

5. ETUDE DE DANGERS

Compléments

Décembre 2022

PROJET EOLIEN DE FORTEL-VILLERS





Parc éolien de Fortel-Villers

Communes de Fortel-en-Artois et Villers-l'Hôpital

Département du Pas-de-Calais (62)

Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale (DDAE)

Pièce 5 : Étude de dangers



**AEPE
Gingko**



Atelier d'écologie paysagère
& environnementale

Décembre 2022

PIÈCES DU DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE

L'architecture retenue pour les pièces du dossier de demande d'autorisation environnementale est la suivante :

- Pièce 1 : Description du projet
- Pièce 2 : Sommaire inversé
- Pièce 3 : Description de la demande
- Pièce 4-1 : Étude d'impact sur l'environnement
- Pièce 4-2 : Volet Paysager
- Pièce 4-3 : Volet Écologique
- Pièce 4-4 : Volet Acoustique
- Pièce 4-5 : Résumé non technique de l'étude d'impact
- Pièce 4-6 : Note de présentation non technique
- Pièce 4-7 : Annexes de l'étude d'impact
- **Pièce 5 : Étude de dangers et Résumé non technique de l'étude de dangers**
- Pièce 6 : Consultations DGAC-DIRCAM
- Pièce 7 : Représentations graphiques
- Pièce 8 : Avis soumis au RGPD
- Pièce 9 : Justificatif dépôt RNT

La présente pièce 5 constitue l'étude de dangers des installations du projet de parc éolien.

SOMMAIRE

I. RÉSUMÉ NON TECHNIQUE	4
I.1. L'ENVIRONNEMENT DU PROJET	4
I.2. LA DESCRIPTION DU PROJET	5
I.3. L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES	6
I.4. L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES	7
I.5. LES MESURES DE MAITRISE DES RISQUES	9
II. PRÉAMBULE.....	10
II.1. LES OBJECTIFS DE L'ÉTUDE DE DANGERS	10
II.2. LE CONTEXTE LÉGISLATIF ET RÉGLEMENTAIRE	10
II.3. LA NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSÉES	11
II.4. LA DÉMARCHE GÉNÉRALE DE L'ÉTUDE DE DANGERS	11
III. LES INFORMATIONS GÉNÉRALES CONCERNANT L'INSTALLATION	12
III.1. LES RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS	12
III.2. LA LOCALISATION DU SITE	13
III.3. LA DÉFINITION DE L'AIRE D'ÉTUDE	14
IV. LA DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION	15
IV.1. L'ENVIRONNEMENT HUMAIN	15
IV.2. L'ENVIRONNEMENT NATUREL.....	16
IV.3. L'ENVIRONNEMENT MATÉRIEL.....	20
IV.4. LA SYNTHÈSE DES ENJEUX	22
V. LA DESCRIPTION DE L'INSTALLATION	23
V.1. LES CARACTÉRISTIQUES DE L'INSTALLATION	23
V.2. LE FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION.....	30
VI. L'IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION	33
VI.1. LES POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX PRODUITS	33
VI.2. LES POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX DÉCHETS.....	33
VI.3. LES POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION	34
VI.4. LA RÉDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS À LA SOURCE.....	34
VII. L'ANALYSE DES RETOURS D'EXPÉRIENCE	35
VII.1. L'INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS EN FRANCE	35
VII.2. L'INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS À L'INTERNATIONAL	36
VII.3. LA SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTÉS ISSUS DU RETOUR D'EXPÉRIENCE	37
VII.4. LES LIMITES D'UTILISATION DE L'ACCIDENTOLOGIE.....	37
VIII. L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES	38
VIII.1. L'OBJECTIF DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES	38
VIII.2. LE RECENSEMENT DES ÉVÉNEMENTS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES	38
VIII.3. LE RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES	38
VIII.4. LES SCÉNARIOS ÉTUDIÉS DANS L'ANALYSE GÉNÉRIQUE DES RISQUES.....	40
VIII.5. LES EFFETS DOMINOS	42
VIII.6. LA MISE EN PLACE DES MESURES DE SÉCURITÉ.....	43
VIII.7. LA CONCLUSION DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES	47
IX. L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES	48
IX.1. RAPPEL DES DÉFINITIONS.....	48
IX.2. LA CARACTÉRISATION DES SCÉNARIOS RETENUS.....	50
IX.3. LA SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES	63
IX.4. LES MESURES DE MAÎTRISE DES RISQUES	69
IX.5. LES MOYENS DE SECOURS ET D'INTERVENTION	69

