement de l'éolienne (l'accumulation de glace alourdit les pales et diminue le rendement de la turbine). Une configuration du système SCADA permet d'alerter les opérateurs par un message type « Ice Climate ». Une mise à l'arrêt est alors effectuée de manière automatique ou manuelle. Les procédures de redémarrage sont définies par l'exploitant.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde. Mise à l'arrêt de la turbine < 1 min, conformément à l'article 25 de l'arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020)		
Efficacité	100 %		
Tests	Testé à la mise en service. Surveillance continue des données, via le serveur du fabricant. Déviation des fréquences des pales supervisées en permanence.		
Maintenance	Surveillance via la maintenance prédictive.		

Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité	2
Mesures de sécurité	Système de dégivrages des pales. Signalisation du risque en pied de machine. Eloignement des zones habitées et fréquentées.		
Description	Ce système fonctionne par pulsation d'air chaud sur les pales. Le système de chauffage est couplé avec le système de déduction de la formation de glace (voir cas 1 ci-avant). Mise en place de panneaux de signalisation informant de la possible formation de glace en pied de machines et donc du risque de chute de glace (conformément à l'article 14 de l'arrêté modifié du 26 août 2011 -dernière modification au 22 juin 2020).		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %. Nous considérerons que compte-tenu de l'implantation des panneaux et de l'entretien prévu, l'information des promeneurs sera systématique.		
Tests	NA		
Maintenance	Vérification de l'état général du panneau, de l'absence de détérioration, entretien de la végétation afin que le panneau reste visible.		

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
Mesures de sécurité	Sondes de température sur les pièces mécaniques. Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes. En fonction des niveaux d'alarme et des capteurs, la machine peut être bridée ou mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement. Le redémarrage peut être effectué à distance, si les seuils de température sont au-dessous des seuils d'alarme.		
Description	Des sondes de température sont mises en place sur les équipements ayant de fortes variations de température au cours de leur fonctionnement (paliers et roulements des machines tournantes, enroulements du générateur et du transformateur). Ces sondes ont des seuils hauts qui, une fois dépassés, conduisent à une alarme et à une mise à l'arrêt du rotor.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde. Mise en pause de la turbine < 1 min		
Efficacité	100 %		
Tests	Surveillance via la maintenance prédictive, avec détection de la déviation de températures de chaque capteur.		
Maintenance	Surveillance via la maintenance prédictive, avec détection de la déviation de température de chaque capteur (comparaison avec les données des autres éoliennes du parc). Maintenance de remplacement de la sonde de température en cas de dysfonctionnement de l'équipement. Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement, puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020).		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de vent fort et freinage aérodynamique par le système de contrôle. Détection de survitesse du générateur + « Vestas Overspeed Guard » (VOG).		
Description	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale de 22 m/s. Cet arrêt est réalisé par le frein aérodynamique de l'éolienne avec mise en drapeau des pales (le freinage est effectué en tournant ensemble les 3 pales à un angle de 85 à 90°, afin de positionner celles-ci en position où elles offrent peu de prise au vent). Cette mise en drapeau est effectuée par le système d'inclinaison des pales « Vestas Pitch System ». Les vitesses de rotation du générateur et de l'arbre lent sont mesurées et analysées en permanence par le système de contrôle. Cette mesure redondante permet de limiter les défaillances liées à un seul capteur. En cas de discordance des mesures, l'éolienne est mise à l'arrêt. Si la vitesse de rotation est supérieure à la vitesse d'alarme, l'éolienne est considérée comme étant en survitesse et est donc mise à l'arrêt. En complément aux capteurs de mesure de vitesse, un système instrumenté de sécurité est présent, et dispose d'un capteur de vitesse de rotation disposé sur l'arbre lent. Le dépassement d'une vitesse de 15 tours par minute sur l'arbre lent conduit à la mise à l'arrêt de la machine par mise en drapeau des pales (cette mise en drapeau est assurée par le circuit hydraulique avec l'assistance complémentaire des accumulateurs disposés sur les vérins). En cas d'arrêt par survitesse (déclenchement du VOG), l'éolienne ne peut pas être redémarrée à distance. Il est nécessaire de venir acquitter localement le défaut et d'effectuer un contrôle de la machine avant de relancer l'éolienne.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde et < 1 min pour le VOG Mise en pause de la turbine < 1 min Le couplage du système de détection de survitesse au système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant. L'exploitant sera ainsi en mesure de transmettre l'alerte aux services d'Urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement abnormal de l'aérogénérateur conformément à l'article 23 de l'arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020).		
Efficacité	100 %		
Tests	Lors de la mise en service de l'aérogénérateur, une série de tests (arrêts simples, d'urgence et de survitesse) est réalisée afin de s'assurer du fonctionnement et de la sécurité de l'éolienne conformément à l'article 15 de l'arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020).		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les ans suivant les manuels de maintenance. Vérification du système tous les ans suivant les manuels de maintenance Vestas. Ces vérifications sont consignées dans le document SIF Vestas. Maintenance conforme aux dispositions des articles 15 et 18 de l'arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020). 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	DéTECTEUR d'arc avec coupure électrique (salle transformateur et armoires électriques) en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.		
Description	<p>Outre les protections traditionnelles contre les surintensités et les surtensions, les armoires électriques disposées dans les nacelles (qui abritent les divers jeux de barres), sont équipées de détecteurs d'arc électrique. Ce système de capteurs photosensibles a pour objectif de détecter toute formation d'un arc électrique (caractéristique d'un début d'amorçage) qui pourrait conduire à des phénomènes de fusion de conducteurs et de début d'incendie.</p> <p>Le fonctionnement de ces détecteurs commande le déclenchement de la cellule HT située en pied de mât, conduisant ainsi à la mise hors tension de la machine.</p> <p>La remise sous tension puis le recouplage de la machine ne peuvent être faits qu'après inspection visuelle des éléments HT de la nacelle, puis du réarmement du détecteur d'arc et de l'acquittement manuel du défaut.</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	50 millisecondes.		
Efficacité	100 %		
Tests	Test des détecteurs d'arc à la mise en service puis tous les ans.		
Maintenance	<p>Les installations électriques font l'objet d'un contrôle avant la mise en service industrielle du parc éolien, puis annuellement conformément à l'article 10 de l'arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020). Ce contrôle donne lieu à un rapport, dit rapport de vérification annuel, réalisé par un organisme agréé.</p> <p>Des vérifications de tous les équipements électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrés dans le manuel de maintenance préventive.</p>		

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Efficacité	100 %		
Tests	<p>Avant la première mise en route de l'éolienne, une mesure de mise à la terre est effectuée. Un rapport de contrôle d'un organisme compétent atteste de la mise à la terre de l'installation avant sa mise en service industrielle (article 9 de l'arrêté modifié du 26 août 2011 - dernière modification au 22 juin 2020).</p>		
Maintenance	<p>Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance au minimum tous les 6 mois, conformément à l'article 18 de l'arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020).</p>		

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	<p>1. Sondes de températures sur les principaux composants de l'éolienne (pièces mécaniques) pouvant permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de la machine. Suivant les niveaux d'alarme et les capteurs, la machine peut être bridée ou mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement. Le redémarrage peut être effectué à distance, si les seuils de température sont au-dessous des seuils d'alarme.</p> <p>2. Système de détection incendie relié à une alarme transmise à un centre de télésurveillance. Intervention des services de secours.</p>		
Description	<p>1. Des sondes de température sont mises en place sur les équipements ayant de fortes variations de température au cours de leur fonctionnement (paliers et roulements des machines tournantes, enroulements du générateur et du transformateur). Ces sondes ont des seuils hauts qui, une fois dépassés, conduisent à une alarme et à une mise à l'arrêt du rotor.</p> <p>2. Les éoliennes sont équipées par défaut d'un système autonome de détection composé de plusieurs capteurs de fumée et de chaleur disposés aux possibles points d'échauffements tels que :</p> <ul style="list-style-type: none"> • La chambre du transformateur, • Le générateur, • La cellule haute tension, • Le convertisseur, • Les armoires électriques principales, • Le système de freinage. <p>En cas de détection, une sirène est déclenchée, l'éolienne est mise à l'arrêt en « emergency stop » et isolement électrique par ouverture de la cellule en pied de mât. De façon concomitante un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance via le système de contrôle commande. Le système de détection incendie est alimenté par le réseau secouru (UPS). Vis-à-vis de la protection incendie, deux extincteurs sont présents dans la nacelle et un extincteur est disponible en pied de tour (utilisables par le personnel sur un départ de feu).</p>		
Indépendance	Oui		

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Temps de réponse	<p>Temps de détection de l'ordre de la seconde</p> <p>Le couplage des éléments de détection de fumée au système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant.</p> <p>L'exploitant sera ainsi en mesure de transmettre l'alerte aux services d'Urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément à l'article 23 de l'arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020).</p>		
Efficacité	100 %		
Tests	Test des détecteurs de fumée à la mise en service puis tous les ans.		
Maintenance	<p>Contrôle tous les ans du système de détection incendie pour être conforme à l'article 18 de l'arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020).</p> <p>Le matériel incendie (extincteurs) est contrôlé périodiquement par un organisme spécialisé.</p> <p>Maintenance prédictive sur les capteurs de température.</p>		

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	<p>1. DéTECTEURS de niveau d'huiles et capteurs de pression</p> <p>2. Capteur de niveau du circuit de refroidissement (niveau bas alarmé avec arrêt après temporisation)</p> <p>3. Procédure d'urgence</p> <p>4. Kit antipollution</p> <p>5. Bacs de rétention</p>		
Description	<p>1. Le circuit hydraulique est équipé de capteurs de pression (une mesure de pression dans le bloc hydraulique de chaque pale) permettant de s'assurer de son bon fonctionnement. Toute baisse de pression au-dessous d'un seuil préalablement déterminé, conduit au déclenchement de l'arrêt du rotor (mise en drapeau des pales). Afin de pouvoir assurer la manœuvre des pales en cas de perte du groupe de mise en pression ou en cas de fuite sur le circuit, chaque bloc hydraulique (situé au plus près du vérin de pale) est équipé d'un accumulateur hydropneumatique (pressurisé à l'azote) qui permet la mise en drapeau de la pale.</p> <p>La pression du circuit de lubrification du multiplicateur fait également l'objet d'un contrôle, asservissant le fonctionnement de l'éolienne.</p> <p>Les niveaux d'huile sont surveillés d'une part au niveau du multiplicateur et d'autre part au niveau du groupe hydraulique. L'atteinte du niveau bas sur le multiplicateur ou sur le groupe hydraulique, déclenche une alarme et conduit à la mise à l'arrêt du rotor.</p> <p>2. Le circuit de refroidissement (eau glycolée) est équipé d'un capteur de niveau bas, qui en cas de déclenchement conduit à l'arrêt de l'éolienne.</p> <p>3. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange.</p> <p>Une procédure spécifique des turbiniers en cas de pollution accidentelle du sol est communiquée au personnel intervenant dans les aérogénérateurs.</p> <p>4. En cas de fuite, les véhicules de maintenance des turbiniers sont équipés de kits de dépollution composés de grandes feuilles absorbantes. Ces kits d'intervention d'urgence permettent :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; 		

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
	<ul style="list-style-type: none"> - d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...); - de récupérer les déchets absorbés. <p>Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisant, le turbinier se charge de faire intervenir une société spécialisée qui récupérera et traitera la terre souillée via les filières adéquates.</p> <p>5. Des bacs de rétention empêchent l'huile ou la graisse de couler le long du mât et de s'infiltrer dans le sol. Les principaux bacs de rétention sont équipés de capteurs de niveau d'huile afin d'informer les équipes de maintenance via les alertes cas de fuite importante. De plus, la plateforme supérieure de la tour a les bords relevés et a les jointures étanches entre plaques d'acier. Cette plateforme fait office de bac de rétention de secours en cas de fuite importante dans la nacelle.</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	<p>Temps de détection de l'ordre de la seconde.</p> <p>Mise en pause de la turbine < 1 min.</p>		
Efficacité	100 %		

Tests	<p>Tests des systèmes hydrauliques à la mise en service, au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les ans suivant les manuels de maintenance du turbinier. Ces vérifications sont consignées dans le document SIF Vestas.</p> <p>Dépendant du débit de fuite.</p>		
Maintenance	<p>Les vérifications d'absence de fuites sont effectuées à chaque service planifié.</p> <p>Surveillance des niveaux d'huile via des outils d'analyses instantanées ou hebdomadaires.</p> <p>Inspection et maintenance curative en fonction du type de déclenchement d'alarme.</p>		

Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	N° de la fonction de sécurité	9
Mesures de sécurité	<p>Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.).</p> <p>Procédures et contrôle qualité.</p>		
Description	<p>La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne.</p> <p>Le turbinier remet à chacun de ses clients, un document « Type certificate » qui atteste de la conformité de l'éolienne fournie au standard IEC 61400-1 (édition 2005). Ainsi la nacelle, le moyeu, les fondations et la tour répondent aux standards IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400 -1 ; 12 ; 23.</p> <p>De plus, des organismes compétents externes, mandatés par l'exploitant du parc, produisent des rapports attestant de la conformité de nos turbines à la fin de la phase d'installation.</p> <p>L'article R111-38 du code de la construction et de l'habitation fait référence au contrôle technique de construction. Il est obligatoire, à la charge de l'exploitant et réalisé par des organismes agréés par l'Etat. Ce contrôle assure la solidité des ouvrages ainsi que la sécurité des biens et des personnes. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223.</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		

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
Tests	NA		
Maintenance	Le plan de maintenance Vestas prévoit le contrôle des brides de fixation, des brides de mât, des fixations des pales et le contrôle visuel du mât trois mois puis un an après la mise en service industrielle puis tous les trois ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020).		

Fonction de sécurité	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	N° de la fonction de sécurité	11
Temps de réponse	Entre 12 heures et 6 mois selon le type de dégradation		
Efficacité	NA		
Tests	Traçabilité : rapport de service		
Maintenance	NA		

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

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	12
Mesures de sécurité	1. Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. 2. Mise à l'arrêt sur détection de vent fort et freinage aérodynamique par le système de contrôle.		
Description	1. En France, la classification de vents des éoliennes fait référence à la norme « IEC 61400-1 ». Les éoliennes sont dimensionnées pour chacune de ces classes. Il est donc important de faire correspondre la classe du site avec la classe de la turbine. 2. Les éoliennes sont mises à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale de 22 m/s pour la V110. Cet arrêt est réalisé par le frein aérodynamique de l'éolienne avec mise en drapeau des pales. Cette mise en drapeau est effectuée par le système d'orientation des pales « Vestas Pitch System ».		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde. Mise en drapeau des pales < 1 min.		
Efficacité	100 %		
Tests	Pitch system testé tous les ans lors des maintenances préventives.		
Maintenance	Tous les ans.		

Fonction de sécurité	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes. Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pales) par le système de conduite. 1. Procédure de contrôle des équipements lors des maintenances planifiées. 2. Suivi de données mesurées par les capteurs et sondes présentes dans les éoliennes des turbinières. 3. Condition Monitoring System (CMS).		
Description	1. Ce point est détaillé dans le chapitre dédié aux maintenances planifiées (voir Tableau 10). 2. L'intégralité des données mesurées par les capteurs et sondes présentes dans les éoliennes est suivie et enregistrée dans une base de données unique. Ces données sont traitées par des algorithmes en permanence afin de détecter, au plus tôt, les dégradations des équipements. Lorsqu'elle est nécessaire, une inspection de l'équipement soupçonné de se dégrader est planifiée. Les algorithmes de détection et de génération d'alarmes sont en amélioration continue. 3. Présente d'un Condition Monitoring System (CMS) dans les éoliennes, qui permet de suivre par une analyse vibratoire continue, l'état des éléments roulants de la chaîne cinématique du rotor, de l'arbre lent, du multiplicateur, de la génératrice et de leur environnement.		
Indépendance	Oui		

L'ensemble des procédures de maintenance et des contrôles d'efficacité des systèmes sera conforme à l'arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020).

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

11.7 Conclusion de l'analyse préliminaire des risques

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

Tableau 18 : Scénarios exclus de l'étude détaillée des risques

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	<p>En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m² n'est pas atteinte. Dans le cas d'un incendie au niveau du mât les effets sont également mineurs et l'arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020) encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques.</p> <p>Néanmoins, il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.</p>
Incendie du ou des poste(s) de livraison ou du transformateur	<p>En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté modifié du 26 août 2011 -dernière modification au 22 juin 2020- impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200).</p>
Chute et projection de glace dans les cas particuliers où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C	<p>Lorsqu'un aérogénérateur est implanté sur un site où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C, il peut être considéré que le risque de chute ou de projection de glace est nul.</p> <p>Des éléments de preuves doivent être apportés pour identifier les implantations où de telles conditions climatiques sont applicables.</p>
Infiltration d'huile dans le sol	<p>En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs.</p> <p>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.</p>

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

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

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

12 Étude détaillée des risques

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

12.1 Rappel des définitions

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

Cet arrêté est complété par la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003. Cette circulaire précise en son point 1.2.2 qu'à l'exception de certains explosifs pour lesquels les effets de projection présentent un comportement caractéristique à faible distance, les projections et chutes liées à des ruptures ou fragmentations ne sont pas modélisées en intensité et gravité dans les études de dangers.

