



Objet du dossier :
Parc éolien de Maxent 2
Commune de Maxent

Contact :
Alexis CARRE
TOTALENERGIES Renouvelables France
74 rue lieutenant de Montcabrier
Technoparc de Mazeran – CS 10034
34536 Béziers cedex



PARC EOLIEN DE MAXENT 2 COMMUNE DE MAXENT (35)

ÉTUDE DE DANGERS

DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION

RUBRIQUE DES ACTIVITES SOUMISES A AUTORISATION AU TITRE DE LA NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSEES POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT : 2980

ETUDE REALISEE PAR :



21 RUE DU DANEMARK 56400 BREC'H
02 97 58 53 15

Novembre
2022

TABLES DES MATIERES

I. Préambule	5		
I.1 Objectifs de l'étude de dangers	5		
I.2 Contexte législatif et réglementaire	6		
I.3 Nomenclature des installations classées.....	6		
II. Informations générales concernant l'installation	7		
II.1 Renseignements administratifs	7		
II.2 Localisation du site.....	7		
II.3 Définition de l'aire d'étude.....	9		
III. Description de l'environnement de l'installation	11		
III.1 Environnement naturel	11		
III.1.1 Contexte climatique.....	11		
III.1.2 Risques naturels.....	12		
III.2 Environnement humain.....	24		
III.2.1 Zones urbanisées	24		
III.2.2 Etablissements recevant du public (ERP).....	24		
III.2.3 Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)	24		
III.2.4 Tourisme et autres activités.....	24		
III.3 Environnement matériel.....	26		
III.3.1 Voies de communication	26		
III.3.2 Réseaux publics et privés.....	26		
III.3.3 Autres ouvrages publics.....	26		
III.4 Cartographie de synthèse.....	28		
IV. Description de l'installation.....	30		
IV.1 Caractéristiques de l'installation	30		
IV.1.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien.....	30		
IV.1.2 Activité de l'installation	31		
IV.1.3 Composition de l'installation	31		
IV.2 Fonctionnement de l'installation.....	33		
IV.2.1 Principe de fonctionnement des aérogénérateurs.....	33		
IV.2.2 Sécurité de l'installation.....	34		
IV.2.3 Opérations de maintenance de l'installation	34		
IV.2.4 Stockage et flux de produits dangereux.....	36		
IV.3 Fonctionnement des réseaux de l'installation.....	36		
IV.3.1 Raccordement électrique	36		
IV.3.2 Autres réseaux.....	37		
IV.4 Identification des potentiels de dangers de l'installation.....	37		
IV.4.1 Potentiels de dangers liés aux produits	37		
IV.4.2 Potentiels des dangers liés au fonctionnement de l'installation	37		
IV.5 Réduction des potentiels de dangers à la source.....	38		
IV.5.1 Principales actions préventives	38		
IV.5.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles	38		
V. Analyse des retours d'expérience	39		
V.1 Inventaire des incidents et accidents en France	39		
V.2 Inventaire des accidents et incidents à l'international	40		
V.3 Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience	41		
V.3.1 Analyse de l'évolution des accidents en France.....	41		
V.3.2 Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents	41		
V.4 Limites d'utilisation de l'accidentologie.....	41		
VI. Analyse préliminaire des risques.....	42		
VI.1 Objectif de l'analyse préliminaire des risques	42		
VI.2 Recensement des événements initiateurs exclues de l'analyse des risques ..	42		
VI.3 Recensement des agressions externes potentielles.....	42		
VI.3.1 Agressions externes liées aux activités humaines.....	42		
VI.3.2 Agressions externes liées aux phénomènes naturels	43		
VI.4 Analyse générique des risques liés aux agressions externes potentielles ..	43		
VI.5 Effets dominos.....	46		
VI.6 Mise en place des mesures de sécurité	46		
VI.7 Conclusion de l'analyse préliminaire des risques.....	50		
VII. Etude détaillée des risques	50		

VII.1	Rappels des définitions.....	50
VII.1.1	Cinétique	50
VII.1.2	Intensité	51
VII.1.3	Gravité	51
VII.1.4	Probabilité.....	52
VII.2	Caractérisation des scénarii retenus.....	52
VII.2.1	Effondrement de l'éolienne	52
VII.2.2	Chute de glace.....	54
VII.2.3	Chute d'éléments de l'éolienne	56
VII.2.4	Projection de pales ou de fragments de pales.....	57
VII.2.5	Projection de glace.....	59
VII.3	Synthèse de l'étude détaillée des risques	61
VII.3.1	Tableaux de synthèse des scénarii étudiés.....	61
VII.3.2	Synthèse de l'acceptation des risques.....	61
VII.4	Cartographie des risques.....	61
VIII.	Conclusion	65
IX.	Annexes.....	66
IX.1	Annexe 1 : Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne.....	66
IX.1.1	Terrains non bâtis	66
IX.1.2	Voies de circulation.....	66
IX.1.3	Voies de circulation automobiles.....	66
IX.1.4	Voies ferroviaires	66
IX.1.5	Voies navigables.....	66
IX.1.6	Chemins et voies piétonnes	66
IX.1.7	Logements.....	66
IX.1.8	Etablissements recevant du public (ERP).....	66
IX.1.9	Zones d'activité.....	67
IX.2	Annexe 2 : Tableau de l'accidentologie française	68
IX.3	Annexe 3 – Scénarii génériques issus de l'analyse préliminaire des risques.....	78
IX.3.1	Scénarii relatifs aux risques liés à la glace (G01 et G02).....	78
IX.3.2	Scénarii relatifs aux risques d'incendie (I01 à I07).....	78
IX.3.3	Scénarii relatifs aux risques de fuites (F01 à F02).....	79

IX.3.4	Scénarii relatifs aux risques de chute d'éléments (C01 à C03).....	79
IX.3.5	Scénarii relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales (P01 à P06) ...	79
IX.3.6	Scénarii relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E1 à E3)	79
IX.4	Annexe 4 – Probabilité d'atteinte et Risque individuel.....	81
IX.5	Annexe 5 – Glossaire	82
IX.6	Annexe 6 – Bibliographie et références utilisées	84

INDEX DES FIGURES

Figure 1:	Nomenclature des installations classées.....	6
Figure 2 :	Localisation du territoire de Maxent.....	7
Figure 3 :	Localisation générale du site.....	8
Figure 4 :	Définition de l'aire d'étude de dangers	10
Figure 5 :	Les zones climatiques en France et la localisation du site d'étude de Maxent 2 (Source : Météo-France).....	11
Figure 6 :	Pluviométrie au niveau de la station de Rennes (Source : Météo France).....	11
Figure 7 :	Températures moyennes mensuelles à Rennes	11
Figure 8 :	Rose des vents obtenue à partir de la station météorologique de « Rennes-aéroport ».....	12
Figure 9 :	Zonage sismique de la France (Source : BRGM).....	13
Figure 10 :	Règles de construction parasismique applicables aux bâtiments neufs selon la catégorie et la sismicité (Source : http://www.planseisme.fr).....	13
Figure 11 :	Carte de l'aléa retrait-gonflement des argiles	14
Figure 12 :	Densité de foudroiement (Source : adapté de Météorage).....	15
Figure 13 :	Boisement de feuillus à proximité de E6	15
Figure 14 :	Exemple de périmètre de sécurité autour d'une éolienne (Source : Bureau de la doctrine de la formation et des équipements – Intervention dans les éoliennes, janvier 2019).....	16
Figure 15 :	Périmètre de protection de lutte-anti-incendie appliqué aux éoliennes de Maxent 2	16
Figure 16 :	Forêts et risque incendie	17
Figure 17 :	Risque inondation (remontée de nappes)	19
Figure 18 :	Extrait de la carte géologique du GUER au 1 / 50 000.....	20
Figure 19 :	Analyse de la topographie entre E4 et E6	21
Figure 20 :	Analyse de la topographie entre l'éolienne E6 et le cours d'eau le plus proche.....	21
Figure 21 :	Analyse de la topographie entre l'éolienne E5 et les cours d'eau les plus proches	22
Figure 22 :	Synthèse de l'environnement humain	25
Figure 23 :	Synthèse de l'environnement matériel.....	27
Figure 24 :	Synthèse de l'environnement humain et matériel	29
Figure 25 :	Schéma simplifié d'un aérogénérateur	30
Figure 26 :	Illustration des emprises au sol d'une éolienne.....	31
Figure 27 :	Plan détaillé des installations.....	32
Figure 28 :	Schéma de raccordement électrique d'un parc éolien	36
Figure 29 :	Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et février 2021.....	39
Figure 30 :	Répartition des événements accidentels majeurs dans le monde entre 2000 et décembre 2020	40
Figure 31 :	Répartition des causes premières d'effondrement	40
Figure 32 :	Répartition des causes premières de rupture de pale	40
Figure 33 :	Répartition des causes premières d'incendie	40
Figure 34 :	Evolution du nombre d'incidents annuels en France et puissance éolienne installée	41
Figure 35 :	Synthèse des risques de l'éolienne E4	62

Figure 36 : Synthèse des risques de l'éolienne E5..... 63
 Figure 37 : Synthèse des risques de l'éolienne E6..... 64
 Figure 38 : Nombre de personnes exposées sur voies de communication structurantes en fonction du linéaire et du trafic.... 66

Tableau 46: Légende de la matrice de criticité61
 Tableau 47 : L'ensemble des accidents et incidents connus en France entre 2000 et juillet 2019..... 68
 Tableau 48 : Les probabilités d'atteinte en fonction d'événement redouté.....81

INDEX DES TABLEAUX

Tableau 1: Identité du porteur de projet..... 7
 Tableau 2 : Auteurs de l'étude de danger 7
 Tableau 3: Recensement des risques naturels sur la commune de Maxent..... 12
 Tableau 4 : Synthèse des distances aux habitations et zones urbanisées..... 24
 Tableau 5 : Synthèse des distances aux ICPE 24
 Tableau 6 : Fréquentation du périmètre d'étude 28
 Tableau 7 : Caractéristiques principales de l'éolienne VESTAS V100 31
 Tableau 8 : Dimensions générales du projet 31
 Tableau 9 : Les coordonnées géographiques des différents aérogénérateurs..... 31
 Tableau 10 : Les éléments d'un parc éolien..... 33
 Tableau 11 : Cahier des charges du manuel de maintenance (Source :TotalEnergies)..... 35
 Tableau 12 : Cahier des charges de la maintenance préventive et curative (Source :TotalEnergies) 36
 Tableau 13 : le danger potentiel pour l'installation d'une éolienne 37
 Tableau 14 : Les principales agressions externes liées aux activités humaines 42
 Tableau 15 : les principales agressions externes liées aux phénomènes naturels 43
 Tableau 16 : Les scénarii d'accidents pouvant potentiellement se produire sur les éoliennes..... 44
 Tableau 17 : Synthèse des fonctions de sécurité identifiées et mise en œuvre sur les éoliennes du parc..... 47
 Tableau 18 : les scénarii exclus de l'étude détaillée 50
 Tableau 19: référence pour le degré d'exposition 51
 Tableau 20 : Les seuils de gravité en fonction du nombre de personnes dans chacune des zones d'effet..... 51
 Tableau 21 : Les classes de probabilité des scénarii d'accident majeur 52
 Tableau 22 : L'impact de l'effondrement de l'éolienne 53
 Tableau 23 : Hypothèses de calcul pour le risque effondrement 53
 Tableau 24 : Nombre de personnes exposées au phénomène d'effondrement de l'éolienne par zone d'effet..... 53
 Tableau 25 : Les classes de probabilité utilisées dans les études de danger 53
 Tableau 26 : Gravité et niveau de risque de l'effondrement de chaque aérogénérateur..... 54
 Tableau 27 : L'impact lors de chute de glace 55
 Tableau 28 : Hypothèses de calcul pour le risque chute de glace 55
 Tableau 29 : Nombre de personnes exposées au phénomène de chute de glace 55
 Tableau 30 : Gravité et niveau de risque en cas de chute de glace pour chaque aérogénérateur..... 56
 Tableau 31 : impact en cas de chute d'éléments de l'éolienne 56
 Tableau 32 : Hypothèses de calcul pour le risque chute d'éléments..... 56
 Tableau 33 : Nombre de personnes exposées au phénomène chute d'éléments de l'éolienne..... 57
 Tableau 34 : Gravité et niveau de risque de chute d'éléments de l'éolienne pour chaque aérogénérateur 57
 Tableau 35 : L'impact de projection de pale ou fragment de pale..... 58
 Tableau 36 : Hypothèses de calcul pour le risque projection de pale..... 58
 Tableau 37 : Nombre de personnes exposées au phénomène de projection de pale ou fragment de pale 58
 Tableau 38 : Calcul de probabilité pour une rupture de tout ou partie de pale 58
 Tableau 39 : Gravité et niveau de risque en cas de projection de pale ou fragment de pale..... 59
 Tableau 40 : Hypothèses de calcul pour le risque projection de glace 59
 Tableau 41 : L'impact de projection de morceaux de glace 59
 Tableau 42 : Nombre de personnes exposées au phénomène de projection de morceaux de glace 60
 Tableau 43 : Gravité et niveau de risque en cas de projection de morceaux de glace..... 60
 Tableau 44 : Paramètres de risques pour le projet en cours 61
 Tableau 45 : Matrice de criticité 61

I. PREAMBULE

L'étude de dangers est une analyse scientifique et technique permettant d'appréhender au mieux l'ensemble des risques auxquels se trouvent exposés, lors d'un accident d'origine interne ou externe, les personnes et les biens situés à l'intérieur ou à proximité d'une installation, ainsi que les dommages qui en résultent pour l'environnement. L'étude de dangers identifie les sources de dangers et expose les scénarios d'accidents potentiels. Elle présente ensuite une analyse des mesures propres à réduire la probabilité et les conséquences de ces accidents. L'article D181-15-2 du code de l'environnement prévoit le contenu de l'étude de dangers.

I.1 Objectifs de l'étude de dangers

La présente étude de dangers a pour objectif de démontrer, dans le cadre d'un projet de parc éolien, la maîtrise du risque par l'exploitant du parc.

S'agissant du parc éolien de Maxent 2, l'étude rendra compte de l'examen effectué pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du parc, 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.

L'étude de dangers est proportionnée aux risques présentés par les éoliennes du parc éolien de Maxent 2.

Le choix de la méthode d'analyse utilisée et la justification des mesures de prévention, de protection et d'intervention sont adaptées à la nature et à la complexité des installations et de leurs risques. Ainsi, l'étude comporte une analyse des risques présentant les différents scénarii d'accidents majeurs susceptibles d'intervenir. Ces scénarii sont caractérisés en fonction de leur probabilité d'occurrence, de leur cinétique, de leur intensité et de la gravité des accidents potentiels.

Elle justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques ainsi que de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.

Enfin, elle précise l'ensemble des mesures de maîtrise des risques mises en œuvre sur le parc éolien de Maxent 2, qui réduisent le risque, à l'intérieur et à l'extérieur des éoliennes, à un niveau jugé acceptable par l'exploitant.

L'étude de dangers 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 d'optimiser la politique de prévention ;
- Favoriser le dialogue technique avec les autorités d'inspection pour la prise en compte des parades techniques et organisationnelles dans l'arrêté d'autorisation ;
- Informer le public dans la meilleure transparence possible en lui fournissant des éléments d'appréciation clairs sur les risques.

I.2 Contexte législatif et réglementaire

Les objectifs et le contenu de l'étude de dangers sont définis dans la partie du code de l'environnement relative à la demande d'autorisation environnementale. Selon l'article D181-15-2, « l'étude de dangers justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation ».

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

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 la vulnérabilité des intérêts mentionnés à l'article L. 181-3. Selon l'article D181-15-2, l'étude de dangers précise la nature et l'organisation des moyens de secours dont le pétitionnaire dispose ou dont il s'est assuré le concours en vue de combattre les effets d'un éventuel sinistre. Elle doit également comporter, notamment, un résumé non technique explicitant la probabilité et la cinétique des accidents potentiels, ainsi qu'une cartographie agrégée par type d'effet des zones de risques significatifs.

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

I.3 Nomenclature des installations classées

Conformément à l'article R. 511-9 du Code de l'environnement, modifié par le décret n°2019-1096 du 28 octobre 2019, les parcs éoliens sont soumis à la rubrique 2980 de la nomenclature des installations classées :

Numéro	Désignation de la rubrique	A, E, D, S, C (1)	Rayon (2)
2980	Installation terrestre de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs :		-
	1. Comprenant au moins un aérogénérateur dont la hauteur du mât et de la nacelle au-dessus du sol est supérieure ou égale à 50 m :	----- A	6
	2. Comprenant uniquement des aérogénérateurs dont la hauteur du mât et de la nacelle au-dessus du sol est inférieure à 50 m et au moins un aérogénérateur dont la hauteur du mât et de la nacelle au-dessus du sol est supérieure ou égale à 12 m, lorsque la puissance totale installée est :		
	a) Supérieure ou égale à 20 MW	----- A	6
	b) Inférieure à 20 MW	----- D	-

(1) A : autorisation ; E : Enregistrement ; D : déclaration ; S : servitude d'utilité publique ; C : soumis au contrôle périodique prévu par l'article L. 512-11 du code de l'environnement.

(2) Rayon d'affichage en kilomètres.

Figure 1: Nomenclature des installations classées

Le parc éolien de Maxent 2 comprend au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m (3 aérogénérateurs dont le mât mesure 97.70 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.

II. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

II.1 Renseignements administratifs

L'identité du porteur de projet et de l'exploitant :

Tableau 1: Identité du porteur de projet

Dénomination	Maxent 2
Registre de commerce	R.C.S. de Béziers
Numéro SIRET	89311198900016
Code NAF	3511 Z
Représentant de la personne morale qualité	Thierry MULLER
Adresse	74 rue lieutenant de Montcabrier Technoparc de Mazeran – CS 10034 34536 Béziers cedex



Figure 2 : Localisation du territoire de Maxent

Les personnes ayant réalisé l'étude de dangers sont les suivantes :

Tableau 2 : Auteurs de l'étude de danger

Rédacteur	Bénédicte DAWID
Soutiens techniques à la rédaction	Nicolas YAKOVLEFF
Réalisation des éléments cartographiques	Bénédicte DAWID

II.2 Localisation du site

Le parc éolien de Maxent 2 est composé de 3 aérogénérateurs et d'1 poste de livraison. Il se situe sur la commune de Maxent, dans le département de l'Ille-et-Vilaine, en région Bretagne. Le parc éolien de Maxent 2 viendra s'implanter à proximité du parc éolien de Maxent, composé de 3 turbines, déjà en service et exploité par le même porteur de projets.

Une carte de localisation du site est présentée à la page suivante.

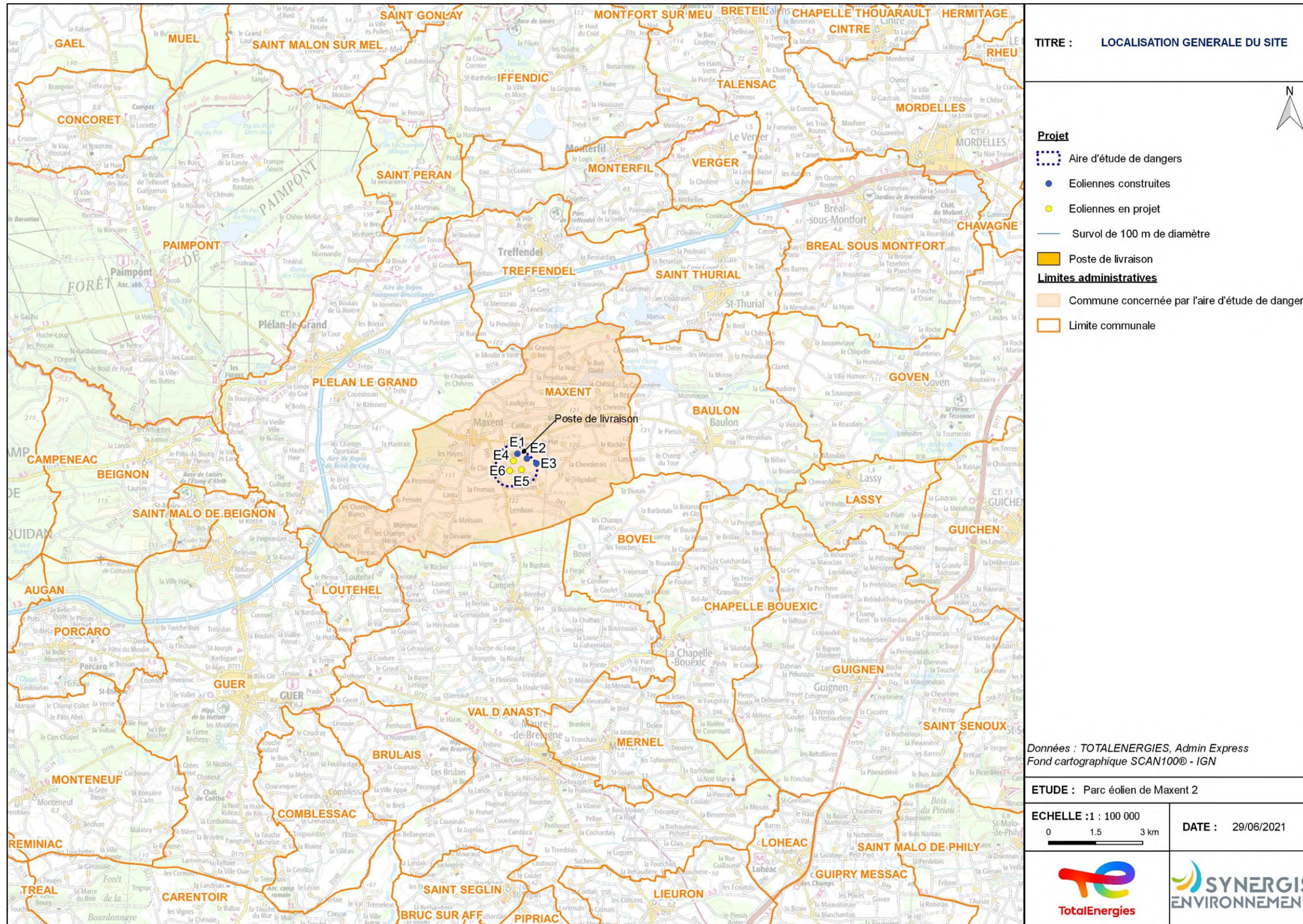


Figure 3 : Localisation générale du site

II.3 Définition de l'aire d'étude

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

Chaque aire d'étude correspond à l'ensemble des points situés à une distance inférieure ou égale à 500 m à partir de l'emprise du mât de l'aérogénérateur. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection, telle que définie au 9.2.4.

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

L'aire d'étude globale des dangers ne concerne qu'une seule commune :

- Maxent

Une carte de cette aire d'étude est présentée à la page suivante.

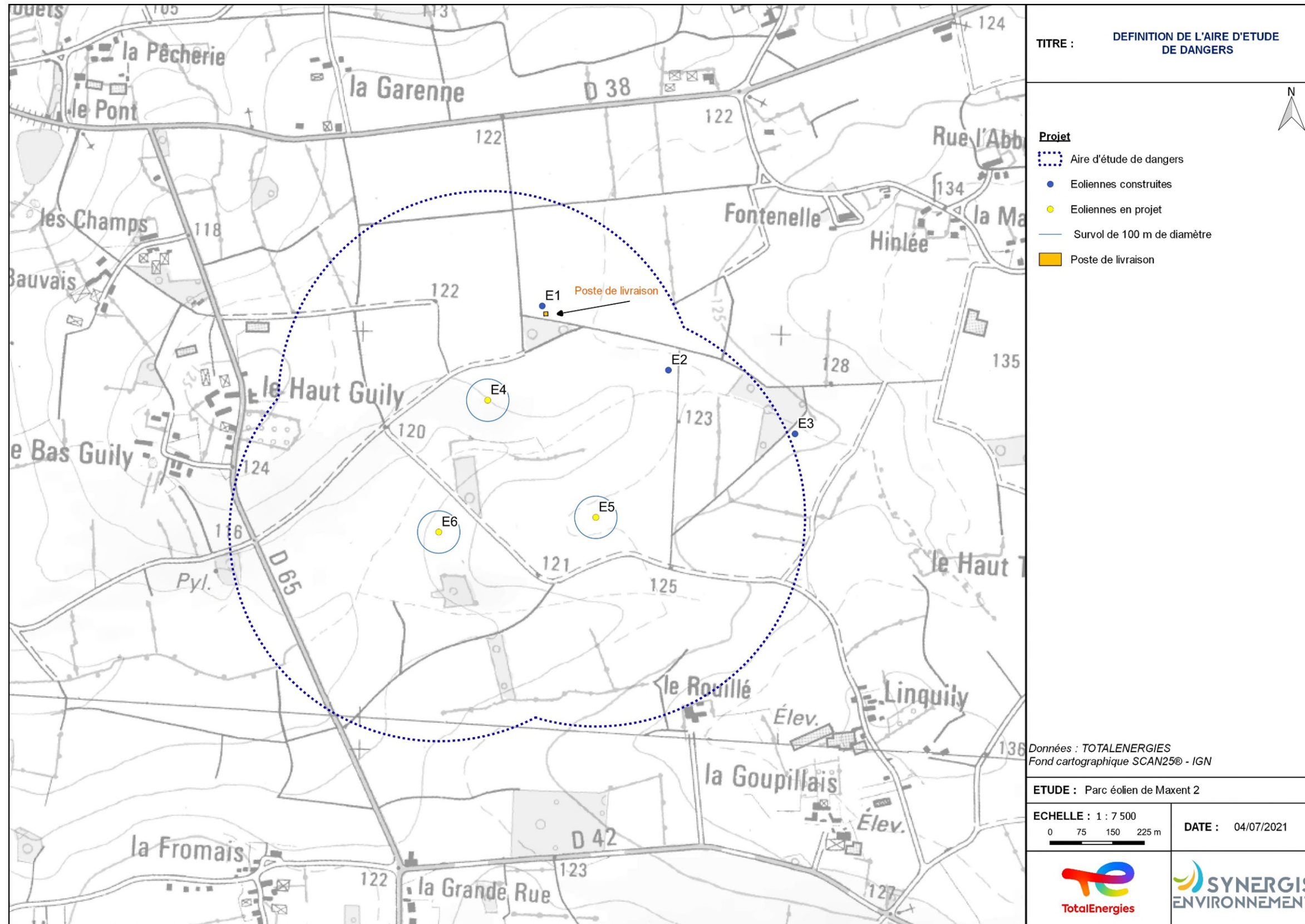


Figure 4 : Définition de l'aire d'étude de dangers

III. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

Ce chapitre a pour objectif de décrire l'environnement dans la zone d'étude de l'installation, afin d'identifier les principaux intérêts à protéger (enjeux) et les facteurs de risque que peut représenter l'environnement vis-à-vis de l'installation (agresseurs potentiels). En conclusion de ce chapitre, une cartographie de synthèse permet d'identifier géographiquement les enjeux à protéger dans la zone d'étude (nombre de personnes exposées par secteur (champs, routes, habitations...) et localisation des biens, infrastructures et autres établissements).

III.1 Environnement naturel¹

III.1.1 Contexte climatique

D'après les données de cadrage fournies par Météo-France, la commune de Maxent se situe dans une zone de climat océanique. Le climat océanique se caractérise par des hivers frais et humides et des étés doux et relativement humides, sachant que le maximum de précipitations se produit durant la saison froide. Les saisons sont peu contrastées et les températures restent modérées.

Les données présentées ci-dessous proviennent de la station météorologique la plus proche du site étudié et disposant de conditions climatiques similaires, celle de la ville de Rennes (35).

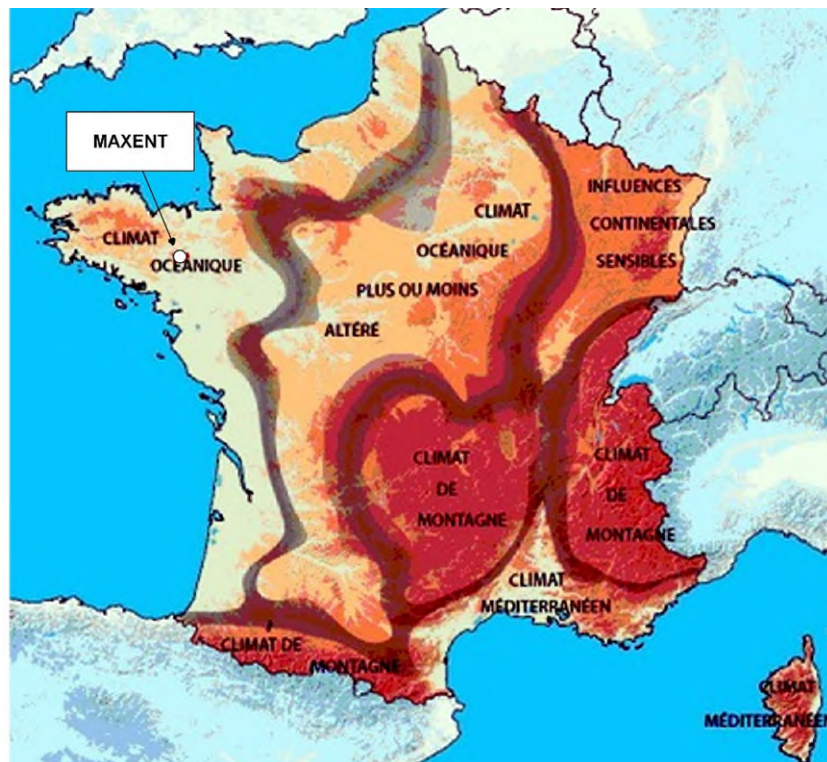


Figure 5 : Les zones climatiques en France et la localisation du site d'étude de Maxent 2 (Source : Météo-France)

III.1.1.1 Précipitations

L'histogramme suivant indique les normales mensuelles de précipitations calculées pour la période 1981-2010 sur la station de Rennes. On notera une pluviométrie plus importante pour la période automnale.