X. LA CONCLUSION DE L'ÉTUDE DE DANGERS	70
XI. LES ANNEXES	71

LISTE DES CARTES

CARTE 1 : LES TYPES DE TERRAIN DE L'AIRE D'ÉTUDE DE DANGERS	4
CARTE 2 : PLAN D'IMPLANTATION DU PROJET – SECTEUR NORD.....	5
CARTE 3 : PLAN D'IMPLANTATION DU PROJET – SECTEUR SUD	6
CARTE 4 : SYNTHÈSE DES ZONES D'EFFET DES RISQUES ÉTUDIÉS	7
CARTE 5 : LES NIVEAUX DE RISQUES ÉVALUÉS POUR LE PARC ÉOLIEN	8
CARTE 6 : LA LOCALISATION DES INSTALLATIONS DU PROJET.....	13
CARTE 7 : LE PÉRIMÈTRE DE L'ÉTUDE DE DANGERS	14
CARTE 8 : L'ENVIRONNEMENT HUMAIN DE L'AIRE D'ÉTUDE DE DANGERS	16
CARTE 9 : LA DENSITÉ DE FOUROIEMENT ANNUEL AU KM ² (MÉTÉORAGE)	17
CARTE 10 : LE ZONAGE SISMIQUE EN VIGUEUR.....	18
CARTE 11 : L'ENVIRONNEMENT NATUREL DE L'AIRE D'ÉTUDE DE DANGERS	20
CARTE 12 : L'ENVIRONNEMENT MATÉRIEL DE L'AIRE D'ÉTUDE DE DANGERS	21
CARTE 13 : LES TYPES DE TERRAIN DE L'AIRE D'ÉTUDE DE DANGERS	22
CARTE 14 : LE PLAN DÉTAILLÉ DE L'INSTALLATION DES ÉOLIENNES 1, 2 ET 3 SUR SCAN 25.....	26
CARTE 15 : LE PLAN DÉTAILLÉ DE L'INSTALLATION DES ÉOLIENNES 4, 5, 6 ET 7 SUR SCAN 25.....	27
CARTE 16 : LE PLAN DÉTAILLÉ DE L'INSTALLATION DES ÉOLIENNES 1, 2 ET 3 SUR PHOTO-AÉRIENNE.....	28
CARTE 17 : LE PLAN DÉTAILLÉ DE L'INSTALLATION DES ÉOLIENNES 4, 5, 6 ET 7 SUR PHOTO-AÉRIENNE	29
CARTE 18 : LA ZONE D'EFFET DU RISQUE D'EFFONDREMENT DE L'ÉOLIENNE	50
CARTE 19 : LA ZONE D'EFFET DU RISQUE DE CHUTE DE GLACE.....	53
CARTE 20 : LA ZONE D'EFFET DU RISQUE DE CHUTE D'ÉLÉMENTS	55
CARTE 21 : LA ZONE D'EFFET DU RISQUE DE PROJECTION DE PALE OU DE FRAGMENT DE PALE	57
CARTE 22 : LA ZONE D'EFFET DES RISQUES DE PROJECTION DE GLACE.....	60
CARTE 23 : LES NIVEAUX DE RISQUES ÉVALUÉS POUR LE PARC ÉOLIEN	64
CARTE 24 : LES ZONES D'EFFETS DES DIFFÉRENTS RISQUES ÉTUDIÉS POUR L'ÉOLIENNE E1	65
CARTE 25 : LES ZONES D'EFFETS DES DIFFÉRENTS RISQUES ÉTUDIÉS POUR L'ÉOLIENNE E2	65
CARTE 26 : LES ZONES D'EFFETS DES DIFFÉRENTS RISQUES ÉTUDIÉS POUR L'ÉOLIENNE E3	66
CARTE 27 : LES ZONES D'EFFETS DES DIFFÉRENTS RISQUES ÉTUDIÉS POUR L'ÉOLIENNE E4	66
CARTE 28 : LES ZONES D'EFFETS DES DIFFÉRENTS RISQUES ÉTUDIÉS POUR L'ÉOLIENNE E5	67
CARTE 29 : LES ZONES D'EFFETS DES DIFFÉRENTS RISQUES ÉTUDIÉS POUR L'ÉOLIENNE E6	67
CARTE 30 : LES ZONES D'EFFETS DES DIFFÉRENTS RISQUES ÉTUDIÉS POUR L'ÉOLIENNE E7	68