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

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

12.1.1 La cinétique

La **cinétique d'un accident** est la vitesse d'enchaînement des événements constituant une séquence accidentelle, de l'événement initiateur aux conséquences sur les éléments vulnérables. Selon l'article 8 de l'arrêté du 29 septembre 2005, la cinétique peut être qualifiée de « lente » ou de « rapide ». Dans le cas d'une cinétique lente, les personnes ont le temps d'être mises à l'abri à la suite de l'intervention des services de secours. Dans le cas contraire, la cinétique est considérée comme rapide.

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

12.1.2 L'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).

Or, les scénarios retenus au terme de l'analyse préliminaire des risques pour les parcs éoliens sont des scénarios de projection (de glace ou de toute ou partie de pale), de chute d'éléments (glace ou toute ou partie de pale) ou d'effondrement de machine. Les seuils d'effets proposés dans l'arrêté du 29 septembre 2005 [2] caractérisent des phénomènes dangereux dont l'intensité s'exerce dans toutes les directions autour de l'origine du phénomène, pour des effets de surpression, toxiques ou thermiques). Ces seuils ne sont donc pas adaptés aux accidents générés par les aérogénérateurs.

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

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

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

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

Tableau 19 : Degré d'exposition

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

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

12.1.3 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.

L'échelle de gravité des conséquences sur l'homme définie dans l'arrêté PCIG du 29 septembre 2005 est la suivante.

Tableau 20 : Échelle de gravité des conséquences sur l'Homme

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 1 000 personnes exposées
« Catastrophique »	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1 000 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 légalité hors établissement	Pas de zone de légalité hors établissement	Présence humaine exposée inférieure à « une personne »

12.1.4 Probabilité

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

Tableau 21 : Échelle de gravité des conséquences sur l'Environnement

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

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

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

Il convient de noter que la probabilité qui sera évaluée pour chaque scénario d'accident correspond à la probabilité qu'un événement redouté se produise sur l'éolienne (probabilité de départ) et non à la probabilité que cet événement produise un accident suite à la présence d'un véhicule ou d'une personne au point d'impact (probabilité d'atteinte).

En effet, l'arrêté du 29 septembre 2005 impose une évaluation des probabilités de départ uniquement. Cependant, à noter que la probabilité qu'un accident sur une personne ou un bien se produise est très largement inférieure à la probabilité de départ de l'événement redouté.

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

$$P_{\text{accident}} = \text{PERC} \times \text{Porientation} \times \text{Protation} \times \text{Patteinte} \times \text{Présence}$$

- PERC = probabilité que l'événement redouté central (défaillance) se produise = probabilité de départ
- Porientation = 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)
- Protation = probabilité que l'éolienne soit en rotation au moment où l'événement redouté se produit (en fonction de la vitesse du vent notamment)
- Patteinte = 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)
- 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 (PERC) a été retenue.

12.1.5 Acceptabilité

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

Tableau 22 : Matrice de criticité

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	Vert	Acceptable
Risque faible	Jaune	Acceptable
Risque important	Orange	Non acceptable

12.2 Rappel du modèle étudié

Dans le cadre du projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph (88), un modèle d'aérogénérateur précis a été retenu : il s'agit du modèle Vestas V110 2MW à 95 m, dont les principales caractéristiques sont rappelées dans le tableau ci-après.

Tableau 23 : Caractéristiques principales du modèle retenu V110-2MW 95m

Caractéristiques techniques	Modèle V110-2MW 95m
Puissance nominale	2 MW
Hauteur en bout de pale (= hauteur totale)	149 m
Diamètre du rotor	110 m
Demi-diamètre rotor (pale + 1/2 moyeu)	55 m
Longueur des pales (= R)	54 m
Largeur de la base des pales (= LB)	1,874 m
Hauteur moyeu / du mât (= H)	95 m
Largeur moyenne du mât (= L)	3,98 m

12.3 Caractérisation des scénarios retenus

12.3.1 Effondrement de l'éolienne

12.3.1.1 Zone d'effet

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 149 m maximum dans le cas des éoliennes du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph. Cette méthodologie se rapproche de celles utilisées dans la bibliographie. 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.

12.3.1.2 Intensité

Pour le phénomène d'effondrement de l'éolienne, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface totale balayée par le rotor et la surface du mât non balayée par le rotor, d'une part, et la superficie de la zone d'effet du phénomène, d'autre part. Le tableau suivant permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement d'une éolienne dans le cas du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, avec :

- R est la longueur de pale (R = 54 m),
- H la hauteur du mât au moyeu (H = 95 m),
- L la largeur moyenne du mât (L= 3,98 m),
- LB la largeur de la base de la pale (LB = 1,874 m).

Tableau 24 : Intensité du phénomène « Effondrement de l'éolienne » (dans un rayon ≤ hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)

Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
ZI = (H) x L + 3*R*LB/2 ZI = (95) x 3,98 + 3*54*1,874/2	ZE = π x (H+R) ² ZE = π x (95+54) ²	d = ZI/ZE x 100 d = 0,76 % (<1%)	Exposition modérée
ZI = 529,894 m ²	ZE = 69 746,5 m ²		

Dans le cas du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, le degré d'exposition au phénomène d'effondrement d'une éolienne est inférieur à 1 % (exposition modérée).

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

12.3.1.3 Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe 7.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène d'effondrement, dans le rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne.

Le phénomène de chute d'élément engendrant une zone d'exposition modérée :

- 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 ».

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

Tableau 25 : Gravité du phénomène « Effondrement de l'éolienne » (dans un rayon ≤ hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)

Eolienne	Terrain non aménagé (terrains agricoles et forêt)		Terrains aménagés peu fréquentés (voies non structurantes, chemins)		Chemins et voies piétonnes		Nbre de personnes permanentes (ou équivalent)	Gravité
	Surface (ha)	Personnes exposées (1 p/100 ha)	Surface (ha)	Personnes exposées (1 pers/10 ha)	Linéaire (km)	Personnes exposées (2 pers/1km)		
E01	7,07	0,07	-	-	-	-	0,07	Modérée
E02	6,78	0,07	0,28	0,03	0,248	0,496	0,596	Modérée
E03	6,86	0,07	0,20	0,02	0,255	0,51	0,6	Modérée
E04	7,07	0,07	-	-	-	-	0,07	Modérée
E05	6,95	0,07	0,12	0,01	-	-	0,08	Modérée

Les terrains agricoles ne sont pas à vocation de loisirs et ne sont pas aménagés en tant que tels. Ils sont donc classés en terrains non aménagés.

12.3.1.4 Probabilité

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

Tableau 26 : Probabilité du phénomène « Effondrement de l'éolienne » (dans un rayon ≤ hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)

Source	Fréquence	Justification
Guide for risk based zoning of wind turbines [3]	4,5 x 10 ⁻⁴	Retour d'expérience
Spécification of minimum distances [4]	1,8 x 10 ⁻⁴ (effondrement de la nacelle et de la tour)	Retour d'expérience

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

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C ». En effet, il a été recensé seulement 7 événements pour 15 667 années d'expérience², soit une probabilité de 4,47 x 10⁻⁴ par éolienne et par an.

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

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

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

- Respect intégral des dispositions de la norme IEC 61 400-1,
- Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages,
- Système de détection des survitesses et un système redondant de freinage,

- Système de détection des vents forts et un système redondant de freinage et de mise en sécurité des installations – un système adapté est installé en cas de risque cyclonique.

Par d'ailleurs, le retour d'expérience français permet de montrer qu'aucun effondrement n'a eu lieu sur les éoliennes mises en service après 2005.

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020) 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 ».

12.3.1.5 Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, la gravité associée, le niveau de risque et l'acceptabilité.

Tableau 27 : Niveau de risque et acceptabilité du phénomène « Effondrement de l'éolienne » (dans un rayon ≤ hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)

Éolienne	Gravité	Niveau de risque	Acceptabilité
E01	Modérée	Très faible	Acceptable
E02	Modérée	Très faible	Acceptable
E03	Modérée	Très faible	Acceptable
E04	Modérée	Très faible	Acceptable
E05	Modérée	Très faible	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, le phénomène d'effondrement des éoliennes présente un risque très faible et donc acceptable pour les personnes au regard des populations avoisinantes.

12.3.2 Chute de glace

12.3.2.1 Considérations générales

Les périodes de gel et l'humidité de l'air peuvent entraîner, dans des conditions de température et d'humidité de l'air bien particulières, une formation de givre ou de glace sur l'éolienne, ce qui induit des risques potentiels de chute de glace. Selon l'étude WECO [5], 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.

12.3.2.2 Zone d'effet

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une

faible partie de cette zone. Il est considéré que le $\frac{1}{2}$ diamètre rotor est égal à R , soit la longueur de pale, dans le calcul de la zone d'effet. La zone d'effet correspond donc à un disque de rayon maximum de 54 mètres autour de chaque éolienne.

12.3.2.3 Intensité

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

Le tableau suivant permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace dans le cas du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, où :

- ZI est la zone d'impact,
- ZE est la zone d'effet,
- R est la longueur de pale ($R= 54$ m),
- SG est la surface du morceau de glace majorant ($SG= 1 \text{ m}^2$).

Tableau 28 : Intensité du phénomène « Chute de glace » (dans un rayon ≤ $D/2 =$ zone de survol)

Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
ZI = SG ZI = 1 m^2	ZE = $\pi \times R^2$ ZE = $\pi \times 54^2$ ZE = $9\ 160,88 \text{ m}^2$	d=ZI/ZE x 100 d = 0,011 % (<1%)	Exposition modérée

Dans le cas du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, le degré d'exposition au phénomène de chute de glace est inférieur à 1 % (exposition modérée).

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

12.3.2.4 Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe 7.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute de glace, dans la zone de survol de l'éolienne :

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

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

Tableau 29 : Gravité du phénomène « Chute de glace » (dans un rayon ≤ zone de survol)

Eolienne	Terrain non aménagé (terrains agricoles)		Terrains aménagés peu fréquentés (voies non structurantes, chemins)		Nbre de personnes permanentes (ou équivalent)	Gravité
	Surface (ha)	Personnes exposées (1 p/100 ha)	Surface (ha)	Personnes exposées (1 pers/10 ha)		
E01	0,915	0,01	-	-	0,01	Modérée

Eolienne	Terrain non aménagé (terrains agricoles)		Terrains aménagés peu fréquentés (voies non structurantes, chemins)		Nbre de personnes permanentes (ou équivalent)	Gravité
	Surface (ha)	Personnes exposées (1 p/100 ha)	Surface (ha)	Personnes exposées (1 pers/10 ha)		
E02	0,915	0,01	-	-	0,01	Modérée
E03	0,915	0,01	-	-	0,01	Modérée
E04	0,915	0,01	-	-	0,01	Modérée
E05	0,915	0,01	0,042	0,004	0,01	Modérée

12.3.2.5 Probabilité

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

12.3.2.6 Acceptabilité

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

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph la gravité associé, le niveau de risque et l'acceptabilité.

Tableau 30 : Niveau de risque et acceptabilité du phénomène « Chute de glace » (dans un rayon ≤ zone de survol)

Eolienne	Gravité	Niveau de risque	Acceptabilité
E01	Modérée	Faible	Acceptable
E02	Modérée	Faible	Acceptable
E03	Modérée	Faible	Acceptable
E04	Modérée	Faible	Acceptable
E05	Modérée	Faible	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque faible et donc acceptable pour les personnes au regard des populations avoisinantes.

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

12.3.3 Chute d'éléments de l'éolienne

12.3.3.1 Zone d'effet

La chute d'éléments comprend la chute de tous les équipements situés en hauteur : trappes, boulons, morceaux de pales ou pales entières. Le cas majorant est ici le cas de la chute de pale. Il est retenu dans l'étude détaillée des risques pour représenter toutes les chutes d'éléments. Le risque de chute d'élément est cantonné à la zone de survol des pales, c'est-à-dire une zone d'effet correspondant à un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor, considéré égal à R, c'est-à-dire la longueur de pale.

Pour le parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, la zone d'effet est donc un disque de rayon de 54 m autour des éoliennes.

12.3.3.2 Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph avec :

- d : le degré d'exposition,
- ZI : la zone d'impact,
- ZE : la zone d'effet,
- R : la longueur de pale (R= 54 m),
- LB : la largeur de la base de la pale (LB= 1,874 m).

Tableau 31 : Intensité du phénomène « Chute d'éléments de l'éolienne » (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)

Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
ZI= R*LB/2 ZI= 54*1,874/2 ZI = 50,6 m^2	ZE = $\pi \times R^2$ ZE = $\pi \times 54^2$ ZE = 9 160,88 m^2	d = ZI/ZE*100 d = 0,552 % (< 1 %)	Exposition modérée

Dans le cas du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, le degré d'exposition au phénomène d'effondrement d'une éolienne est inférieur à 1 % (exposition modérée).

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

12.3.3.3 Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir chapitre 7.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute d'éléments de l'éolienne, dans la zone de survol de l'éolienne :

- Plus de 100 personnes exposées → « Désastreux »,
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Catastrophique »,
- Entre 1 et 10 personnes exposées → « Important »,
- Au plus 1 personne exposée → « Sérieux »,
- Pas de zone de légalité hors établissement → « 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.

Tableau 32 : Gravité du phénomène "Chute d'éléments de l'éolienne" (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)

Eolienne	Terrain non aménagé (terrains agricoles)		Terrains aménagés peu fréquentés (voies non structurantes, chemins)		Nbre de personnes permanentes (ou équivalent)	Gravité
	Surface (ha)	Personnes exposées (1 p/100 ha)	Surface (ha)	Personnes exposées (1 pers/10 ha)		
E01	0,915	0,01	-	-	0,01	Modérée
E02	0,915	0,01	-	-	0,01	Modérée
E03	0,915	0,01	-	-	0,01	Modérée
E04	0,915	0,01	-	-	0,01	Modérée
E05	0,915	0,01	0,042	0,004	0,01	Modérée

12.3.3.4 Probabilité

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

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

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

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

12.3.3.5 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 la Colonne Saint-Joseph, la gravité associée, le niveau de risque et l'acceptabilité.

Tableau 33 : Niveau de risque et acceptabilité du phénomène « Chute d'éléments » (dans un rayon ≤ zone de survol)

Eolienne	Gravité	Niveau de risque	Acceptabilité
E01	Modérée	Très faible	Acceptable
E02	Modérée	Très faible	Acceptable
E03	Modérée	Très faible	Acceptable
E04	Modérée	Très faible	Acceptable
E05	Modérée	Très faible	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, le phénomène de chute d'éléments des éoliennes constitue un risque très faible et donc acceptable pour les personnes au regard des populations avoisinantes.

12.3.4 Projection de pales ou de fragments de pales

12.3.4.1 Zone d'effet

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

L'accidentologie éolienne mondiale manque de fiabilité car la source la plus importante (en termes statistiques) est une base de données tenue par une association écossaise majoritairement opposée à l'énergie éolienne [6]. Pour autant, des études de risques déjà réalisées dans le monde ont utilisé une distance de 500 mètres, en particulier les études [3] et [4].

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.

12.3.4.2 Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph.

- d est le degré d'exposition,
- ZI la zone d'impact,
- ZE la zone d'effet,
- R la longueur de pale ($R = 54$ m),
- LB la largeur de la base de la pale ($LB = 1,874$ m),
- r est la distance d'effet ($r = 500$ m).

Tableau 34 : Intensité du phénomène de « Projection de pale ou de fragment de pale » (zone de 500 m autour de chaque éolienne)

Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
ZI= $R \times LB/2$ $ZI= 54 \times 1,874/2$ $ZI = 50,6 \text{ m}^2$	ZE= $\pi \times r^2$ $ZE= \pi \times 500^2$ $ZE = 785\,398,2 \text{ m}^2$	d = ZI/ZE × 100 $d = 0,00644\% (< 1\%)$	Exposition modérée

Dans le cas du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, le degré d'exposition au phénomène projection de pale est inférieur à 1 % (exposition modérée).

12.3.4.3 Gravité

En fonction de cette intensité, il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection, dans la zone de 500 m autour de l'éolienne :

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

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

Tableau 35 : Gravité du phénomène « Projection de pale ou de fragment de pale » (zone de 500 m autour de chaque éolienne)

Eolienne	Terrain non aménagé (terrains agricoles)		Terrains aménagés peu fréquentés (voies non structurantes, chemins)		Chemins et voies piétonnes		Nbre de personnes permanentes (ou équivalent)	Gravité
	Surface (ha)	Personnes exposées (1 p/100 ha)	Surface (ha)	Personnes exposées (1 pers/10 ha)	Linéaire (km)	Personnes exposées (2 pers/1km)		
E01	76,74	0,77	1,80	0,18	-	-	0,95	Modérée
E02	77,005	0,77	1,53	0,15	1,328	2,656	3,58	Sérieuse
E03	77,894	0,78	0,646	0,06	0,998	1,996	2,84	Sérieuse
E04	77,558	0,78	0,982	0,10	-	-	0,87	Modérée
E05	77,213	0,77	1,328	0,13	0,495	0,990	1,89	Sérieuse

Pour rappel, la zone d'effet du phénomène étudié (ici, la projection de pale ou de fragment de pale) est de 500 mètres autour de chaque éolienne, soit une surface de 78,54 ha au total.