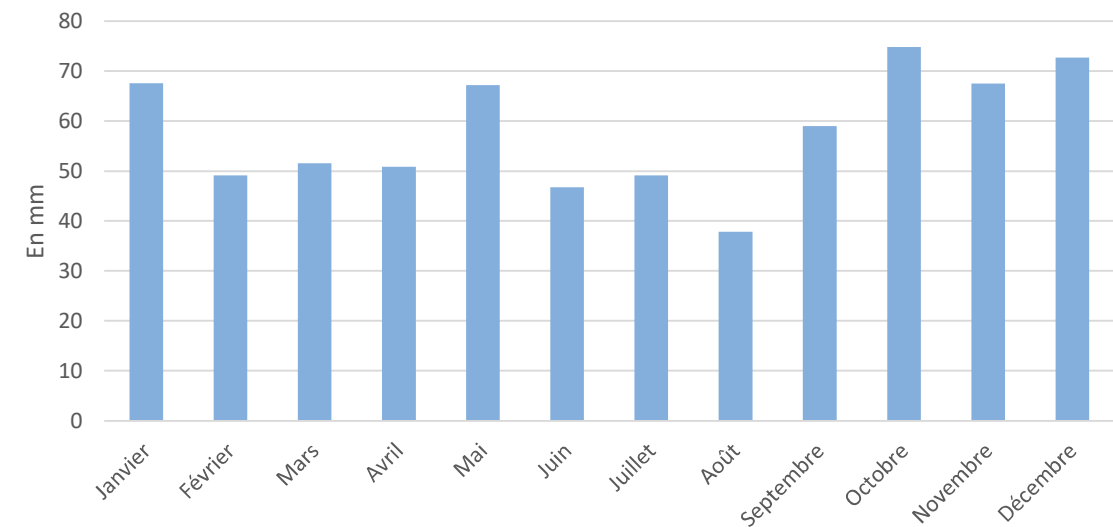


Figure 6 : Pluviométrie au niveau de la station de Rennes (Source : Météo France)

III.1.1.2 Températures et ensoleillement

Le graphique suivant indique les mesures de la température minimale et maximale, relevées mois par mois, pour la période 1981-2010 sur la station de Rennes. Les mois les plus chauds sont juillet et août, alors que janvier et décembre sont les mois les plus froids. L'amplitude thermique, différence entre la moyenne minimale (7,8°C) et la moyenne maximale (16,3°C) est relativement faible, ce qui est caractéristique d'un climat océanique.

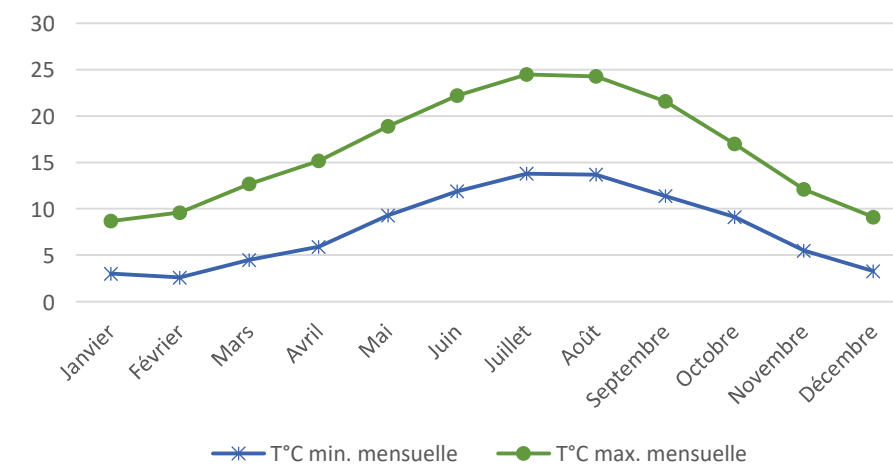


Figure 7 : Températures moyennes mensuelles à Rennes

¹ Données issues de l'étude d'impact sur l'environnement du dossier de demander d'autorisation environnementale

Sur cette même période, on recense environ 40 jours de gel par an sur la station de Rennes, ainsi qu'une moyenne d'ensoleillement annuelle de 1717.1 heures.

III.1.1.3 Les vents

La rose des vents indique la fréquence relative (%) des directions du vent par classe de vitesse. La rose de WINDFINDER a été établie à partir de mesures trihoraires de vent (vitesse moyennée sur 10 minutes), relevées à la station météorologique « Rennes Aéroport ».

Distribution de la direction du vent en //%

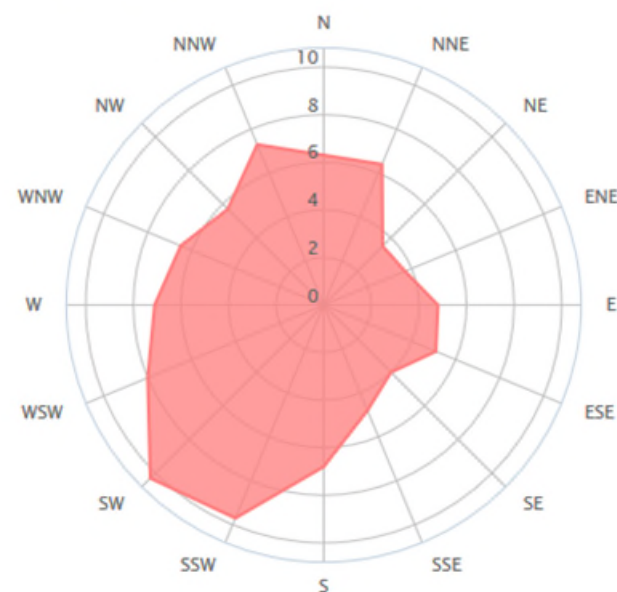


Figure 8: Rose des vents obtenue à partir de la station météorologique de « Rennes-aéroport »

Sur ce secteur, les vents proviennent donc de deux directions privilégiées :

- **Nord** : ces vents proviennent des zones polaires et sibériennes amenant ainsi un air sec et froid. On les rencontre plus couramment en hiver. Ils ne dépassent pas 8m/s
- **Sud-Ouest** : ce sont des vents plus fréquents que les précédents mais un peu plus forts et peuvent atteindre jusqu'à 10m/s. Ils proviennent de l'Océan Atlantique. Ils amènent les précipitations et la douceur sur la côte Atlantique.

Par an, la vitesse du vent moyennée sur 10 mn est de 3,7 m/s. Le nombre moyen de jours avec rafales de plus de 16m/s est de 43,2 est de 0.6 pour les rafales de plus de 28 m/s.

Les vents les plus forts sont rencontrés durant la période hivernale et ne dépassent pas la valeur maximale à laquelle les tests de résistance des éoliennes ont été réalisés (>200km/h). A titre d'information, lors d'un ouragan les vents sont supérieurs à 140 km/h.

III.1.2 Risques naturels

D'après le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM) d'Ille-et-Vilaine et la consultation du site georisques.gouv.fr, la commune de Maxent est soumise aux risques naturels suivants :

Tableau 3: Recensement des risques naturels sur la commune de Maxent

Commune	Sismicité	Inondation	Mouvement de Terrain ; Cavités souterraines ; RGA	Atlas Zone Inondable / PPRI	Evénements reconnus en l'état de catastrophe naturelle
Maxent	Zone 2	Risque inondation lié aux éventuelles remontées de nappes : le sud-ouest de l'aire d'étude de dangers serait sujette aux inondations de cave et sur une surface plus restreinte aux débordements de nappe.	- Aucun mouvement de terrain - Aucune cavité - RGA : Aléa faible sur l'aire d'étude de dangers	PGRI du bassin Loire-Bretagne Aucun PPRI Aucun AZI Aucun TRI	1 - Inondations, coulée de boue, et mouvements de terrain 2 – Inondations et coulée de boue 1 – Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols

III.1.2.1 Sismicité

Concernant le risque de séisme, le décret du 22 octobre 2010 a introduit le nouveau zonage sismique de la France.

L'article R.563-4 du code de l'environnement est donc modifié et stipule désormais que pour l'application des mesures de prévention du risque sismique aux bâtiments, équipements et installations de la classe dite « à risque normal », le territoire est divisé en cinq zones de sismicité croissante :

- Sismicité 1 (très faible) ;
- Sismicité 2 (faible) ;
- Sismicité 3 (modérée) ;
- Sismicité 4 (moyenne) ;
- Sismicité 5 (forte) ;

Au regard de ces règles, les communes de l'aire d'étude de dangers, comme la totalité du département d'Ille-et-Vilaine, sont classées en zone de sismicité faible (zone 2).

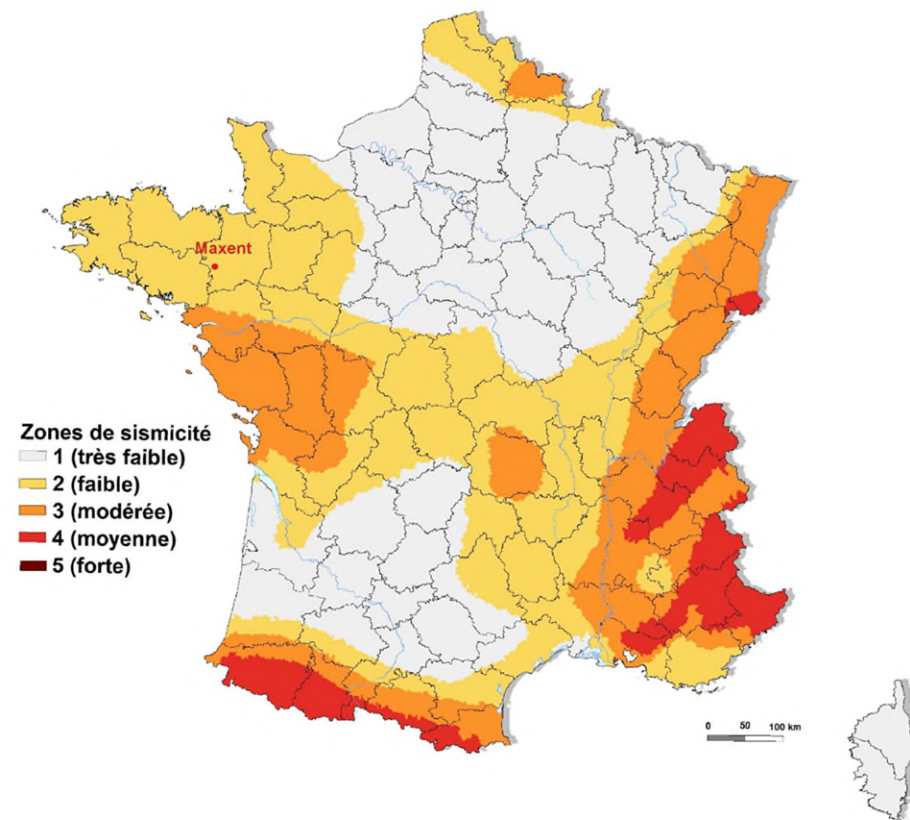


Figure 9 : Zonage sismique de la France (Source : BRGM)

Le projet n'est donc pas de nature à engendrer des effets potentiels sur le risque sismique (effet quasi nul).

Le décret du 22 octobre 2010 concerne les bâtiments techniques associés aux éoliennes (comme le poste de livraison), dont l'endommagement empêcherait le fonctionnement du centre de production : ce sont des bâtiments de catégorie d'importance III. En revanche, les équipements eux-mêmes (l'éolienne) ne sont pas l'objet de l'arrêté bâtiment. L'application des règles de l'Eurocode 8 est donc obligatoire pour une telle catégorie de bâtiment au sein d'une zone de sismicité faible. Dans le cadre de la prévention des différents aléas techniques susceptibles d'être rencontrés dans la réalisation des ouvrages, les opérations de construction ayant pour objet la réalisation d'éoliennes dont la hauteur de mât est supérieure à 12 mètres ainsi que les bâtiments techniques de catégorie d'importance III sont obligatoirement soumis au contrôle technique, conformément à l'article R111-38 du code de la construction et de l'habitation.

Les exigences sur le bâti neuf dépendent de la catégorie d'importance du bâtiment et de la zone de sismicité.

	I	II	III	IV
Zone 1	aucune exigence			
Zone 2	aucune exigence			Eurocode 8 ³ $a_{gr}=0,7 \text{ m/s}^2$
Zone 3	PS-MI ¹	Eurocode 8 ³ $a_{gr}=1,1 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 ³ $a_{gr}=1,1 \text{ m/s}^2$	
Zone 4	PS-MI ¹	Eurocode 8 ³ $a_{gr}=1,6 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 ³ $a_{gr}=1,6 \text{ m/s}^2$	
Zone 5	CP-MI ²	Eurocode 8 ³ $a_{gr}=3 \text{ m/s}^2$	Eurocode 8 ³ $a_{gr}=3 \text{ m/s}^2$	

¹ Application possible (en dispense de l'Eurocode 8) des PS-MI sous réserve du respect des conditions de la norme PS-MI
² Application possible du guide CP-MI sous réserve du respect des conditions du guide
³ Application obligatoire des règles Eurocode 8

Figure 10 : Règles de construction parasismique applicables aux bâtiments neufs selon la catégorie et la sismicité (Source : <http://www.planseisme.fr>)

III.1.2.2 Risque mouvements de terrain

Ce risque peut être d'origine diverse : mouvements lents et continus (les tassements et les affaissements de sols, le retrait-gonflement des argiles, les glissements de terrain le long d'une pente...) ; mouvements rapides et discontinus (les effondrements de cavités souterraines naturelles ou artificielles, les écroulements et les chutes de blocs, les coulées boueuses et torrentielles...) et l'érosion littorale.

D'après la base de données géorisques, **aucun mouvement de terrain n'a été identifié sur l'aire d'étude de dangers**, ni sur la commune de Maxent. De même, **aucune cavité souterraine n'a été identifiée sur l'aire d'étude de dangers, ni sur Maxent.**

Enfin, l'aléa « **retrait, gonflement des argiles est considéré comme faible sur la totalité de la surface de l'aire d'étude de dangers.** Aucun PPRn n'est recensé sur la commune de Maxent.

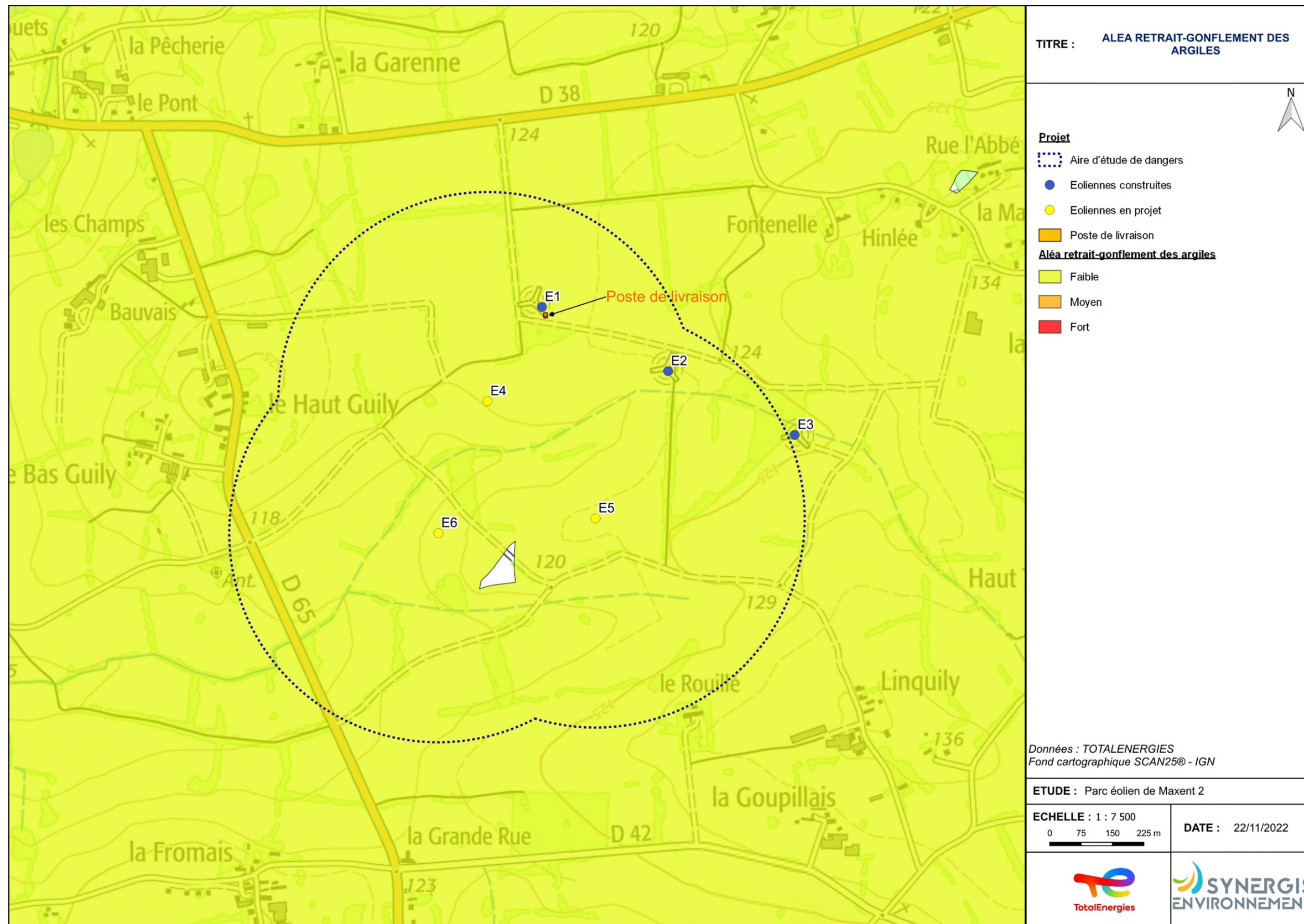


Figure 11 : Carte de l'aléa retrait-gonflement des argiles

III.1.2.3 Foudre

L'activité orageuse peut être définie selon différents paramètres. Face aux pratiques hétérogènes dans le monde, la commission électrotechnique internationale (IEC) a jugé utile d'établir une norme, publiée en 2015, en vue d'harmoniser celles-ci.

La IEC 62858, déclinée en NF EN 62858 en 2016, vise à établir des règles communes et à déterminer des méthodes fiables pour l'établissement de statistiques de foudroiement.

Le Nsg est ainsi devenu la valeur de référence. Cette entité reproduit le plus fidèlement possible la réalité en termes de foudroiement au sol et est le résultat de travaux et d'évolutions technologiques récentes.

Le département d'Ille-et-Vilaine possède une densité de foudroiement très faible avec $N_{sg}=0,38$ impacts/an/km². A titre de comparaison, la moyenne en France de la densité de foudroiement est de 1,08. Le département se classe 90ème sur les 96 que compte la France métropolitaine en matière de densité de foudroiement, ce qui est très faible.

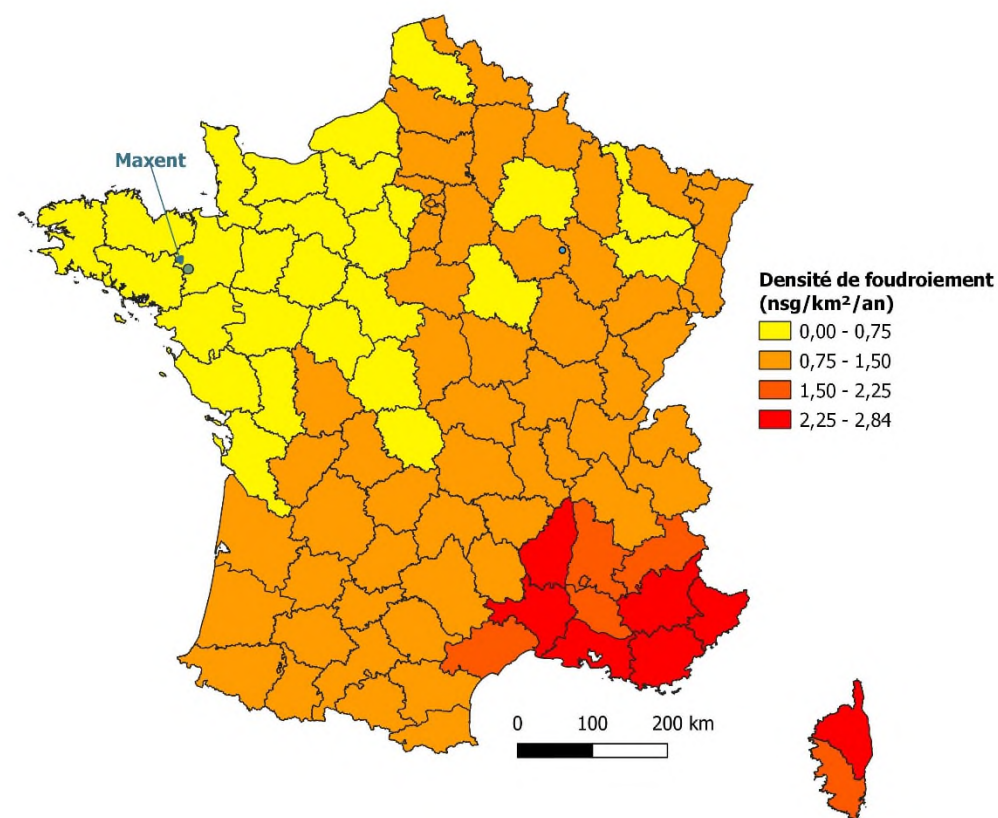


Figure 12 : Densité de foudroiement (Source : adapté de Météorage)

III.1.2.4 Tempêtes

On parle de tempête lorsque les vents dépassent 89km/h. L'essentiel des tempêtes touchant la France se forme sur l'Océan Atlantique, au cours des mois d'automne et d'hiver, progressant à une vitesse moyenne de l'ordre de 50 km/h et pouvant concerner une largeur atteignant 2000 km.

L'aléa tempête est un aléa relativement fréquent dans le département d'Ille et Vilaine, du fait de sa proximité avec la façade maritime.

Les dispositions de gestion de crise face à un événement météorologique dangereux sont prises par les autorités en charge de la sécurité civile. Ainsi, des mesures ont été mises en place afin d'alerter la population sur les risques de tempête par l'utilisation de pictogramme de couleur notamment.

D'après la base de données de géorisques, le risque « Tempêtes » ne constitue pas un risque majeur sur la commune. Cependant, l'enjeu « Tempêtes » ne peut être exclu.

Il faut noter enfin, que la conception générale de la structure des éoliennes fait l'objet de règles techniques strictes qui leur permettent de supporter des vents pouvant atteindre 250km/h. Notamment quand la vitesse du vent est trop importante (tempête) c'est-à-dire supérieure à 90km/h (25m/s), les éoliennes sont automatiquement mises en arrêt de sécurité.

III.1.2.5 Incendies

D'après le DDRM d'Ille-et-Vilaine, la commune de Maxent est exposée à une vulnérabilité moyenne au risque de feu de forêt. Toutefois, ce territoire n'est pas soumis à l'élaboration d'un plan de protection des forêts contre les incendies. L'aire d'étude de dangers accueille actuellement 5 îlots boisés : 4 concernent des forêts fermées de feuillus et un concerne une forêt fermée de conifères. Le boisement le plus proche, se trouve à 73 m du mât de E6. Ce boisement s'élève à une vingtaine de mètres de haut, et la distance entre le bout de la pale et la lisière du bois est estimée à 54 mètres. Ainsi, même avec de très hautes flammes, à cette distance, il est peu probable qu'un incendie puisse se propager du boisement à l'éolienne et inversement (sauf en cas de chute d'éléments ou de projection d'éléments incandescents).



Figure 13 : Boisement de feuillus à proximité de E6

Un projet éolien est une installation électrique dans laquelle le risque incendie reste potentiellement présent, toutefois très restreint (risque faible) par les obligations réglementaires (normes strictes, ICPE). La sensibilité est donc jugée faible mais n'exclut en rien les nécessaires mesures préventives pour prévenir au maximum tout risque d'incendie ou permette, le cas échéant, l'intervention rapide des secours.

Ainsi, le maître d'ouvrage se conformera aux avis de la DRAAF et des services du SDIS émis lors de l'instruction du présent dossier. Les services du SDIS pourront proposer la mise en place d'opérations de secours d'urgence et de lutte anti-incendie, ces procédures seront mises en place avant la mise en service du parc éolien. Il s'agira par exemple de définir un périmètre de sécurité autour de l'éolienne en cas d'incendie (au moins 1,2 X la hauteur totale de l'éolienne, cette distance peut être augmentée à 350 m en cas de projection d'éléments incandescents).

Ce périmètre est un périmètre de protection virtuel, où il sera interdit de circuler, il sera mis en place par les services de secours qu'en cas de survenue d'un incident majeur.

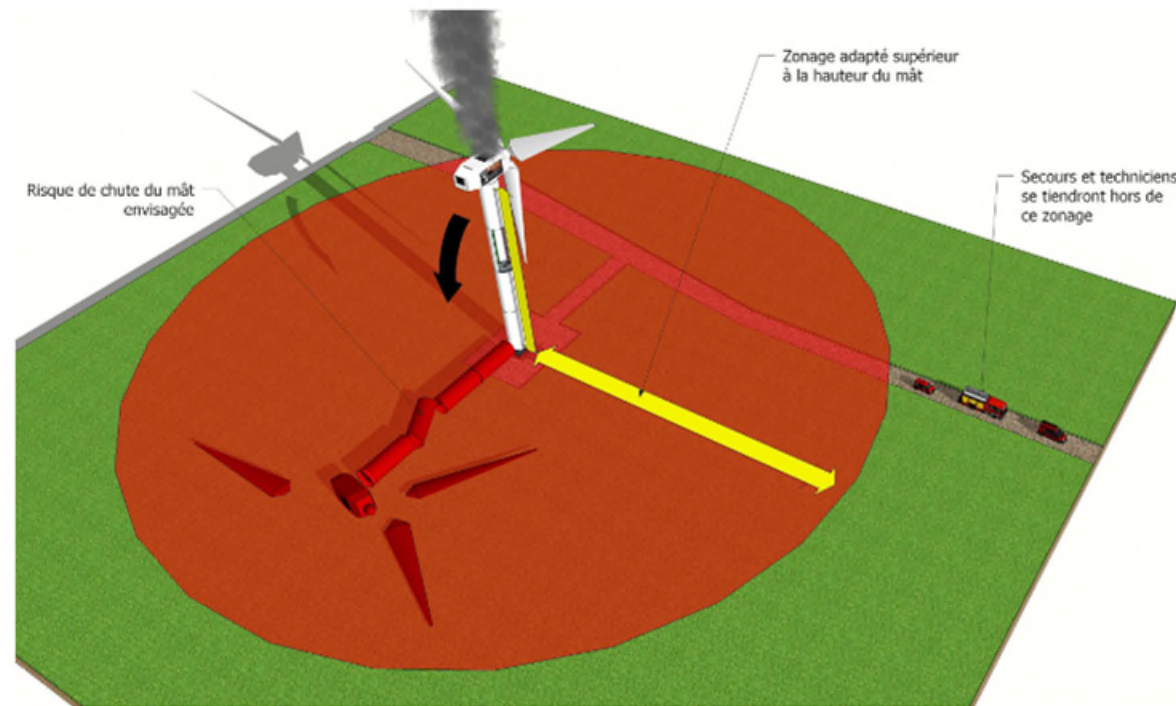


Figure 14 : Exemple de périmètre de sécurité autour d'une éolienne (Source : Bureau de la doctrine de la formation et des équipements – Intervention dans les éoliennes, janvier 2019)

En cas d'incendie, la mise en sécurité électrique, pourra être demandée au centre d'exploitation qui sera l'interlocuteur privilégié des secours.

Dans tous les cas, le maître d'ouvrage s'engage à mettre en place tous les dispositifs de lutte anti-incendie qui permettront de limiter au maximum ce risque. A noter que pour le parc éolien de Maxent, en service depuis 2012, les services du SDIS n'ont émis aucune demande spécifique en lien avec les boisements à proximité des éoliennes.