12.3.4.4 Probabilité

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

Tableau 36 : Probabilité du phénomène « Projection de pales ou de fragments de pales »

Source	Fréquence	Justification
Site specific hazard assessment for a wind farm project [7]	1×10^{-6}	Respect de l'Eurocode EN 1990 – Basis of structural design
Guide for risk based zoning of wind turbines [3]	$1,1 \times 10^{-3}$	Retour d'expérience au Danemark (1984-1992) et en Allemagne (1989-2001)
Specification of minimum distances [4]	$6,1 \times 10^{-4}$	Recherche Internet des accidents entre 1996 et 2003

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

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

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

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

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

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

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté modifié 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 ».

12.3.4.5 Acceptabilité

Avec une classe de probabilité de D, le risque de projection de tout ou partie de pale pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un nombre équivalent de personnes permanentes inférieur à 1000 dans la zone d'effet. Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph la gravité associée, le niveau de risque et l'acceptabilité :

Tableau 37 : Niveau de risque et acceptabilité du phénomène « Projection de pale ou de fragment de pale » (zone de 500 m autour de chaque éolienne)

Eolienne	Gravité	Niveau de risque	Acceptabilité
E01	Modérée	Très faible	Acceptable
E02	Sérieuse	Très faible	Acceptable
E03	Sérieuse	Très faible	Acceptable
E04	Modérée	Très faible	Acceptable
E05	Sérieuse	Très faible	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, le **phénomène de projection de tout ou partie de pale des éoliennes** constitue un **risque très faible et donc acceptable** pour les personnes au regard des populations avoisinantes.

12.3.5 Projection de glace

12.3.5.1 Zone d'effet

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

En ce qui concerne la distance maximale atteinte par ce type de projectiles, il n'existe pas d'information dans l'accidentologie. La référence [8] propose une distance d'effet fonction de la hauteur et du diamètre de l'éolienne, dans les cas où le nombre de jours de glace est important et où l'éolienne n'est pas équipée de système d'arrêt des éoliennes en cas de givre ou de glace :

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

Cette distance de projection est jugée conservative dans des études postérieures [8]. 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.

Dans le cadre du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, la distance d'effet est de :

$$1,5 \times (95 + 54^2) = 304,5 \text{ mètres}$$

12.3.5.2 Intensité

Pour le phénomène de projection de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace (cas majorant de 1 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 dans le cas du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph :

- d est le degré d'exposition,
- ZI la zone d'impact,

- ZE la zone d'effet,
- R la longueur de pale (R= 54 m),
- H la hauteur au moyeu (H= 95 m),
- SG la surface majorante d'un morceau de glace.

Tableau 38 : Intensité du phénomène « Projection de morceaux de glace » (dans un rayon de $RPG = 1,5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)

Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
ZI= SG ZI = 1 m^2	ZE = $\pi \times (1,5 \times (95+2 \times 54))^2$ ZE = $\pi \times (1,5 \times (95+2 \times 54))^2$ ZE = 291 289 m^2	d = ZI/ZE x 100 d = 0,00034 (< 1 %)	Exposition modérée

12.3.5.3 Gravité

En fonction de cette intensité et 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 1000 personnes exposées → « Désastreux »,
- Entre 100 et 1000 personnes exposées → « Catastrophique »,
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Important »,
- Moins de 10 personnes exposées → « Sérieux »,
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré ».

Il a été observé dans la littérature disponible [8] 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.

Tableau 39 : Gravité du phénomène « Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $RPG = 1,5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)

Eolienne	Terrain non aménagé (terrains agricoles)		Terrains aménagés peu fréquentés (voies non structurantes, chemins)		Chemins et voies piétonnes		Nbre de personnes permanentes (ou équivalent)	Gravité
	Surface (ha)	Personnes exposées (1 p/100 ha)	Surface (ha)	Personnes exposées (1 pers/10 ha)	Linéaire (km)	Personnes exposées (2 pers/1km)		
E01	28,937	0,29	0,738	0,07	-	-	0,36	Modérée
E02	29,005	0,29	0,670	0,07	0,575	1,15	1,51	Sérieuse
E03	29,264	0,29	0,411	0,04	0,586	1,17	1,50	Sérieuse
E04	29,245	0,29	0,430	0,04	-	-	0,34	Modérée
E05	29,151	0,29	0,524	0,05	-	-	0,34	Modérée

12.3.5.4 Probabilité

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

- Les mesures de prévention de projection de glace imposées par l'arrêté modifié 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.

12.3.5.5 Acceptabilité

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

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien de la Colonne Saint-Joseph la gravité associée, le niveau de risque et l'acceptabilité.

Tableau 40 : Niveau de risque et acceptabilité du phénomène « Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $RPG = 1,5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)

Eolienne	Gravité	Niveau de risque	Acceptabilité
E01	Modérée	Très faible	Acceptable
E02	Sérieuse	Faible	Acceptable
E03	Sérieuse	Faible	Acceptable
E04	Modérée	Très faible	Acceptable
E05	Modérée	Très faible	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, le phénomène de projection de glace constitue un risque un risque très faible à faible et donc acceptable pour les personnes au regard des populations avoisinantes.

12.4 Synthèse de l'étude détaillée des risques

12.4.1 Tableau de synthèse des scénarios étudiés

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

Tableau 41 : Synthèse des scénarios étudiés

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité	Acceptabilité
1 Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale = 149 m	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes)	Modérée	Acceptable
2 Chute de glace	Zone de survol = 54 m	Rapide	Exposition modérée	A sauf si les températures hivernales sont > à 0°C	Modérée	Acceptable

Scénario		Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité	Acceptabilité
3	Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol = 54 m	Rapide	Exposition modérée	C	Modérée	Acceptable
4	Projection de pales ou fragments de pales	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes)	Modérée Sérieuse pour E2, E3 et E5	Acceptable
5	Projection de glace	1,5 x (H + 2R) autour de l'éolienne = 304,5 m	Rapide	Exposition modérée	B sauf si les températures hivernales sont > à 0°C	Modérée Sérieuse pour E2 et E3	Acceptable

Légende de la matrice :

Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible	Vert	Acceptable
Risque faible	Jaune	Acceptable
Risque important	Orange	Non acceptable

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- Aucun scénario d'accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice ;
- Deux scénarios d'accident figurent en case jaune (chute de glace sur l'ensemble du parc et projection de glace pour E2 et E3). Pour ces accidents, il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie « 6 - Mise en place des mesures de sécurité » sont mises en place.

Ainsi l'ensemble des phénomènes étudiés sur le projet éolien de la Colonne Saint-Joseph constitue un risque acceptable.

12.5 Cartographie des risques

La carte ci-après présente la synthèse des risques pour chaque éolienne.

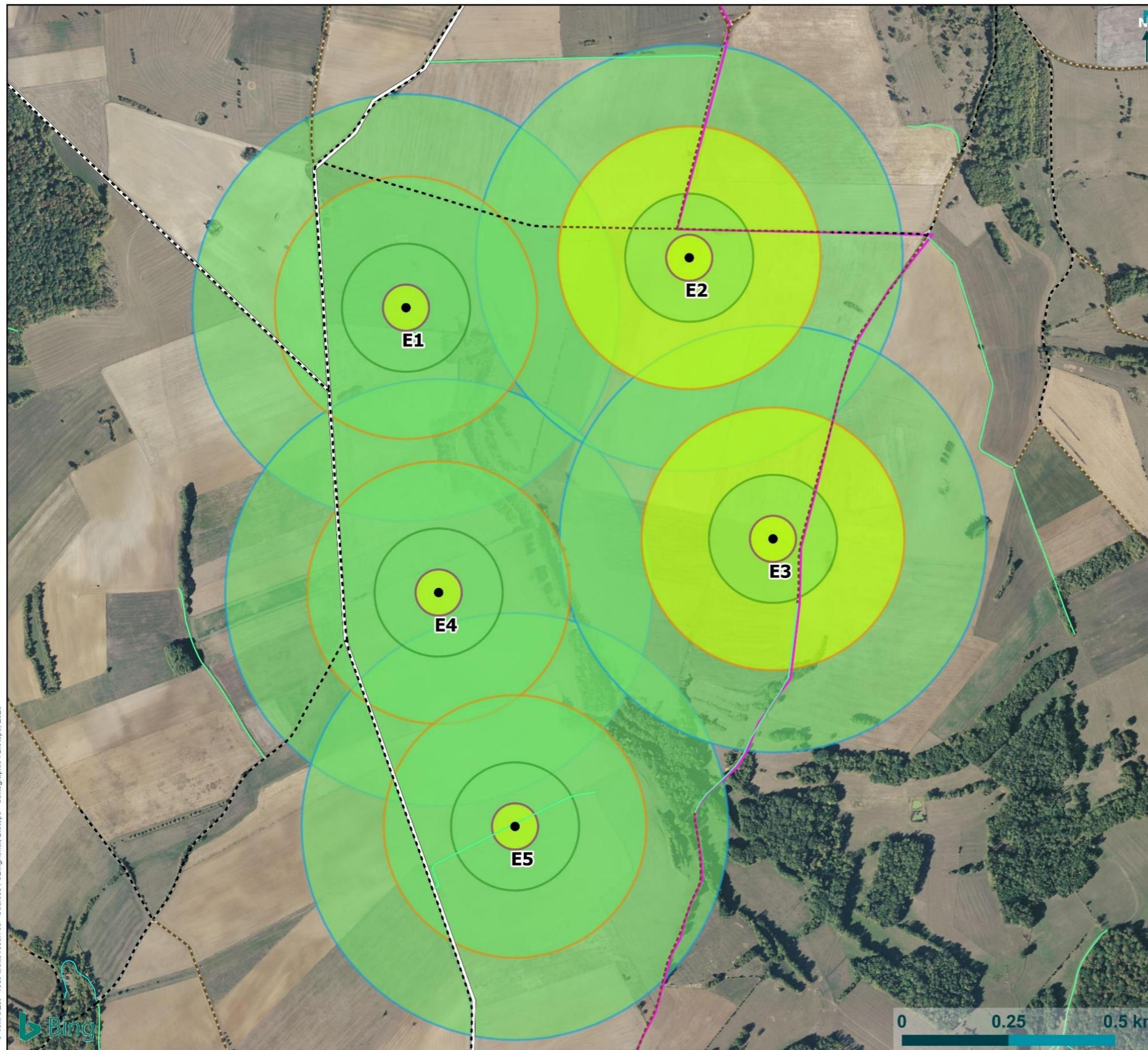
Elle fait apparaître, pour les scénarios détaillés dans le tableau de synthèse :

- Les enjeux étudiés dans l'étude détaillée des risques ;
- L'intensité des différents phénomènes dangereux dans les zones d'effet de chaque phénomène dangereux ;
- Le nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) exposées par zone d'effet.

La carte de synthèse ci-après présente les zones d'effets pour les cinq phénomènes étudiés :

- Effondrement de l'éolienne (scénario 1)
- Chute de glace (scénario 2)
- Chute d'élément de l'éolienne (scénario 3)
- Projection de pales ou fragments de pales (scénario 4)
- Projection de glace (scénario 5)

Gravité des conséquences	Classe de probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux	Jaune	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
Catastrophique	Jaune	Jaune	Rouge	Rouge	Rouge
Important	Jaune	Jaune	Jaune	Rouge	Rouge
Sérieux	Vert	Scénario 4 : projection de pales ou fragments (E2, E3 et E5)	Jaune	Scénario 5 : projection de glace (E2 et E3)	Rouge
Modéré	Vert	Scénario 1 : effondrement de l'éolienne Scénario 4 : projection de pales ou fragments (autres éoliennes)	Scénario 3 : chute d'éléments	Scénario 5 : projection de glace (autres éoliennes)	Jaune



12.6 Conclusion

La présente étude de dangers a été réalisée dans le cadre du projet de parc éolien de la Colonne Saint-Joseph, composé de cinq aérogénérateurs, localisé dans le département des Vosges (88), en région Grand Est. Elle a permis de mettre en évidence les dangers que peut présenter l'installation en cas d'accident d'origine externe (risques liés à l'environnement du site du projet) ou interne (dysfonctionnement des machines, problème technique, etc.).

Le site est localisé en contexte agricole ouvert. Bien qu'ils ne puissent pas être totalement écartés, les risques d'origine externe sont minimes car le site du projet ne présente pas de dangers particuliers. Il est situé en dehors des zones concernées par des risques naturels ou anthropiques majeurs.

En cas d'incendie, le Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS) mettra en place un périmètre de protection. Dans tous les cas, le lien entre l'exploitant, le turbinier en charge de la maintenance et le SDIS devra permettre une intervention terrestre la plus rapide possible. C'est à l'exploitant et au turbinier en charge de la maintenance de réaliser la mise à l'arrêt des turbines et de prévenir le SDIS en conséquence.

Après avoir analysé les risques d'accidents susceptibles de survenir et leurs causes, l'étude de dangers a permis d'évaluer :

- L'intensité de ces accidents exprimée en fonction d'une distance par rapport à l'éolienne et les conséquences possibles dans l'environnement du site ;
- Les niveaux de probabilité selon une échelle graduée de E (extrêmement rare) à A (courant).

Chaque phénomène dangereux présenté par le projet de parc éolien a été analysé en croisant son niveau de gravité avec sa probabilité. Il en résulte :

Tableau 43 : Synthèse des niveaux d'acceptabilité des risques

Scénario	Acceptabilité
1 - Effondrement de l'éolienne	Acceptable Pour toutes les éoliennes
2 - Chute de glace	Acceptable Pour toutes les éoliennes
3 - Chute d'élément de l'éolienne	Acceptable Pour toutes les éoliennes
4 - Projection de pales ou fragments de pales	Acceptable Pour toutes les éoliennes
5 - Projection de glace	Acceptable Pour toutes les éoliennes

Au regard des résultats, les risques concernant le projet éolien de la Colonne Saint-Joseph sont considérés comme **acceptables**.

L'industrie éolienne a connu ces dernières années un fort développement qui a permis d'améliorer les technologies mises en œuvre pour tirer le meilleur parti de la puissance du vent. En parallèle, les constructeurs ont également travaillé sur les dispositifs permettant de limiter les dysfonctionnements des machines et donc les périodes d'arrêt. Ces évolutions ont également concerné le renforcement de la sécurité des machines.

Les éoliennes qui seront installées sur le site du projet bénéficieront des dernières technologies permettant de prévenir les dysfonctionnements et de limiter les risques d'incident ou d'accident.

De plus, les fabricants d'éoliennes ont mis en place une procédure de suivi des incidents et accidents survenant sur leurs machines avec analyse des causes, ce qui permet une amélioration constante de la sécurité des parcs éoliens. L'analyse du retour d'expérience par les fabricants est à l'origine de la généralisation de procédure de sécurité et de nombreuses innovations permettant de réduire la probabilité d'accident ou de prévenir les dangers.

Au regard des résultats, les risques concernant le projet éolien de la Colonne Saint-Joseph sont faibles à très faibles et considérés comme acceptables.

13 Glossaire

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

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

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

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

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

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

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

Incident : Evènement, le plus souvent fâcheux, qui survient au cours d'une action, difficulté peu importante dont les conséquences peuvent être graves. On parle plus souvent d'un « incident » pour désigner un événement mineur. Par exemple, l'Autorité de sûreté nucléaire, qualifie « d'incidents » les événements sans conséquences sur les populations et l'environnement, et qualifie « d'accidents » les événements graves.

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'écartez, pour une installation donnée, de la probabilité d'occurrence moyenne évaluée sur un ensemble d'installations similaires.

Attention aux confusions possibles :

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

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

- Réduction de la probabilité : par amélioration de la prévention, par exemple par ajout ou fiabilisation des mesures de sécurité
- Réduction de l'intensité :
 - Par action sur l'élément porteur de danger (ou potentiel de danger), par exemple substitution par une substance moins dangereuse, réduction des vitesses de rotation, etc.
 - Réduction des dangers : la réduction de l'intensité peut également être accomplie par des mesures de limitation La réduction de la probabilité et/ou de l'intensité correspond à une réduction du risque « à la source ». - Réduction de la vulnérabilité : par éloignement ou protection des éléments vulnérables (par exemple par la maîtrise de l'urbanisation, ou par des plans d'urgence).