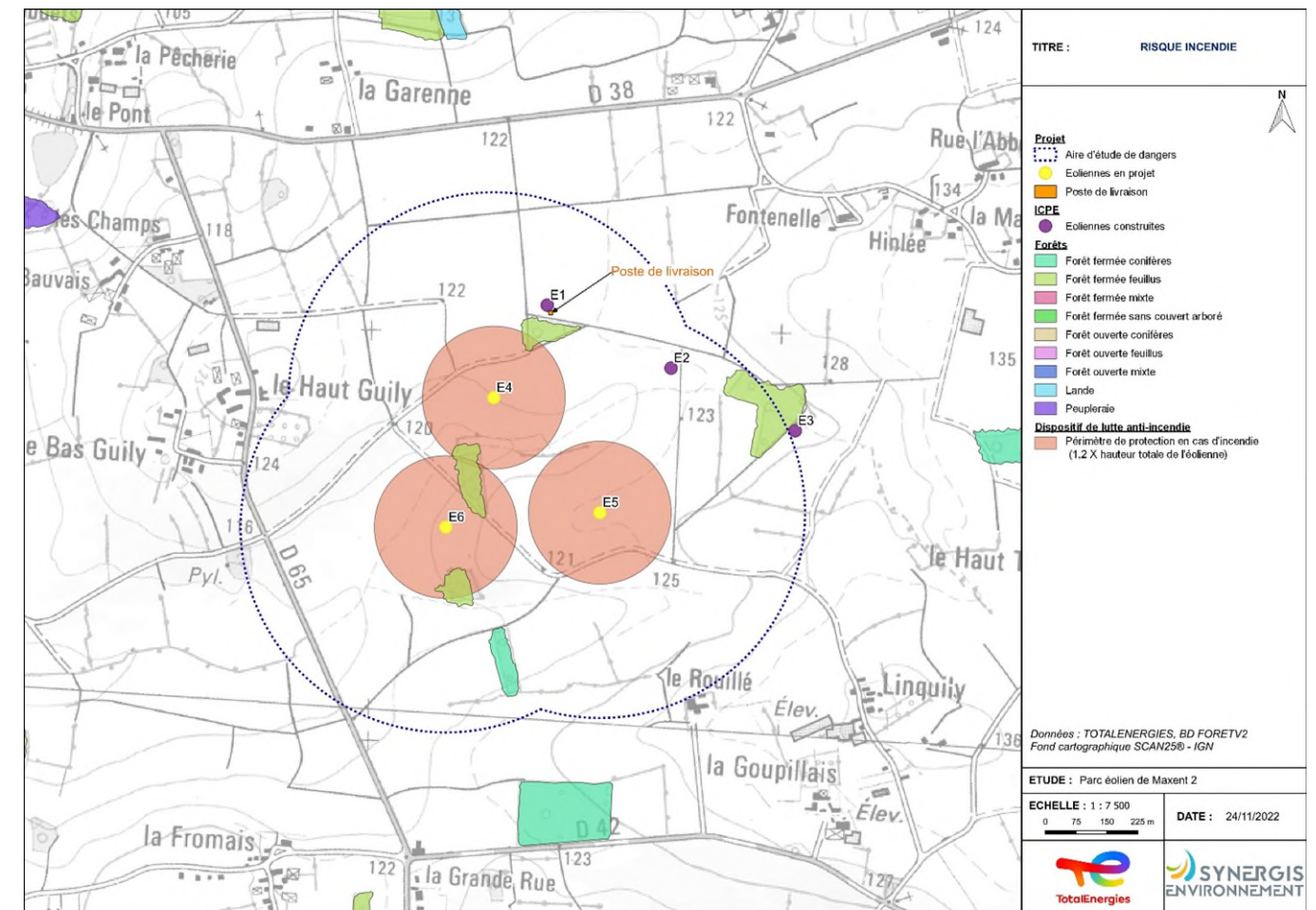


Figure 15 : Périmètre de protection de lutte-anti-incendie appliqué aux éoliennes de Maxent 2

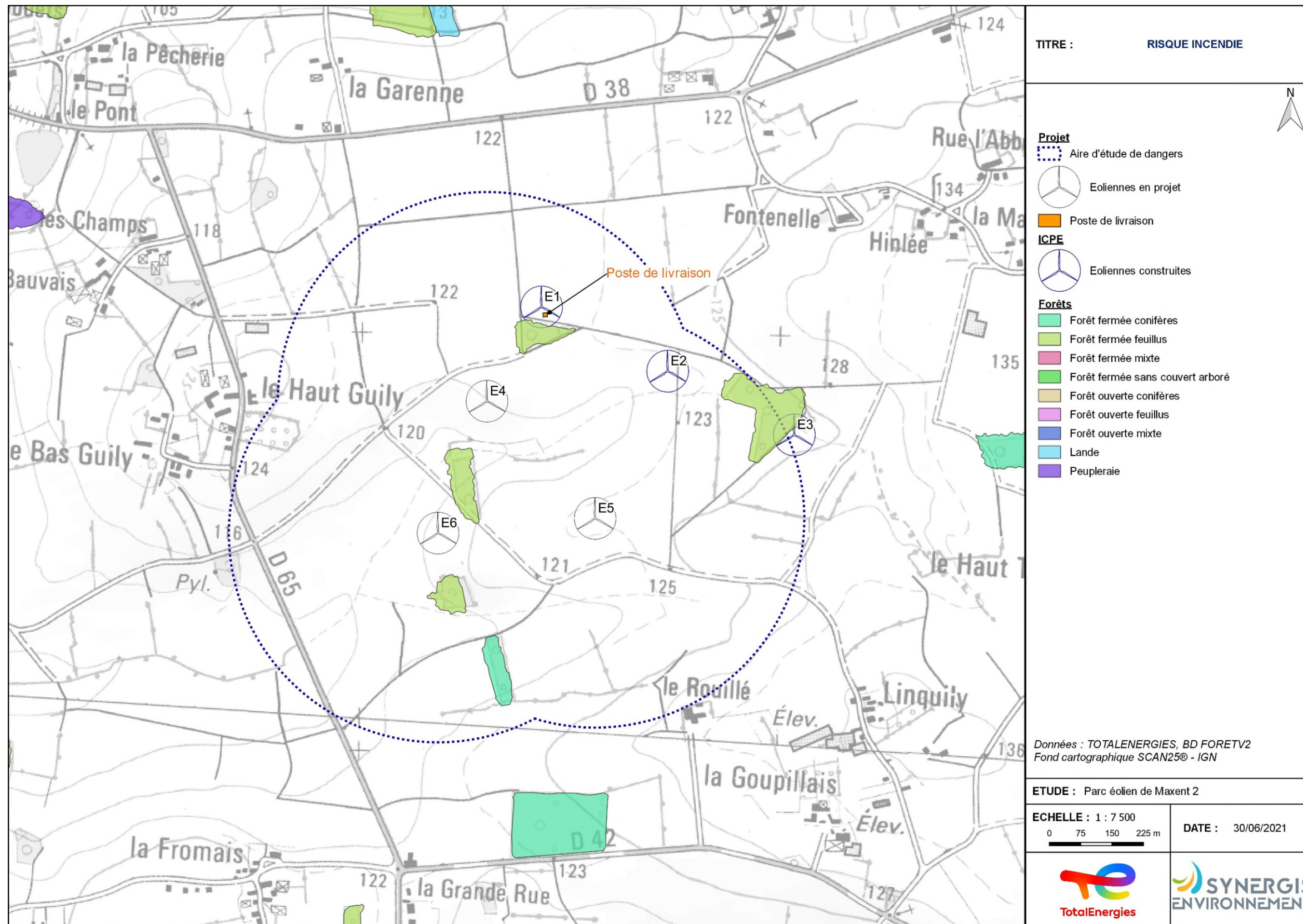


Figure 16 : Forêts et risque incendie

III.1.2.6 *Inondations – remontées de nappes*

Selon la base de données de géorisques, <http://www.georisques.gouv.fr/> la commune de Maxent n'est pas concernée par le risque inondation.

Au droit de l'aire d'étude de dangers, aucun zonage de type Territoire à Risques importants d'Inondation (TRI), Atlas des zones inondables (AZI) ou Plan de Prévention de n'a été identifié.

Enfin, concernant le risque par remontée de nappes, le BRGM a fourni en 2018 une mise à jour de la cartographie de l'EAIPrn (Enveloppe Approchée des Inondations Potentielles par remontée de nappe). A cause d'une interpolation faite à une grande échelle, la carte présentée ci-après n'est exploitable qu'à une échelle inférieure au 1 / 100 000ème.

Sont décrites :

- Les « zones potentiellement sujettes aux débordements de nappe » : lorsque la différence entre la cote altimétrique du MNT et la cote du niveau maximal interpolée est négative ;
- Les « zones potentiellement sujettes aux inondations de cave » : lorsque la différence entre la cote altimétrique du MNT et la cote du niveau maximal interpolée est comprise entre 0 et 5 m ;
- Les zones « pas de débordement de nappe ni d'inondation de cave » : lorsque la différence entre la cote altimétrique du MNT et la cote du niveau maximal interpolée est supérieure à 5 m.

Un masque peut être surimposé sur les secteurs complexes évoqués ci-dessus pour permettre une bonne interprétation : zones karstiques, urbaines, liées aux inondations dues aux phénomènes superficiels, où une nappe imperméable ne permet pas au phénomène de remontée de nappe de se produire.

Une grande partie de l'aire d'étude de dangers n'est pas concernée par le risque d'inondation par remontée de nappes. Seul le quart sud-ouest de l'aire d'étude de dangers est potentiellement sujet aux inondations de cave et sur une surface plus restreinte, serait sujette aux débordements de nappes. Ces secteurs ainsi identifiés se trouvent au niveau des cours d'eau. Néanmoins, le risque d'inondation par remontée de nappes n'est pas de nature à remettre en cause le projet éolien Maxent 2 car les données mises à disposition par le BRGM n'indiquent qu'un niveau d'aléa et non un niveau de risque. Une étude géotechnique (mission G1) a été réalisée par le cabinet ICSEO, et permet d'apporter quelques précisions.

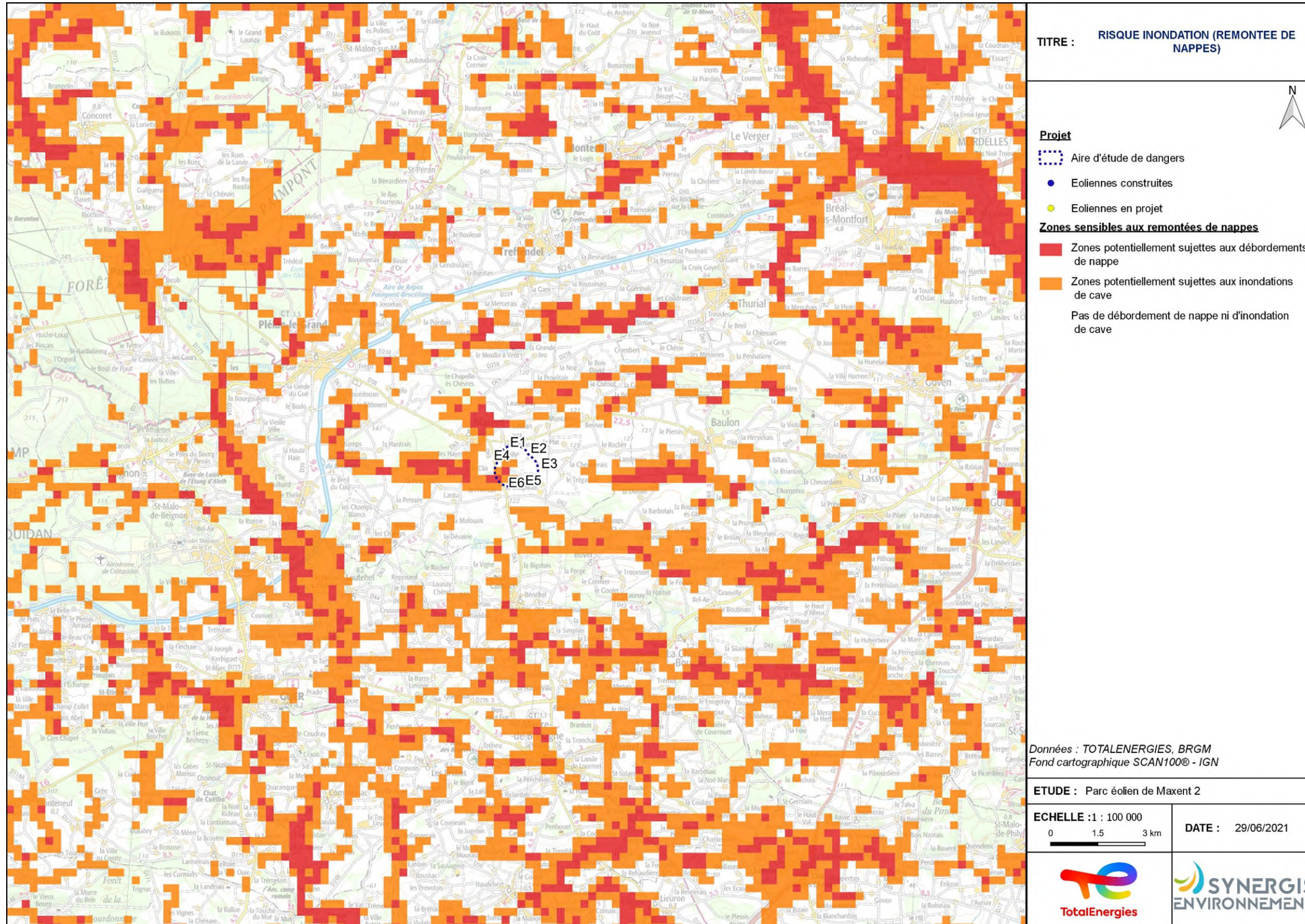


Figure 17 : Risque inondation (remontée de nappes)

III.1.2.6.1 Etude géotechnique préalable G1

L'étude géotechnique préalable G1 comprend :

- **Phase Etude de Site (ES)**
 - Spécificité géotechnique du site
- **Phase Principe Généraux de Construction (PGC)**
 - avis géotechnique sur les fondations ;
 - avis géotechnique sur les terrassements ;
 - avis géotechnique sur la mise hors eau ;
 - avis géotechnique sur les voiries ;
 - les sujétions d'exécution, etc.

III.1.2.6.1.1 Reconnaissance

- **Géologie prévisionnelle**

D'après la carte géologique de GUER au 1/50 000, il est attendu de rencontrer la succession suivante :

- - Dépôts de versant : Colluvions de fond de vallon (Holocène à actuel) ;
- - Formation d'altération du substratum sous-jacent ;
- - Substratum de grès quartzeux armoricain +/- altéré de l'Arénig moyen.

Le substratum gréseux présente des secteurs profondément altérés suivant la fracturation. La présence de pointements rocheux ou au contraire de poches profondément altérées est à craindre. Compte- tenu de la nature du substratum, il est à craindre également de rencontrer des bancs de grès durs et abrasifs.

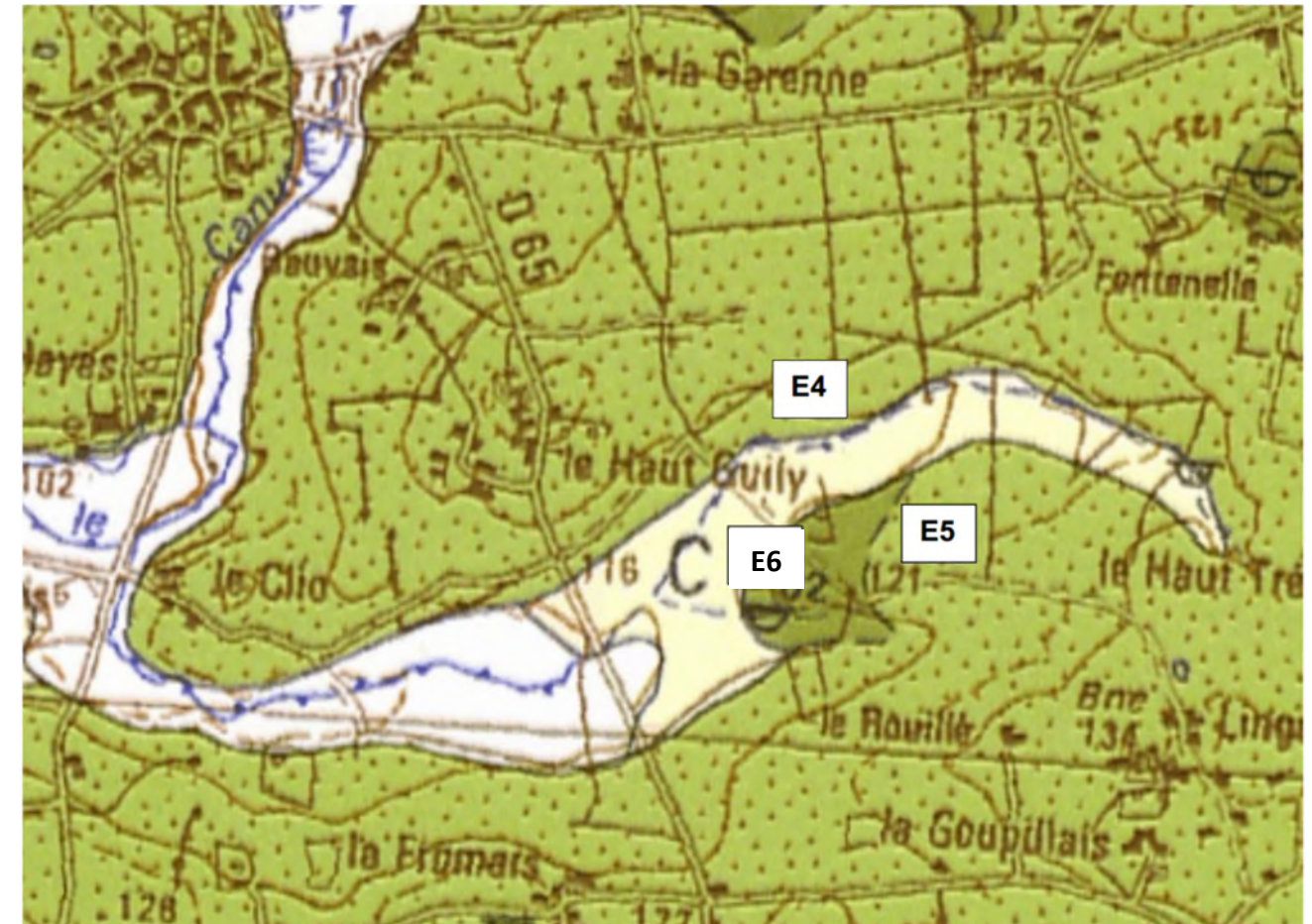


Figure 18 : Extrait de la carte géologique du GUER au 1 / 50 000

- **Risque d'inondation**

D'après les sites georisque.gouv.fr et infoterre.brgm.fr, aucune cartographie relative à l'inondabilité de la commune de MAXENT (35) n'est disponible.

L'examen de la ZIG (Zone d'Influence Géotechnique)² a permis de déterminer la présence d'un cours d'eau traversant le site et un autre au sud du site. Au vu de la topographie relevée sur le site géoportail, il est possible que l'assises des fondations puissent rencontrer un niveau d'eau, surtout pour l'éolienne E5.

² La zone d'Influence Géotechnique se définit par le volume de terrain au sein duquel il y a interaction entre d'une part l'ouvrage ou l'aménagement de terrain (du fait de sa réalisation et de son exploitation) et d'autre part, l'environnement (sols, ouvrages, aménagements de

terrains ou biens environnants). La forme et l'extension de cette zone d'influence géotechnique sont spécifiques à chaque site et à chaque ouvrage ou aménagement de terrain. Elle n'est pas limitée à la parcelle étudiée.

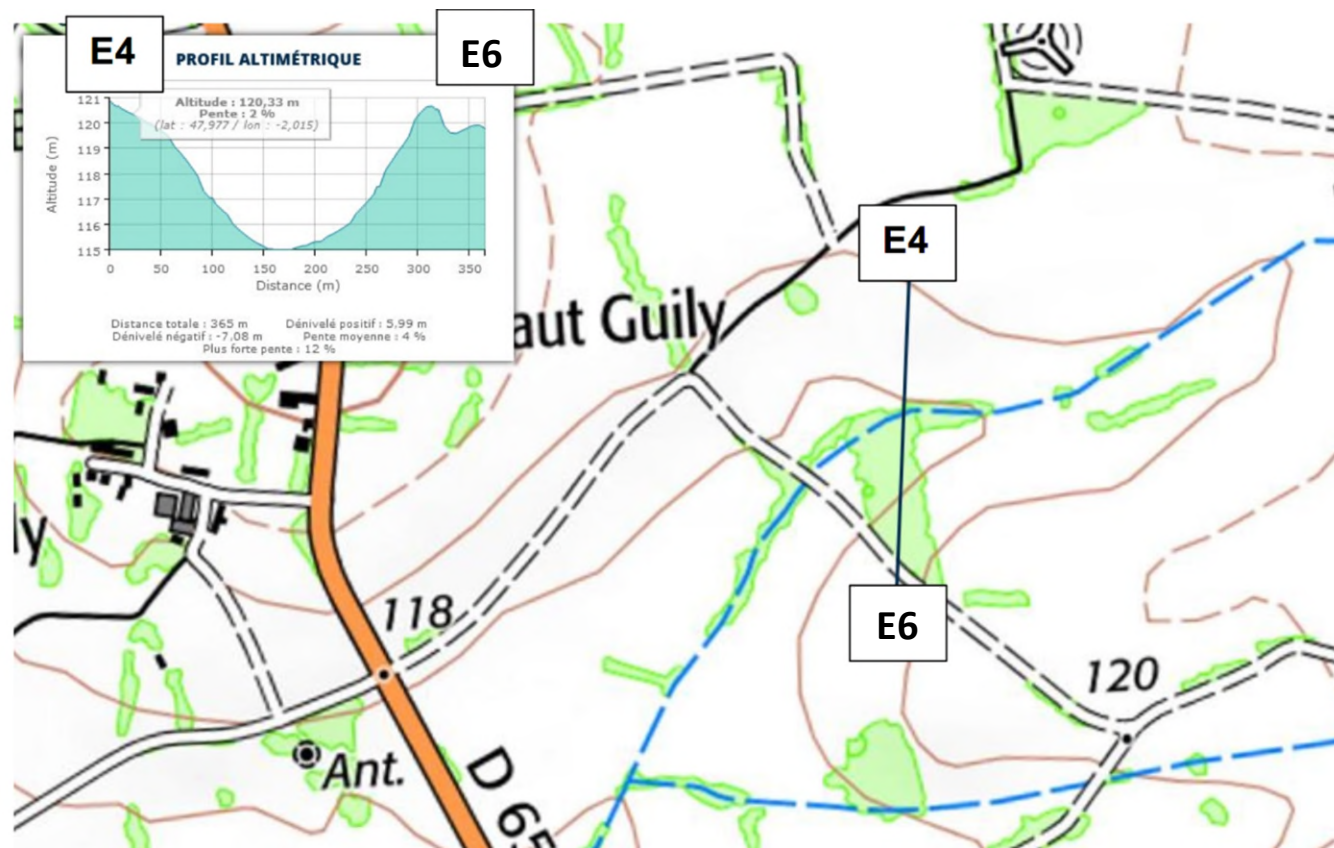


Figure 19 : Analyse de la topographie entre E4 et E6

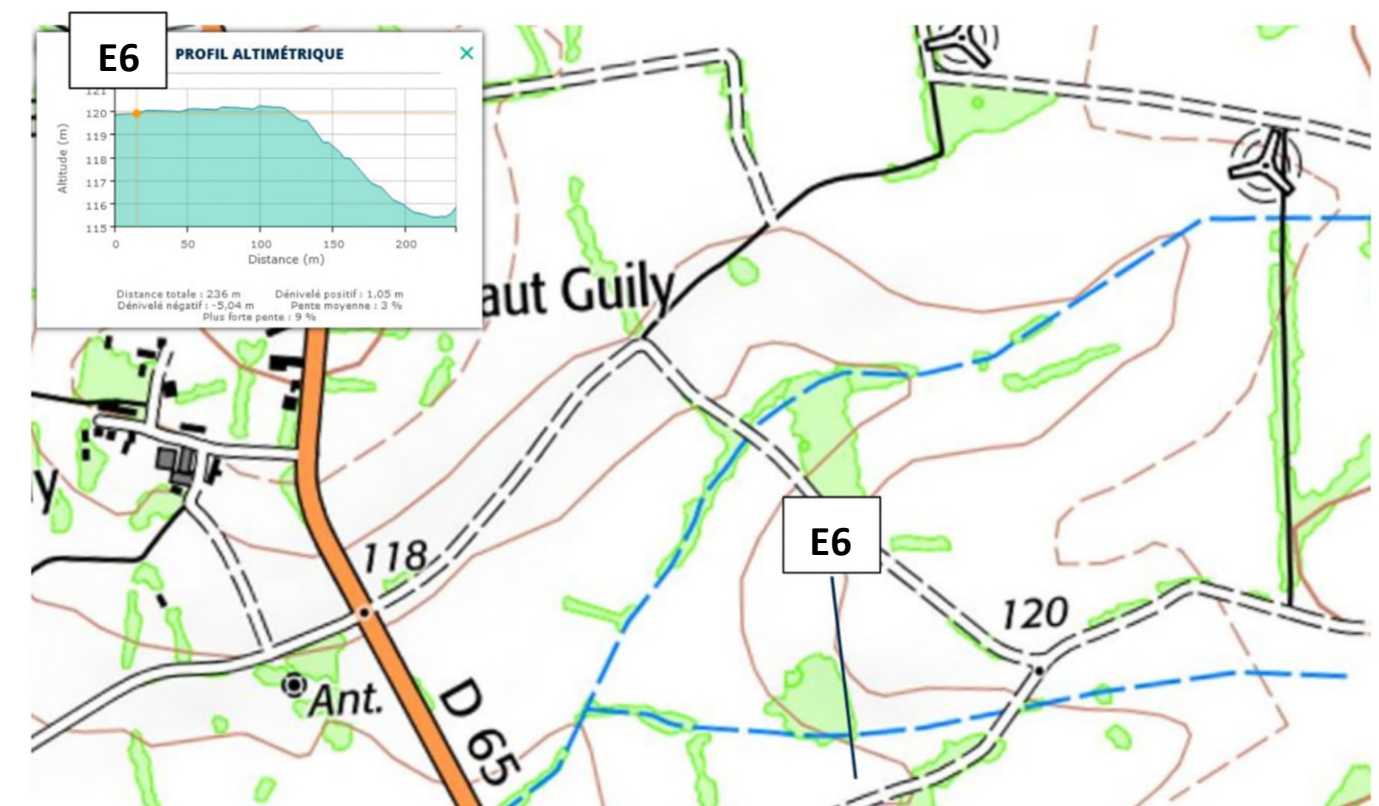


Figure 20 : Analyse de la topographie entre l'éolienne E6 et le cours d'eau le plus proche

D'après la carte et la coupe IGN, les éoliennes E4 et E6 (situées environ à 200 m du ruisseau centre), sont situées entre 5 et 6 m au-dessus du fond de talweg.

D'après la carte et la coupe IGN, l'éolienne E6 (située environ à 200 m du ruisseau sud), est située environ 4,50 m au-dessus du fond de talweg.

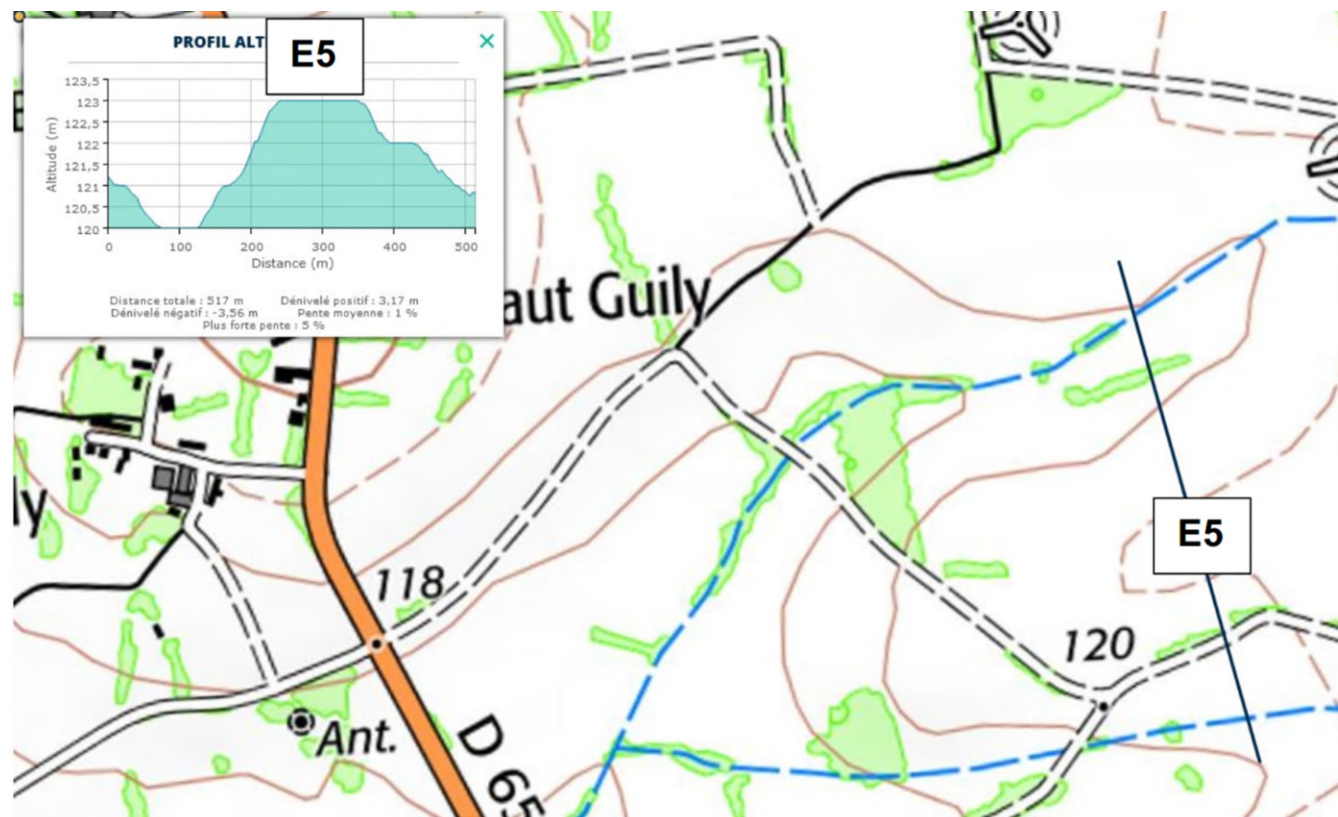


Figure 21 : Analyse de la topographie entre l'éolienne E5 et les cours d'eau les plus proches

D'après la carte et la coupe IGN, l'éolienne E5 (située environ à 220 m du ruisseau centre et 180 m du ruisseau sud), est située entre 2 et 3 m au-dessus du fond des talwegs centre et sud.