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

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

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

Les définitions suivantes sont issues de l'arrêté modifié 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

14 Bibliographie et références utilisées

- [1] 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
- [2] 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
- [3] 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
- [4] Specification of minimum distances, Dr-ing. Veenker ingenieurgesellschaft, 2004
- [5] Wind energy production in cold climate (WECO), Final report - Bengt Tammelin et al. – Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 2000
- [6] Wind Turbine Accident data to 31 March 2011, Caithness Windfarm Information Forum
- [7] Site Specific Hazard Assessment for a wind farm project – Case study – Germanischer Lloyd, Windtest Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH, 2010/08/24
- [8] Risk analysis of ice throw from wind turbines, Seifert H., Westerhellweg A., Kröning J. - DEWI, avril 2003
- [9] L'évaluation des fréquences et des probabilités à partir des données de retour d'expérience (ref DRA-11-117406-04648A), INERIS, 2011
- [10] NF EN 61400-1 Eoliennes – Partie 1 : Exigences de conception, Juin 2006
- [11] Permitting setback requirements for wind turbine in California, California Energy Commission – Public Interest Energy Research Program, 2006
- [12] Oméga 10: Evaluation des barrières techniques de sécurité, INERIS, 2005
- [13] Arrêté modifié du 26 août 2011 (dernière modification au 22 juin 2020) 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
- [14] 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
- [15] Alpine test site Gütsch : monitoring of a wind turbine under icing conditions- R. Cattin et al.
- [16] Rapport sur la sécurité des installations éoliennes, Conseil Général des Mines - Guillet R., Leteurtrois J.-P. - juillet 2004
- [17] Wind energy in the BSR: impacts and causes of icing on wind turbines, Narvik University College, novembre 2005

15 Annexes

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

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

Dans le cadre de l'étude de dangers des parcs éoliens, cette méthode permet tout d'abord, au stade de la description de l'environnement de l'installation (partie 2.4), 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 7).

I.1 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 à minima 10 personnes à l'hectare.

I.2 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

Trafic (en véhicules/jour)	Nombre de personnes exposées sur voies de communication structurantes en fonction du linéaire et du trafic									
	Linéaire de route compris dans la zone d'effet (en m)									
	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
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

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

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

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.

I.3 Logements

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

I.4 Établissements recevant du public (ERP)

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

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

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

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

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

I.5 Zones d'activité

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

Annexe 2 : Tableau d'accidentologie française

Le tableau ci-dessous recense l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne entre 2000 et début 2023. L'analyse de ces données est présentée dans la partie 5.

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	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 (coupe 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)	Non communiqué	Site Vent de Colère	Information peu précise
Effondrement	01/02/2002	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris d'hélice et mât plié	Tempête	Rapport du CGM	-
									Site Vent du Bocage	
Maintenance	01/07/2002	Port la Nouvelle – Sigean	Aude	0,66	2000	Oui	Grave électrisation avec brûlures d'un technicien	Lors de mesures pour caractériser la partie haute d'un transformateur 690V/20kV en tension. Le mètre utilisé par la victime, déroulé sur 1,46m, s'est soudainement plié et est entré dans la zone du transformateur, créant un arc électrique.	Rapport du CGM	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	28/12/2002	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)	
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)	

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	08/07/2004	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	Non communiqué	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	-
Rupture de pale	2005	Wormhout	Nord	0,4	1997		Bris de pale		Site Vent de Colère	
Rupture de pale	08/10/2006	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2004		Chute d'une pale de 20 m pesant 3 tonnes		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	mars-07	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	Inconnue	Site FED Interne exploitant	-
Chute d'élément	11/10/2007	Plouvier	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)	-
Emballage	mars-08	Dinéault	Finistère	0,3	2002	Non	Emballage 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	avr-08	Plouguin	Finistère	2	2004	Non	Léger choc entre l'aile d'un bimoteur Beechcraftch (liaison Quessant-Brest) et une pale d'éolienne à l'arrêt. Perte d'une pièce de protection au bout d'aile. Mise à l'arrêt de la machine pour inspection.	Mauvaise météo, conditions de vol difficiles (sous le plafond des 1000m imposé par le survol de la zone) et faute de pilotage (altitude trop basse)	Articles de presse (Le Télégramme, Le Post)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident aéronautique)
Rupture de pale	19/07/2008	Erize-la-Brûlée - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale et projection de morceaux de pale suite à un coup de foudre	Foudre + défaut de pale	Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain 22/07/2008)	-
Incendie	28/08/2008	Vauvillers	Somme	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Problème au niveau d'éléments électroniques	Dépêche AFP 28/08/2008	-

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	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	26/12/2008	Raival - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale	Non communiqué	Communiqué de presse exploitant	-
									Article de presse (l'Est Républicain)	
Maintenance	26/01/2009	Clastres	Aisne	2,75	2004	Oui	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance	Accident électrique (explosion d'un convertisseur)	Base de données ARIA	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Rupture de pale	08/06/2009	Bollène	Vaucluse	2,3	2009	Oui	Bout de pale d'une éolienne ouvert	Coup de foudre sur la pale	Interne exploitant	Non utilisable dans les chutes ou les projections (la pale est restée accrochée)
Incendie	21/10/2009	Froidfond - Espinassière	Vendée	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit dans transformateur sec embarqué en nacelle ?	Article de presse (Ouest-France)	-
									Communiqué de presse exploitant	
									Site FED	
Incendie	30/10/2009	Freysenet	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)	
Effondrement	30/05/2010	Port la Nouvelle	Aude	0,2	1991	Non	Effondrement d'une éolienne	Le rotor avait été endommagé par l'effet d'une survitesse. La dernière pale (entière) a pris le vent créant un balourd. Le sommet de la tour a plié et est venu buter contre la base entraînant la chute de l'ensemble.	Interne exploitant	-
Incendie	19/09/2010	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Emballage 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	
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.	Tempête + panne d'électricité	Article de presse (La Voix du Nord 06/01/2012)	-
							Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne).		Vidéo DailyMotion	
									Interne exploitant	
Maintenance	06/02/2012	Lehaucourt	Aines	N.c.	N.c.	N.c.	Au cours d'une opération de maintenance dans la nacelle d'une éolienne de 100 m de hauteur, un arc électrique (690 V) blesse deux sous-traitants, l'un gravement (brûlures aux mains et au visage) et l'autre légèrement (brûlures aux mains). Les victimes portaient leurs EPI lors des faits. Un accident similaire s'était produit en 2009 (ARIA 35814).	Non communiqué	Aria	-
Projection d'élément	11/04/2012	SIGEAN	Aude	N.c.	N.c.	N.c.	Une éolienne se met en arrêt automatiquement suite à l'apparition d'un défaut à 10 h. Des agents de maintenance la réarment à 12h14. Un défaut de vibration apparaît 11 minutes plus tard. Sur place, les techniciens constatent la présence d'un impact sur le mât et la projection à 20 m d'un débris de pale long de 15 m.	Foudre	Aria	-
Chute de pale	mai-12	Chemin d'Ablis	Eure-et-Loir	52	2008	Oui	Chute d'une pale au pied d'une éolienne en plein champ	Cause en cours d'éclaircissement	Interne Exploitant	-

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	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	30/05/2012	PORT-LA-NOUVELLE	Aude	0,2	1191	Non	Les rafales de vent à 130 km/h observées durant la nuit ont provoqué l'effondrement de la tour en treillis de 30 m de haut. Construit en 1991, l'aérogénérateur de 200 kW faisait partie des premières installations de ce type en France. Il était à l'arrêt pour réparation au moment des faits. Le site, ouvert au public, est sécurisé.	Non communiqué	Aria	
Projection d'élément	01/11/2012	EILLEPESS E	Cantal	2,5	2011	N.c.	Un élément de 400 g constitutif d'une pale d'éolienne est projeté au niveau du parc de 4 aérogénérateurs de 2,5 MW mis en service en 2011.	Non communiqué	Aria	
Incendie	05/11/2012	SIGEAN	Aude	0,66	N.c.	N.c.	Le feu s'est déclaré dans l'armoire électrique en pied d'éolienne. Un dysfonctionnement de disjoncteur situé sur l'éolienne a entraîné la propagation de courants court-circuit faisant fondre les câbles et entraînant un départ d'incendie dans la nacelle. Un dysfonctionnement du frein de l'éolienne à la suite de la perte des dispositifs de pilotage résultant de l'incendie en pied pourrait avoir agi comme circonstance aggravante.	Défaillance électrique	Aria	
Chute de pale	06/03/2013	CONILHAC-DE-LA-MONTAGNE	Aude	N.c.	N.c.	N.c.	A la suite d'un défaut de vibration détecté à 19h05, une éolienne se met automatiquement à l'arrêt. Sur place le lendemain à 9h, des techniciens du constructeur trouvent au sol l'une des 3 pales qui s'est décrochée avant de percuter le mât. L'éolienne est mise en sécurité (2 pales restantes mises en drapeau, blocage du rotor, inspection du moyeu). Un périmètre de sécurité de 30 m est établi au pied de l'éolienne et la municipalité interdit l'accès à la zone. L'accident est déclaré à l'inspection des installations classées 48h plus tard. L'une des pales de cette éolienne avait déjà connu un problème de fixation en novembre 2011. Les fixations de cette pale au moyeu avaient été remplacées et le serrage des vis des 2 autres avait été contrôlé en avril 2012. La veille du défaut de vibration, la machine s'était arrêtée après la détection d'un échauffement du frein et d'une vitesse de rotation excessive de la génératrice. Un technicien l'avait remise en service le matin même de l'accident sans avoir constaté le défaut.	Non communiqué	Aria	
Incendie	17/03/2013	EUVY	Marne	N.c.	2011	N.c.	Des usagers de la N54 signalent vers 15h30 un feu dans la nacelle d'une éolienne. L'exploitant arrête 7 des 18 aérogénérateurs du parc. Un périmètre de sécurité de 150 m est mis en place. Le sinistre émet une importante fumée. Une des pales tombe au sol, une autre menace de tomber. Des pompiers spécialisés dans l'intervention en milieux périlleux éteignent le feu en 1h. 450 L d'huile de boîte de vitesse s'écoulent, conduisant l'exploitant à faire réaliser une étude de pollution des sols. Le parc, mis en service en 2011, avait déjà connu un incendie quelques mois plus tôt selon la presse.	Défaillance technique	Aria	
Déchirure de pale	20/06/2013	LABASTIDE-SUR-BESORGUES	Ardèche	N.c.	N.c.	N.c.	Un impact de foudre endommage vers 15h30 une éolienne : une pale est déchirée sur 6 m de longueur, le boîtier basse tension et le parafoudre en tête d'installation au poste de livraison sont détruits. Des installations du réseau électrique et téléphonique sont également endommagées.	Foudre	Aria	
Maintenance	01/07/2013	CAMBON-ET-SAUVERGUES	Hérault	N.c.	N.c.	N.c.	Un opérateur est blessé par la projection d'une partie amovible de l'équipement sur lequel il intervient. L'intervention porte sur l'appoint en azote d'un accumulateur sous pression. Cet accumulateur est un cylindre de 10 l comportant deux compartiments : l'un contient de l'huile reliée au circuit hydraulique des pales de l'éolienne et l'autre de l'azote sous 100 bar de pression. Suite à cet accident l'exploitant modifie ses procédures de maintenance et renforce la formation des techniciens sur les aspects risques. Pour l'heure, il suspend les opérations de remplissage des accumulateurs dans les hub d'éolienne et fait réaliser cette opération en atelier. Une modification des accumulateurs est également envisagée pour utiliser des modèles avec vanne intégrée.	Défaillance organisationnelle	Aria	
Perte d'huile	03/08/2013	MOREAC	Morbihan	N.c.	N.c.	N.c.	Une nacelle élévatrice utilisée pour une intervention de maintenance sur une éolienne perd 270 l d'huile hydraulique. Le produit pollue le sol sur 80 m ² . 25 t de terres polluées sont excavées et envoyées en filière spécialisée.	Incident de maintenance	Aria	
Incendie	09/01/2014	ANTHEY	Ardennes	N.c.	N.c.	N.c.	Incendie de la nacelle (rotor intact)	Incident électrique	Aria	
Chute de pale	14/11/2014	Sigean	Aude	N.c.	N.c.	N.c.	Arrêt automatique à la suite d'un défaut « vibration ». Chute.	Non communiqué	Aria	
Chute de pale	14/11/2014	SAINT-CIRGUES-EN-MONTAGNE	Ardèche	N.c.	N.c.	N.c.	La pale d'une éolienne chute vers 15h10 lors d'un orage. Des rafales de vent atteignent les 130 km/h. L'élément principal chute au pied de l'éolienne. Certains débris sont projetés à 150 m. Les secours établissent un périmètre de sécurité et ferment la voie d'accès. L'exploitant sécurise la pale endommagée et bloque la rotation de la nacelle. L'installation est expertisée et les 8 autres éoliennes du parc sont inspectées.	Non communiqué	Aria	

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	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 de pale	05/12/2014	FITOU	Aude	N.c.	N.c.	N.c.	Des techniciens de maintenance constatent que l'extrémité d'une pale d'une éolienne est au sol. Il s'agit d'une des 2 parties de l'aérofrein de la pale. Cette partie, en fibre de verre, mesure 3 m de long. Elle est retrouvée à 80 m du mât. La seconde partie de l'aérofrein constitue sa partie mécanique interne. Ces éléments-là sont encore en place sur la pale. L'éolienne est arrêtée et mise en sécurité la pale endommagée vers le bas. L'exploitant effectue une inspection visuelle des pales des 8 autres éoliennes du parc. En première approche, l'exploitant attribue l'incident à une défaillance matérielle ou à un décollage sur les plaques en fibre de verre. Les morceaux récupérés au sol sont envoyés au centre de maintenance de l'exploitant pour expertise.	Non communiqué	Aria	
Incendie	29/01/2015	REMIGNY	Aines	N.c.	N.c.	Oui	À 6h25 un feu se déclare dans une éolienne. Celle-ci est automatiquement mise à l'arrêt sur alarme du détecteur de fumée. Sur place à 7h30, des employés constatent la présence de flammes et de fumée. Ils alertent les pompiers. À cause des fumées, ces derniers ne parviennent pas à approcher de la source de l'incendie. Ils doivent attendre leur dissipation. À 9h20 ils réussissent à progresser dans l'éolienne et éteignent le feu. Les dommages matériels sont estimés à 150 k€. Les 1 500 l d'eau utilisés pour le nettoyage sont pompés. Un défaut d'isolation au niveau des connexions des conducteurs de puissance serait à l'origine du sinistre. Le câble mis en cause assure la jonction entre la base et le haut de la tour. Ce défaut aurait provoqué un arc électrique entre 2 phases ce qui aurait initié l'incendie. L'éolienne n'était pas encore en exploitation, mais en phase de test. L'exploitant prévoit de tester la qualité de l'isolation de tous les câbles de puissance avant la mise en service. Il prévoit également de réaliser des mesures thermiques sur tous les câbles de puissance à 80 % de leur charge nominale.	Incident électrique	Aria	
Incendie	06/02/2015	LUSSERAY	Deux-Sèvres	N.c.	N.c.	N.c.	Vers 15h30 un feu se déclare dans une éolienne au niveau d'une armoire électrique où interviennent deux techniciens. Le feu est éteint avec un extincteur. L'éolienne est mise hors service le temps des réparations,	Non communiqué	Aria	
Chute de pale	05/04/2015	ROQUETAILLADE-ET-CONILHAC	Aude	N.c.	N.c.	N.c.	A 1h24, une alarme due à un défaut vibratoire est remontée. L'éolienne s'arrête automatiquement. Lors du déplacement des techniciens sur site vers 12h15, ils constatent la présence d'une pale au sol en pied de tour, les 2 autres pales étant toujours solidaires du moyeu. L'éolienne est mise en sécurité (impossibilité de redémarrage à distance et mise en drapeau des pales afin qu'il n'y ait pas de prise au vent). Un périmètre de sécurité de 100 m est mis en place autour de l'éolienne. La municipalité interdit l'accès à la zone. Au vu de l'historique accidentel sur ce parc éolien (ARIA 43576), l'inspection des installations classées demande l'arrêt immédiat des 4 éoliennes de même technologies du parc. Les 2 autres pales sont inspectées sans qu'il ne soit relevé de défaut. La pale est évacuée 2 jours plus tard. L'exploitant contrôle le couple de serrage de l'ensemble des vis de fixation des pales au moyen des 4 éoliennes de même technologie. Les 4 éoliennes sont remises en service en septembre 2015. Entre septembre 2017 et avril 2018, le constructeur remplace toutes les vis par des vis monitrées afin de réaliser un suivi trimestriel du couple de serrage par ultrason.	Défaillance : mauvais état des vis	Aria	
Chute des pales et du rotor	10/11/2015	MENIL-LA-HORGNE	Meuse	N.c.	N.c.	N.c.	Vers 22h30, les 3 pales et le rotor d'une éolienne, dont la nacelle se situe à 85 m de haut, chutent au sol. Le transformateur électrique, à son pied, est endommagé. De l'huile s'en écoule mais reste confinée dans la rétention. Le centre de supervision à distance du parc constate la perte de communication avec l'éolienne. Il la découple du réseau. Le lendemain, les agents de maintenance constatent sur place la rupture du rotor. Ils sécurisent la zone. Les 6 autres éoliennes du parc sont mises à l'arrêt. Les débris, disséminés sur 4000 m ² , sont ramassés. Au total 54 éoliennes du même modèle sont installées en France. Les services du ministère du développement durable demandent au fabricant d'établir un programme de contrôle adapté. A la suite des contrôles effectués sur les autres arbres lents du même parc d'éoliennes, 2 d'entre eux sont remplacés.	Les premières constatations indiquerait une défaillance de l'arbre lent. Elle trouverait son origine dans un défaut de fabrication de la pièce. Une non-conformité dans le processus de moulage de cette pièce de fonderie en acier est suspectée. Un défaut métallurgique, de type inclusion de laitier, aurait fragilisé la pièce et conduit à sa rupture par fatigue. Les contrôles réalisés sur les autres éoliennes du parc ont mis en évidence que ce type de défaut était présent sur un des autres arbres lents, au même niveau que celui accidenté.	Aria	

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	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 l'aéofrein d'une pale	07/02/2016	CONILHAC-CORBIERES	Aude	N.c.	N.c.	N.c.	Vers 11h30, l'aéofrein d'une des 3 pales d'une éolienne se rompt et chute au sol. L'exploitant procède à l'arrêt de l'ensemble du parc éolien à distance. Les secours sécurisent les lieux.	Les premières investigations indiqueraient qu'un point d'attache du système mécanique de commande de l'aéofrein (système à câble) se serait rompu, ce qui aurait actionné l'ouverture de l'aéofrein. Du fait des fortes charges présentes sur le rotor, l'axe en carbone qui maintient l'aéofrein à la pale et/ou le point d'ancrage de cet axe, se serait alors rompu.	Aria	
Chute de pale	08/02/2016	DINEAULT	Finistère	0,3	1999	Non	Lors d'une tempête, des vents à 160 km/h endommagent une éolienne. Une pale chute au sol et une autre se déchire. La pale rompue est retrouvée à 40 m du pied du mat. Dans les 2 cas, les manchons des pales sont restés arrimés au moyeu. L'exploitant met en sécurité les 4 éoliennes du parc. Les secours établissent un périmètre de sécurité de 350 m.	Tempête	Aria	
Chute de pale	07/03/2016	CALANHEL	Côtes d'Armor	0,8	N.c.	N.c.	Vers 18 h, une des pales d'une éolienne se rompt et chute à 5 m du pied du mat. La turbine s'arrête automatiquement. L'exploitant est alerté par un agriculteur. Un intervenant se rend sur place et constate les dégâts. Le mat est endommagé dans sa partie haute, causé par un choc avec la pale, sans présenter de risque de chute. Il balise la zone pour prévenir des chutes possibles d'éléments du rotor. Huit autres turbines du parc sont mises à l'arrêt. Les 2 dernières, ayant fait l'objet d'une révision intégrale récente, sont maintenant en fonctionnement. Le lendemain, le site est sécurisé. La pale est déplacée, en dehors de la zone de culture. Les gros débris composés de matériaux composites et d'éléments mécaniques métalliques, projetés sur 50 m, sont regroupés pour expertise. La totalité des 54 billes de roulement est récupérée. Les débris de petite taille ne pouvant être retirés intégralement, les exploitants des parcelles agricoles concernées sont informés. La zone d'entreposage est balisée.	Rupture du système d'orientation: L'inspection des éléments mécaniques au sol et du rotor permet d'envisager une défaillance du système d'orientation de la pale. Celle-ci aurait entraîné la rupture de la couronne extérieure du roulement à bille puis la libération de la couronne intérieure solidaire de la pale. L'éolienne avait fait l'objet d'une maintenance complète en septembre 2015. Son roulement ne présentait pas d'usure anormale. Cependant, une série d'alarmes était survenue le matin de l'événement. Une panne sur un groupe hydraulique avait nécessité l'intervention des équipes de maintenance. Après réparation, l'éolienne avait été redémarrée vers 14 h.	Aria	
Fuite d'huile dans une éolienne	28/05/2016	JANVILLE	Eure-et-Loir	N.c.	N.c.	N.c.	A 15h15, un employé constate un écoulement d'huile sous la nacelle d'une éolienne. Il arrête celle-ci et contacte l'équipe de maintenance. Arrivés à 17h, les agents mettent en place des absorbants : l'écoulement d'huile est récupéré avant d'avoir atteint le sol. L'installation est réparée 2 jours plus tard.	La défaillance d'un raccord sur le circuit de refroidissement de l'huile de la boîte de vitesse de l'éolienne est à l'origine de la fuite.	Aria	
Feu dans une éolienne	10/08/2016	HESCAMPS	Somme	N.c.	N.c.	N.c.	Vers 15h, un feu se déclare dans la partie haute d'une éolienne, au niveau du rotor. Un technicien maîtrise l'incendie avant l'arrivée des pompiers. Il redescend seul les 70 m de l'échelle inférieure de l'éolienne, légèrement intoxiqué par les fumées.	Une défaillance électrique serait à l'origine du départ de feu.	Aria	
Feu dans une éolienne	18/08/2016	DARGIES	Oise	N.c.	N.c.	N.c.	Un technicien de maintenance constate vers 9h qu'une éolienne ne tourne plus. Il découvre que de la fumée s'échappe de la tête de l'éolienne, à 80 m de haut. Des pompiers effectuent une reconnaissance et ouvrent une trappe de ventilation.	Une défaillance électrique serait à l'origine de l'incendie. L'armoire électrique ou le pupitre de commande en serait le point de départ.	Aria	
Fissure sur une pale d'éolienne	11/01/2017	LE QUESNOY	Nord	n.c.	n.c.	n.c.	Une fissure est constatée sur une pale d'une éolienne. L'exploitant arrête l'installation. L'expertise de la pale conclut que le dommage est suffisamment réduit pour être réparable. Il n'est donc pas nécessaire de procéder à son remplacement. L'exploitant envisage d'effectuer cette réparation au printemps, lorsque les conditions météorologiques permettront d'intervenir sans la déposer. Selon l'exploitant, le défaut ne présente pas de caractère générique.	Inconnue	Aria	

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	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	12/01/2017	TUCHAN	Aude	n.c.	2002	n.c.	Vers 4 h, au cours d'un épisode de vents violents, les 3 pales d'une éolienne chutent au sol. L'exploitant collecte les morceaux de fibre de carbone répartis autour du mat de 40 m de l'éolienne. Des impacts sur le mat sont visibles. Il met en place des barrières et un gardiennage pour en sécuriser l'accès. L'éolienne, de 600 kW mise en service en 2002, était à l'arrêt pour maintenance suite à la casse totale de son arbre lent quelques jours auparavant. Cette rupture a eu pour conséquence le désaccouplement du rotor avec le multiplicateur, donc de rendre inopérant le frein mécanique. Bien que mise en position de sécurité (parallèle au vent et aérofrein des pales activé), les vents à 25 m/s ont provoqué la rupture des pales à cause d'une vitesse de rotation excessive. Après expertise, l'exploitant conclut que la cause la plus probable de la casse de l'arbre lent est un endommagement du roulement avant sur lequel l'arbre est posé. Cette défaillance aurait induit une contrainte importante en flexion sur la partie arrière, à l'entrée dans le multiplicateur, provoquant sa rupture. Aucune faiblesse n'est identifiée dans la structure de la matière de l'arbre. Les contrôles réalisés sur les autres installations de son parc ne détectent pas d'anomalie. Afin d'éviter le renouvellement de cet incident, l'exploitant prévoit d'équiper tous ses aérogénérateurs d'un capteur inductif de présence. Couplé au système de contrôle/commande de l'éolienne, ceci permettrait de mettre l'éolienne en sécurité dès que le roulement avant viendrait à s'affaisser de plus de 1 mm. Dans pareil cas, un contrôle visuel et fonctionnel de l'ensemble roulement/arbre lent serait engagé. De plus, un contrôle vibratoire de la chaîne d'entrainement est planifié à intervalles réguliers afin de détecter un éventuel défaut d'alignement ou une contrainte particulière. L'éolienne accidentée est remise en service après réparation de son mat et remplacement des pièces endommagées (pales, multiplicateur, arbre lent).	Endommagement du roulement avant sur lequel l'arbre lent est posé entraînant une contrainte mécanique de rotation	Aria	
Chute de pale	18/01/2017	NURLU	Somme	n.c.	n.c.	n.c.	Un particulier constate qu'une pale d'éolienne est tombée au sol et s'est brisée en plusieurs morceaux. Il informe l'exploitant qui arrête toutes les machines du parc en activité. Arrivés sur site à 11h30, des agents demandent la mise en sécurité de l'éolienne et mettent en place un périmètre de sécurité autour de la zone. Selon la presse, la tempête survenue quelques jours auparavant pourrait être à l'origine de la chute. Sur place le lendemain, l'inspection des installations classées constate que les 2/3 de la pale sont brisés, mais que son armature est toujours en place. L'essentiel des débris se situe à moins de 90 m du mat. Les débris les plus lourds sont à moins de 27 m.	Tempête	Aria	
Chute d'un élément d'une pale d'éolienne	27/02/2017	TRAYES	Deux-Sèvres	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 22 h, le système d'exploitation d'un parc éolien émet des alarmes portant sur l'éolienne n°4 : mise à l'arrêt de l'éolienne et incohérence entre les vitesses de rotation du rotor et de l'arbre de la génératrice électrique. Le lendemain matin, l'exploitant constate sur place que les 7 derniers mètres d'une pale de 44 m, se sont désolidarisés. Plusieurs fragments de la pale sont projetés jusqu'à 150 m du mat, haut lui-même de 78 m. L'exploitant place les 4 éoliennes du parc en position de sécurité et initie des expertises. Il collecte les débris et sécurise le site. L'exploitant envisage qu'un défaut au niveau du bord d'attaque de la pale puisse être la cause du bris de pale. Il écarte les possibilités d'un impact de foudre, ou de fortes rafales de vent. La pale accidentée est remplacée. L'éolienne redémarre le 11/10/17. L'expertise du fabricant conclut à un défaut de fabrication. Par erreur, les couches de tissu du bord d'attaque ont été coupées, manuellement, niveau de la ligne de jonction des 2 coques lors des opérations de ponçage des excès de colle après démolage de la pale. Dans cette zone, les coques n'étaient maintenues entre elles que par le mastic et la peinture de finition. A l'issue des contrôles sur les 4 autres éoliennes du parc, 2 d'entre elles sont remises en service. Des défauts sont découverts sur les 2 autres : les plans de collages entre la poutre structurelle interne (le spar) et les demi-coques aérodynamiques (blade shells) présentent par endroits d'importantes zones de décohésion ; des fissurations, portant atteinte aux structures des coques aérodynamiques et des plans de collages des bords d'attaque et bords de fuite des pales, sont présentes ; des collecteurs de foudre (diverter strip) sont manquants ou endommagés à la pointe de certaines pales. L'exploitant s'engage à réaliser les réparations nécessaires avant la remise en service de ces 2 éoliennes.	Défaut de fabrication de la pale	Aria	

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	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 d'une pale d'éolienne	27/02/2017	LAVALLÉE	Meuse	n.c.	n.c.	n.c.	Lors d'un orage, la pointe d'une pale d'éolienne se rompt. L'extrémité, de 7 à 10 m, est retrouvée au sol, en 3 morceaux, à 200 m de l'éolienne. L'ensemble du parc éolien, qui compte 4 éoliennes de 2 MW et 80 m de haut, est mis à l'arrêt. Les débris sont ramassés et traités par une société spécialisée, pour expertise. Un orage violent s'est abattu sur la zone de 18 h à 18h30. A 18h07, l'alarme "vent fort" de l'éolienne voisine s'est déclenchée. L'alarme "capteur de vibration" de l'éolienne endommagée s'est déclenchée à la même heure. À 18h10, le réseau électrique a été coupé, provoquant la perte de liaison avec le parc éolien. L'exploitant a découvert la casse le lendemain en se rendant sur place pour remettre le parc en service. Le parc avait été mis en service en février 2011. Le fabricant de l'éolienne réalise l'expertise de la pale. Ses vérifications lui permettent d'exclure un défaut de fabrication et de confirmer le respect des spécifications. L'hypothèse d'un impact de foudre est également écartée : aucune trace d'impact n'est retrouvée. Une rafale de vent extrême ayant été mesurée dans les secondes précédant la rupture, cette origine est privilégiée pour expliquer la casse de la pale. Le contrôle de 2 autres éoliennes du parc ne révèle pas de défaut.	Rafale de vent extrême	Aria	
Feu dans la nacelle d'une éolienne	06/06/2017	ALLONNES	Eure-et-Loir	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 18 h, un feu se déclare dans la nacelle d'une éolienne. L'exploitant met en sécurité les 17 machines du parc éolien. Les secours coupent la circulation sur la N154. L'incendie s'éteint seul, à la fin de la combustion de la nacelle, vers 19h30. La nacelle et le rotor sont totalement calcinés. Une partie des pales ainsi que le haut du mât ont été touchés par l'incendie. Des éléments sont tombés au sol. L'exploitant met en place un gardiennage. Le lendemain, l'inspection des installations classées se rend sur les lieux. Des coulures d'hydrocarbures sont constatées sur le mât. Les dégâts sont de nature à compromettre la stabilité mécanique du mât, de la nacelle, des pales et du rotor de l'éolienne. En première hypothèse, l'exploitant indique qu'un défaut des condensateurs du boîtier électrique, situé dans la nacelle, pourrait être à l'origine du sinistre. Il exclut la piste d'un impact de foudre. Un arrêt préfectoral d'urgence demande à l'exploitant : la mise en sécurité de l'éolienne avec démontage des éléments risquant de chuter et matérialisation d'un périmètre de sécurité de 300 m ; une surveillance de l'environnement avec analyse de la pollution des sols et évacuations des déchets. L'éolienne est démantelée le 17/06.	Défaillance électrique	Aria	
Chute de pale	08/06/2017	AUSSAC-VADALLE	Charente	n.c.	n.c.	n.c.	Durant la nuit lors d'un orage, une partie d'une pale d'une éolienne chute au sol. Le lendemain matin, l'exploitant arrête les 4 éoliennes de son parc. Il collecte les débris tombés dans une zone de 50 à 100 m du mât et met en place un balisage. Il avertit l'exploitant agricole propriétaire du champ où est installée l'éolienne. L'expertise réalisée par le fabricant de la pale conclut qu'un impact de foudre est à l'origine de sa rupture. Survenu à 35 cm de l'extrémité, il a entraîné la rupture du bord de fuit, puis une déchirure du fragment. Le dispositif de protection contre la foudre ne montre pas de défaut.	Foudre	Aria	
Chute de pale	24/06/2017	CONCHY-SUR-CANCHE	Pas-de-Calais	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 23h30, une pale d'une éolienne se brise au niveau de sa jonction avec le rotor dans un parc éolien. La pale chute à la verticale, au pied du mât. Les quelques débris projetés sont présents dans un rayon de 20 m. L'exploitant arrête l'installation ainsi que les 4 autres aérogénérateurs du site, du même modèle. Il met en place un périmètre de sécurité et condamne l'accès au site. Le vent était faible au moment de l'événement.	Inconnue	Aria	
Chute d'un aérofrein d'une éolienne	17/07/2017	FECAMP	Seine-Maritime	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 23h30, un aérofrein se détache d'une pale d'éolienne dans un parc éolien. Le lendemain matin, un agent de maintenance découvre l'équipement au pied du mât de 49 m. La clôture du site est endommagée. L'éolienne est arrêtée. Un arrêt pour maintenance étant programmé 6 jours après, les autres aérogénérateurs du site sont maintenus en fonctionnement. Durant cet arrêt, les mécanismes d'aérofreins et les pales de toutes les machines sont inspectées. L'aérofrein défectueux est remplacé. L'installation redémarre le 16/08/17. L'exploitant conclut que le desserrage d'une vis anti-rotation a provoqué la chute de l'aérofrein. Un problème de montage, ou des vibrations en fonctionnement, en serait à l'origine. Il étudie l'opportunité d'augmenter la fréquence d'inspection des mécanismes de fixation des aérofreins ou leur modification, notamment pour fiabiliser l'action de la vis anti-rotation.	Défaillance mécanique (desserrage d'une vis anti-rotation par défaut de montage ou vibrations)	Aria	