■ Exposition des argiles au phénomène de retrait-gonflement

D'après le site internet du ministère de la Transition Ecologique et Solidaire <http://www.georisques.gouv.fr/>, et le site infoterre, le site étudié sur la commune de MAXENT (35) est faiblement exposé au phénomène de retrait-gonflement. Voir Figure 11 : Carte de l'aléa retrait-gonflement des argiles, page 14.

■ Cavités souterraines, carrières, exploitations

D'après le site internet du Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire <http://www.georisques.gouv.fr/>, la commune de MAXENT (35) ne fait l'objet ni d'un PPRN Cavités souterraines ni d'un PPRN Mouvements de Terrain. Notons que d'après le site Géorisques, il n'a pas été relevé de mouvements de terrain (éboulement, effondrement...) dans un rayon de 500 m autour du site de l'étude.

■ Risque sismique

Le territoire de la commune de MAXENT (35) est situé en zone de sismicité 2 (aléa faible) d'après le décret du 22 octobre 2010. Voir Figure 9 : Zonage sismique de la France (Source : BRGM), page 613.

III.1.2.6.1.2 Avis géotechnique sur les fondations

Compte tenu des caractéristiques techniques du projet et des éléments mis en évidence lors de recherches bibliographiques, il est possible d'envisager les systèmes de fondation suivants :

=> **Cas n°1** : en cas de grès pas ou peu altéré au niveau de l'assise de l'éolienne (à environ 3 m de profondeur), il sera possible de fonder le Projet par l'intermédiaire d'un massif.

=> **Cas n°2** : en cas de colluvions et/ou de grès trop altéré au droit de l'assise des fondations, il sera possible, soit de réaliser des massifs seulement si le niveau de portance est suffisant, soit des fondations spéciales, soit des massifs sur renforcement de sol.

A la lecture des cartes géologiques et de la position des éoliennes sur ces cartes, on peut, en première approche, envisager :

- Pour E4 => probablement le cas n°1 ;
- Pour E5 => probablement le cas n°1 ;
- Pour E6 => probablement le cas n°2.

Il ne s'agit là que d'une tendance avec les données bibliographiques disponibles et reprises dans ce rapport. Il sera absolument nécessaire de confirmer la nature et la portance réelle des sols au droit des éoliennes par la réalisation de sondages dans le cadre de la mission G2 AVP.

III.1.2.6.1.3 Avis technique sur les terrassements

L'extraction des colluvions pourra probablement être réalisée par les moyens traditionnels. Ceci sera à confirmer lors de la mission G2 AVP. La tenue des parois de terrassement dans ces matériaux sera en revanche plus précaire. Il sera aussi possible de rencontrer quelques blocs épars.

En revanche, l'utilisation de matériels d'extraction de forte puissance et de moyens spécifiques (BRH, dent de déroctage par exemple...) pourra être nécessaire dans les grès altérés avec localement des pointements ou des blocs rocheux.

Dans les grès sains, il sera indispensable d'utiliser des moyens lourds et puissants (BRH, dent de déroctage, minage...) pour leur extraction.

Lors de la mission G2 AVP, il devra être réalisé des fouilles à la pelle mécanique, sur chaque site, afin de définir concrètement ce qu'il en est réellement.

Des dispositions spécifiques devront être prises pour assurer la mise au sec du fond de fouille (drainage, fossé, pompage, etc...), ainsi que la stabilité des talus provisoires (soutènement, pente des talus).

III.1.2.6.1.4 Avis géotechnique sur la mise hors d'eau

Deux secteurs avec des contraintes sont à prendre à compte :

Pour le secteur concernant les éoliennes E4 et E6, dont l'assise est bien plus haute que le niveau des ruisseaux, on pourra être amené à rencontrer des circulations de versant. Ces circulations nécessiteront la mise en place d'un pompage provisoire pour assécher les fouilles. Ces circulations ne sont ni prévisibles, ni quantifiables (en termes de débit) à ce stade. Toutefois, ces débits devraient être assez modestes.

Les niveaux d'eau dans le terrain seront mesurés lors des sondages de la mission G2 AVP. Ceux-ci confirmeront le risque d'interaction ou non d'un niveau d'eau avec la base des fondations de l'ouvrage. Ces circulations, si elles existent, sont toujours difficiles à mettre en évidence car, pour avoir une idée correcte des volumes, il faut que l'implantation d'un des sondages se fasse exactement sur une de ces circulations au moment où elle présente un débit représentatif. On comprend alors le caractère aléatoire de cette « prédiction ».

Pour le secteur concernant l'éolienne E5, en fond de vallée, on aura un petit aquifère pas très puissant mais en relation avec les ruisseaux. Même dans le cas où les volumes d'eau seraient limités, l'eau serait présente en

permanence, nécessitant ainsi de maintenir un dispositif de pompage, voire de rabattement durant toute la phase des travaux. La présence d'une nappe pose, aussi, des contraintes de terrassements car la tenue des pentes de talus se dégradera. Pour cette éolienne, il pourrait être intéressant de mettre en place un piézomètre avec suivi de celui-ci.

Les travaux seront préférentiellement réalisés en période de basses-eaux de la nappe.

Il est à noter que les travaux et essais de pompage, mêmes temporaires, **sont soumis à des procédures administratives (déclaration ou autorisation), en application des articles L.214-1 et suivants du Code de l'Environnement.** A l'issue de l'étude géotechnique G2 AVP, le maître d'ouvrage s'engage à réaliser toutes les procédures administratives nécessaires, si des pompages devaient être réalisés pendant la phase de travaux.

III.1.2.6.1.5 *Suite des missions : mission G2 AVP*

Ce rapport correspond à la mission G1 (étude géotechnique préalable) qui nous a été confiée pour cette affaire d'après des recherches documentaires et bibliographiques.

Rappelons que les conclusions de ce rapport ne pourront être confirmées que par la réalisation de sondages lors d'une mission G2 AVP.

Selon l'enchaînement des missions géotechniques au sens de la norme NFP 94-500, le présent rapport devra être suivi de la mission G2 AVP (étude géotechnique de conception – phase Avant-Projet).

Tableau 5 : Synthèse des distances aux ICPE

Type	Lieu	Rubrique	Statut	Régime	Activité	Distance aux éoliennes
Eolienne E1	Maxent	2980	En activité	Autorisation	Energie	261 m entre E1 et E4
Eolienne E2	Maxent	2980	En activité	Autorisation	Energie	393 m entre E2 et E5

Conformément à l'arrêté du 22 juin 2020 [9], toutes les éoliennes du projet de Maxent 2 se trouvent à plus de 300 m des ICPE relevant de l'article L515-32 du code de l'environnement.

Rappel réglementaire :
Article L515-32

« I - La présente section s'applique aux installations, dont la liste est fixée par décret en Conseil d'Etat, dans lesquelles des substances, préparations ou mélanges dangereux sont présents dans des quantités telles qu'ils peuvent être à l'origine d'accidents majeurs. »

Les éoliennes ne rentrent pas dans cette catégorie

III.2 Environnement humain

III.2.1 Zones urbanisées

L'étude de dangers s'intéresse aux populations situées dans la zone sur laquelle porte l'étude, et à proximité.

Le périmètre d'étude concerne la commune de Maxent.

La loi du 12 juillet 2010, dite loi « Grenelle II », complétée par l'arrêté du 26 août 2011 puis modifié par l'arrêté du 22 juin 2020, impose aux parcs éoliens un éloignement minimal de 500 m de toute habitation ou zone destinée à l'habitat.

S'agissant du projet éolien de Maxent 2, l'éolienne la plus proche d'une habitation (E5) en est éloignée de 520 m. Le périmètre de l'étude de dangers n'est par ailleurs concerné par **aucun bureau, ni aucun bâtiment agricole**.

Le tableau ci-après présente les distances minimales entre les éoliennes du projet de Maxent 2 et une habitation isolée, un village et une zone urbanisable (au sens du droit de l'urbanisme).

Tableau 4 : Synthèse des distances aux habitations et zones urbanisées

Type environnement humain	Nom du lieu habité et distance à l'éolienne la plus proche
Habitation isolée la plus proche	Le Rouillé à 520 m de E5
Hameau le plus proche	Le Haut Guily à 535 m de E6
Bourg le plus proche	Maxent à 1278 m de E4
Zones urbanisables les plus proches	Maxent zone 1AU à 1368 m de E4 Maxent zone U à 1278 m de E4

La carte de l'environnement humain localise les habitations proches du projet.

III.2.2 Etablissements recevant du public (ERP)

Au sein de l'aire d'étude de dangers, il n'existe aucun établissement recevant du public.

III.2.3 Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)

Il existe deux installations classées pour la protection de l'environnement au sein de l'aire d'étude de dangers il s'agit de deux éoliennes appartenant au parc éolien de Maxent, actuellement en fonctionnement.

III.2.4 Tourisme et autres activités

À proximité de l'aire d'étude de dangers, la valorisation du territoire s'est orientée principalement vers le tourisme vert par une offre de sentiers pédestres, cyclables et équestres qui s'articulent autour de boisements et de cours d'eau. La forêt de Brocéliande ou de Paimpont se trouve à proximité de Maxent et constitue un pôle d'attractivité lié au folklore et aux légendes locales.

Plusieurs itinéraires de petite randonnée traversent la commune de Maxent. L'aire d'étude de dangers quant à elle n'est traversée par aucun de ces parcours.

L'offre d'hébergement est assez bien fournie, au moins trois gîtes sont répertoriés sur la commune. Ce sont majoritairement des habitations dans le bourg ou les hameaux avoisinants. Aucun de ces hébergements ne se trouve dans l'aire d'étude de dangers.

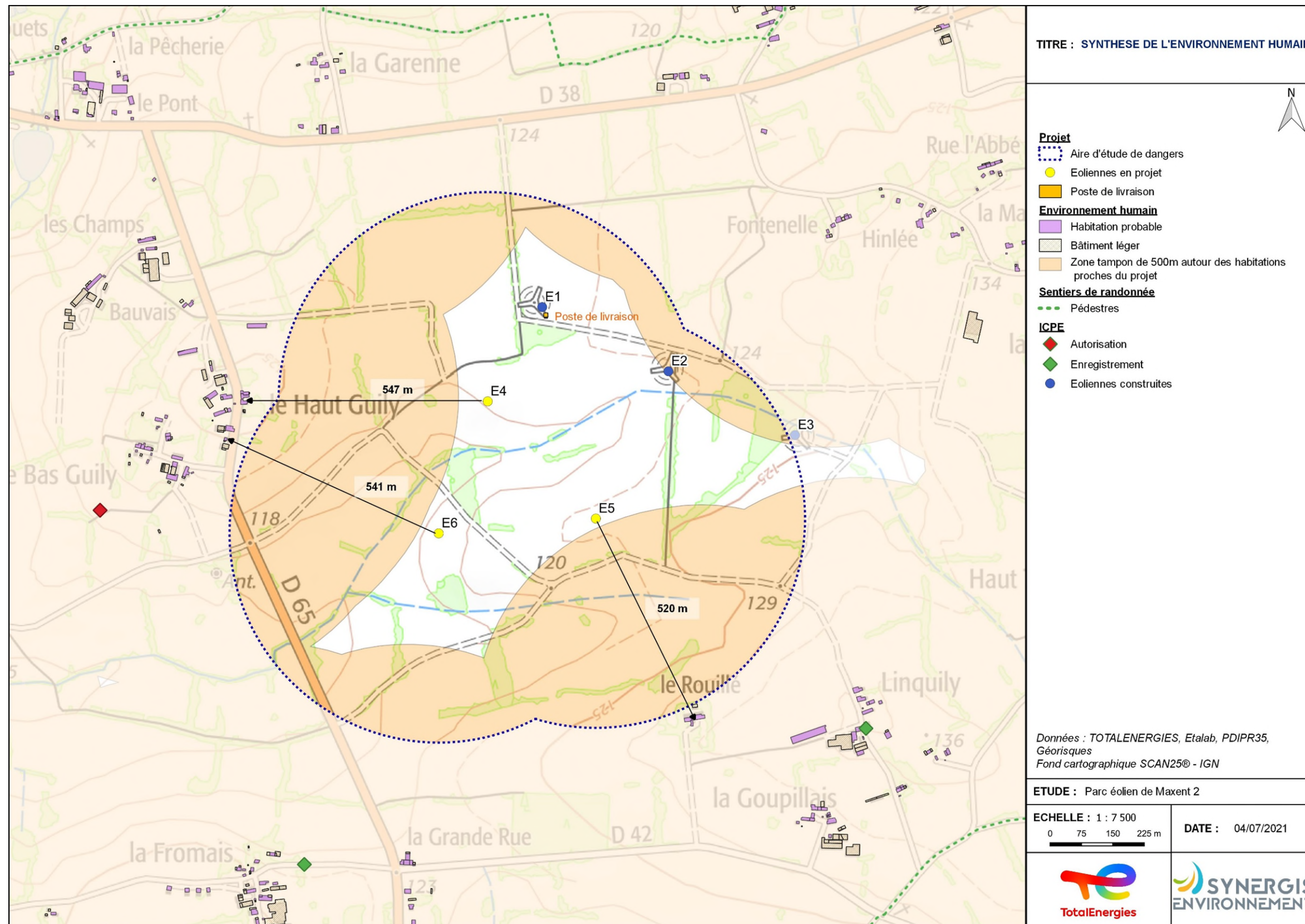


Figure 22 : Synthèse de l'environnement humain

III.3 Environnement matériel

III.3.1 Voies de communication

III.3.1.1 Transport routier

On retrouve au sein de l'aire d'étude de dangers :

- le réseau routier départemental matérialisé par la RD 65 ;
- le réseau communal qui dessert les hameaux isolés autour de l'aire d'étude ;
- des chemins ruraux qui desservent les parcelles agricoles

Le Conseil Départemental d'Ille-et-Vilaine, gestionnaire du réseau routier départemental, préconise un éloignement des éoliennes par rapport aux routes départementales, au moins égal à une hauteur de mât + une longueur de pale, soit dans le cas du projet de Maxent 2, de **145 m par rapport à la RD 65**.

III.3.1.2 Transport ferroviaire

L'aire d'étude de dangers ne comporte pas de voie ferrée.

III.3.1.3 Transport fluvial

Aucune voie navigable ne traverse l'aire d'étude de dangers.

III.3.1.4 Transport aérien

Concernant le transport aérien, l'aire d'étude de dangers se trouve en dehors de zone militaire aérienne réglementée. Toutefois, les services de l'Armée de l'air n'ont pas encore formulé de réponse quant à la possibilité d'implanter un parc éolien sur ce secteur. Ils seront dans tous les cas consultés pendant l'instruction.

L'aire d'étude de dangers se situe en dehors de toute servitude d'utilité publique gérée par les services de la DGAC. Ces derniers ont émis un avis favorable en mars 2019.

III.3.1.5 Transport d'électricité

Aucune ligne électrique aérienne exploitée par RTE ne traverse l'aire d'étude de dangers.

En revanche, des lignes exploitées par ENEDIS sont présentes au sein de l'aire d'étude de dangers. On recense :

- Un réseau souterrain HTA (20 000 volts) au nord de l'aire d'étude de dangers. Il assure la liaison électrique du parc éolien de Maxent, actuellement en fonctionnement, vers le poste source.

Il est ici fait état de l'environnement actuel à proximité des installations prévues. Il faut noter que le pétitionnaire a prévu, en partenariat avec le gestionnaire de réseau électrique ENEDIS, d'enterrer la ligne électrique qui assurera l'évacuation de l'électricité produite par le parc éolien de Maxent 2.

III.3.2 Réseaux publics et privés

III.3.2.1 Canalisation de transport

L'aire d'étude de dangers n'est concernée par aucune canalisation de gaz ni aucun oléoduc.

III.3.2.2 Liaisons téléphoniques

Une artère téléphonique aérienne gérée par Orange longe la RD 65 (du côté du projet). Celle-ci se trouve à 390 m à l'ouest de l'éolienne E6.

III.3.2.3 Réseau d'assainissement

L'aire d'étude n'est pas concernée par un réseau d'assainissement.

III.3.2.4 Réseau d'alimentation en eau potable

Il existe un réseau d'eau potable exploité par la société SAUR GRAND OUEST et ILLE-ET-VILAINE qui longe la RD 65. Ce réseau se trouve à 390 m environ, à l'ouest de l'éolienne E6.

III.3.3 Autres ouvrages publics

Aucun autre ouvrage public (exemple : barrages, digues, château d'eau, bassins de rétention) n'est présent sur l'aire d'étude de dangers.

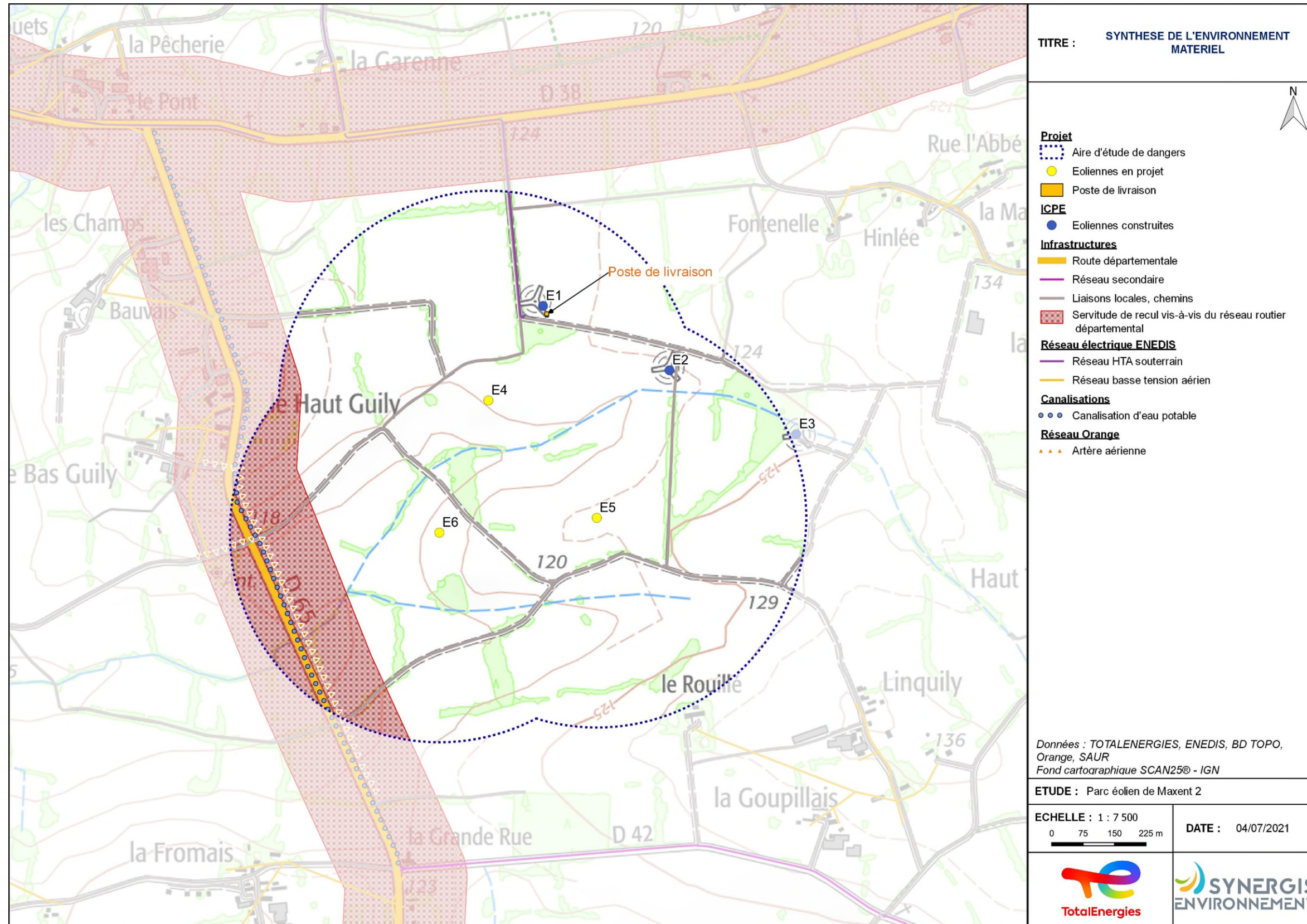


Figure 23 : Synthèse de l'environnement matériel

III.4 Cartographie de synthèse

Finalement, les enjeux humains identifiés dans le périmètre de l'aire d'étude de dangers sont :

- Des personnes non abrités (promeneurs, cyclistes, exploitants agricoles ou forestiers) présentes dans un rayon de 500 mètres des éoliennes
- Des personnes abritées dans un véhicule susceptible d'emprunter les chemins ruraux ou les routes départementales traversant l'aire d'étude de dangers.

La détermination du nombre de personnes (enjeux humains en équivalent personnes permanentes-epp) exposées dans le périmètre de l'étude de dangers est basée sur la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques de comptage applicables aux études de dangers (fiche n°1 de la circulaire). Ont été distingués :

- Les terrains non-aménagés et très peu fréquentés (exploitation agricole et forestière) avec l'hypothèse d'une personne permanente pour 100 ha.
- Les terrains aménagés mais peu fréquentés (poste de livraison du parc éolien de Maxent, en exploitation, ainsi que ses plateformes), avec l'hypothèse d'une personne permanente pour 10 ha.
- Les voies de circulation non structurantes (<2 000 véhicules/jour) avec l'hypothèse de 0,1 personne par hectare, en prenant des routes de 5 m de large pour les chemins ruraux et 7 m pour les routes départementales.

Pour chaque éolienne, par application des hypothèses de comptage mentionnées ci-dessus, la fréquentation du périmètre de l'aire d'étude de dangers (500 mètres) en « équivalent personnes permanentes » (epp) est la suivante :

Tableau 6 : Fréquentation du périmètre d'étude

Eoliennes	Terrains non aménagés et très peu fréquentés		Terrains aménagés et peu fréquentés		Chemins ruraux			Routes départementales			Total epp
	Surface (ha)	epp	Surface (ha)	epp	Longueur (m)	Surface (ha)	epp	Longueur (m)	Surface (ha)	epp	
E4	76.77	0.77	0.280	0.03	3300	1.485	0.15				0.95
E5	77.04	0.77	0.1717	0.02	2964	1.33	0.13				0.92
E6	77.07	0.77			2512	1.13	0.11	494	0.34	0.035	0.92

En conclusion de ce chapitre de l'étude de dangers, une cartographie de synthèse permet d'identifier géographiquement les enjeux humains et matériels à protéger dans la zone d'étude.

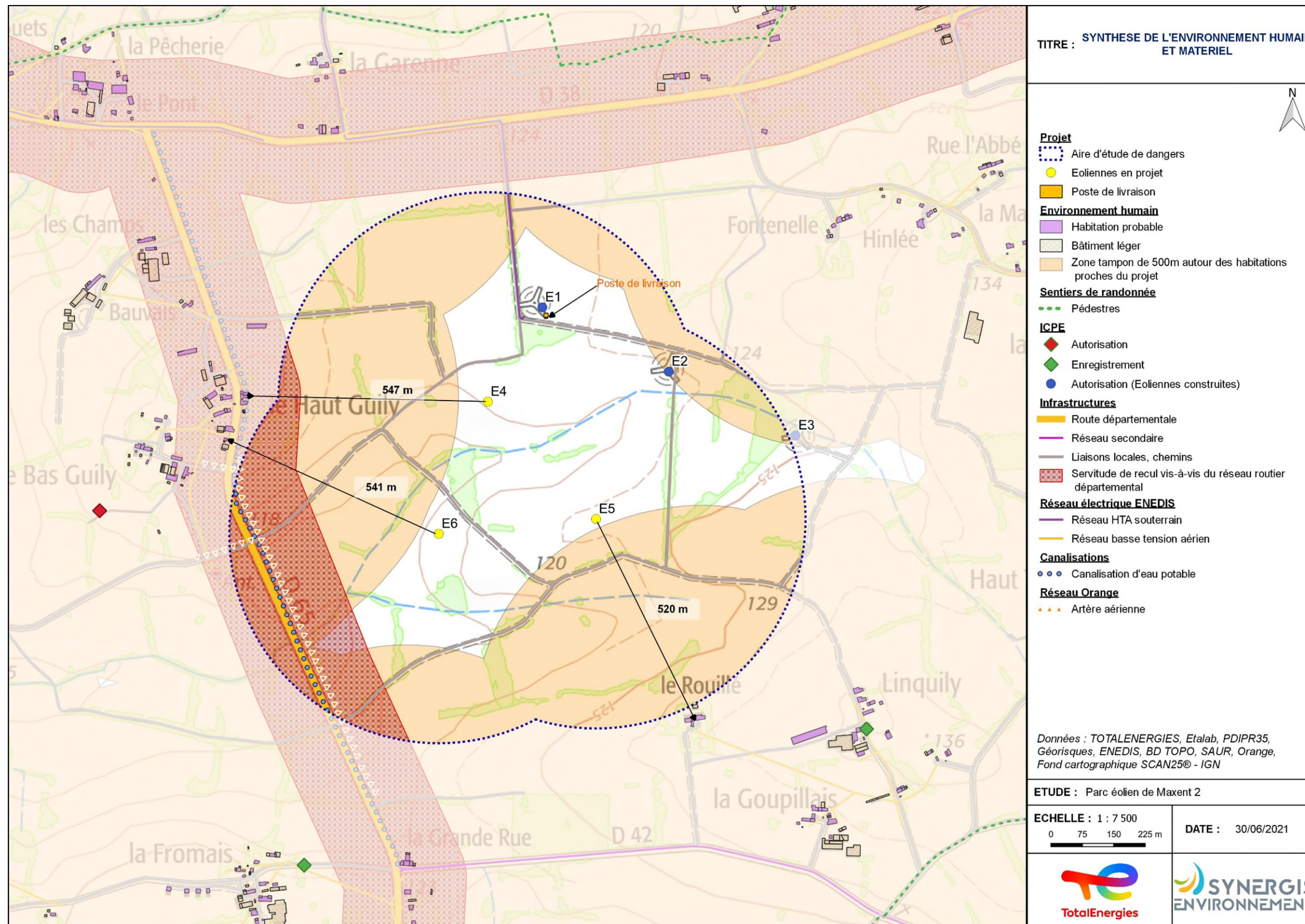


Figure 24 : Synthèse de l'environnement humain et matériel

IV. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

Ce chapitre a pour objectif de caractériser l'installation envisagée ainsi que son organisation et son fonctionnement, afin de permettre d'identifier les principaux potentiels de dangers qu'elle représente (chapitre 6), au regard notamment de la sensibilité de l'environnement décrit précédemment.

IV.1 Caractéristiques de l'installation

IV.1.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien

Un parc éolien est une centrale de production d'électricité à partir de l'énergie du vent.

Il est composé de plusieurs aérogénérateurs et de leurs annexes (cf. schéma du raccordement électrique) :

- 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 mesures de vent, aire d'accueil du public, aire de stationnement, etc.

Selon la réglementation, une installation soumise à la rubrique 2980 des Installations Classées correspond à un parc éolien exploité par un seul et même exploitant. Dans un souci de simplification, nous emploierons indifféremment les termes « parc éolien » ou « installation ».

IV.1.1.1 Éléments constitutifs d'un aérogénérateur

Au sens de l'arrêté du 22 juin 2020 portant modification des prescriptions relatives aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement, les aérogénérateurs (ou éoliennes) sont définis comme un dispositif mécanique destiné à convertir l'énergie du vent en électricité, composé des principaux éléments suivants : un mât, une nacelle, le rotor auquel sont fixées les pales, ainsi que le cas échéant, un transformateur.

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

- Le rotor qui est composé de trois pales (pour la grande majorité des éoliennes actuelles) construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu. Il se prolonge dans la nacelle pour constituer l'arbre lent.
- Le mât est généralement composé de 3 à 4 tronçons en acier ou de 15 à 20 anneaux de béton, surmontés d'un ou plusieurs tronçons en acier. Dans la plupart des éoliennes, il abrite le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique.
- La nacelle abrite plusieurs éléments fonctionnels :
 - Le générateur 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,
 - Le transformateur, si celui-ci n'est pas situé dans le mât.