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	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 sur une éolienne	24/07/2017	MAURON	Morbihan	n.c.	n.c.	n.c.	Une fuite d'huile est détectée vers 17 h sur une éolienne. La rupture d'un flexible du circuit hydraulique de l'aérogénérateur en est à l'origine. Le rejet, estimé à 5 l, s'est écoulé le long du mât et quelques gouttes sont tombées au sol. L'éolienne est arrêtée et des absorbants sont disposés au sol. Le flexible est remplacé. L'éolienne redémarre le lendemain. Une société spécialisée réalise un diagnostic de l'état des milieux sur 3 500 m ² en réalisant 7 sondages du sol. Seule une zone de pollution de 2 m ² sur 10 cm de profondeur est identifiée au pied du mât. Une société de traitement évacue ces graviers impactés. La vétusté du flexible serait à l'origine de la fuite.	Rupture d'un flexible vétuste du circuit hydraulique	Aria	
Rupture de pale	05/08/2017	PRIEZ	Aisne	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 3 h une pale d'éolienne se brise en son milieu et tombe au sol. Les débris sont retrouvés par l'exploitant au pied du mât le matin. Il en sécurise l'accès et fait surveiller la zone. L'inspection des installations classées demande la mise à l'arrêt de tous les aérogénérateurs du parc dans l'attente de la compréhension de l'événement.	Inconnue	Aria	
Chute du carénage d'une éolienne	08/11/2017	ROMAN	Eure	n.c.	n.c.	n.c.	En fin d'après-midi, le carénage de la pointe de la nacelle d'une éolienne tombe au sol dans un parc éolien. Cette pièce, en matériaux composites, mesure 2 m de diamètre et pèse plusieurs dizaines de kg. Elle supporte une armoire électrique. Les agents de maintenance, avertis par une alarme "arrêt automatique turbine" à 17h30, se rendent sur place le lendemain matin. Ils sécurisent l'accès à la zone et préviennent l'exploitant agricole de la parcelle. L'ensemble du parc éolien est mis à l'arrêt. L'exploitant conclut que la chute du carénage est due à un défaut d'assemblage de ses boulonnages. La procédure n'aurait pas été respectée lors du montage des turbines. La tête de chaque boulon doit reposer sur 2 rondelles (l'une en vinyle, l'autre métallique) permettant de répartir les efforts. Il s'avère que les rondelles métalliques étaient absentes. Les contraintes étaient donc mal réparties et la fibre de verre s'est arrachée autour des rondelles vinyles. L'exploitant procède au contrôle des carénages des autres aérogénérateurs du parc. Aucun défaut n'est découvert. Il intègre la vérification des boulonnages de fixation du carénage à son plan d'inspection hebdomadaire. L'exploitation du parc éolien reprend le lundi 13. Le carénage accidenté est remplacé.	Défaut de montage	Aria	
Effondrement d'une éolienne	01/01/2018	BOUIN	Vendée	n.c.	2003	n.c.	En début de matinée lors d'une tempête, le mât d'une éolienne de 60 m de haut se brise en 2. Les 55 m supérieurs de l'éolienne chutent au sol. Des débris s'éparpillent sur une surface assez importante. Le rotor est enfonce dans le sol. Les pompiers mettent en place un périmètre de sécurité. L'exploitant arrête les 7 autres éoliennes du parc et met en place un gardiennage. L'exploitant réalise une expertise de l'éolienne mise en service en 2003, conjointement avec son fabricant. 3 jours avant l'accident, alors que le vent souffle à plus de 40 m/s, le contrôle de l'orientation des 3 pales de l'éolienne est perdu. Le système de contrôle des pales stoppe automatiquement la turbine. Les conditions météorologiques ne permettant pas d'intervention directe sur l'aérogénérateur, la situation est diagnostiquée à distance. À la suite d'une erreur d'interprétation des données, un opérateur place l'éolienne dans une position qui entraîne une augmentation rapide de la vitesse du rotor, dépassant la limite de sécurité. Les dispositifs de protection contre la survitesse s'activent, mais la machine ne s'arrête pas à cause d'une usure anomale des blocs de frein du système d'orientation des pales. Les charges mécaniques exercées sur le mât excèdent alors largement les limites de conception de l'éolienne, qui s'effondre. Les investigations de l'exploitant lui permettent de découvrir que le protocole des inspections de maintenance ne couvrait pas la liaison mécanique entre le moteur et les freins. L'usure de cet équipement n'a pas été détectée lors des contrôles annuels. Les autres éoliennes du site redémarrent après des vérifications spécifiques et le remplacement de leurs blocs de frein du système d'orientation des pales. L'exploitant révise la procédure d'intervention en cas de défaillance du système d'orientation des pales et y forme ses agents ; met à jour les instructions de maintenance de ce système : le remplacement de tout ou partie des blocs de frein est planifié tous les 5 ans ; met en place un outil spécifique pour le diagnostic d'une défaillance potentielle des blocs de frein qui compare la position effective des pales à la consigne ; adresse une note de sécurité aux exploitants des parcs équipés du même type d'éolienne.	Tempête	Aria	
Chute d'une pale d'éolienne	04/01/2018	NIXÉVILLE-BLERCOURT	Meuse	n.c.	n.c.	n.c.	Dans un parc éolien, l'extrémité d'une pale d'une éolienne de 2 MW se rompt lors d'un épisode venteux. Un morceau de 20 m chute au sol. L'exploitant sécurise la zone. Les morceaux les plus éloignés sont ramassés à 200 m. Un gardiennage est mis en place 24 h/24.	Tempête	Aria	

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	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 de l'aérofrein d'une pale d'éolienne	06/02/2018	CONILHAC-CORBIERES	Aude	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 11h30, l'aérofrein d'une pale d'éolienne chute au sol dans un parc éolien. L'équipe technique présente sur site arrête l'aérogénérateur. La zone est sécurisée, les débris ramassés. A la suite d'un défaut sur l'électronique de puissance, l'éolienne est passée en arrêt automatique par sollicitation du freinage aérodynamique. Lors de l'ouverture de l'aérofrein en bout de pale, son axe de fixation en carbone s'est rompu provoquant sa chute. Un accident similaire est survenu sur ce parc 2 ans auparavant (ARIA 47675).	Défaillance électronique / mécanique	Aria	
Défaillance mécanique d'une éolienne	08/03/2018	VILLERS-GRELOT	Doubs	n.c.	n.c.	n.c.	Dans un parc de 14 éoliennes, l'alarme de suivi des vibrations de composants mobiles de l'une d'elle s'active. La machine s'arrête automatiquement. Une équipe de l'exploitant se rend sur place. Elle constate qu'une dent de l'arbre rapide, situé entre le multiplicateur et la génératrice, est cassée. Aucune conséquence n'est relevée sur d'autres composants ou l'environnement. L'exploitant contacte le fabricant de l'éolienne. Ce dernier détecte un défaut de fabrication au niveau de la couronne dentée de l'arbre rapide : une inclusion de bulle d'air est découverte dans l'acier. L'exploitant demande à son fournisseur des améliorations organisationnelles dans ses processus de fabrication ainsi que dans la disponibilité des pièces et des intervenants. La pièce défectueuse est remplacée. La production de l'aérogénérateur reprend après 39 jours d'arrêt.	Défaut de fabrication	Aria	
Incendie	01/06/2018	MARSANNE	Drôme	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 2h30, un feu se déclare au pied d'une éolienne dans un parc composé de 8 aérogénérateurs. L'incendie se propage jusqu'à sa nacelle. Les pompiers placent des lances en prévention de l'extension du sinistre à la végétation car des morceaux incandescents chutent au sol. Ils maîtrisent l'incendie. La nacelle est entièrement brûlée ainsi que la base des pales mais celles-ci restent en place. Une deuxième éolienne fait également l'objet d'un départ de feu, mais celui-ci est resté confiné à sa base. Des barrières sont posées sur les accès et un gardiennage est effectué. La gendarmerie conclut que l'origine de l'événement est criminelle : les portes d'accès aux éoliennes impliquées ont été fracturées et du combustible est découvert. L'exploitant estime les dégâts à 2 M€.	Acte de malveillance	Aria	
Incendie	05/06/2018	AUMELAS	Hérault	n.c.	n.c.	n.c.	Un feu se déclare vers 18h45 dans la nacelle d'une éolienne de 70 m de haut. 10 minutes plus tard, l'exploitant découpe à distance le parc éolien du réseau électrique. Des éléments de l'éolienne en feu chutent au sol. Les flammes se propagent en partie basse de l'aérogénérateur. Les pompiers laissent l'incendie se terminer sous surveillance mais placent des lances en prévention d'une propagation du sinistre à la végétation. La nacelle de l'aérogénérateur est presque totalement détruite. 50m ² de végétation ont brûlé. L'accès à la zone est interdit et surveillé. Les débris sont ramassés. Selon la presse, un dysfonctionnement électrique serait à l'origine de l'incendie.	Défaillance électrique	Aria	
Rupture de pale	04/07/2018	PORT-LA-NOUVELLE	Aude	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 18 h, une avarie est constatée sur 2 des pales d'une éolienne : leurs extrémités se sont disloquées. Des éléments ont été projetés à 150 m du mât après s'être décrochées. L'exploitant met en place un périmètre de sécurité. L'aérogénérateur est mis en position de sécurité. Un gardiennage permanent est mis en œuvre le temps de l'évacuation de tous les débris (jusqu'au 08/07 20 h). L'inspection des installations classées se rend sur place 2 jours après et demande à l'exploitant de : nettoyer la zone pour évacuer l'ensemble des débris et les remettre à une filière agréée ; maintenir un gardiennage jusqu'à la mise en place d'un balisage renforcé autour de l'éolienne ; maintenir le parc éolien à l'arrêt jusqu'aux résultats des investigations menées pour connaître l'origine de l'incident et la mise en œuvre d'actions préventives / correctives préconisées sur les 4 autres éoliennes du parc.	Inconnue	Aria	
Incendie	28/09/2018	SAUVETERRE	Tarn	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 2h, un feu se déclare au niveau de la nacelle d'une éolienne dans un parc éolien. Un riverain donne l'alerte. L'exploitant arrête les 4 aérogénérateurs du site. Les pompiers interviennent. Ils rencontrent des difficultés d'accès à la zone sinistrée. Des éléments enflammés chutent au sol. Le feu se propage à la végétation voisine. Les pompiers maîtrisent le sinistre à 6h30. Ils maintiennent une surveillance en raison des risques de reprise de feu. L'exploitant met en place un balisage et un gardiennage de la zone. La nacelle, les pales et des armoires de commande en pied de mât sont détruits. La machine est démantelée début novembre. 2,5 ha de végétation, essentiellement une plantation de résineux, ont brûlé. La gendarmerie effectue une enquête. La présence de 2 foyers et de traces d'effraction sur la porte d'accès les amène à conclure à un acte de malveillance.	Acte de malveillance	Aria	

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	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 hydraulique sur une éolienne	17/10/2018	FLERS-SUR-NOYE	Somme	n.c.	n.c.	n.c.	Vers midi, un technicien de maintenance détecte une fuite d'huile hydraulique depuis la nacelle d'une éolienne. L'aérogénérateur est arrêté. Environ 150 l d'huiles sont récupérés. L'exploitant du parc éolien estime que 50 l ont été perdus. Sous l'effet du vent, la zone impactée au pied de l'éolienne, ainsi que des terrains cultivés adjacents, est d'environ 2 000 m ² . Une partie des cultures est perdue. Les terres polluées sont décapées sur une dizaine de cm. Elles sont stockées sur une bâche étanche, avant leur retraitement. De la terre végétale est mise en œuvre pour permettre la reprise de l'activité agricole. Un contrôle des prochaines récoltes est planifié. La mauvaise réalisation d'une activité de maintenance annuelle préventive, la veille de l'événement, en est à l'origine. Selon le prestataire en charge de l'opération, un premier technicien n'a pas suffisamment serré le nouveau filtre hydraulique qu'il venait de mettre en place sur le circuit du multiplicateur de vitesse. Le contrôle de cette opération, prévu par un second technicien, n'a pas été effectué. Un superviseur du prestataire intervient sur le site afin de suivre la qualité du travail et de réaliser la formation des techniciens.	Défaillance de maintenance	Aria	
Effondrement d'une éolienne	06/11/2018	GUIGNEVILLE	Loiret	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 6 h, une éolienne, d'une hauteur en bout de pale de 140 m, s'effondre dans un parc éolien composé de 2 aérogénérateurs (3 MW). Des riverains donnent l'alerte. L'exploitant arrête les autres éoliennes de même type, dans 5 parcs éoliens. Un balisage et une surveillance sont mis en place. L'inspection des installations classées constate sur site que le mat s'est arraché de sa base en béton. Les filetages des boulons de fixation du mat sont arasés et les écrous sont arrachés. Des fissures circulaires sont présentes au niveau de la base en béton. L'équipement est expertisé. L'expertise conclut qu'une survitesse de rotation des pales de l'éolienne a conduit à une surcharge de contraintes sur la structure, provoquant son effondrement. Cet emballement est consécutif au déclenchement d'un arrêt d'urgence alors que l'alimentation (par batterie) des 3 pales était en défaut, sachant que le passage d'une seule pale en position d'arrêt aurait permis d'arrêter l'éolienne. Les causes de la défaillance simultanée des alimentations électriques des 3 pales de l'éolienne relèvent de : la conception de l'éolienne : chaque pale est alimentée par 24 batteries montées en série ; la défaillance d'une seule met en défaut l'alimentation électrique de l'arrêt d'urgence de la pale ; le déclenchement de l'arrêt d'urgence désactive la boucle de régulation, rendant indisponible le contrôle de la vitesse de l'éolienne ; la fiabilité des batteries : leur durée de vie est inférieure à celle annoncée par le fournisseur ; le paramétrage et la gestion des alarmes : acquittements automatiques avec tentatives de redémarrage et insuffisance de la détection des alarmes ; la gestion de la maintenance et de l'usure des batteries : les procédures n'ont pas été appliquées de manière correcte et les multiples alarmes sur l'aérogénérateur impliqué n'ont pas donné lieu à une analyse particulière des batteries. L'exploitant prend les mesures suivantes : remplacement des batteries ; installation de diodes de by-pass sur les batteries afin de palier un ou plusieurs défauts sur un rack ; modification de la procédure de redémarrage après une alarme ; vérification mensuelle de l'arrêt d'urgence par test sur site.	Défaillance électrique avec survitesse de rotation	Aria	
Chute de 3 aéofreins dans un parc éolien	18/11/2018	CONILHAC-CORBIERES	Aude	n.c.	n.c.	n.c.	Les 3 aéofreins en extrémité des pales d'une éolienne chutent au sol, au pied du mat. L'équipe technique constate l'incident en se rendant sur site le lendemain en raison de l'arrêt de l'aérogénérateur. L'installation est mise en sécurité. Les débris, contenus dans un rayon de 150 m au pied du mat, sont ramassés et stockés avant traitement et recyclage en filière agréée. L'éolienne s'est arrêtée à la suite de l'ouverture de la chaîne de sécurité. La rupture des parties en fibre de verre ainsi que de l'axe en carbone de fixation de l'aéofrein est constatée. Un accident similaire est survenu sur ce parc au début 2018 (ARIA 51122).	Défaillance électronique / mécanique	Aria	
Chute d'une pale d'éolienne	19/11/2018	OLLEZY	Aisne	n.c.	n.c.	n.c.	À 11h30, un agent de surveillance d'un parc éolien constate la rupture d'une pale d'une éolienne. Des 40 m de l'équipement, les 30 derniers sont tombés au sol. L'exploitant arrête les 9 aérogénérateurs du site. Les communes environnantes sont prévenues. La zone est sécurisée et un balisage du pied de la turbine et de la pale au sol est mis en place. Le site est placé sous surveillance. Les 8 autres éoliennes du parc, mis en exploitation l'année précédente, redémarrent un mois et demi plus tard.	Inconnue	Aria	
Chute d'une pale d'éolienne	17/01/2019	BAMBIDERSTROFF	Nord	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 15h, une pale d'éolienne se rompt. Deux morceaux, l'un de 5m (coque) et l'autre de 28m (fibre de verre), chutent au sol. Celui de 28 m est projeté à 100 m de l'éolienne. L'exploitant arrête les 5 autres aérogénérateurs du parc à 15h17. Il met en place un périmètre de sécurité et ramasse la totalité des débris.	Défaut de fabrication	Aria	
									Recommandations DREAL Grand Est	