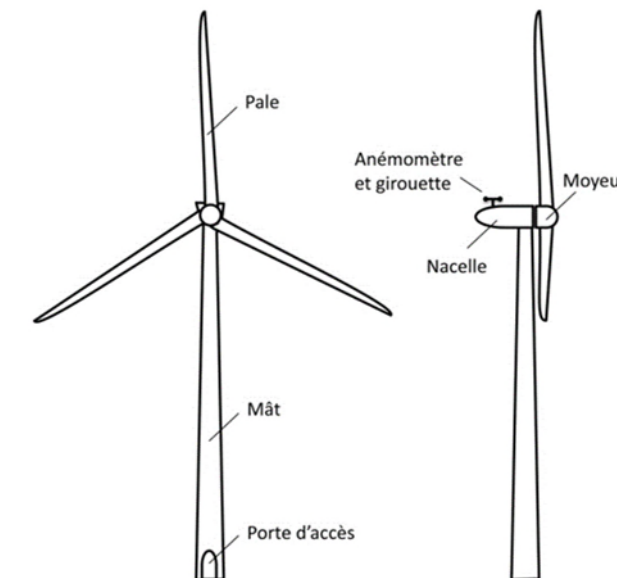


Figure 25 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

IV.1.1.2 Emprise au sol

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

- La surface de chantier est une surface temporaire, durant la phase de construction destinée aux manœuvres des engins et au stockage au sol des éléments constitutifs des éoliennes.
- La fondation de l'éolienne est recouverte de remblais. 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.

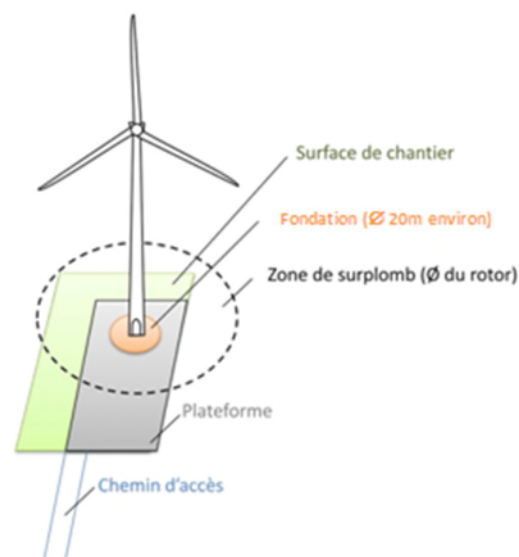


Figure 26 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne

IV.1.1.3 Chemins d'accès

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

- L'aménagement de ces accès concerne principalement les chemins ruraux ;
- Si nécessaire, de nouveaux chemins sont créés.

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

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

IV.1.1.4 Autres installations

Il existe déjà un parking au niveau du poste de livraison du parc éolien de Maxent (en exploitation). Un panneau pédagogique pourrait éventuellement être envisagé au sein de l'aire d'étude retenue.

IV.1.2 Activité de l'installation

L'activité principale du parc éolien de Maxent 2 est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur (mât + pale) de 145 m maximum. Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

IV.1.3 Composition de l'installation

Le parc éolien de Maxent 2 est composé de 3 aérogénérateurs et d'une structure de livraison. Le choix du modèle d'éolienne pressenti par le maître d'ouvrage serait une turbine VESTAS V100.

La présente étude est réalisée sur la base des valeurs fournies par le turbinier :

Tableau 7 : Caractéristiques principales de l'éolienne VESTAS V100

Eolienne	Puissance	Diamètre du rotor	Hauteur totale
Vestas V100	2 MW	100 m	145 m

Tableau 8 : Dimensions générales du projet

DIMENSIONS GENERALES DU PROJET	
Hauteur de mât	95 m
Diamètre du rotor	100 m
Longueur de pale	50 m

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

Tableau 9 : Les coordonnées géographiques des différents aérogénérateurs

Numéro de l'éolienne	Coordonnées en Lambert 93		Coordonnées en latitude longitude	
	X(m)	Y(m)		
E4	326114.099	6775933.072	47.976906°	-2.014433°
E5	326372.781	6775653.094	47.974539°	-2.010739°
E6	325997.23	6775617.827	47.974008°	-2.015728°
E7	326240.646	6776130.234	47.978749°	-2.012908°

Un plan détaillé de l'installation précisant l'emplacement des aérogénérateurs, de la structure de livraison, des plateformes, des chemins d'accès et des câbles électriques enterrés est présenté à la page suivante.

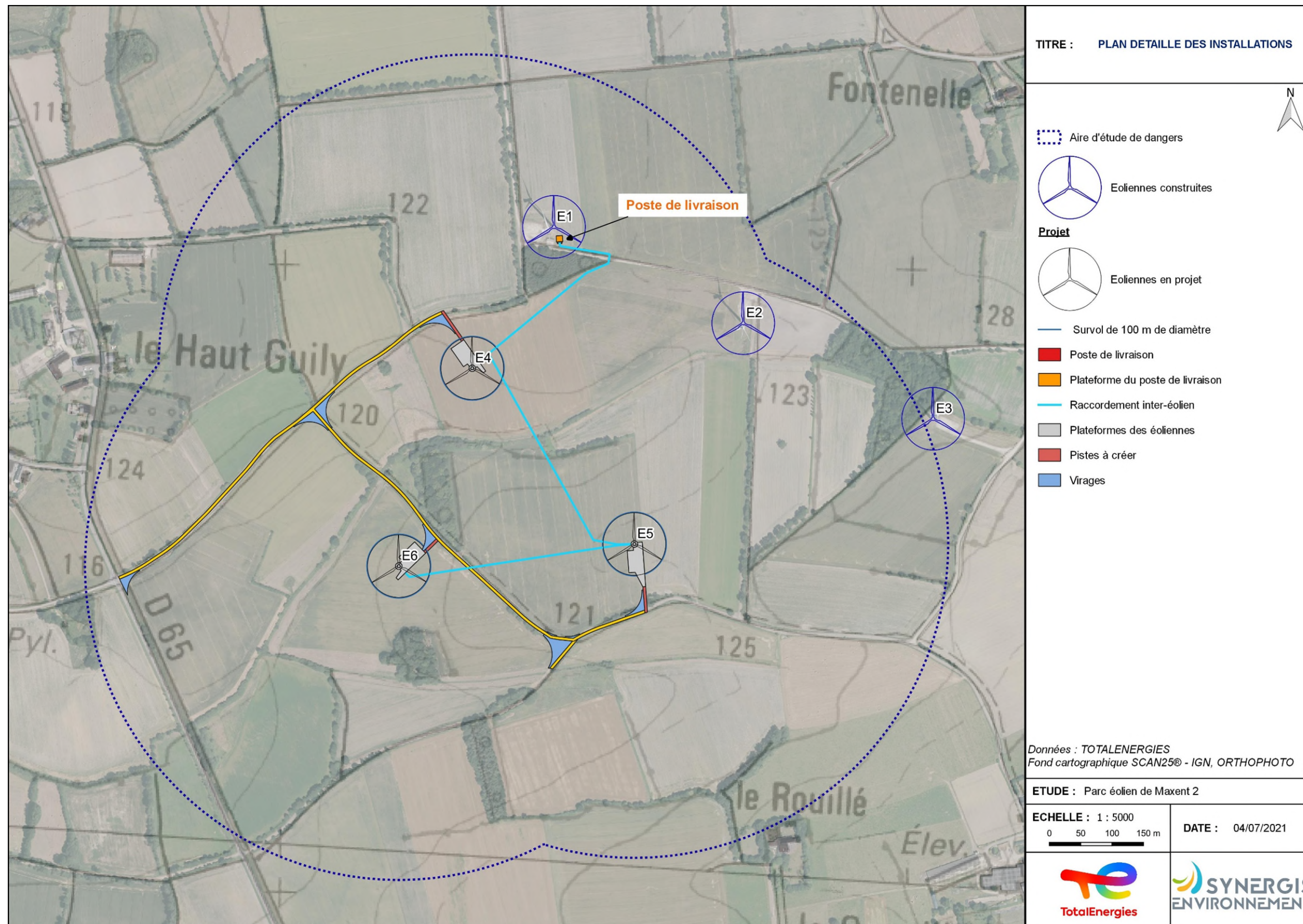


Figure 27 : Plan détaillé des installations

Tableau 10 : Les éléments d'un parc éolien

IV.2 Fonctionnement de l'installation

IV.2.1 Principe de fonctionnement des aérogénérateurs

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

Les pales se mettent en mouvement lorsque **l'anémomètre** (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 10 km/h et c'est seulement à partir de 15 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 MW par exemple, la production électrique atteint 2 000 kW dès que le vent atteint environ 50 km/h.

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

Lorsque la mesure de vent, indiquée par l'anémomètre, atteint des vitesses de plus de 90 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.

Le tableau ci-dessous permet de recenser tous les éléments présents dans un parc éolien avec leur fonction et caractéristiques propres :

Élément de l'installation	Fonction	Caractéristiques
Fondation	Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol	Massifs de fondation représentant environ 425 m ³ de béton armé sur une profondeur d'environ 5 m. L'étude géotechnique permettra de dimensionner précisément les fondations pour chaque éolienne.
Mât	Supporter la nacelle et le rotor	Mât en acier ou en béton de plusieurs tronçons. Hauteur totale maximale de 145 m et diamètre maximum de 4.5 m, de couleur blanc grisé (RAL 7035)
Nacelle	Supporter le rotor Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice, etc.) ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité	La nacelle abrite les composants suivants : <ul style="list-style-type: none"> ▪ Le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique ▪ Le multiplicateur (certaines technologies n'en utilisent pas) ▪ Le système de freinage mécanique ▪ Le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent pour une production optimale d'énergie ▪ Les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette) ▪ Le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique
Rotor / Pales	Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice	Rotor de 3 pales relié à la nacelle. La longueur d'une pale est de 50 m maximum (diamètre rotor 100 m maximum)
Transformateur	Élever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau	Les transformateurs moyenne-tension sont situés à l'intérieur de la structure de l'éolienne (nacelle ou mât)
Structure de livraisons	Disjoncteur général + compteurs d'énergie + supervision informatique	Un bâtiment préfabriqué aux dimensions de 22.5 m ² . Ce bâtiment peut être utilisé pour l'installation d'un poste de livraison normalisé EDF ou d'un circuit bouchon (filtre 175 Hz) ou encore d'un local d'exploitation et de maintenance.

IV.2.2 Sécurité de l'installation

L'ensemble des dispositions de l'arrêté ministériel en date du 22 juin 2020 seront respectées.

Ainsi s'agissant d'une installation classée ICPE, à l'intérieur de laquelle des travaux considérés comme « dangereux » ont lieu de façon périodique, l'exploitant s'assure de la conformité réglementaire de ses installations au regard de la sécurité des travailleurs et de l'environnement.

Il veille notamment au contrôle par un organisme indépendant du maintien en bon état des équipements électriques, des moyens de protection contre le feu, des protections individuelles et collectives contre les chutes de hauteur, des moyens de levage, des ascenseurs de personnes et des équipements sous pression.

Par ailleurs, conformément à la réglementation ICPE, un suivi environnemental est effectué périodiquement, l'entretien est réalisé selon une périodicité définie dans le manuel d'entretien des éoliennes et l'ensemble des déchets est enlevé, trié puis retraité. Les équipements de sécurité des éoliennes, tels que les systèmes de contrôle de survitesse, arrêt d'urgence ou la vérification du boulonnage des tours font l'objet de vérifications de maintenance particulières selon des protocoles définis par les constructeurs et suivi dans le cadre du système qualité de l'exploitant.

IV.2.3 Opérations de maintenance de l'installation

IV.2.3.1 Contexte réglementaire

Des cycles de maintenance préventive sont mis en place à un rythme défini en fonction de l'entrée en exploitation du parc éolien. La maintenance sera conforme aux termes de l'Arrêté du 22 juin 2020³ spécifiant que :

Art.12

« Avant la mise en service industrielle d'un aérogénérateur, l'exploitant réalise des essais permettant de s'assurer du bon fonctionnement de l'ensemble des équipements mobilisés pour mettre l'aérogénérateur en sécurité. Ces essais comprennent :

- « un arrêt ;
- « un arrêt d'urgence ;
- « un arrêt depuis un régime de survitesse ou depuis 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 14. « 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 14.

Art 13

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

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

« L'installation est équipée de systèmes instrumentés de sécurité, de détecteurs et de systèmes de détection destinés à identifier tout fonctionnement anormal de l'installation, notamment en cas d'incendie, de perte d'intégrité d'un aérogénérateur ou d'entrée en survitesse.

« L'exploitant tient à jour 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.

« Selon une fréquence qui ne peut excéder un an, l'exploitant procède au contrôle de ces équipements de sécurité afin de s'assurer de leur bon fonctionnement.

« La liste des équipements de sécurité ainsi que les résultats de l'ensemble des contrôles prévus par le présent article sont consignés dans le registre de maintenance visé à l'article 14. »

Art 14

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

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

IV.2.3.2 Opérations de maintenance prévues par le maître d'ouvrage

La maintenance et l'entretien des éoliennes jouent un rôle important dans la sécurité de l'installation. L'objectif de ces opérations est de contrôler le bon fonctionnement des installations et d'identifier tout phénomène d'usure ou de dégradation des matériels, notamment électriques, avant que ces phénomènes ne deviennent des facteurs de risques.

La maintenance des éoliennes sera assurée par le constructeur qui dans le cadre d'un contrat global de performances, garantit entre autres la fiabilité et la disponibilité de ses machines.

³ Les articles 12,13 et 14 de l'arrêté du 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.

IV.2.3.2.1 Conduite du système

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

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

Pour cela, les installations sont équipées d'un système SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) qui permet le pilotage à distance à partir des informations fournies par les capteurs. Le parc éolien est ainsi relié à un centre 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, etc.).

En revanche, en cas d'arrêt lié à un déclenchement de capteur de sécurité (déclenchement détecteur d'arc électrique, température haute, etc.), une intervention humaine sur l'éolienne est nécessaire pour examiner l'origine du défaut avant de pouvoir relancer un démarrage.

IV.2.3.2.2 Personnel et documents cadres

La maintenance sera réalisée par une équipe dédiée, formée aux risques présentés induits par l'intervention sur les éoliennes, conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011 (modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 – art.11).

Les personnes étrangères à l'installation n'ont pas accès libre à l'intérieur des aérogénérateurs. Les accès à l'intérieur de chaque aérogénérateur, du poste de transformation, de raccordement ou de livraison sont maintenus fermés à clef afin d'empêcher les personnes non autorisées d'accéder aux équipements, conformément à l'article 13 de l'arrêté du 26 août 2011.

Les constructeurs et fournisseurs produiront des manuels de maintenance et d'opération pour tous les éléments. Ces manuels auront pour objet de faciliter les opérations de maintenance et de guider les opérateurs. Ils répondront au cahier des charges présenté dans le tableau suivant :

Tableau 11 : Cahier des charges du manuel de maintenance (Source :TotalEnergies)

TYPE DE MANUEL	DESCRIPTION
Manuels de maintenance	<p>Tout équipement individuel, composant l'éolienne, est fourni avec son manuel de maintenance qui décrit et illustre les pratiques acceptables, les procédures et les précautions à prendre lors des travaux de maintenance.</p> <p>Les manuels contiennent les séquences d'assemblage, de désassemblage et les tolérances dimensionnelles des composants, de même que la liste des outillages nécessaires pour ces travaux spécifiques. Une liste complète des pièces de rechange est incluse. Elle permet une identification claire et rapide de tous les numéros de pièces. Leur numérotation est telle qu'elle permet une identification aisée sur les dessins.</p> <p>Le manuel de maintenance des composants contient un planning de maintenance recommandée ainsi que les procédures détaillées de maintenance avec des diagrammes illustratifs.</p>
Manuel d'opération	<p>Le manuel d'opération couvre les aspects suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ les instructions pour la mise en place des équipements et leur démarrage ; ▪ les instructions pour opérer les systèmes de contrôle commande et tous les autres systèmes ; ▪ les données techniques ; ▪ les tables de « <i>Trouble shooting</i> » ; ▪ les maintenances recommandées. <p>Une description des causes possibles des alarmes, les actions à mener en ce cas pour, soit diagnostiquer la faute, poursuivre le fonctionnement ou procéder à l'arrêt.</p> <p>Un détail des procédures à effectuer en cas d'urgence un dossier d'essais effectués et réceptionnés en usine et sur site</p> <p>Une description détaillée et claire du fonctionnement du système complet avec une description de la manière dont chaque composant individuel fonctionne.</p> <p>Par ailleurs, les activités de maintenance (notamment le renouvellement des huiles) sont guidées par des procédures spécifiques, et notamment :</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ procédure de renouvellement des huiles (enlèvement, remplacement, élimination) ; ▪ procédure relative à la conduite à tenir en cas d'écoulement accidentel.

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

L'exploitant tient à jour, pour son installation dans lequel sont consignées les opérations de maintenance qui ont été effectuées, leur nature, les défaillances constatées et les opérations préventives et correctives engagées conformément à l'article 19 de l'arrêté du 26 août 2011 (modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 – art.14).

IV.2.3.2.3 Maintenance de l'installation

Un système de télésurveillance (via le SCADA) permettra d'être informé des éventuels dysfonctionnements ou dérives de performances, de manière à prendre les dispositions idoines (préparation d'une intervention de maintenance, reparamétrage à distance, mise en sécurité, etc.).

Les principales mesures de prévention concernent les aspects liés à la maintenance. La maintenance des éoliennes couvre la tour, la nacelle et ses composants, le rotor, les systèmes de contrôle et de commande.

En dehors des opérations de maintenance systématique et préventive, des inspections et des interventions en maintenance curative seront réalisées chaque fois que cela est nécessaire sur les éoliennes dans leur globalité ou sur un ou plusieurs composants particuliers.

Tableau 12 : Cahier des charges de la maintenance préventive et curative (Source :TotalEnergies)

TYPE DE MAINTENANCE	DESCRIPTION
Maintenance préventive	La maintenance préventive est réalisée en fonction des préconisations établies par les constructeurs et listées dans les manuels de maintenance. Les éléments contrôlés durant la phase de maintenance sont les suivants : <ul style="list-style-type: none"> ▪ systèmes électriques ; ▪ systèmes mécaniques ; ▪ resserrage des fixations ; ▪ changement des liquides de lubrification ; ▪ réglage des paramètres de contrôles ; ▪ structure de l'éolienne (sur une base décennale) ; ▪ entretien des plantations (en vue de limiter les risques de propagation de feu d'origine externe).
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.

IV.2.3.2.4 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.

Conformément à l'article 17 de l'arrêté du 26 août 2011 (modifié par l'arrêté du 22 juin 2020 – art.12), avant la mise en service industrielle d'un aérogénérateur, l'exploitant réalise des essais permettant de s'assurer du bon fonctionnement de l'ensemble des équipements mobilisés pour mettre l'aérogénérateur en sécurité. Ces essais comprennent :

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

Conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011, trois mois, puis un an après la mise en service industrielle, puis suivant une périodicité qui ne peut excéder trois ans, l'exploitant procède à un contrôle de l'aérogénérateur consistant en un contrôle des brides de fixations, des brides de mât, de la fixation des pales et un contrôle visuel du mât. De plus, suivant une périodicité qui ne peut excéder un an, l'exploitant réalise des tests pour vérifier l'état

de 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 la 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 plus, 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.

IV.2.4 Stockage et flux de produits dangereux

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011, aucun produit combustible ou inflammable ne sera stocké dans les éoliennes du parc éolien de Maxent 2.

IV.3 Fonctionnement des réseaux de l'installation

IV.3.1 Raccordement électrique

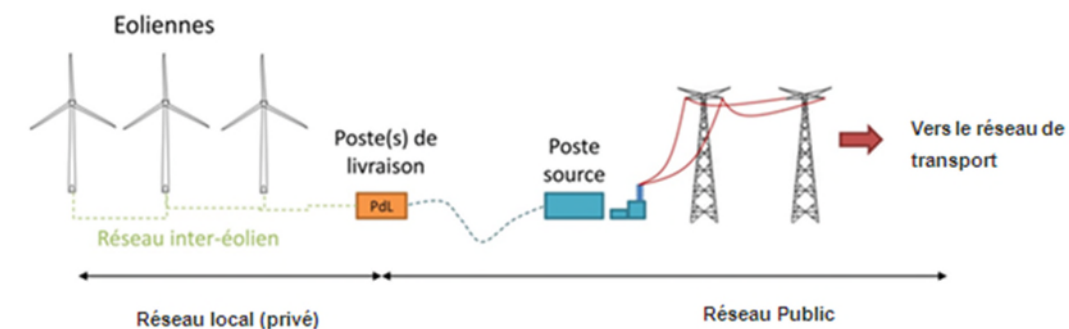


Figure 28 : Schéma de raccordement électrique d'un parc éolien

IV.3.1.1 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.

Le réseau inter-éolien mis en place sur le parc éolien de Maxent 2 représente une longueur de 1201 mètres.

IV.3.1.2 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. Certains parcs éoliens, par leur taille, peuvent posséder plusieurs postes de livraison, voire se raccorder directement sur un poste source, qui assure la liaison avec le réseau de transport d'électricité (lignes haute tension).

La localisation exacte des emplacements des structures 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.

Sur le parc éolien de Maxent 2, la structure de livraison se situe juste à côté du poste de livraison du parc en exploitation Maxent 1 (soit à côté de l'éolienne E1 du parc en fonctionnement).

IV.3.1.3 Réseau électrique externe

Le réseau électrique externe relie le ou les postes de livraison avec le poste source (réseau public de transport d'électricité). Ce réseau est réalisé par le gestionnaire du réseau de distribution (généralement ERDF- Électricité Réseau Distribution France). Il est lui aussi entièrement enterré.

IV.3.2 Autres réseaux

Le parc éolien de nom et ses équipements ne sont reliés à aucun réseau de gaz, d'alimentation en eau potable ou d'assainissement.

IV.4 Identification des potentiels de dangers de l'installation

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

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

IV.4.1 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 Maxent 2 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, nettoyeurs...) et les déchets industriels banals associés (pièces usagées non souillées, cartons d'emballage...) ;

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

IV.4.2 Potentiels des dangers liés au fonctionnement de l'installation

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien de Maxent 2 sont de cinq types :

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

Tableau 13 : le danger potentiel pour l'installation d'une éolienne

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

IV.5 Réduction des potentiels de dangers à la source

IV.5.1 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.

IV.5.1.1 Aménagement du parc éolien

Le choix opéré pour l'implantation d'un parc éolien tient compte de la distance séparant les éoliennes entre-elles et des servitudes liées à la présence d'infrastructures voisines.

Ainsi, dans le cadre de la définition du projet éolien de Maxent 2, les contraintes techniques et sécuritaires du site d'étude ont été prises en compte. Des distances minimales d'éloignement ont été respectées dont :

- 500 m vis-à-vis des premières habitations et des zones urbanisables ;

Ainsi, l'ensemble de ces considérations ont permis de réduire à la source les potentiels dangers liés au fonctionnement de l'installation.

Par ailleurs, il est rappelé que les aérogénérateurs sont équipés en série, de systèmes de sécurité qui contribuent également à réduire à la source les potentiels dangers liés au fonctionnement de l'installation (cf. IV.2.3.).

IV.5.1.2 Choix des éoliennes

Le projet de parc éolien de Maxent 2 sera composé de 3 éoliennes qui viendront compléter le parc éolien de Maxent, actuellement en exploitation, lui aussi composé de 3 éoliennes. Pour assurer la cohérence entre les deux parcs, les éoliennes du parc éolien de Maxent 2 auront le même gabarit que celles de Maxent. Le modèle pressenti par le maître d'ouvrage serait une turbine VESTAS V100.

IV.5.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles

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 »), modifiée par la directive n°2008/1/CE du 15 janvier 2008, a été remplacée par la directive IED. Cette directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles définit un ensemble de mesures pour la protection et la réduction des pollutions émises par certaines installations industrielles et agricoles.

Un des principes essentiels de cette directive impose le recours aux meilleurs techniques disponibles afin de prévenir toute pollution.

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

V. ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE

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

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

V.1 Inventaire des incidents et accidents en France

Un inventaire des incidents et accidents en France a été réalisé afin d'identifier les principaux phénomènes dangereux potentiels pouvant affecter le parc éolien de Maxent 2. Cet inventaire se base sur le retour d'expérience de la filière éolienne tel que présenté dans le guide technique de conduite de l'étude de dangers (mars 2012).

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

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

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

Dans l'état actuel, la base de données produite par le groupe de travail de SER/FEE (qui a 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 99 incidents a pu être recensé entre 2000 et février 2021 (cf. tableau détaillé en annexe).

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

Le graphique présenté ci-après montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et février 2021. Cette synthèse exclut les accidents du travail (maintenance, chantier de construction, etc.) et les événements qui n'ont pas conduit à des effets sur les zones autour des aérogénérateurs.

Dans ce graphique sont présentés :

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

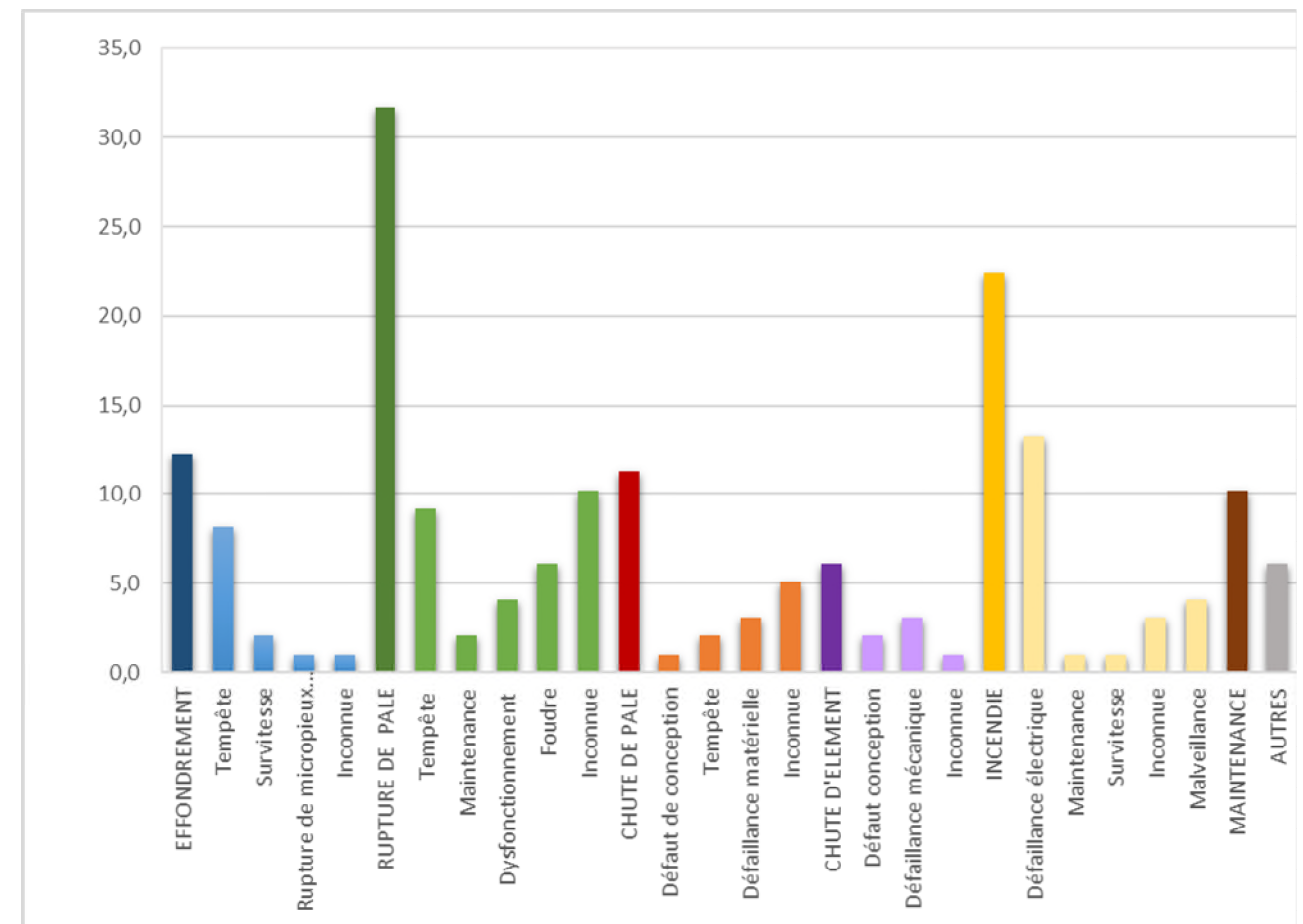


Figure 29 : Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et février 2021

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

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

Un inventaire des incidents et accidents à l'international a également été réalisé. Il se base lui aussi sur le retour d'expérience de la filière éolienne jusqu'au 31 décembre 2020.

La synthèse présentée à la page suivante provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Cette base de données décrypte, entre 2000 et décembre 2020, 2 797 accidents. Parmi ces accidents, on en compte 1 098 qui sont des accidents « majeurs », pris en compte dans la présente étude de dangers. Les autres types d'accidents concernent les accidents du travail, des presque-accidents...