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	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 d'éolienne	30/01/2019	ROQUETAILLADE-ET-CONILHAC	Aude	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 13h, une pale d'une éolienne se rompt et chute au sol. Plusieurs vis provenant du moyen roulement de la pale sont retrouvées au sol. Un périmètre de sécurité est mis en place autour de l'éolienne. L'exploitant arrête les 6 autres éoliennes de même technologie du parc. A la demande de l'inspection des installations classées, les 22 autres éoliennes du parc sont arrêtées 5 jours plus tard. Un arrêté préfectoral d'urgence soumet leur redémarrage à l'accord de l'inspection.	Défaut système mécanique	ARIA / presse	
Fuite d'huile	23/03/2019	ARGENTONNAY	Deux-Sèvres	n.c.	n.c.	n.c.	A 19h37, une fuite d'huile se produit depuis le multiplicateur au niveau de la nacelle d'une éolienne. L'éolienne se met automatiquement à l'arrêt à la suite d'une défaillance au niveau d'un composant tournant du multiplicateur. La majorité de l'huile est contenue dans la partie basse de la nacelle. Le reste s'écoule par débordement le long du mat par l'extérieur jusqu'au socle en béton au pied de l'éolienne.	Défaut système mécanique	ARIA	
Incendie	25/06/2019	AMBON	Morbihan	10,2	2008	n.c.	Vers 15h45, lors d'une opération de maintenance au niveau du système d'orientation des pales d'une éolienne, un feu se déclare au niveau de la nacelle de cette éolienne dans un parc mis en service en 2008 comportant 6 machines de 120 m pour une puissance totale de 10,02 MW. Voyant des étincelles, les techniciens alertent les secours. Un périmètre de sécurité de 200 m est mis en place. Le parc est mis à l'arrêt. Des éléments structurels de l'éolienne chutent au sol. L'incendie est maîtrisé vers 18h50. Les macroéléments de plastique et de fibre de verre issus de la coque de la nacelle sont collectés. Les terres ayant reçues des débris calcinés sont évacuées.	Défaillance électrique	ARIA	
Chute d'une pale d'éolienne	27/06/2019	CHARLY-SUR-MARNE	Aisne	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 9 h, lors d'une maintenance, 2 techniciens constatent qu'une pale d'une autre éolienne présente un angle abnormal. Ils demandent au centre de maintenance l'arrêt à distance de cette éolienne. Vers 9h30, lors de la mise à l'arrêt, le bout de la pale abîmée est projeté en 2 morceaux, l'un à 15 m, l'autre à 100 m dans l'enceinte du parc éolien. Chaque morceau correspond à une face de la pale. Un périmètre de sécurité de 100 m est mis en place autour de l'éolienne. L'exploitant arrête l'ensemble des éoliennes du parc. Un arrêté municipal interdit, dès le lendemain, l'accès à l'ensemble du parc éolien pour une durée indéterminée. La vitesse du vent au moment du détachement était comprise entre 6 et 7 m/s. La température extérieure était de 22 °C sachant que de très fortes chaleurs sévissaient pendant la période.	Défaut de fabrication	ARIA	
Chute d'élément	04/09/2019	ESCALES	Aude	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 19h30, l'arrêt d'urgence d'une éolienne se déclenche sans cause identifiée. Cet arrêt est anormalement brutal si bien que 2 aérofreins se détachent d'une des pales de l'éolienne. L'un est retrouvé à 5 m du pied de l'éolienne, l'autre à 65 m. L'exploitant arrête l'ensemble des éoliennes du parc. Le rotor de l'éolienne incriminée est bloqué mécaniquement. Un périmètre de sécurité de 20 m est mis en place. Les débris ramassés sont envoyés vers une filière de recyclage agréée.	Défaillance électrique	ARIA	
Chute d'une pale d'éolienne	09/12/2019	LA FORET-DE-TESSE	Charente	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 18 h, un riverain constate la chute d'un bout de pale de 7 m d'une des 12 éoliennes du parc. L'éolienne concernée s'arrête. L'exploitant met en sécurité les 11 autres éoliennes. Un périmètre de sécurité de 150 m et une surveillance sont mis en place pour interdire l'accès au public. La pale s'est brisée en 3 morceaux principaux (2 points de rupture à 16,5 m et 47 m de la racine de la pale). Des débris solides (fibres de verre, fibres de carbone, PVC) sont projetés sur 2 parcelles agricoles aux alentours. Un morceau de 30 m initialement resté accroché à la racine de la pale tombe 48 h plus tard suite aux forts vents. Le ramassage des débris ainsi que le bâchage des 2 plus gros morceaux de pale au sol afin d'éviter l'éparpillement de nouveaux débris sont réalisés.	Inconnue	ARIA	
Incendie	16/12/2019	POINVILLE	Eure-et-Loir	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 12h30, un feu sans flamme se déclare sur une éolienne d'un parc éolien. A 13h10, de la fumée blanche est constatée. Les pompiers mettent en place un périmètre de sécurité et surveillent l'équipement. Vers 16 h, il n'y a plus de fumée, les pompiers inspectent la machine en pied et quittent le site vers 17 h.	Défaillance électrique	ARIA	
Incendie	17/12/2019	AMBONVILLE	Haute-Marne	n.c.	n.c.	n.c.	A 14h20, un feu se déclare en partie basse d'une éolienne. Les pompiers interviennent à l'aide d'un extincteur à poudre	Défaillance électrique	ARIA	
Chute d'une pale d'éolienne	09/02/2020	BEAUREVOIR	Aisne	n.c.	n.c.	n.c.	Dans la nuit, une pale d'une éolienne située dans un parc composée de 5 machines, se brise lors du passage de la tempête Ciara. L'exploitant se rend sur place pour sécuriser la zone. L'éolienne était à l'arrêt, pour une opération de maintenance, au moment de la tempête. L'exploitant place la pale endommagée en position basse, ôte les débris qui peuvent se détacher et met à l'arrêt les autres machines du parc. Il informe la mairie et les propriétaires fonciers de l'incident. Une inspection externe de l'ensemble des pales du parc par télescope est réalisée.	Tempête	Aria	

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	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 d'une pale d'éolienne	26/02/2020	THEIL-RABIER	Charente	n.c.	n.c.	n.c.	Une pale d'éolienne se rompt sur un parc comportant 12 éoliennes. L'éolienne s'arrête en sécurité et le reste des machines du parc sont mises à l'arrêt à distance par l'exploitant. Un périmètre de sécurité est mis en place. Le morceau principal reste accroché à la base de la pale. Des fragments de fibre sont retrouvés au sol au pied de la machine. Une pale d'une autre éolienne s'est brisée sur le même site 2 mois auparavant, Le lot de fabrication de la pale sinistrée est identifié par le constructeur.	Défaut interne de la pale	Aria	
Incendie	29/02/2020	BOISBERGUES	Somme	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 13h25, un feu se déclare au niveau du moteur d'une éolienne. L'électricité est coupée et l'éolienne est mise à l'arrêt. Un technicien et le groupe d'intervention en milieu périlleux des pompiers sont sur place. Le feu reste sur le mât sans atteindre les pales. L'éolienne est hors-service.	Fuite d'huile	Aria	
Incendie d'une nacelle d'une éolienne	24/03/2020	FLAVIN	Aveyron	n.c.	2002	Non	A 9h40, un feu se déclare au niveau de la nacelle d'une éolienne. Un riverain alerte les pompiers qui préviennent l'exploitant. A 9h42, l'exploitant perd la communication avec l'éolienne. La caméra du site confirme l'incendie. Le disjoncteur est ouvert à distance. Les pompiers mettent en place un périmètre de sécurité. A 12 h, l'incendie est terminé. Les 4 autres éoliennes sont arrêtées. Dès le lendemain, l'exploitant met en place un gardiennage par une société extérieure et une surveillance permanente à distance via une caméra. Il analyse les systèmes de surveillance du fonctionnement de l'éolienne pour identifier l'origine de l'incendie et définir les mesures à mettre en œuvre. L'éolienne était en fonctionnement normal et les conditions météorologiques peu contraignantes au moment de l'incident. Des coulures d'huiles sont visibles sur la partie supérieure du mât mais aucune pollution du sol n'est constatée. L'incendie est limité à la nacelle et au rotor. Une route départementale est interdite à la circulation pour 2 semaines. Des pertes d'exploitation sont à prévoir.	Inconnue	Aria	
Dégénération de la structure d'une éolienne	31/03/2020	LEHAUCOURT	Aisne	n.c.	n.c.	n.c.	A 14h30, à l'occasion d'un contrôle visuel effectué depuis le sol, un technicien constate une fissure sur la pale d'une éolienne. Le défaut, identifié pour la première fois en novembre 2019, a significativement évolué. L'exploitant met à l'arrêt l'éolienne, balise la zone et informe l'agriculteur. Une inspection visuelle et un tape-test sont réalisés depuis une nacelle élévatrice. L'exploitant prévoit de remplacer la pale. Huit autres pales de ce même parc éolien sont concernées par le défaut de fabrication. L'exploitant prévoit des inspections tape-test et thermographiques sur ces pales pour évaluer le degré de gravité du défaut de collage et déterminer les réparations à effectuer.	Défaut de collage	Aria	
Ecoulement d'huile le long d'une éolienne	10/04/2020	RUFFIAC	Morbihan	n.c.	n.c.	n.c.	Une entreprise responsable de la maintenance d'un parc éolien constate une fuite d'huile hydraulique au niveau de la nacelle d'une éolienne. 40 l d'huile s'écoulent le long du mât jusqu'au massif de fondation. L'exploitant du parc est alerté. Une société spécialisée nettoie les zones affectées : la dalle béton et les sols à proximité. La dalle est nettoyée par un lavage haute pression. De la terre est prélevée pour analyses en laboratoire. Contenant principalement des hydrocarbures, 11,6 t de terres sont évacuées pour traitement biologique. La zone excavée est remblayée avec des graviers.	Défaut de l'accumulateur	Aria	
Pliure d'une éolienne	30/04/2020	PLOUARZEL	Finistère	n.c.	2000	Non	Une pale de 20 m de long d'une des 5 éoliennes d'un parc éolien présente une pliure. De forts craquements sont audibles à 300 m de l'éolienne. Une partie de 1,5 m chute au sol. Un technicien sur place pour une intervention constate l'avarie vers 11h20. Le responsable d'exploitation et une équipe arrêtent et mettent en sécurité les 5 éoliennes du parc. Un gardiennage 24h/24 et un périmètre de sécurité de 50 à 60 m sont mis en place. Le périmètre est renforcé par un arrêté municipal qui interdit l'accès au chemin rural. Quatre jours après le constat, l'exploitant bloque mécaniquement le rotor afin de réduire les efforts mécaniques sur les structures mobiles de l'éolienne. Les travaux de réparation de la pale endommagée nécessitent l'installation d'une plateforme pour grue. Elle est mise en place 13 jours après l'incident. L'exploitant organise des vérifications avant de pouvoir remettre en service le parc. Les mesures de sécurité doivent être maintenues tant que la pale n'est pas démontée. La pale endommagée présente une détérioration à mi-longueur. Des traces de choc sur le mât sont visibles, la pale a probablement heurté plusieurs fois le mât avant de se briser. Des débris de fibres de verre et de colle sont présents dans un rayon de 60 m autour de l'éolienne. L'exploitant collecte ces déchets.	Vent forts à répétition qui auraient entraînés une fatigue prématuée des pales	Aria	

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	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 sur une éolienne	07/06/2020	LEHAUCOURT	Aisne	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 10 h, une fuite d'huile hydraulique se produit au niveau de la boite de vitesse située dans la nacelle d'une éolienne. La turbine s'arrête en sécurité à la suite de la détection de la fuite dans la machine. Le fond de la nacelle n'est pas pourvu de rétention, l'huile s'écoule le long du mât. L'exploitant met en place des absorbants sur le pied de la tour. Une société spécialisée dans le travail en hauteur nettoie complètement la turbine. Une société indépendante analyse les sols. La fuite est réparée. La quantité d'huile perdue est estimée, lors de la remise à niveau après réparation, à 50 l sur les 300 l contenus dans la boîte de vitesse.	Rupture d'un flexible de lubrification hydraulique pour refroidissement de la boîte de vitesse	Aria	
Chute d'une pale d'éolienne	27/06/2020	PLEMET	Côtes d'Armor	n.c.	n.c.	n.c.	vers 10 h, une pale de 10 t se détache du rotor d'une éolienne dans un parc éolien composé de 8 machines. L'exploitant reçoit des alertes sur son système de sécurité. Un passant alerte la gendarmerie qui sécurise la zone et interdit l'accès à l'éolienne. L'ensemble du parc est mis à l'arrêt. Sur place vers 13 h, l'exploitant poursuit la mise en sécurité du site. Un gardiennage est mis en place à partir de 20 h pour au moins une semaine. L'exploitant réalise, 2 jours après la chute, une inspection visuelle par drone de l'ensemble de l'éolienne et des champs alentours. Des débris de pôle (plastique, résine, carbone, fibre de verre, bois, composite...) sont retrouvés au sol dans un rayon de 40 m. Une partie des cultures (maïs) du champ attenant est endommagée. Une société spécialisée collecte et traite les déchets. Cette déviation avait été identifiée par le constructeur en 2018 sur un lot spécifique de pales identifiées par leur numéro de série. Des critères d'acceptation du défaut ont été définis et le constructeur a mis en place des contrôles réguliers par ultrasons afin de vérifier ces critères sur le lot de pales concernés. Le dernier contrôle effectué 2 mois avant l'incident, sur la pale, n'a pas mis en évidence de dégradations. L'exploitant remplace le set de pales de l'éolienne par un modèle de dimensions équivalentes mais de technologie différente.	Perte d'adhérence entre les inserts métalliques de liaison du pied de la pale au moyeu du rotor	Aria	
Fuite d'huile sur une éolienne	01/09/2020	BOUCHY-SAINT-GENEST	Marne	n.c.	n.c.	n.c.	Lors d'une visite de site, un opérateur constate une fuite d'huile sur l'une des éoliennes d'un parc éolien. Le produit a atteint le sol au pied du mât. Le sous-traitant met en place un kit anti-pollution autour de la fondation extérieure pour éviter que plus de produit n'atteigne le sol. Il identifie la fuite, change le flexible en cause et fait l'appoint des niveaux d'huile. L'exploitant effectue un diagnostic de pollution des sols pour établir l'impact du produit et les travaux de dépollution nécessaires. L'exploitant estime la quantité ayant fui à 20 l. La fuite proviendrait d'un flexible allant d'un accumulateur à un collecteur de deux pales.	Flexible endommagé	Aria	
Fuite d'huile sur une éolienne	11/12/2020	CHARMONT-EN-BEAUCE	Loiret	n.c.	n.c.	n.c.	Une fuite d'huile se produit au niveau de la nacelle d'une éolienne. L'huile ruisselle le long du mât. L'alerte est donnée par une équipe de maintenance d'une société sous-traitante en intervention sur le parc. Les intervenants montent dans la nacelle, identifient la vanne en cause et la ferment. L'éolienne est réapprovisionnée en huile puis remise en production. L'exploitant demande à ses équipes de maintenance un diagnostic de pollution des sols pour déterminer si des travaux de dépollution sont nécessaires.	Vanne de prélèvement d'huile restée ouverte pendant plusieurs heures	Aria	
Rupture d'une pale d'éolienne	12/01/2021	SAINT-GEORGES-SUR-ARNON	Indre	n.c.	2010	Non	Vers 7 h, une pale d'une éolienne se disloque partiellement. Le personnel se rend sur place vers 8 h. Vers 9 h, l'exploitant prévient les pompiers et met en place un périmètre de sécurité de 150 m autour du mât. L'exploitant condamne les 2 accès du chemin à proximité de la machine. Il informe les exploitants des terres agricoles proches qu'ils ne peuvent plus venir sur leurs terrains. Il arrête également le parc composé de 5 machines. Les pompiers ramassent les débris. Un gardiennage est mis en place. Une inspection par drone est réalisée pour visualiser le risque de chute de morceaux et décider comment intervenir pour déposer la pale. Le terrain est survolé pour repérer les débris au sol. La pale est en position verticale, déchirée depuis la base. Des lanières de matériau pendent le long du mat. La nacelle et les 2 autres pales de l'éolienne sont endommagées. Des débris sont retrouvés au sol dans un rayon de 100 m, l'exploitant met en place une zone d'exclusion. 10 jours après l'incident, un épisode de fort vent fait à nouveau chuter des éléments au sol, l'exploitant étend la zone d'exclusion à 200 m. Deux mois après l'incident, à la suite de l'évaluation de la stabilité de l'éolienne, l'exploitant accède à l'éolienne pour retirer les éléments instables. Début avril, l'ensemble des débris sont mis en conteneurs sur le site. Début juillet, les deux pales restantes et le moyeu de l'éolienne sont démontés.	Défaut du système "pitch contrôle" de régulation de la vitesse des pales de l'éolienne	Aria	