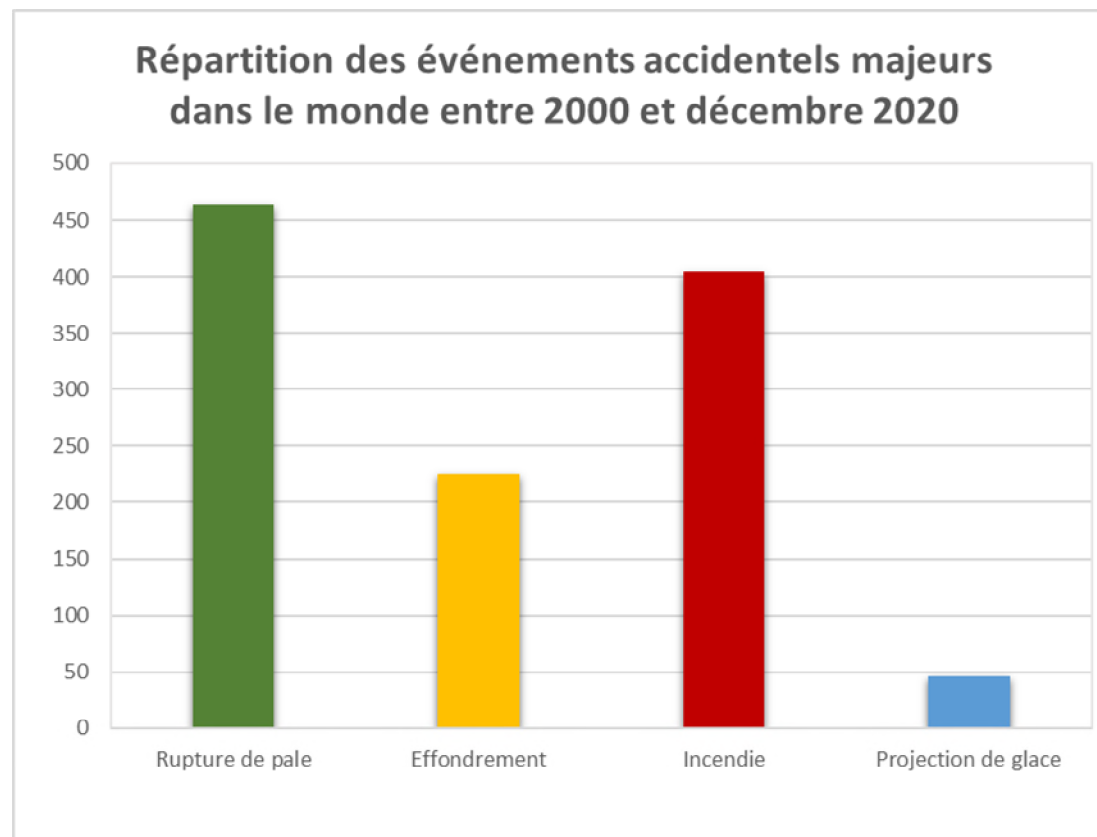


Figure 30 : Répartition des événements accidentels majeurs dans le monde entre 2000 et décembre 2020

Ci-après, est présenté le recensement des causes premières pour chacun des événements accidentels recensés (données en répartition par rapport à la totalité des accidents analysés). Tout comme pour le retour d'expérience français, ce retour d'expérience montre l'importance des causes « tempêtes et vents forts » dans les accidents. Il souligne également le rôle de la foudre dans les accidents.

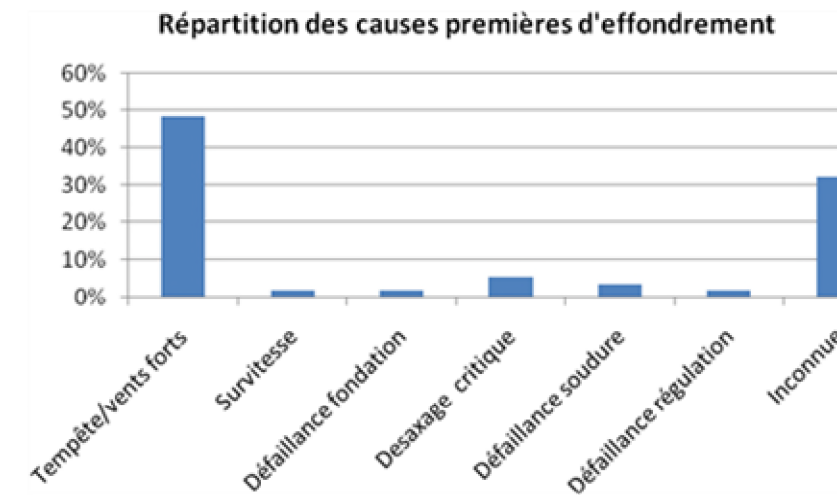


Figure 31 : Répartition des causes premières d'effondrement

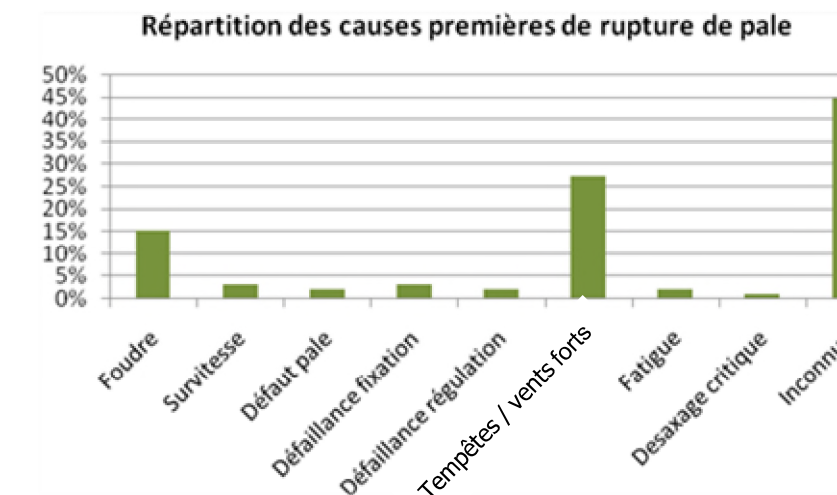


Figure 32 : Répartition des causes premières de rupture de pale

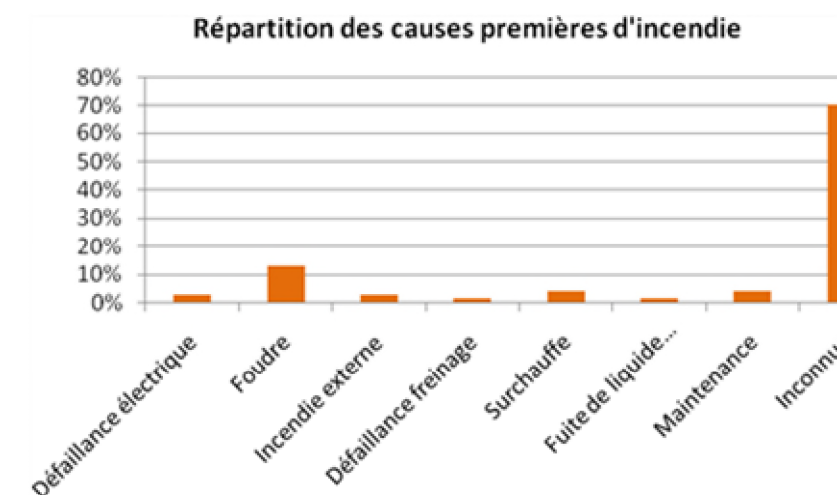


Figure 33 : Répartition des causes premières d'incendie

V.3 Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience

V.3.1 Analyse de l'évolution des accidents en France

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

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

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

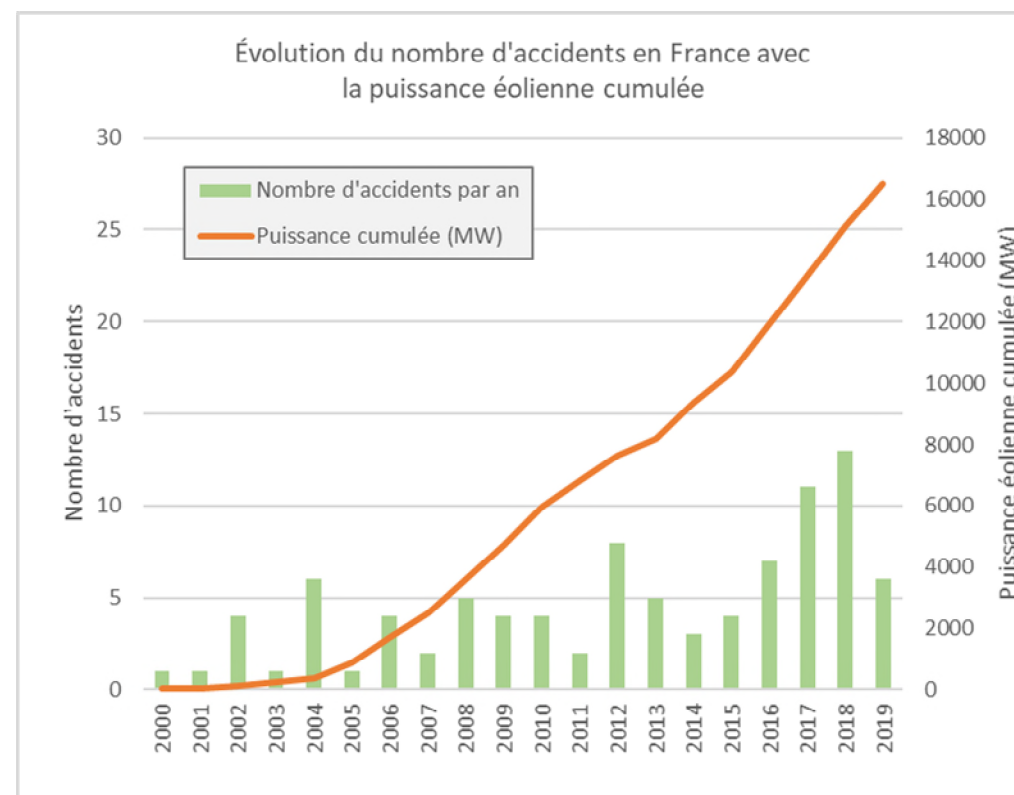


Figure 34 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et puissance éolienne installée⁴

V.3.2 Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

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

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

V.4 Limites d'utilisation de l'accidentologie

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

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

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

⁴ On note bien l'essor de la filière française à partir de 2005, alors que le nombre d'accidents reste relativement constant

VI. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

VI.1 Objectif de l'analyse préliminaire des risques

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

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

VI.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.

VI.3 Recensement des agressions externes potentielles

VI.3.1 Agressions externes liées aux activités humaines

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

Tableau 14 : Les principales agressions externes liées aux activités humaines

Infrastructure	Voies de circulation*	Aérodrome	Ligne THT	Autres aérogénérateurs
Fonction	Transport	Transport aérien	Transport d'électricité	Production d'électricité
Evènement redouté	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Chute d'aéronef	Rupture de câble	Accident générant des projections d'éléments
Danger potentiel	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	Arc électrique, surtensions	Energie cinétique des éléments projetés
Périmètre (m)	200	2000	200	500
Distance par rapport au mât des éoliennes (m)				
E4	NA	NA	NA	261 m par rapport à E1 435 m par rapport à E2
E5	NA	NA	NA	391 m par rapport à E2
E6	NA	NA	NA	NA

* Telles que définies à l'annexe de l'EDD (= voies structurantes > 2000 véhicules/jour)

**NA = non applicable = absence de l'infrastructure visée dans le rayon dédié pour l'agression.

Pour les éoliennes du projet de Maxent 2, les éoliennes E4 et E5 se trouvent dans un des périmètres associés aux différentes agressions potentielles présentées dans le tableau ci-dessus. E4 se trouve à environ 261 m et 435 m des aérogénérateurs E1 et E2 du parc de Maxent. E5 se trouve à environ 391 m de l'aérogénérateur E2 du parc éolien de Maxent. Le parc éolien de Maxent est exploité par TotalEnergies, pétitionnaire de la présente demande d'autorisation environnementale. Les effets dominos entre deux ICPE, comme deux aérogénérateurs sont détaillés au chapitre : VI.5 Effets dominos page 46

VI.3.2 Agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

Tableau 15 : les principales agressions externes liées aux phénomènes naturels

Agression externe	Intensité
Vents et tempête	L'emplacement des aérogénérateurs n'est pas compris dans une zone affectée par des cyclones tropicaux. Des vents très violents dépassant les 116 km/h ont toutefois déjà été observés dans le secteur (notamment durant la tempête Alex d'octobre 2020) Les éoliennes étant dimensionnées pour supporter des vents pouvant atteindre 200 km/h, il n'y a pas lieu de proposer de mesures particulières.
Foudre	Le parc éolien respectera la norme IEC 61 400-24 (Juin 2010) ou EN 62 305 – 3 (Décembre 2006). A noter que le département d'Ille-et-Vilaine connaît l'une des densités de foudroiement, la plus faible de France.
Glissement de sols/ affaissement miniers	NA

**NA = non applicable= absence du phénomène visé dans l'aire d'étude de dangers.*

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 liste des fonctions de sécurité ci-après.

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

VI.4 Analyse générique des risques liés aux agressions externes potentielles

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

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

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

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

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

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

Tableau 16 : Les scénarii d'accidents pouvant potentiellement se produire sur les éoliennes

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
G01	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales, le mât et la nacelle	Chute de glace lorsque les éoliennes sont arrêtées	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace (N°2)	Impact de glace sur les enjeux	1
G02	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	Projection de glace lorsque les éoliennes sont en mouvement	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de la glace (N°1)	Impact de glace sur les enjeux	2
I01	Humidité / Gel	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I02	Dysfonctionnement électrique	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I03	Survitesse	Échauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3) Prévenir la survitesse (N°4)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I04	Désaxage de la génératrice / Pièce défectueuse / Défaut de lubrification	Échauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I05	Conditions climatiques humides	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I06	Rongeur	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I07	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2
F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur Fuite transformateur	Écoulement hors de la nacelle et le long du mât, puis sur le sol avec infiltration	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Écoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
C01	Défaut de fixation	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	1

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
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

VI.5 Effets dominos

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

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

En ce qui concerne les accidents sur des aérogénérateurs qui conduiraient à des effets dominos sur d'autres installations, le paragraphe 1.2.2 de la circulaire du 10 mai 2010 précise :

« [...] seuls les effets dominos générés par les fragments sur des installations et équipements proches ont vocation à être pris en compte dans les études de dangers [...]. Pour les effets de projection à une distance plus lointaine, l'état des connaissances scientifiques ne permet pas de disposer de prédictions suffisamment précises et crédibles de la description des phénomènes pour déterminer l'action publique ».

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

VI.6 Mise en place des mesures de sécurité

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les fonctions de sécurité identifiées et mise en œuvre sur les éoliennes du parc de Maxent 2.

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

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

Tableau 17 : Synthèse des fonctions de sécurité identifiées et mise en œuvre sur les éoliennes du parc

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
Mesures de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage.		
Description	Système de détection redondant du givre permettant, en cas de détection de glace, une mise à l'arrêt rapide de l'aérogénérateur. Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site.		
Indépendance	Non Les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. En cas de dangers particulièrement élevé sur site (survol d'une zone fréquentée sur site soumis à des conditions de gel importantes), des systèmes additionnels peuvent être envisagés.		
Temps de réponse	Quelques minutes (<60 min.) conformément à l'article 19 de l'arrêté du 22 juin 2020		
Efficacité	100 %		
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement		
Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité	2
Mesures de sécurité	Panneautage en pied de machine Eloignement des zones habitées et fréquentées		
Description	Mise en place de panneaux informant de la possible formation de glace en pied de machines (conformément à l'article 10 de l'arrêté du 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	Capteurs de température des pièces mécaniques Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement		
Description	/		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel (conformément à l'article 13 de l'arrêté du 22 juin 2020). Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		
Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage.		
Description	Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande. NB : Le système de freinage est constitué d'un frein aérodynamique principal (mise en drapeau des pales) et / ou d'un frein mécanique auxiliaire.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection < 1 minute L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 22		
Efficacité	100 %		
Tests	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procédure d'arrêt en cas de survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs conformément à l'article 11 de l'arrêté du 22 juin 2020.		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 13 de l'arrêté du 22 juin 2020 (notamment de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence.) Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		
Fonction de sécurité	Prévenir les court-circuit	N° de la fonction de sécurité	5
Mesures de sécurité	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.		
Description	Les organes et armoires électriques de l'éolienne sont équipés d'organes de coupures et de protection adéquats et correctement dimensionnés. Tout fonctionnement anormal des composants électriques est suivi d'une coupure de la transmission électrique et à la transmission d'un signal d'alerte vers l'exploitant qui prend alors les mesures appropriées.		
Indépendance	Oui		

Temps de réponse	De l'ordre de la seconde		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Des vérifications de tous les composants électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrées dans la plupart des mesures de maintenance préventive mises en œuvre. Les installations électriques sont contrôlées par un organisme compétent avant la mise en service du parc puis à une fréquence annuelle, conformément à l'article 8 de l'arrêté du 22 juin 2020.		
Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur.		
Description	Respect de la norme IEC 61 400 – 24 (juin 2010) Dispositif de capture + mise à la terre Parasurtenseurs sur les circuits électriques		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance. Un rapport de contrôle d'un organisme compétent atteste de la mise à la terre de l'installation avant sa mise en service industrielle, conformément à l'article 7 de l'arrêté du 22 juin 2020.		
Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	Capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne pouvant permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de la machine Système de détection incendie relié à une alarme transmise à un poste de contrôle Intervention des services de secours		
Description	DéTECTEURS de fumée qui lors de leur déclenchement conduisent à la mise en arrêt de la machine et au découplage du réseau électrique. De manière concomitante, un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance. L'éolienne est également équipée d'extincteurs qui peuvent être utilisés par les personnels d'intervention (cas d'un incendie se produisant en période de maintenance)		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	< 1 minute pour les détecteurs et l'enclenchement de l'alarme L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur. Le temps d'intervention des services de secours est quant à lui dépendant de la zone géographique.		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 13 de l'arrêté du 22 juin 2020. Le matériel incendie (type extincteurs) est contrôlé périodiquement par le fabricant du matériel ou un organisme extérieur. Maintenance curative à la suite d'une défaillance du matériel.		
Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	DéTECTEURS de niveau d'huiles Procédure d'urgence Kit antipollution		
Description	Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange. Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin : – de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; – d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...) ; – de récupérer les déchets absorbés. Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, une société spécialisée récupérera et traitera le gravier souillé via les filières adéquates, puis le remplacera par un nouveau revêtement.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Dépendant du débit de fuite		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Inspection des niveaux d'huile plusieurs fois par an		
Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	N° de la fonction de sécurité	9
Mesures de sécurité	Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.) Procédures qualités		

	Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)		
Description	La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi la nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	NA		
Maintenance	Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du pitch system, couronne du Yam Gear, boulons de fixation de la nacelle...) sont vérifiés au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 13 de l'arrêté du 22 juin 2020.		
Fonction de sécurité	Prévenir les erreurs de maintenance	N° de la fonction de sécurité	10
Mesures de sécurité	Procédure maintenance		
Description	Préconisations du manuel de maintenance Formation du personnel		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	NA		
Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes. Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pâles) par le système de conduite		
Description	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale pour laquelle elle a été conçue.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	< 1 min		
Efficacité	100 %. NB : En fonction de l'intensité attendue des vents, d'autres dispositifs de diminution de la prise au vent de l'éolienne peuvent être envisagés.		
Tests	/		
Maintenance	/		
Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de cyclones dans les zones cycloniques	N° de la fonction de sécurité	12
Mesures de sécurité	Mise en place d'une procédure de veille cyclonique et d'intervention + mise en œuvre d'éoliennes équipées de dispositifs anticycloniques permettant abattage et arrimage au sol des éléments les plus sensibles, en particulier les pales		
Description	L'ensemble de la structure [mât et/ou nacelle + hélice] peut être rabattu et arrimé au sol Détection des cyclones Formation des opérateurs Mise en place d'une procédure d'intervention suivant les niveaux d'alerte		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	/		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Contrôle et entretien des équipements de repli cyclonique		

L'ensemble des procédures de maintenance et des contrôles d'efficacité des systèmes sera conforme à l'arrêté du 22 juin 2020, notamment, sur une périodicité qui ne peut excéder 6 mois, l'exploitant réalisera 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, avant la mise en service industrielle des aérogénérateurs.

VI.7 Conclusion de l'analyse préliminaire des risques

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

Tableau 18 : les scénarii exclus de l'étude détaillée

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle (située à 50 mètres de hauteur), la valeur seuil de 3 kW/m ² n'est pas atteinte. Dans le cas d'un incendie au niveau du mât les effets sont également mineurs et l'arrêté du 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 du 22 juin 2020 impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200)
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 rapproché d'une nappe phréatique.

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

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

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

VII. ETUDE DETAILLEE DES RISQUES

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

Le gabarit de l'éolienne retenue est arrêté, il s'agit d'une éolienne V100 du constructeur VESTAS. Les calculs de l'étude détaillée des risques ci-après retiendront les dimensions fournies par le turbinier.

VII.1 Rappels 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.

VII.1.1 Cinétique

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

Selon l'article 8 de l'arrêté du 29 septembre 2005 [10], 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.

VII.1.2 Intensité

L'intensité des effets des phénomènes dangereux est définie par rapport à des valeurs de référence exprimées sous forme de seuils d'effets toxiques, d'effets de surpression, d'effets thermiques et d'effets liés à l'impact d'un projectile, pour les hommes et les structures (article 9 de l'arrêté du 29 septembre 2005 [10]).

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

Or, les seuils d'effets proposés dans l'arrêté du 29 septembre 2005 [10] caractérisent des phénomènes dangereux dont l'intensité s'exerce dans toutes les directions autour de l'origine du phénomène, pour des effets de surpression, toxiques ou thermiques. Ces seuils ne sont donc pas adaptés aux accidents générés par les aérogénérateurs.

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

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

- 5% d'exposition : 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: référence pour le 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.

VII.1.3 Gravité

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

Tableau 20 : Les seuils de gravité en fonction du nombre de personnes dans chacune des zones d'effet

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

VII.1.4 Probabilité

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

Tableau 21 : Les classes de probabilité des scénarii d'accident majeur

Niveaux	Echelle qualitative	Echelle quantitative (probabilité annuelle)
A	Courant Se produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie des installations, malgré d'éventuelles mesures correctives.	$P > 10^{-2}$
B	Probable S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations.	$10^{-3} < P \leq 10^{-2}$
C	Improbable 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 à la suite de 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.

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

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

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

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)

Pprésence : 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.

VII.2 Caractérisation des scénarii retenus

VII.2.1 Effondrement de l'éolienne

VII.2.1.1 Zone d'effet

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale maximale de l'éolienne en bout de pale, soit 145 mètres dans le cas des éoliennes du parc éolien de Maxent 2.

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.

VII.2.1.2 Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne concernant le parc éolien de Maxent 2.

- d est le degré d'exposition
- Z_I la zone d'impact
- Z_E la zone d'effet
- R est la longueur maximale de pale envisagée (R= 50 m), de forme triangulaire avec une base de largeur LB=3,90 m
- H la hauteur maximale envisagée pour le mât (H= 97.7 m)
- L la largeur maximale du mât (L= 4.5 m).

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

Tableau 22 : L'impact de l'effondrement de l'éolienne

Effondrement de l'éolienne (Dans un rayon inférieur ou égal à la 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
$Z_I = 97.7 \times 4.5 + 3 \times 50 \times 3.9 / 2$ $Z_I = 732,15$	$Z_E = \pi \times (97.7 + 50)^2$ $Z_E = 66051.99$	$d = Z_I / Z_E$ $d = 0,0110845$ Soit 1,10845%	Exposition forte
La zone d'impact est de 732.15 m²	La zone d'effet est de 66 051.99 m²	Le degré d'exposition du phénomène est donc compris entre 1 et 5%	

VII.2.1.3 Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe 9.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène d'effondrement, dans le rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne :

- Plus de 100 personnes exposées : « Désastreux »
- Entre 10 et 100 personnes exposées : « Catastrophique »
- Entre 1 et 10 personnes exposées : « Important »
- Au plus 1 personne exposée : « Sérieux »

- Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement : « Modéré »

Le tableau suivant synthétise les types de terrains rencontrés dans les zones d'effet des éoliennes du parc éolien de Maxent 2 et les hypothèses de calcul associées, d'après le guide de l'INERIS :

Tableau 23 : Hypothèses de calcul pour le risque effondrement

Effondrement de l'éolienne (rayon de la zone d'effet : 145 m)		
Éoliennes concernées	Ensemble homogène dans le périmètre d'étude	Hypothèse enjeu humain (guide de l'INERIS)
E4 à E6	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	0,01 pers./ha
E4 à E6	Terrains aménagés mais peu fréquentés dont les voies de circulation non structurantes (RD non structurantes (hypothèse de 7 m de large), chemins ruraux (hypothèse de 4,5 m de large), pistes d'accès...)	0,1 pers./ha

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 24 : Nombre de personnes exposées au phénomène d'effondrement de l'éolienne par zone d'effet

Effondrement de l'éolienne (Dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)						
Éolienne	Terrains non aménagés		Terrains aménagés mais peu fréquentés		Total epp	Gravité
	(ha)	epp	(ha)	epp		
E4	6.28	0.06	0.32	0.03	0.09	Sérieuse
E5	6.34	0.06	0.26	0.03	0.09	Sérieuse
E6	6.33	0.06	0.28	0.03	0.09	Sérieuse

VII.2.1.4 Probabilité

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

Tableau 25 : Les classes de probabilité utilisées dans les études de danger

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

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

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C ». En effet, à la date d'élaboration du guide de l'INERIS, il a été recensé seulement 7 événements pour 15 667 années d'expérience⁵, soit une probabilité de $4,47 \times 10^{-4}$ par éolienne et par an.

Dernièrement, au mois de janvier 2018, une éolienne s'effondre sur le territoire communal de Bouin à la suite du passage de la tempête Carmen. On constate le même phénomène à Mardelle dans le Loiret, en novembre 2018, puis en janvier 2019, à Boutavent dans l'Oise. Dans ces deux derniers cas, l'effondrement a été engendré par un défaut du système de freinage des éoliennes.

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

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

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

On note d'ailleurs, dans le retour d'expérience français, qu'aucun effondrement n'a eu lieu sur les éoliennes mises en service après 2011. Concernant l'effondrement d'éolienne survenu sur le territoire communal de Bouin en janvier 2018, il est important de noter que cette éolienne avait été mise en service en 2003.

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 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 donc considéré que la classe de probabilité de l'accident est « D », à savoir : « S'est produit mais a fait l'objet de mesures correctrices réduisant significativement la probabilité ».

VII.2.1.5 Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien de Maxent 2, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Tableau 26 : Gravité et niveau de risque de l'effondrement de chaque aérogénérateur

Effondrement de l'éolienne (Dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)		
<i>Éolienne</i>	<i>Gravité</i>	<i>Niveau de risque</i>
E4	Sérieuse	Acceptable
E5	Sérieuse	Acceptable
E6	Sérieuse	Acceptable

Le guide INERIS pour l'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens (2012) précise que « *dans le cas d'implantation d'éoliennes équipées des technologies récentes, compte tenu de la classe de probabilité d'un effondrement, on pourra conclure à l'acceptabilité de ce phénomène, si moins de 10 personnes sont exposées.* »

Ainsi, pour le parc éolien de Maxent 2, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

VII.2.2 Chute de glace

VII.2.2.1 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 [14], une grande partie du territoire français (hors zones de montagne) est concernée par moins d'un jour de formation de glace par an. Certains secteurs du territoire comme les zones côtières affichent des moyennes, variant entre 2 et 7 jours de formation de glace par an.

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

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.

VII.2.2.2 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. Pour le parc éolien de Maxent 2, la zone d'effet à donc un rayon de 50 mètres, distance retenue comme conduisant à la gravité maximale. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

⁵ 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.

VII.2.2.3 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 degré d'exposition est calculé pour un morceau de glace d'une surface d'1 m², de façon à majorer la zone d'impact, et donc, le degré d'exposition.

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace dans le cas du parc éolien de Maxent 2.

- d est le degré d'exposition
- ZI est la zone d'impact
- ZE est la zone d'effet
- R est la longueur de pale maximale envisagée (R= 50 m)
- SG est la surface du morceau de glace majorant (SG= 1 m²).

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

Tableau 27 : L'impact lors de chute de glace

Chute de glace (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
$Z_I = SG$ $Z_I = 1$	$Z_E = \pi \times R^2$ $Z_E = 7\,853,98$	$d = Z_I / Z_E$ $d = 0,01273 \%$	Exposition modérée
La zone d'impact est d'1 m²	La zone d'effet est de 7 853,98 m²	Le degré d'exposition du phénomène est inférieur à 1%	

VII.2.2.4 Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe 9.1.3.), 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 »

⁶ Cette probabilité est issue du retour d'expérience tel que défini dans le guide INERIS pour l'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens. Une année d'expérience, correspond à une éolienne observée pendant un an.

- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » : « Modéré »

Le tableau suivant synthétise les types de terrains rencontrés dans les zones d'effet des éoliennes du parc éolien de Maxent 2 et les hypothèses de calcul associées, d'après le guide de l'INERIS :

Tableau 28 : Hypothèses de calcul pour le risque chute de glace

Chute de glace (rayon de la zone d'effet : 50 m)		
Éoliennes concernées	Ensemble homogène dans le périmètre d'étude	Hypothèse enjeu humain (guide de l'INERIS)
E4 à E6	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	0,01 pers./ha
E4 à E6	Terrains aménagés mais peu fréquentés dont les voies de circulation non structurantes (RD non structurantes (hypothèse de 7 m de large), chemins ruraux (hypothèse de 4,5 m de large), pistes d'accès...)	0,1 pers./ha

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 : Nombre de personnes exposées au phénomène de chute de glace

Chute de glace (Dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)						
Éolienne	Terrains non aménagés		Terrains aménagés mais peu fréquentés		Total	Gravité
	(ha)	epp	(ha)	epp		
E4	0.67	0.007	0.12	0.01	0.02	Modérée
E5	0.67	0.007	0.12	0.01	0.02	Modérée
E6	0.67	0.007	0.12	0.01	0.02	Modérée

VII.2.2.5 Probabilité

De façon conservatrice, il est considéré que la probabilité est de classe « A », c'est-à-dire une probabilité supérieure à 10^{-2,6}.

VII.2.2.6 Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien de Maxent 2, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Tableau 30 : Gravité et niveau de risque en cas de chute de glace pour chaque aérogénérateur

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
E4	Modérée	Acceptable
E5	Modérée	Acceptable
E6	Modérée	Acceptable

Le guide INERIS pour l'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens (2012) précise : qu' « avec une classe de probabilité de A, le risque de chute de glace pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'une gravité « Modérée » qui correspond pour cet événement à un nombre de personnes permanentes (ou équivalent) inférieur à 1. »

Il convient également de rappeler que, conformément à l'article 10 de l'arrêté du 22 juin 2020 [9] 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.

Ainsi, pour le parc éolien de Maxent 2, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

VII.2.3 Chute d'éléments de l'éolienne

VII.2.3.1 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, soit 50 mètres.

VII.2.3.2 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 Maxent 2.

- d est le degré d'exposition
- ZI la zone d'impact
- ZE la zone d'effet

- R la longueur de pale maximale envisagée (R= 50 m) de forme triangulaire avec une base de largeur LB (LB= 3,90 m).

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

Tableau 31 : impact en cas de chute d'éléments de l'éolienne

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= 97.5	$ZE = \pi * R^2$ ZE= 7 853,98	$d = ZI / ZE$ d= 1.24141%	Exposition forte
La zone d'impact est de 97.5 m²	La zone d'effet est de 7 853,98 m²	Le degré d'exposition du phénomène est supérieur à 1 %	

VII.2.3.3 Gravité

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

- 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 »
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » : « Modéré »

Le tableau suivant synthétise les types de terrains rencontrés dans les zones d'effet des éoliennes du parc éolien de Maxent 2 et les hypothèses de calcul associées, d'après le guide de l'INERIS :

Tableau 32 : Hypothèses de calcul pour le risque chute d'éléments

Chute d'éléments de l'éolienne (rayon de la zone d'effet : 50m)		
Éoliennes concernées	Ensemble homogène dans le périmètre d'étude	Hypothèse enjeu humain (guide de l'INERIS)
E4 à E6	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	0,01 pers./ha
E4 à E6	Terrains aménagés mais peu fréquentés dont les voies de circulation non structurantes (RD non structurantes (hypothèse de 7 m de large), chemins ruraux (hypothèse de 4,5 m de large), pistes d'accès...)	0,1 pers./ha

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

Tableau 33 : Nombre de personnes exposées au phénomène chute d'éléments de l'éolienne

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)						
Éolienne	Terrains non aménagés		Terrains aménagés mais peu fréquentés		Total	Gravité
	(ha)	epp	(ha)	epp		
E4	0.67	0.01	0.12	0.001	0.02	Sérieuse
E5	0.67	0.01	0.12	0.001	0.02	Sérieuse
E6	0.67	0.01	0.12	0.001	0.02	Sérieuse

VII.2.3.4 Probabilité

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

Au moment de l'élaboration du guide de l'INERIS, le retour d'expérience connu en France montre que ces événements ont une classe de probabilité « C » (12 chutes et 15 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.

VII.2.3.5 Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien de Maxent 2, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Tableau 34 : Gravité et niveau de risque de chute d'éléments de l'éolienne pour chaque aérogénérateur

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
E4	Sérieuse	Acceptable
E5	Sérieuse	Acceptable
E6	Sérieuse	Acceptable

Le guide INERIS pour l'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens (2012) précise qu' « 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. »

Ainsi, pour le parc éolien de Maxent 2, le phénomène de chute d'éléments d'éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

VII.2.4 Projection de pales ou de fragments de pales

VII.2.4.1 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 [3]. Pour autant, des études de risques déjà réalisées dans le monde ont utilisé une distance de 500 mètres, en particulier les études [5] et [6].

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

VII.2.4.2 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 (500 m). Le tableau ci-après permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Maxent 2.

- r est le rayon de la zone de projection de pale ou de fragment de pale (r= 500)
- d est le degré d'exposition
- ZI la zone d'impact
- ZE la zone d'effet
- R la longueur de pale maximale envisagée (R= 50 m)
- LB la largeur de la base de la pale (LB= 3,90 m).

Tableau 35 : L'impact de projection de pale ou fragment de pale

Projection de pale ou de fragment de pale (Zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_i = R * LB / 2$ $Z_i = 97,5$ La zone d'impact est de 97,5 m ²	$Z_e = \pi * r^2$ $Z_e = 785\,398$ La zone d'effet est de 785398 m ²	$d = Z_i / Z_e$ $d = 0,012\%$ Le degré d'exposition du phénomène est inférieur à 1%	Exposition modérée

VII.2.4.3 Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe 9.1.3., il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection, dans la zone de 500 m autour de l'éolienne :

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

Le tableau suivant synthétise les types de terrains rencontrés dans les zones d'effet des éoliennes du parc éolien de Maxent 2 et les hypothèses de calcul associées, d'après le guide de l'INERIS :

Tableau 36 : Hypothèses de calcul pour le risque projection de pale

Projection de pale (rayon de la zone d'effet : 500 m)		
Éoliennes concernées	Ensemble homogène dans le périmètre d'étude	Hypothèse enjeu humain (guide de l'INERIS)
E4 à E6	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	0,01 pers./ha
E4 à E6	Terrains aménagés mais peu fréquentés dont les voies de circulation non structurantes (RD non structurantes (hypothèse de 7 m de large), chemins ruraux (hypothèse de 4,5 m de large), pistes d'accès...)	0,1 pers./ha

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 37 : Nombre de personnes exposées au phénomène de projection de pale ou fragment de pale

Projection de pale ou de fragment de pale (Zone de 500 m autour de chaque éolienne)						
Éolienne	Terrains non aménagés		Terrains aménagés mais peu fréquentés		Total epp	Gravité
	(ha)	epp	(ha)	epp		
E1	75.79	0.76	2.76	0.28	1.03	Sérieuse
E2	76.13	0.76	2.41	0.24	1	Sérieuse
E3	76.31	0.76	2.23	0.22	0.99	Modérée

VII.2.4.4 Probabilité

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

Tableau 38 : Calcul de probabilité pour une rupture de tout ou partie de pale

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

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

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

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

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

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

- Les dispositions de la norme IEC 61 400-1 ;
- Les dispositions des normes IEC 61 400-24 et EN 62 305-3 relatives à la foudre ;

- Système de détection des survitesses et un système redondant de freinage ;
- Système de détection des vents forts et un système redondant de freinage et de mise en sécurité des installations – un système adapté est installé en cas de risque cyclonique ;
- Utilisation de matériaux résistants pour la fabrication des pales (fibre de verre ou de carbone, résines, etc.).

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 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 de projection. Il est donc 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 ».

VII.2.4.5 Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien de Maxent 2, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Tableau 39 : Gravité et niveau de risque en cas de projection de pale ou fragment de pale

Projection de pale ou de fragment de pale (Zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
E4	Sérieuse	Acceptable
E5	Sérieuse	Acceptable
E6	Modérée	Acceptable

Le guide INERIS pour l'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens (2012) précise qu' : « avec une classe de probabilité de « D », le risque de projection de tout ou partie de pale pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un nombre équivalent de personnes permanentes inférieur à 1000 dans la zone d'effet. »

Ainsi, pour le parc éolien de Maxent 2, le phénomène de projection de tout ou partie de pale des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

VII.2.5 Projection de glace

VII.2.5.1 Zone d'effet

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

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

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

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

VII.2.5.2 Intensité

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

Le tableau suivant synthétise les types de terrains rencontrés dans les zones d'effet des éoliennes du parc éolien de Maxent 2 et les hypothèses de calcul associées, d'après le guide de l'INERIS :

Tableau 40 : Hypothèses de calcul pour le risque projection de glace

Projection de glace (rayon de la zone d'effet : 293 m)		
Éoliennes concernées	Ensemble homogène dans le périmètre d'étude	Hypothèse enjeu humain (guide de l'INERIS)
E4 à E6	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	0,01 pers./ha
E4 à E6	Terrains aménagés mais peu fréquentés dont les voies de circulation non structurantes (RD non structurantes (hypothèse de 7 m de large), chemins ruraux (hypothèse de 4,5 m de large), pistes d'accès...)	0,1 pers./ha

Le tableau ci-après permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du parc éolien de Maxent 2.

- d est le degré d'exposition
- ZI la zone d'impact
- ZE la zone d'effet
- R la longueur de pale maximale envisagée (R= 50)
- H la hauteur maximale envisagée pour le moyeu (H= 95)
- SG la surface majorante d'un morceau de glace.

Tableau 41 : L'impact de projection de morceaux de glace

Projection de morceaux de glace (Dans un rayon de R _{PG} = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne, soit 293 m pour les éoliennes de Maxent 2)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
Z _I = SG Z _I =1	Z _E = π x [1,5*(H+2*R)] ² Z _E = 268 782.89	d = Z _I /Z _E d= 0,00037%	Exposition modérée
La zone d'impact est de 1 m ²	La zone d'effet est de 268 782.89 m ²	Le degré d'exposition du phénomène est inférieur à 1%	

VII.2.5.3 Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe 9.1.3., il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection de glace, dans la zone d'effet de ce phénomène :

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

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

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

Tableau 42 : Nombre de personnes exposées au phénomène de projection de morceaux de glace

Projection de morceaux de glace (Dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)								
Éolienne	Terrains non aménagés		Terrains aménagés mais peu fréquentés		Chemins de randonnée		Total epp	Gravité
	(ha)	epp	(ha)	epp	(m)	epp		
E4	25.81	0.26	1.07	0.11			0.36	Modérée
E5	26.11	0.26	0.77	0.08			0.34	Modérée
E6	26.07	0.26	0.81	0.08			0.34	Modérée

VII.2.5.4 Probabilité

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

- Les mesures de prévention de projection de glace imposées par l'arrêté du 22 juin 2020 ;
- Le recensement d'aucun accident lié à une projection de glace ;

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

VII.2.5.5 Acceptabilité

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

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien de Maxent 2, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Tableau 43 : Gravité et niveau de risque en cas de projection de morceaux de glace

Projection de morceaux de glace (Dans un rayon de 293 m autour de l'éolienne)			
Éolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage	Niveau de risque
E4	Modérée	Oui	Acceptable
E5	Modérée	Oui	Acceptable
E6	Modérée	Oui	Acceptable

Le guide INERIS pour l'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens (2012) précise que : « le risque de projection pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un niveau de gravité « sérieux ». Cela correspond pour cet événement à un nombre équivalent de personnes permanentes inférieures à 10 dans la zone d'effet. »

Ainsi, pour le parc éolien de Maxent 2, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes.

VII.3 Synthèse de l'étude détaillée des risques

VII.3.1 Tableaux de synthèse des scénarii étudiés

Les tableaux présentés aux pages suivantes récapitulent, pour chaque événement redouté retenu, les paramètres de risques :

- La cinétique ;
- L'intensité ;
- La gravité ;
- La probabilité.

Tableau 44 : Paramètres de risques pour le projet en cours

Projet éolien de Maxent 2					
Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne (1)	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale = 145 m	Rapide	Exposition forte	D (Pour des éoliennes récentes)	Sérieuse pour les éoliennes E4 à E6
Chute de glace (2)	Zone de survol = 50 m	Rapide	Exposition modérée	A	Modérée pour les éoliennes E4 à E6
Chute d'élément de l'éolienne (3)	Zone de survol = 50 m	Rapide	Exposition modérée	C	Sérieuse pour les éoliennes E4 à E6
Projection de pale (4)	500 m	Rapide	Exposition modérée	D (Pour des éoliennes récentes)	Sérieuse pour les éoliennes E4 et E5, modérée pour l'éolienne E6
Projection de glace (5)	1,5 x (H + 2R) autour de l'éolienne = 293 m	Rapide	Exposition modérée	B	Modérée pour les éoliennes E4 à E6

VII.3.2 Synthèse de l'acceptation 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 précédemment sera utilisée.

Tableau 45 : Matrice de criticité

Conséquence	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		(1) E4 à E6 (4) E4 et E5	(3) E4 à E6		
Modéré		(4) E6		(5) E4 à E6	(2) E4 à E6

Tableau 46 : Légende de la matrice de criticité

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

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- Aucun accident n'apparaît comme non acceptable.
- L'accident chute de glace et l'accident chute d'élément apparaissent en case jaune. Pour ces accidents, il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie VI.6 sont mises en place.

VII.4 Cartographie des risques

Les cartes présentées aux pages suivantes font apparaître, pour les scénarii détaillés dans le tableau de synthèse :

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

La méthode de comptage des enjeux humains dans chaque secteur est présentée en annexe 1. Elle se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers.

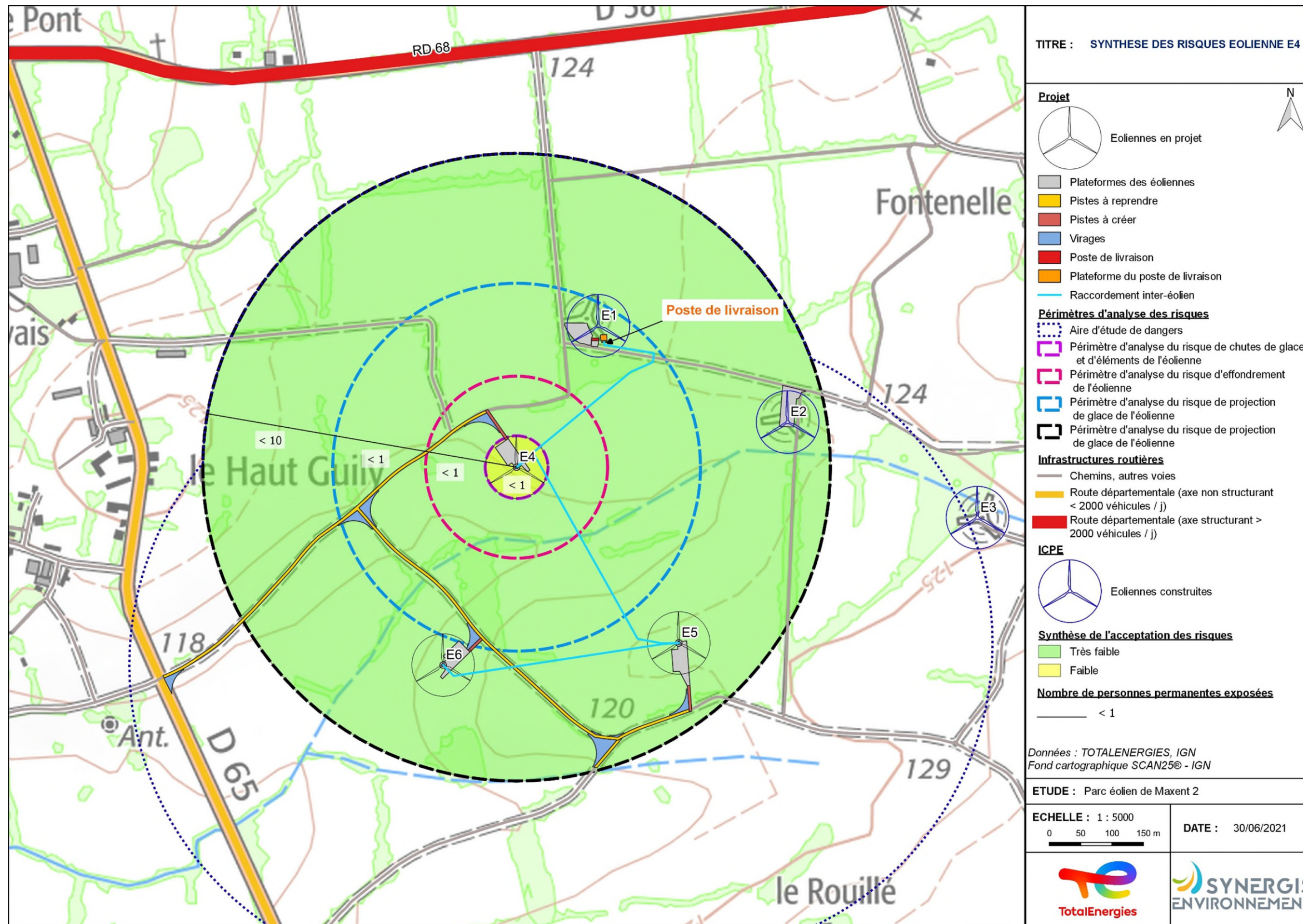


Figure 35 : Synthèse des risques de l'éolienne E4

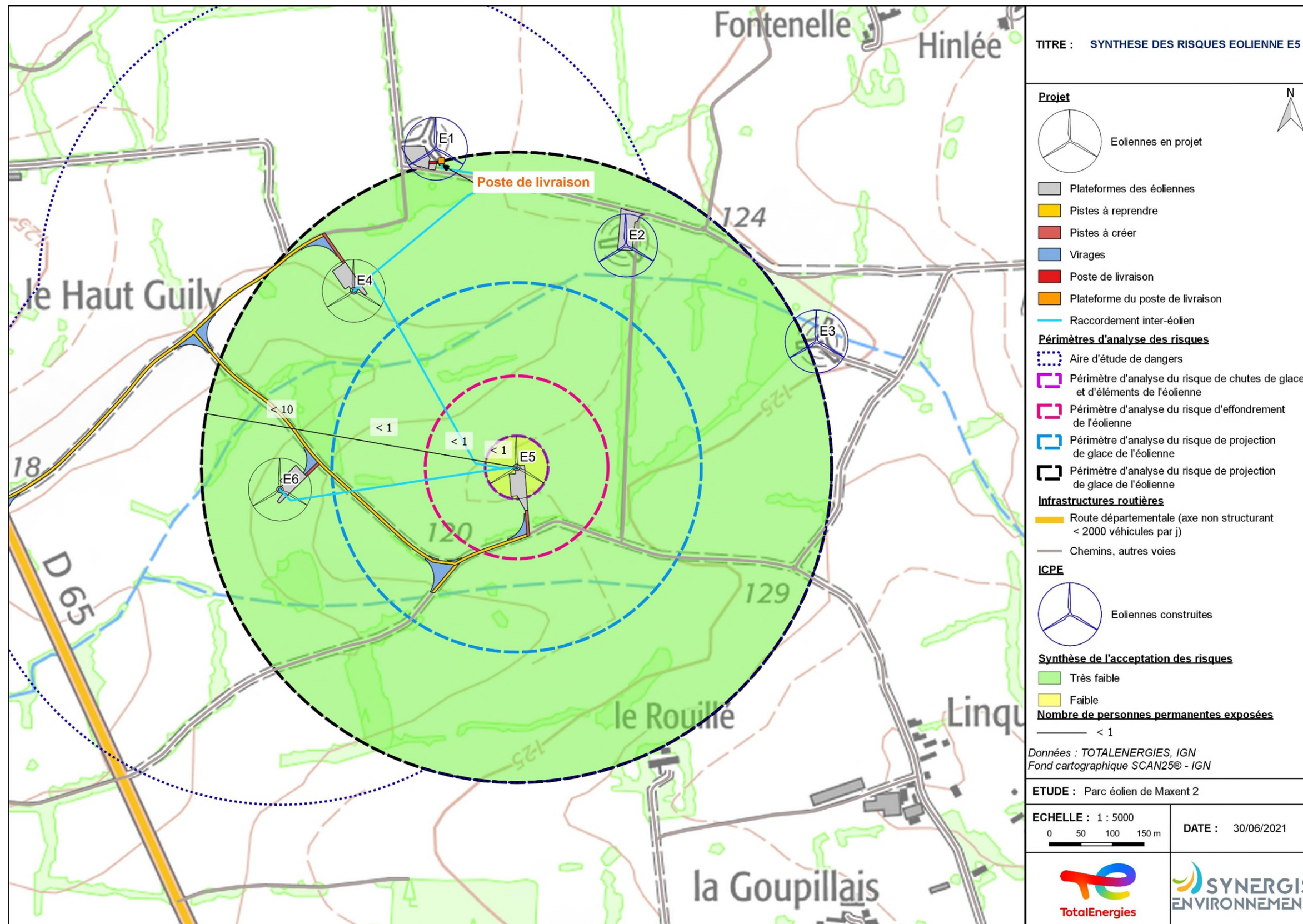


Figure 36 : Synthèse des risques de l'éolienne E5

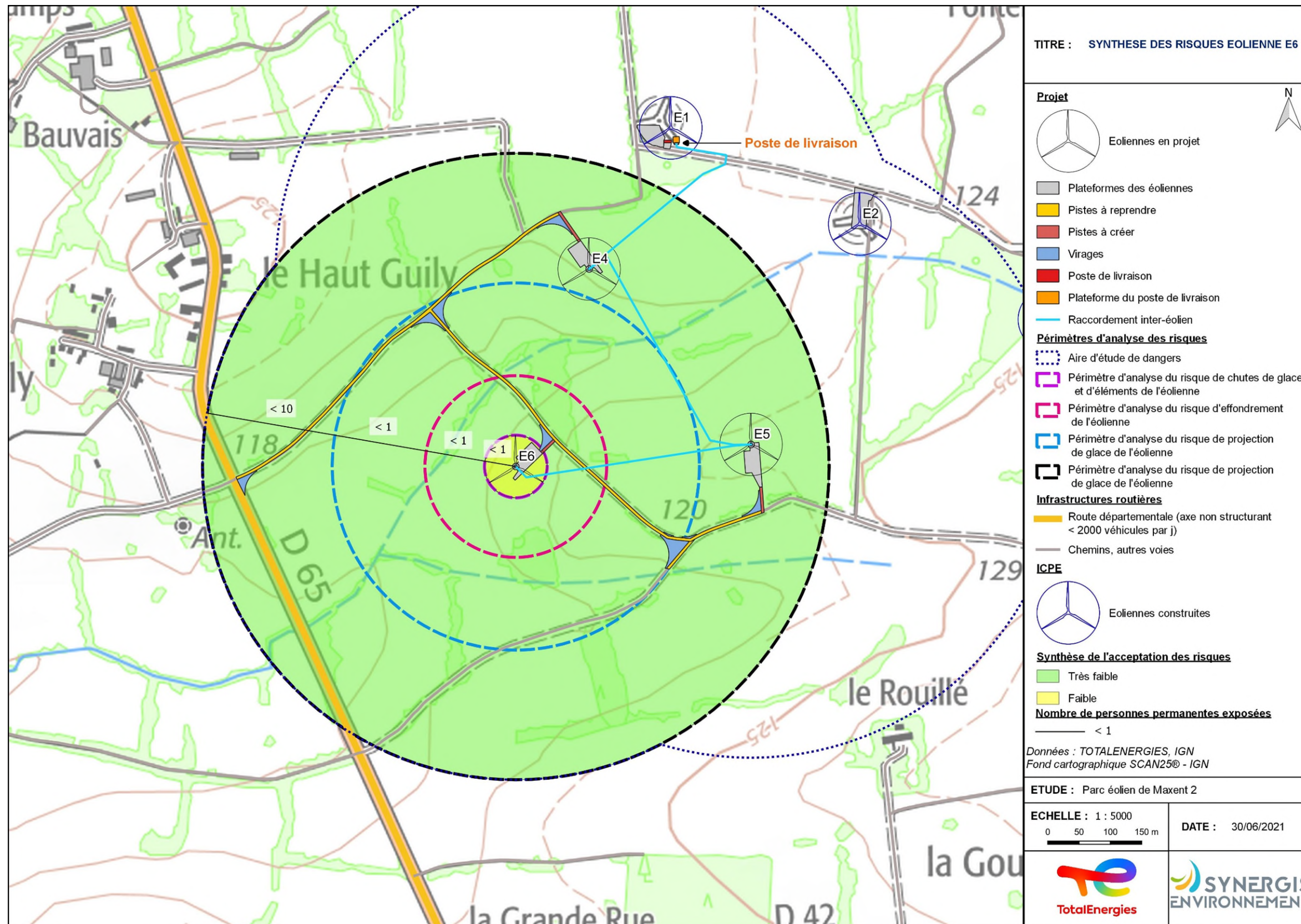


Figure 37 : Synthèse des risques de l'éolienne E6

VIII. CONCLUSION

Aux vues du recensement de l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne entre 2000 et début 2021, il apparaît que le risque est limité et qu'aucune victime n'a été à déplorer jusqu'à présent. Les éoliennes sont aujourd'hui des structures de plus en plus sûres et fiables. Les constructeurs ont su profiter du retour d'expérience pour améliorer leurs technologies et ainsi limiter les risques d'incident et d'accident.

Les principaux accidents pris en compte dans l'étude sont résumés dans le tableau ci-dessous.

Scénario	Gravité	Probabilité	Niveau de risque	Acceptabilité
Effondrement de l'éolienne (1)	Sérieuse	D (pour des éoliennes récentes) ^[1]	Très faible	Acceptable
Chute de glace (2)	Modérée	A	Faible	Acceptable
Chute d'élément de l'éolienne (3)	Sérieuse	C	Faible	Acceptable
Projection de pale (4)	Modérée pour E6 et sérieuse pour E4 et E5	D (pour des éoliennes récentes) ^[2]	Très faible	Acceptable
Projection de glace (5)	Modérée	B	Très faible	Acceptable

Pour l'ensemble des phénomènes étudiés sur le projet éolien de Maxent 2 le risque est considéré comme acceptable.

^[1] Voir paragraphe VIII.2.1

^[2] Voir paragraphe VIII.2.4

IX. ANNEXES

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

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

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

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

IX.1.1 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 a minima 10 personnes à l'hectare.

IX.1.2 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.

IX.1.3 Voies de circulation automobiles

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

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

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

Figure 38 : Nombre de personnes exposées sur voies de communication structurantes en fonction du linéaire et du trafic

IX.1.4 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.

IX.1.5 Voies navigables

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

IX.1.6 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.

IX.1.7 Logements

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

IX.1.8 Etablissements recevant du public (ERP)

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

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

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

- Compter 15 personnes pour les tabacs, cafés, restaurants, supérettes et bureaux de poste.

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

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

IX.1.9 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.

IX.2 Annexe 2 : Tableau de l'accidentologie française

Le tableau ci-dessous a été établi par le groupe de travail constitué pour la réalisation du présent guide en 2011 puis actualisé par le pétitionnaire. Il recense l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne entre 2000 et février 2021. L'analyse de ces données est présentée dans la partie 6 de l'étude de dangers.