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	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 d'une pale d'éolienne	12/02/2021	PRIEZ	Aisne	n.c.	2017	n.c.	Vers 8 h, la pale d'une éolienne se casse. L'alerte est donnée à l'exploitant par la mairie. Vers 9h15, les équipes de maintenance arrêtent l'ensemble des éoliennes du parc à distance. Sur place à 10h30, elles établissent un périmètre de sécurité de 150 m autour de l'éolienne. Un agent de sécurité surveille l'accès au site. Les débris de pales sont retirés. L'ensemble du parc est à l'arrêt. La réparation a été effectuée par un technicien à l'issue de la fabrication. Aucun système instrumenté de sécurité n'a détecté la rupture de pale pouvant entraîner l'arrêt de la machine en sécurité.	Défaut de réparation au niveau du bord de fuite	Aria	
Chute d'une pale d'éolienne	13/02/2021	PATAY	Loiret	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 8 h, une pale se détache d'une éolienne dans un parc éolien. L'exploitant reçoit une alerte de panne d'orientation de la nacelle mettant à l'arrêt la machine vers 11 h. Vers 12 h, une équipe d'intervention constate l'arrachement de fibres de verre sur le bord de fuite de l'une des 3 pales de la machine. Des techniciens mettent les pales en drapeau et placent la pale défectueuse vers le bas. Le rotor est bloqué mécaniquement. L'exploitant sécurise la zone, notamment par un balisage et la suppression du risque de chute d'éléments. Il arrête les autres éoliennes du parc. Des lames de fibres de verre sont retrouvées à 30 m de la machine et des fragments jusqu'à 150 m. L'exploitant regroupe l'ensemble des débris dans un conteneur dédié avant passage de l'expert et la prise en charge par une société capable de recycler les composants et non de les incinérer. Les indices précurseurs de fragilisation n'ont pas été détectés lors de la maintenance de contrôle. Il s'agirait d'une cinétique lente de rupture. L'exploitant constate une insuffisance des détecteurs, notamment de balourds et d'inclinaison, équipant la machine. En effet, aucun système de supervision à distance de l'éolienne n'a pu confirmer la chute de la pale. L'événement a été constaté sur place après plusieurs heures.	Défaut de collage	Aria	
Chute d'une pale d'éolienne	03/12/2021	SAINT-AIGNANT-DE-VERSILLAT	Creuse	n.c.	2014	n.c.	Vers 16h30, un riverain constate que l'une des pales longues de 47 mètres s'est cassée net, sur un parc qui compte 4 éoliennes. L'agriculteur s'est rendu sur les lieux de l'incident. Il s'est aperçu que les débris avaient été projetés à plus de 70 mètres. Deux techniciens ont été dépêchés sur place samedi 4 décembre. Une enquête a été diligentée par la gendarmerie et le périmètre a été entièrement sécurisé. L'hypothèse de la défaillance technique est privilégiée et les éoliennes ont été arrêtées jusqu'à nouvel ordre.	Défaillance technique	Presse	
Chute d'une pale d'éolienne	21/12/2021	AUCHAY-SUR-VENDEE	Vendée	n.c.	2021	Oui	L'une des neuf éoliennes du parc éolien d'Auzay, à Auchay-sur-Vendée gravement abîmée par la tempête Aurore, qui a balayé l'Ouest de la France la nuit de mercredi 20 à jeudi 21 octobre 2021. L'une de ses pales est en effet complètement arrachée, elle pend en haut du mât, culminant à 110 mètres. Une partie git à ses pieds. Dans la matinée, les équipes de la filiale de maintenance du gestionnaire du parc, s'affairait pour sécuriser les lieux. La mairie avait mis en place des déviations et l'accès au pied de l'éolienne était bloquée par un service de sécurité.	Tempête	Presse	
Chute d'un aérofrein d'une éolienne	24/12/2021	FECAMP	Seine-Maritime	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 9h10, un aérofrein se détache d'une pale d'éolienne dans un parc éolien. L'éolienne s'arrête automatiquement. Le cadre d'astreinte décide de ne pas tenter de relancer la machine à distance. Comme les consignes d'exploitation du parc ne prévoient pas d'astreinte, l'intervention des techniciens est programmée 3 jours plus tard. Lorsque l'équipe de maintenance se déplace sur le site, celle-ci découvre l'équipement à 155 m dans le champ jouxtant l'éolienne. La zone est balisée et l'aérofrein est évacué. Le parc entier est arrêté par mesure préventive en attente d'expertise. La perte d'exploitation est estimée à hauteur de 10 000 €. Un incident similaire a eu lieu sur cette même machine et même pale 4 ans plus tôt (ARIA 50291), en raison de la casse d'une rondelle de maintien. Toutefois, l'origine de l'événement semble différente dans ce cas car la partie hélicoïdale est manquante. A la suite de cet événement, l'exploitant avait prévu une inspection tous les cinq ans, la suivante devait être effectuée à l'été 2022. L'exploitant explique cette nouvelle chute d'aérofrein par la combinaison de la rupture d'un tendeur et l'affaiblissement de l'assemblage collé de l'aérofrein. Les tendeurs sont contrôlés tous les 6 mois. Le collage est dimensionné pour tenir la durée de vie certifiée de l'éolienne (20 ans). L'affaiblissement proviendrait de la chute précédente. Après cet événement, le collage n'avait pu être vérifié par ultrasons car la présence de bulles d'air renvoyait un écho. L'exploitant décide de remplacer les 15 tendeurs du parc.	L'exploitant explique cette nouvelle chute d'aérofrein par la combinaison de la rupture d'un tendeur et l'affaiblissement de l'assemblage collé de l'aérofrein.	Aria	

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	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 sur une éolienne	03/02/2022	NOIRIEU	MARNE	n.c.	n.c.	n.c.	L'exploitant d'un parc éolien constate une fuite d'huile sur l'extérieur du mât d'une éolienne. Il met en place un kit d'absorption, nettoie le fond de la nacelle et y pose des chiffons absorbants. Des boudins sont mis autour du mât de l'éolienne pour éviter toute pénétration dans le sol. Après utilisation des boudins et des feuilles absorbantes du kit antifuite, ces derniers sont évacués et traités conformément à la gestion des emballages et matériaux souillés. L'origine de l'événement est une infiltration d'eau sur le toit de la nacelle, au niveau du raccordement du système de refroidissement, qui a emmené avec elle les taches d'huiles présentes dans le fond de nacelle, à l'extérieur du mât. L'origine de l'infiltration d'eau (raccordement non étanche) est étanchéifiée. Les autres éoliennes sont également inspectées.	L'origine de l'événement est une infiltration d'eau sur le toit de la nacelle du à un raccordement non étanche	Aria	
Fuite d'huile sur une éolienne	24/03/2022	LISLET	AISNE	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 10 h, à la suite de la réception d'une alarme, un opérateur détecte des traces d'huiles sur le mât et la plateforme d'une éolienne ainsi que sur le chemin d'accès et 2 parcelles voisines. Une partie de l'huile est contenue à l'intérieur de l'éolienne. Le circuit a perdu en pression et l'éolienne s'est arrêtée automatiquement. Un kit absorbant est installé autour du mât de l'éolienne. L'équipe de maintenance réalise le nettoyage à l'intérieur de l'éolienne. Un bureau d'études est mandaté pour réaliser des prélèvements afin de caractériser une éventuelle pollution de sol.	La cause de l'événement est la rupture d'un sertissage d'un flexible dans la nacelle.	Aria	
Incident mécanique sur une éolienne	03/04/2022	OMISSY	AISNE	n.c.	n.c.	n.c.	Vers midi, le marche pied fixé dans le moyeu d'une éolienne se désolidarise. Il sort du moyeu, et se coince entre le moyeu, le cône, le pied de pale et la nacelle. Une des pièces de fixation du marche pied s'échappe du cône et chute sur l'escalier d'accès au pied de la turbine. En se coinçant, le marche pied arrache des câbles d'alimentation, mettant l'éolienne à l'arrêt. Vers 14h45, l'équipe de maintenance intervient à la suite de la remontée du défaut, et constate la chute de la pièce métallique, les câbles d'alimentation arrachés et le marche-pied coincé.	Non communiqué	Aria	
Destruction d'une pale de l'éolienne	05/04/2022	Saint-Félix-Lauragais	HAUTE-GARONNE	n.c.	n.c.	n.c.	Nous avons eu deux épisodes de tempête de vent dans les jours qui ont précédé l'incident. Nous pensons qu'ils sont à l'origine de la fragilisation du mécanisme de cette éolienne. C'est donc une panne mécanique qui a fait décrocher à la base cette pale, alors que l'éolienne était en fonction », explique un porte-parole de Voltalia. Comment expliquer alors que la pale se soit déchiquetée et fendue en deux morceaux ? « Ces pales sont en matériaux composites faites de fibre de verre et carbone. L'inertie a dû la projeter contre le mât ». Ceci expliquerait le fait qu'elle se soit littéralement déchirée et qu'on ait même retrouvé des morceaux projetés aux alentours.	Tempête	Presse	
Incendie sur une éolienne	20/04/2022	SAINT-GERMAINMONT	ARDENNES	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 13h30, un feu se déclare sur une éolienne. Une alarme sur la boîte de vitesse se déclenche au centre de contrôle du turbinier. L'éolienne se met en sécurité en plaçant les pales en position "drapeau". Le turbinier transmet l'anomalie à la supervision de l'exploitant. Une équipe est envoyée sur place pour une levée de doute à 14h10. L'alerte pour incendie de nacelle de turbine est déclenchée à ce moment et la supervision appelle les pompiers. Un exploitant agricole travaillant à proximité du parc éolien appelle également la supervision pour annoncer le feu. Le centre de contrôle du turbinier arrête tout le parc. La cellule de crise interne est déclenchée afin que les différents services soient avertis. Deux techniciens de maintenance se rendent sur place pour assister les pompiers ainsi que la gendarmerie en termes de sécurisation du site. Un périmètre de sécurité de 200 m et un gardiennage sont mis en place. Les pompiers ne s'engagent pas sur l'incendie car ils ne sont pas équipés pour intervenir en hauteur sur une éolienne. À 16h20, ils quittent le site après confirmation que le feu s'est éteint de lui-même. Au vu du risque de chute de pièces de l'éolienne, le périmètre de sécurité est élargi à 300 m et des panneaux d'information sont installés. A la suite de l'incendie, l'exploitant constate que l'huile (biologique) présente dans la boîte de vitesse au niveau de la nacelle, s'est déversée le long de la tour. Une pollution de sol est suspectée au niveau du contact virole-terre. Une des pales de l'éolienne est éventrée, les 2 autres pales sont noircies, et la nacelle est en grande partie calcinée. Les pales restent libres de rotation et subissent encore l'influence du vent. Le périmètre de sécurité impacte l'activité des exploitants agricoles des parcelles concernées, des pertes d'exploitation sont possibles. De plus, l'arrêt du parc implique également des pertes d'exploitation.	Non communiqué	Aria	

Type d'accident	Date	Nom du parc ou commune	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 dans un parc éolien	27/04/2022	RIOLS	HERAULT	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 10 h, des techniciens en intervention sur site constatent une coulée d'huile biodégradable de 140 l sur le mât et des projections de gouttes au sol sur la plateforme d'une éolienne. L'installation est mise à l'arrêt et un kit antipollution est disposé pour contenir la fuite au sol. D'après la fiche de données de sécurité, l'huile est facilement biodégradable. L'exploitant planifie un nettoyage de la tour et une évacuation de la couche superficielle souillée. Le lendemain de l'événement, l'exploitant fait réparer les flexibles et ajouter de nouveaux kits absorbants en pied de mât. Il prévoit l'évacuation des pierres souillées vers une entreprise agréée lors des travaux de dépollution. Les techniciens réalisent une visite sur site pour vérifier que la réparation a bien fonctionné et pour renouveler les kits antipollution si nécessaire en pied de tour. L'exploitant fait vérifier les flexibles des multiplicatrices des autres éoliennes.	La fuite est due à une rupture de flexible de la multiplicatrice en nacelle.	Aria	
Chute d'une pale d'éolienne	30/04/2022	ROQUETAILLADE-ET-CONILHAC	AUDE	23	n.c.	n.c.	Vers 18 h, avec un vent de 9 m/s et par temps clair, la pale d'une éolienne tombe et se casse au pied de l'éolienne sans occasionner d'autres dégâts. Entre 19 h et 20 h, le propriétaire de la parcelle d'implantation contacte la gendarmerie à la suite de la perception de bruits anormaux provenant de l'aérogénérateur. La pale a chuté à la verticale du rotor et s'est brisé au contact du sol à une distance de 4 m de la tour. Il n'y a pas eu de projections d'éléments de pale. A l'issue de l'expertise, la pale sera détruite. La bague extérieure solidaire du moyeu est ouverte et les billes de roulement sont tombées au sol. La casse de boulons est constatée sur un secteur supérieur à 180 °.	La chute de la pale fait suite à une rupture du roulement de pale.	Aria	
Déversement d'huile de multiplicatrice sur un parc éolien	29/05/2022	ASSAC	TARN	n.c.	n.c.	n.c.	Dans un parc éolien, de l'huile de multiplicatrice se déverse dans le bac de rétention de la nacelle. Le vent génère des mouvements de la nacelle, provoquant le débordement de l'huile au pied de la machine et au sol. La zone est balisée. Une équipe吸油 la nacelle et au pied de celle-ci. Une entreprise de dépollution des sols est mandatée pour traiter les terres polluées sur un rayon de 5 mètres. La quantité d'huile déversée est estimée à 150 l. La machine était à l'arrêt depuis plusieurs jours. Les roulements ne tournaient plus, le rotor n'avait plus de degrés de liberté. Le rotor a essayé de bouger avec le vent, causant la casse d'un roulement. La multiplicatrice serait alors sortie de son logement et ouverte entraînant le déversement de l'huile.	La fuite est due à une panne de la multiplicatrice.	Aria	
Feu sur une éolienne	05/08/2022	PONT-MELVEZ	CÔTES D'ARMOR	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 13h30, un feu se déclare dans le rotor d'une éolienne au sein d'un parc éolien. Un important panache de fumée se dégage. Les pompiers se rendent sur place mais ont pour consigne de ne pas intervenir sur l'éolienne et de la laisser brûler. Ils mettent en place un périmètre de sécurité et sécurisent tout départ de feu dans les champs en raison de la projection de nombreuses étincelles. L'exploitant arrête le parc. 400 m² de végétation ont brûlé. Le rotor et les pales sont détruits.	Non communiqué	Aria	
Feu sur une éolienne	22/08/2022	COOLE	MARNE	n.c.	n.c.	n.c.	En début d'après-midi, lors de travaux d'entretien, la nacelle d'une éolienne de 90 m de haut prend feu. Les 2 agents de maintenance présents dans la nacelle évacuent par l'échelle intérieure du mât. Un troisième agent au sol coupe immédiatement l'alimentation électrique de l'éolienne. Les 5 autres éoliennes du parc sont également arrêtées. Les pompiers mettent en place un périmètre de sécurité et surveillent le feu qui s'éteint de lui-même au bout de 3 h. Ils arrosent les éléments qui tombent au sol au pied de l'éolienne.	D'après la presse, le sinistre serait dû à l'explosion du convertisseur d'électricité installé dans la nacelle.	Aria	
Fuite d'huile sur une éolienne	19/09/2022	LES TOUCHES	LOIRE ATLANTIQUE	n.c.	n.c.	n.c.	Vers 12 h, au cours d'une opération de maintenance programmée, les techniciens d'un parc éolien constatent une traînée d'huile sur le mât d'une éolienne. Sur la nacelle, un suintement au niveau du sertissage d'un flexible du circuit de refroidissement de la boîte de vitesses est visible. L'éolienne est arrêtée. 80 l d'huile sont présents dans le bac de rétention en nacelle en plus d'une vingtaine de litres le long de la tour. Les traces s'arrêtent 10 m sous la nacelle. En préventif, les techniciens mettent en place des boudins absorbants en pied de machine. 3 jours plus tard, l'exploitant confirme que le bac de rétention est vidé, le flexible défaillant remplacé et la machine de nouveau en production.	La cause de l'événement est la rupture d'un sertissage d'un flexible dans la nacelle.	Aria	
Feu sur une éolienne	20/03/2023	CHATENAY	EURE-ET-LOIR	n.c.	n.c.	n.c.	Les automobilistes qui ont emprunté l'A10 tôt ce lundi matin, sur l'axe Paris-Orléans, ont assisté à un drôle de "spectacle" : la pale d'une éolienne a pris feu vers 7h15, dans un parc éolien situé à Châtenay, en Eure-et-Loir. Cette éolienne, qui culmine à 80 mètres de haut, fait partie d'un parc de 26 éoliennes.	Inconnue	France 3 région	

Annexe 3 : Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques

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

Le tableau générique issu de l'analyse préliminaire des risques est présenté dans la partie VII.4. de 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).

I.6 Scénarios relatifs aux risques liés à la glace (G01 et G02)

15.1.1.1.1. 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
- Système de détection de glace sur la nacelle (en option)
- Système de détection de glace sur les pales (en option)
- Arrêt préventif en cas de déséquilibre du rotor
- Arrêt préventif en cas de givrage de l'anémomètre.

15.1.1.1.2. 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.

I.7 Scénarios relatifs aux risques d'incendie (I01 à I07)

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

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

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

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

L'incendie peut aussi être provoqué par l'échauffement des pièces mécaniques en cas d'emballage 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'emballage peut notamment intervenir lors de pertes d'utilités. Ces pertes d'utilités peuvent être la conséquence de deux phénomènes :

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

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

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

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

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

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

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

I.8 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, ...).

15.1.1.1.3. Scénario F01

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

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

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

Deux événements peuvent être aggravants :

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

15.1.1.1.4. Scénario F02

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

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

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

Ce scénario est à adapter en fonction des produits utilisés. Événement aggravant : fortes pluies qui disperseront rapidement les produits dans le sol.

I.9 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.

I.10 Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales (P01 à P06)

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

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

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

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

15.1.1.1.5. 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.

15.1.1.1.6. Scénario P02

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

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

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

15.1.1.1.7. Scénario 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.

I.11 Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E01 à E10)

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

- Erreur de dimensionnement de la fondation : Contrôle qualité, respect des spécifications techniques du constructeur de l'éolienne, étude de sol, contrôle technique de construction ;
- Non-respect des instructions de montage et/ou de maintenance : Formation du personnel intervenant
- Causes externes dues à l'environnement : séisme, ...

Annexe 4 : Probabilité d'atteinte et risque individuel

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

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

- $P_{accident} = PERC \times P_{orientation} \times P_{rotation} \times P_{atteinte} \times P_{présence}$
- $PERC$ = 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 ($PERC$) a été retenue.

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}	$1,8 \times 10^{-2}$	$1,8 \times 10^{-5}$ (D)
Projection de tout ou partie de pale	10^{-4}	10^{-2}	10^{-6} (E)
Projection de morceaux de glace	10^{-2}	$1,8 \times 10^{-6}$	$1,8 \times 10^{-8}$ (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.