Tableau 47 : L'ensemble des accidents et incidents connus en France entre 2000 et juillet 2019

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Effondrement	Novembre 2000	Port la Nouvelle	Aude	0,5	1993	Non	Le mât d'une éolienne s'est plié lors d'une tempête suite à la perte d'une pale (coupure courant prolongée pendant 4 jours suite à la tempête)	Tempête avec foudre répétée	Rapport du CGM Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2001	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts)	?	Site Vent de Colère	Information peu précise
Effondrement	01/02/2002	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris d'hélice et mât plié	Tempête	Rapport du CGM Site Vent du Bocage	-
Maintenance	01/07/2002	Port la Nouvelle – Sigean	Aude	0,66	2000	Oui	Grave électrisation avec brûlures d'un technicien	Lors de mesures pour cartériser la partie haute d'un transformateur 690V/20kV en tension. Le mètre utilisé par la victime, déroulé sur 1,46m, s'est soudainement plié et est entré dans la zone du transformateur, créant un arc électrique.	Rapport du CGM	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	28/12/2002	Névian - Grande Garrigue	Aude	0,85	2002	Oui	Effondrement d'une éolienne suite au dysfonctionnement du système de freinage	Tempête + dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Site Vent de Colère Article de presse (Midi Libre)	-
Rupture de pale	25/02/2002	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pale en bois (avec inserts) sur une éolienne bipale	Tempête	Article de presse (La Dépêche du 26/03/2003)	Information peu précise
Rupture de pale	05/11/2003	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts) sur trois éoliennes. Morceaux de pales disséminés sur 100 m.	Dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Article de presse (Midi Libre du 15/11/2003)	-
Effondrement	01/01/2004	Le Portel – Boulogne sur Mer	Pas de Calais	0,75	2002	Non	Cassure d'une pale, chute du mât et destruction totale. Une pale tombe sur la plage et les deux autres dérivent sur 8 km.	Tempête	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (Windpower Monthly May 2004, La Voix du Nord du 02/01/2004)	-
Effondrement	20/03/2004	Loon Plage – Port de Dunkerque	Nord	0,3	1996	Non	Couchage du mât d'une des 9 éoliennes suite à l'arrachement de la fondation	Rupture de 3 des 4 micropieux de la fondation, erreur de calcul (facteur de 10)	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (La Voix du Nord du 20/03/2004 et du 21/03/2004)	-
Rupture de pale	22/06/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50 m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	-
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5m à 50m, mat intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	Incident identique à celui s'étant produit 15 jours auparavant

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puis- sance (en MW)	Année de mise en ser- vice	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dé- gâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utili- sation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	2004	Escales- Conilhac	Aude	0,75	2003	Non	Bris de trois pales		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale + incendie	22/12/2004	Montjoyer- Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne (survitesse de plus de 60 tr/min)	Survitesse due à une maintenance en cours, problème de régulation, et dysfonctionnement du système de freinage	Base de données ARIA Article de presse (La Tribune du 30/12/2004) Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2005	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris de pale		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale	08/10/2006	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2004	Non	Chute d'une pale de 20 m pesant 3 tonnes	Allongement des pales et retrait de sécurité (débridage), pas de REX suite aux précédents accidents sur le même parc	Site FED Articles de presse (Ouest France) Journal FR3	-
Incendie	18/11/2006	Roquetaillade	Aude	0,66	2001	Oui	Acte de malveillance : explosion de bonbonne de gaz au pied de 2 éoliennes. L'une d'entre elles a mis le feu en pieds de mat qui s'est propagé jusqu'à la nacelle.	Malveillance / incendie criminel	Communiqués de presse exploitant Articles de presse (La Dépêche, Midi Libre)	-
Effondrement	03/12/2006	Bondues	Nord	0,08	1993	Non	Sectionnement du mât puis effondrement d'une éolienne dans une zone industrielle	Tempête (vents mesurés à 137Kmh)	Article de presse (La Voix du Nord)	-
Rupture de pale	31/12/2006	Ally	Haute-Loire	1,5	2005	Oui	Chute de pale lors d'un chantier de maintenance visant à remplacer les rotors	Accident faisant suite à une opération de maintenance	Site Vent de Colère	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident pendant la phase chantier)
Rupture de pale	03/2007	Clitourps	Manche	0,66	2005	Oui	Rupture d'un morceau de pale de 4 m et éjection à environ 80 m de distance dans un champ	Cause pas éclaircie	Site FED Interne exploitant	-
Chute d'élément	11/10/2007	Plouvien	Finistère	1,3	2007	Non	Chute d'un élément de la nacelle (trappe de visite de 50 cm de diamètre)	Défaut au niveau des charnières de la trappe de visite. Correctif appliqué et retrofit des boulons de charnières effectué sur toutes les machines en exploitation.	Article de presse (Le Télégramme)	-
Emballement	03/2008	Dinéault	Finistère	0,3	2002	Non	Emballement de l'éolienne mais pas de bris de pale	Tempête + système de freinage hors service (boulon manquant)	Base de données ARIA	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (événement unique et sans répercussion potentielle sur les personnes)
Collision avion	04/2008	Plouguin	Finistère	2	2004	Non	Léger choc entre l'aile d'un bimoteur Beechcraftch (liaison Ouessant-Brest) et une pale d'éolienne à l'arrêt. Perte d'une pièce de protection au bout d'aile. Mise à l'arrêt de la machine pour inspection.	Mauvaise météo, conditions de vol difficiles (sous le plafond des 1000m imposé par le survol de la zone) et faute de pilotage (altitude trop basse)	Articles de presse (Le Télégramme, Le Post)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident aéronautique)
Rupture de pale	19/07/2008	Erize-la-Brûlée - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale et projection de morceaux de pale suite à un coup de foudre	Foudre + défaut de pale	Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain 22/07/2008)	-
Incendie	28/08/2008	Vauvillers	Somme	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Problème au niveau d'éléments électroniques	Dépêche AFP 28/08/2008	-
Rupture de pale	26/12/2008	Raival - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale		Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain)	-
Maintenance	26/01/2009	Clastres	Aisne	2,75	2004	Oui	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance	Accident électrique (explosion d'un convertisseur)	Base de données ARIA	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puis- sance (en MW)	Année de mise en ser- vice	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dé- gâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utili- sation dans l'étude de dangers
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)	-
Maintenance	20/04/2010	Toufflers	Nord	0,15	1993	Non	Décès d'un technicien au cours d'une opération de maintenance	Crise cardiaque	Article de presse (La Voix du Nord 20/04/2010)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	30/05/2010	Port la Nouvelle	Aude	0,2	1991	Non	Effondrement d'une éolienne	Le rotor avait été endommagé par l'effet d'une survitesse. La dernière pale (entière) a pris le vent créant un balourd. Le sommet de la tour a plié et est venu buter contre la base entraînant la chute de l'ensemble.	Interne exploitant	-
Incendie	19/09/2010	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Emballement de deux éoliennes et incendie des nacelles.	Maintenance en cours, problème de régulation, freinage impossible, évacuation du personnel, survitesse de +/- 60 tr/min	Articles de presse Communiqué de presse SER-FEE	-
Maintenance	15/12/2010	Pouillé-les-Côteaux	Loire Atlantique	2,3	2010	Oui	Chute de 3 m d'un technicien de maintenance à l'intérieur de l'éolienne. L'homme de 22 ans a été secouru par le GRIMP de Nantes. Aucune fracture ni blessure grave.		Interne SER-FEE	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Transport	31/05/2011	Mesvres	Saône-et-Loire	-	-	-	Collision entre un train régional et un convoi exceptionnel transportant une pale d'éolienne, au niveau d'un passage à niveau Aucun blessé		Article de presse (Le Bien Public 01/06/2011)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident de transport hors site éolien)
Rupture de pale	14/12/2011	Non communiqué	Non communiqué	2,5	2003	Oui	Pale endommagée par la foudre. Fragments retrouvés par l'exploitant agricole à une distance n'excédant pas 300 m.	Foudre	Interne exploitant	Information peu précise sur la distance d'effet
Incendie	03/01/2012	Non communiqué	Non communiqué	2,3	2006	Oui	Départ de feu en pied de tour. Acte de vandalisme : la porte de l'éolienne a été découpée pour y introduire des pneus et de l'huile que l'on a essayé d'incendier. Le feu ne s'est pas propagé, dégâts très limités et restreints au pied de la tour.	Malveillance / incendie criminel	Interne exploitant	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'incendie)
Rupture de pale	05/01/2012	Widehem	Pas-de-Calais	0,75	2000	Non	Bris de pales, dont des fragments ont été projetés jusqu'à 380 m. Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne).	Tempête + panne d'électricité	Article de presse (La Voix du Nord 06/01/2012) Vidéo DailyMotion Interne exploitant	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puis- sance (en MW)	Année de mise en ser- vice	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dé- gâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utili- sation dans l'étude de dangers
Maintenance	06/02/2012	Lehaucourt	Aisne	2,5	2007	Non	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).	Arc électrique		Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Rupture de pale	11/04/2012	Sigean	Aude	0,66	2000	Non	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		
Chute de pale	18/05/2012	Chemin d'Ablis	Eure et Loir	2	2008	Non	L'équipe de maintenance d'astreinte constate à 8 h la chute d'une pale (9 t, 46 m) au pied de l'installation et la rupture du roulement qui raccordait la pale au hub.	Corrosion et fort vent.	Actu-environnement	-
Effondrement	30/05/2012	Port-la-Nouvelle	Aude	0,2	1991	non	Des 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.	Vents forts		
Chute d'élément	01/11/2012	Vieillespesse	Cantal	2,5	2011	non	Un élément de 400 g constitutif d'une pale d'éolienne est projeté à 70 m du mât, à l'intérieur de la parcelle clôturée du parc			
Incendie	05/11/2012	Sigean	Aude	0,66	2000	Non	Un feu se déclare sur une éolienne de 660 kW au sein d'un parc éolien. Des projections incandescentes enflamment 80 m ² de garrigue environnante. A la suite de la chute d'une pale, un gardiennage 24 h / 24 est mis en place.	Court-circuit dans l'armoire électrique en pied d'éolienne		
Rupture de pale	06/03/2013	Conilhac-de-la-Montagne	Aude	0,66	2001	Non	A la suite d'un défaut de vibration détecté, une éolienne se met automatiquement à l'arrêt. Sur place le lendemain, des techniciens du constructeur trouvent au sol l'une des 3 pales qui s'est décrochée avant de percuter le mât.	Echauffement du frein et vitesse de rotation excessive		
Incendie	17/03/2013	Euvy	Marne	2,5	2011	Non	Un feu dans la nacelle d'une éolienne. Le sinistre émet une importante fumée. Une des pales tombe au sol, une autre menace de tomber. 450 l d'huile de boîte de vitesse s'écoulent, conduisant l'exploitant à faire réaliser une étude de pollution des sols	Défaillance électrique		
Rupture de pale	20/06/2013	Labastide-sur-Besorgues	Ardèche	0,9	2008	Non	Un impact de foudre endommage 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.	Foudre		

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puis- sance (en MW)	Année de mise en ser- vice	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dé- gâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utili- sation dans l'étude de dangers
Maintenance	01/07/2013	Cambon-et-Salvergues	Hérault	1,3	2006	Non	Au cours d'une opération de maintenance dans le hub d'une éolienne (nez qui sert de local technique), un opérateur est blessé par la projection d'une partie amovible de l'équipement sur lequel il intervient.	Dépressurisation d'un accumulateur d'azote sous pression		Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Maintenance	03/08/2013	Moreac	Morbihan	-	-	-	Perte de 270 L d'huile hydraulique d'une nacelle élévatrice utilisée pour une intervention de maintenance. 25 t de terres polluées sont excavées et envoyées en filière spécialisée.	Défaillance technique	Base ARIA	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Incendie	09/01/2014	Antheny	Ardenne	2,5	2013	Non	Départ de feu en nacelle à 18h. Suite à l'isolement électrique du parc éolien le feu s'éteint de lui-même à 20h. Le rotor est resté intact mais la nacelle a été détruite, balisage aéronautique inclus. L'aviation civile en a donc été informée. L'éolienne fut par la suite démantelée.	Incident électrique	Base ARIA et presse	-
Rupture de pale	14/11/2014	Saint-Cirgues-en-Montagne	Ardèche	2,05	2011	Non	La pale d'une éolienne chute 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.	Tempête		
Rupture de pale	05/12/2014	Fitou	Aude	1,3	2002	Non	A leur arrivée dans un parc éolien, 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	Défaillance matérielle ou décollage sur les plaques de fibre de verre		
Incendie	29/01/2015	Remigny	Aisne	2,3	2015	Oui	Un feu se déclare dans une éolienne. Celle-ci est automatiquement mise à l'arrêt sur alarme du détecteur de fumée.	Défaut d'isolation au niveau des connexions des conducteurs de puissance		
Incendie	06/02/2015	Lusseray	Deux-Sèvres	2	2011	Non	Un feu se déclare dans une éolienne, au niveau d'une armoire électrique où interviennent 2 techniciens.	Défaillance électrique		
Incendie	24/08/2015	Santilly	Eure-et-Loire	2,5	2007	Non	Un feu se déclare sur le moteur d'une éolienne situé à 90 m de hauteur.			
Chute de pales	10/11/2015	Ménil-la-Horgne	Meuse	1,5	2007	Non	Chute d'un rotor et des trois pales au pied de l'éolienne.	« Défaut dans l'arbre primaire à l'origine de la rupture » du rotor et des pales.	Est Républicain	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puis- sance (en MW)	Année de mise en ser- vice	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dé- gâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utili- sation dans l'étude de dangers
Chute d'éléments	07/02/2016	Conilhac- Corbieres	Aude	2,3	2014	Non	Rupture et chute au sol de l'aérofrein de l'une des pales. Arrêt à distance de l'ensemble du parc suivi d'une campagne de contrôle des pales, aérofreins et chaînes de sécurité de chaque éolienne.	Rupture d'un point d'attache du système mécanique de commande de l'aérofrein entraînant l'ouverture de l'aérofrein. Rupture de l'axe maintenant l'aérofrein à la pale en raison des fortes charges présentes sur le rotor	Base ARIA	
Rupture 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.	Tempête		
Chute de pale	05/03/2016	Calanhel	Côtes d'Armor	0,85	2009	Non	Chute de la pale au sol après une nuit de fort vent. Aucun blessé à déplorer, ni homme ni animaux	Défaillance du système d'orientation de la pale	L'Echo de l'Armor et l'Argoat	-
Maintenance	28/05/2016	Janville	Eure-et-Loir	2,3	2005	Non	Un employé constate un écoulement d'huile sous la nacelle d'une éolienne. L'écoulement d'huile est récupéré avant d'avoir atteint le sol.	Défaillance d'un raccord sur le circuit de refroidissement de l'huile de la boîte de vitesse		Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Incendie	10/08/2016	Hescamps	Somme	1	2008	Non	Un feu se déclare dans la partie haute d'une éolienne, au niveau du rotor.	Défaillance électrique		
Incendie	18/08/2016	Dargies	Oise	2	2014	Non	Un technicien de maintenance d'un parc éolien constate 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	Défaillance électrique		
Maintenance	14/09/2016	Les Grandes Chapelles	Aube	2,3	2009	Non	Un employé est électrisé alors qu'il intervient dans le nez d'une éolienne			Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Fissure sur une pale	11/01/2017	Le Quesnoy	Nord	-	-	-	Une fissure est constatée sur une pale. L'exploitant arrête l'installation. Réparation de la pale en place.		Base ARIA BARPI, mot clef « éolienne »	
Rupture de pale	12/01/2017	Tuchan	Aude	0,6	2002	Non	Lors d'un épisode de vents violents (25m/s) les 3 pales d'une éolienne chutent au sol. Des morceaux de fibre de carbone sont récupérés à 40 m de l'éolienne. L'éolienne était à l'arrêt pour maintenance suite à la casse de son arbre lent.		Base ARIA BARPI, mot clef « mat »	

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puis- sance (en MW)	Année de mise en ser- vice	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dé- gâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utili- sation dans l'étude de dangers
Chute d'une pale	18/01/2017	Nurlu	Somme	-	-	-	Rupture de 2/3 de la pale. Des débris sont retrouvés à 90 m du mat, les débris les plus lourds sont à moins de 27 m. L'accident est constaté par un particulier. L'exploitant arrête les machines, met le site en sécurité et met en place un périmètre de sécurité autour de la zone.	Tempête	Base ARIA BARPI, mot clef « éolienne »	
Rupture de pale	27/02/2017	Lavallée	Meuse	0,2			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	Un Orage violent		
Rupture de pale	27/02/2017	Trayes	Deux-Sèvres	2	2011	Oui	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 mât, haut lui-même de 78 m.	Impact de la foudre et vent violent		
Incendie	06/06/2017	Le Moulin d'Émanville	Eure-et-Loir	3	2014	Oui	Un incendie se déclare dans la nacelle d'une éolienne. L'incendie s'éteint seul, à la fin de la combustion de la nacelle. L'incendie a été causé par un défaut électrique dans la nacelle.	Défaut électrique	Base ARIA BARPI, mot clef « éolienne »	
Rupture de pale	08/06/2017	Aussac-Vadalle	Charente	2	2010	Oui	Chute d'une partie d'une pale d'une éolienne suite à un impact de foudre (à 35 cm de l'extrémité, il a entraîné la rupture du bord de fuite puis une déchirure du fragment). Les débris sont tombés dans une zone de 50 à 100m autour du mât de l'éolienne.	Impact de foudre	Base ARIA BARPI, mot clef « éolienne »	
Chute de pale	24/06/2017	Tambours	Pas de Calais	1,67	2007	Non	Rupture d'une pale d'une éolienne au niveau de la jonction avec le rotor. La pale chute à la verticale, au pied du mat. Les quelques débris projetés sont présents dans un rayon de 20 m.		Base ARIA BARPI, mot clef « éolienne »	
Chute d'éléments	17/07/2017	Fécamp	Seine-Maritime	0,9	2006	Non	Un aérofrein se détache d'une pale d'éolienne au pied du mât de 49 m. L'aérofrein défectueux est remplacé. 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.	Desserrage d'une vis anti rotation ayant entraîné la chute de l'aérofrein Problème de montage ou vibration	Base ARIA BARPI, mot clef « éolienne »	
Rupture d'une pale	05/08/2017	L'Oisière	Aisne	2	2017	Oui	Une pale d'éolienne se brise en son milieu et tombe au sol.		Base ARIA BARPI, mot clef « éolienne »	

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puis- sance (en MW)	Année de mise en ser- vice	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dé- gâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utili- sation dans l'étude de dangers
Chute d'éléments	08/11/2017	Roman-Blandey	Eure-et-Loir	2	2010	Oui	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.	L'exploitant conclut que la chute du carénage est due à un défaut d'assemblage de ses boulonnages.	Base ARIA BARPI, mot clef « éolien »	
Effondrement	03/01/2018	Bouin	Vendée	2,5	2003	Non	Suite au passage de la tempête Carmen, l'une des éoliennes du parc a été fracturée à la base de son mât entraînant l'effondrement total de l'aérogénérateur.	Tempête Carmen	Ouest-France	
Chute de pale	04/01/2018	Rampont	Meuse	2	2008	Non	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.	Inconnue		
Chute d'éléments	06/02/2018	Conilhac	Aude	2,3	2014	Oui	Chute de l'aéroofrein d'une pale d'éolienne	Défaut sur l'électronique de puissance	Base Aria	
Défaillance mécanique	08/03/2018	Vaite-Buissières	Doubs	2,78	2016	Oui	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.	Le fabricant de l'éolienne 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.	Base Aria	
Rupture d'une pale	10/04/2018	Lou Pioch	Hérault	1	2006	Non	Une tempête soufflait entre 120 et 150 km/h et a cassé la pale d'une éolienne. L'hélice de plusieurs centaines de kilos est brisée en 2.	Tempête	Midi-Libre	
Incendie	01/06/2018	Marsanne	Drôme	2	2008		Une éolienne a été entièrement détruite, et une deuxième semble avoir été également visée par une tentative de mise à feu	Origine criminelle	Site internet Société RES	
Incendie	05/06/2018	Aumelas	Hérault	2	2014		Le feu s'est déclaré sur la partie haute, au niveau du moteur de l'éolienne, et sur la partie basse, au niveau du convertisseur.	Dysfonctionnement électrique	Midi-Libre	
Chute de pale	04/07/2018	Corbières-Maritimes	Aude	0,5	1993	Non	Les extrémités des pales se sont disloquées. Des éléments sont projetés à 150 m du mât après s'être décrochées. L'exploitant met en place un périmètre de sécurité.	Inconnue	Base ARIA	

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puis- sance (en MW)	Année de mise en ser- vice	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dé- gâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utili- sation dans l'étude de dangers
Incendie éolienne	03/08/2018	Izenave	Ain	2	2018	Oui	Une éolienne a été endommagée par l'incendie volontaire. Le feu a totalement ravagé une nacelle d'éolienne.	Acte criminel	https://france3-regions.francetvinfo.fr/auvergne-rhone-alpes/ain/bourg-bresse/incendie-parc-eolien-monts-ain-nouvel-acte-volontaire-1521548.html	
Incendie	28/09/2018	Sauveterre	Tarn	2	2009		Un dysfonctionnement électrique est à l'origine de l'incendie sur l'une des éoliennes, le feu se serait ensuite propagé à la végétation alentour.	Dysfonctionnement électrique	La Dépêche	
Fuite d'huile	17/10/2018	Le Quint	Somme	2	2017	Oui	Un technicien de maintenance détecte une fuite d'huile hydraulique depuis la nacelle d'une éolienne. 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 de 2 000 m ² . Une partie des cultures est perdue. Les terres polluées sont décapées sur une dizaine de cm.	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.	Base de données ARIA	
Effondrement	07/11/2018	Mardelle	Loiret	3	2010	Oui	L'éolienne de 90 mètres de haut et de 50 tonnes, s'est écrasée sur le sol sans faire de blessés ni heurter un autre appareil. EDPR France, qui exploite ces éoliennes ignore pour l'instant les causes de la chute.	Le système de freinage aérodynamique de l'éolienne, régulant la rotation du rotor, ne s'est pas enclenché et a ainsi entraîné une rotation trop rapide des pales. Ce fonctionnement anormal a généré une surcharge sur la structure provoquant la chute de la machine	France 3 Centre-Val-de-Loire L'Echo Républicain	
Chute de pale	19/11/2018	Tournevents du COS	Aisne	2,4	2017	Oui	Un bout d'une pale d'une des éoliennes du parc d'Ollezy est tombé en plein champ, ne causant aucune victime.	Inconnue	Le journal de Ham	
Incendie éolienne	03/01/2019	La Limouzinière	Loire Atlantique	2,05	2010	Oui	Le moteur de l'éolienne a pris feu. Le feu a endommagé la nacelle.		Ouest France	
Rupture de pale	17/01/2019	Bambesch	Moselle	2	2007	Oui	Un morceau de l'extrémité d'une pale a chuté au pied du mat de l'éolienne. Le bris et la projection de plusieurs morceaux de pale ont entraîné l'arrêt de l'ensemble du parc éolien.	Inconnue	Le Républicain Lorrain	
Effondrement	23/01/2019	Boutavent	Oise	1	2011	Oui	L'éolienne s'est pliée en deux. Plusieurs débris ont été retrouvés dans un rayon de 300 m. Les pales tournaient en survitesse pendant plus de 40 minutes jusqu'à ce qu'une des pales commence à se délaminer, provoquant un balourd suffisant pour fatiguer le mât au point de finir par le plier en deux.	Inconnue	Courrier picard	

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puis- sance (en MW)	Année de mise en ser- vice	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dé- gâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utili- sation dans l'étude de dangers
Chute de pale	30/01/2019	Roquetaillade	Aude	0,66	2001	Non	Une pale d'un des aérogénérateurs a chuté au sol. Aucun blessé à déplorer. Une des pales du même parc avait auparavant connu un problème de fixation. Une enquête a été ouverte	Inconnue	L'indépendant	
Incendie	25/06/2019	Kéruef	Morbihan	1,67	2008	Oui	Le feu a pris au niveau du moteur arrière. à environ 80 m de hauteur, alors que les pales mesurent environ 35 mètres. Rapidement les fumées se sont intensifiées et des flammes imposantes ont envahi l'ensemble de l'espace moteur, dans la turbine.	Inconnue	Ouest France	
Rupture de pale	09/12/2019	Theil-Rabier	16	2	2016	Oui	La pale de l'éolienne n°5 s'est brisée en 2 et l'éolienne s'est arrêtée.	À l'issue des premières analyses, on a constaté qu'il n'y pas eu d'emballement du rotor. Le bruit émis étant probablement dû au déséquilibre de la pale dans ses dernières rotations.	Charente Libre	
Rupture de pale	09/02/2020	Beaurevoir	Aisne	2	2009	Oui	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	Les conditions météorologiques liées à la tempête Ciara	ARIA	
Rupture de pale	25/02/2020	Theil-Rabier	16	2	2016	Oui	Une pale d'éolienne s'est brisée, projetant des débris autour du mât. Cet accident fait suite à l'accident du 09/12/2019 sur le même parc éolien. Les 12 éoliennes sont mises à l'arrêt par décision préfectorale.	-	Charente Libre	
Incendie	24/03/2020	La Bouleste	12	2	2010	Oui	La nacelle de la machine a pris feu. 10 pompiers et autant de gendarmes se sont rendus sur place.	Inconnue	La Dépêche	
Rupture de pale	30/04/2020	Deux-Croix en Plouarzel	29	0,66	2000	Non	La pale a subi une pliure inquiétante, laissant penser qu'elle pourrait casser et tomber au sol.	Inconnue	Vent des Noues	
Chute de pale	27/06/2020	La Ferrière et Plemet	22	2,5	2015	Oui	Une pale d'éolienne s'est écrasée dans un champ après s'être désolidarisée de sa nacelle.	Le mât de l'éolienne présente des rayures qui semblent indiquer que la pale s'est détachée progressivement avant de tomber à son pied.	Actu.fr	
Chute de pale	12/01/2021	Saint-George-sur-Arnon	36	2,5	2011	Oui	Une pale arrachée de son rotor et a endommagé les deux autres pales.	Le dommage aurait été causé par un problème isolé du convertisseur du système d'orientation des pâles de l'éolienne Nordex endommagée.	La Nouvelle République	

IX.3 Annexe 3 – Scénarii génériques issus de l’analyse préliminaire des risques

Cette partie apporte un certain nombre de précisions par rapport à chacun des scénarii 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 8.4. de la trame type de l’étude de dangers. Il peut être considéré comme représentatif des scénarii 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 scénarii ci-dessous reprend celle utilisée dans le tableau de l’analyse préliminaire des risques, avec un regroupement des scénarii 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 scénarii concernant la glace, « I » pour ceux concernant l’incendie, « F » pour ceux concernant les fuites, « C » pour ceux concernant la chute d’éléments de l’éolienne, « P » pour ceux concernant les risques de projection, « E » pour ceux concernant les risques d’effondrement).

IX.3.1 Scénarii relatifs aux risques liés à la glace (G01 et G02)

Scénario G01

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

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

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

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

Scénario G02

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

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

IX.3.2 Scénarii relatifs aux risques d’incendie (I01 à I07)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- Déclenchement au niveau du rotor du code de freinage d’urgence, 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 dangers une description des protocoles qui seront mis en place en cas de pertes d'utilités.

IX.3.3 Scénarii 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 dangers. Plusieurs mesures pourront être mises en place (photographie du fond de fouille des fondations pour montrer que la nappe phréatique n'a pas été atteinte, comblement des failles karstiques par des billes d'argile, utilisation de graisses végétales pour les engins, ...).

Scénario F01

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

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

- Vérification des niveaux d'huile lors des opérations de maintenance
- Détection des fuites potentielles par les opérateurs lors des maintenances
- Procédure de gestion des situations d'urgence
- Deux événements peuvent être aggravants :

Écoulement de ces produits le long des pales de l'éolienne, surtout si celle-ci est en fonctionnement. Les produits seront alors projetés aux alentours.

Présence d'une forte pluie qui dispersa rapidement les produits dans le sol.

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.

IX.3.4 Scénarii 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.

IX.3.5 Scénarii 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'emballlement de l'éolienne constitue un facteur aggravant en cas de projection de tout ou partie d'une pale. Cet emballlement peut notamment être provoqué par la perte d'utilité décrite au 2.2 de la présente partie C (scénarii incendies).

Scénario P01

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

Scénario P02

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

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

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

Scénarii 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.

IX.3.6 Scénarii relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E1 à E3)

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, ...

IX.4 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 :

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

PERC : probabilité que l’événement redouté central (défaillance) se produise = probabilité de départ

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)

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

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.

Tableau 48 : Les probabilités d’atteinte en fonction d’événement redouté

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

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

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

IX.5 Annexe 5 – Glossaire

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

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

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

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

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

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

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

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

Gravité : On distingue l'intensité des effets d'un phénomène dangereux de la gravité des conséquences découlant de l'exposition d'enjeux de vulnérabilités données à ces effets. La gravité des conséquences potentielles prévisibles sur les personnes, prises parmi les intérêts visés à l'article L. 511-1 du code de l'environnement, résulte de la

combinaison en un point de l'espace de l'intensité des effets d'un phénomène dangereux et de la vulnérabilité des enjeux potentiellement exposés.

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

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

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

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

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

Potentiel de dangers (ou « source de dangers », ou « élément dangereux », ou « élément porteur de dangers ») : 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 dangers » correspond à un ensemble technique nécessaire au fonctionnement du processus envisagé.

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

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

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

Attention aux confusions possibles :

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

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

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

Réduction de l'intensité : par action sur l'élément porteur de dangers (ou potentiel de dangers), par exemple substitution par une substance moins dangereuse, réduction des vitesses de rotation, etc.

Réduction des dangers: la réduction de l'intensité peut également être accomplie par des mesures de limitation
La réduction de la probabilité et/ou de l'intensité correspond à une réduction du risque « à la source ».

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

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

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

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

Les définitions suivantes sont issues de l'arrêté du 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 :

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

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

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

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

SER : Syndicat des Énergies Renouvelables

FEE : France Énergie Éolienne

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

EDD : Etude de dangers

APR : Analyse Préliminaire des Risques

ERP : Etablissement Recevant du Public

IX.6 Annexe 6 – Bibliographie et références utilisées

- [1] L'évaluation des fréquences et des probabilités à partir des données de retour d'expérience (ref DRA-11-117406-04648A), INERIS, 2011
- [2] NF EN 61400-1 Eoliennes – Partie 1 : Exigences de conception, Juin 2006
- [3] Wind Turbine Accident data to 31 March 2011, Caithness Windfarm Information Forum
- [4] Site Specific Hazard Assessment for a wind farm project – Case study – Germanischer Lloyd, Windtest Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH, 2010/08/24
- [5] Guide for Risk-Based Zoning of wind Turbines, Energy research centre of the Netherlands (ECN), H. Braam, G.J. van Mulekom, R.W. Smit, 2005
- [6] Specification of minimum distances, Dr-ing. Veenker ingenieurgesellschaft, 2004
- [7] Permitting setback requirements for wind turbine in California, California Energy Commission – Public Interest Energy Research Program, 2006
- [8] Oméga 10: Evaluation des barrières techniques de sécurité, INERIS, 2005
- [9] Arrêté du 22 juin 2020 portant modification des prescriptions relatives aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement.
- [10] Arrêté du 29 Septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation
- [11] Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 Juillet 2003
- [12] Bilan des déplacements en Val-de-Marne, édition 2009, Conseil Général du Val-de-Marne
- [13] Alpine test site Güttsch : monitoring of a wind turbine under icing conditions- R. Cattin et al.
- [14] Wind energy production in cold climate (WECO), Final report - Bengt Tammelin et al. – Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 2000
- [15] Rapport sur la sécurité des installations éoliennes, Conseil Général des Mines - Guillet R., Leteutrois J.-P. - juillet 2004
- [16] Risk analysis of ice throw from wind turbines, Seifert H., Westerhellweg A., Kröning J. - DEWI, avril 2003
- [17] Wind energy in the BSR: impacts and causes of icing on wind turbines, Narvik University College, novembre 2005