LISTE DES FIGURES

FIGURE 13 : UN EXEMPLE DE PANNEAU DE PRÉVENTION DES RISQUES SUR UN PARC ÉOLIEN	9
FIGURE 1 : LA DÉMARCHE GÉNÉRALE DE L'ÉTUDE DE DANGERS	11
FIGURE 29 : LA ROSE DES VENTS DU SITE (SOURCE : METEOBLUE)	18
FIGURE 3 : LE SCHÉMA SIMPLIFIÉ D'UN AÉROGÉNÉRATEUR (NORDEX)	23
FIGURE 4 : L'ILLUSTRATION DES EMPRISES AU SOL D'UNE ÉOLIENNE.....	24
FIGURE 5 : LES DIMENSIONS DU GABARIT D'ÉOLIENNE ENVISAGÉ.....	24
FIGURE 7 : PLANNING TYPE DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE	31
FIGURE 8 : LE SCHÉMA DE RACCORDEMENT ÉLECTRIQUE D'UN PARC ÉOLIEN	31
FIGURE 9 : LES CAUSES PREMIÈRES DES ACCIDENTS D'AÉROGÉNÉRATEURS EN FRANCE (SOURCE : FEE)	35
FIGURE 10 : LA RÉPARTITION DES ACCIDENTS D'AÉROGÉNÉRATEURS DANS LE MONDE (SOURCE : FEE)	36
FIGURE 11 : LES CAUSES PREMIÈRES DES ACCIDENTS D'AÉROGÉNÉRATEURS DANS LE MONDE (SOURCE : FEE)	36
FIGURE 12 : LE NOMBRE D'ACCIDENTS ÉOLIENS RECENSÉS PAR LA BASE ARIA ENTRE 2002 ET 2020 EN FRANCE (SOURCE : ARIA).....	37
FIGURE 13 : UN EXEMPLE DE PANNEAU DE PRÉVENTION DES RISQUES SUR UN PARC ÉOLIEN	69

I. RÉSUMÉ NON TECHNIQUE

Cette partie constitue le résumé non technique de l'étude de dangers menée dans le cadre du projet éolien de Fortel-Villers. Les informations présentées seront développées de façon détaillée dans l'étude de dangers, à la suite de cette partie

I.1. L'ENVIRONNEMENT DU PROJET

Le périmètre de l'étude de dangers s'inscrit essentiellement sur les communes de Fortel-en-Artois et Villers-l'Hôpital.

Aucune habitation n'est située au sein du périmètre de l'étude de dangers.

Toutes les éoliennes et les PDL sont concernés par un aléa faible de retrait-gonflement des argiles.

Le périmètre de l'étude de dangers est traversé par deux routes départementales et un réseau de liaisons locales et chemins d'exploitation considérés comme axes non structurants.

Une canalisation de gaz est recensée sur le périmètre de l'étude de dangers. Les éoliennes ont été positionnées de manière à maximiser la distance d'éloignement à la canalisation de gaz, aujourd'hui préconisée à 2 fois leur hauteur totale. Ainsi Sur les 7 éoliennes, 5 respectent cette préconisation et les éoliennes E4 et E5 sont éloignées respectivement de 243 m et de 203 m du gazoduc soit au moins 1,5 fois leur hauteur totale.

Une ligne électrique HTA est également recensée au nord de la zone sud du périmètre de l'étude de dangers.

La zone du projet est traversée par deux faisceaux hertziens exploités par Bouygues Telecom et Free Mobile. Les éoliennes ont été implantées à plus de 95 m du faisceau appartenant à Free Mobile et à plus de 50 m du Faisceau appartenant à Bouygues Telecom.

Au regard de l'annexe 1 (méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne), une typologie des terrains présents au sein de l'aire d'étude de dangers a pu être réalisée. Cette démarche permet d'identifier et de quantifier les personnes et les biens à protéger sur la zone d'étude.

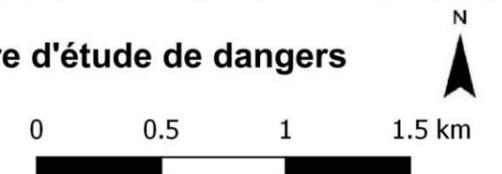
Plusieurs types de zones peuvent ainsi être définis :

- Les parcelle agricoles et forestières correspondent à des « *terrains non aménagés et très peu fréquentés* » (1 personne pour 100 ha),
- Les voies de circulation non structurantes (dont chemins agricoles) correspondent à des « *terrains aménagés mais peu fréquentés* » (1 personne pour 10 ha),



Types de terrains de l'aire d'étude de dangers

-  Périmètre de l'étude de dangers
-  Éoliennes du projet
- Terrains non bâtis**
-  Aménagés mais peu fréquentés (voies non structurantes, chemins agricoles, ...)
-  Non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches)



Carte 1 : les types de terrain de l'aire d'étude de dangers

I.2. LA DESCRIPTION DU PROJET

Le parc éolien de Fortel-Villers est composé de 7 éoliennes et de deux postes de livraison. Chaque aérogénérateur aura une hauteur de mat de 85,2 m maximum et un diamètre de rotor de 103 m maximum, soit une hauteur totale en bout de pale de 135 m maximum.

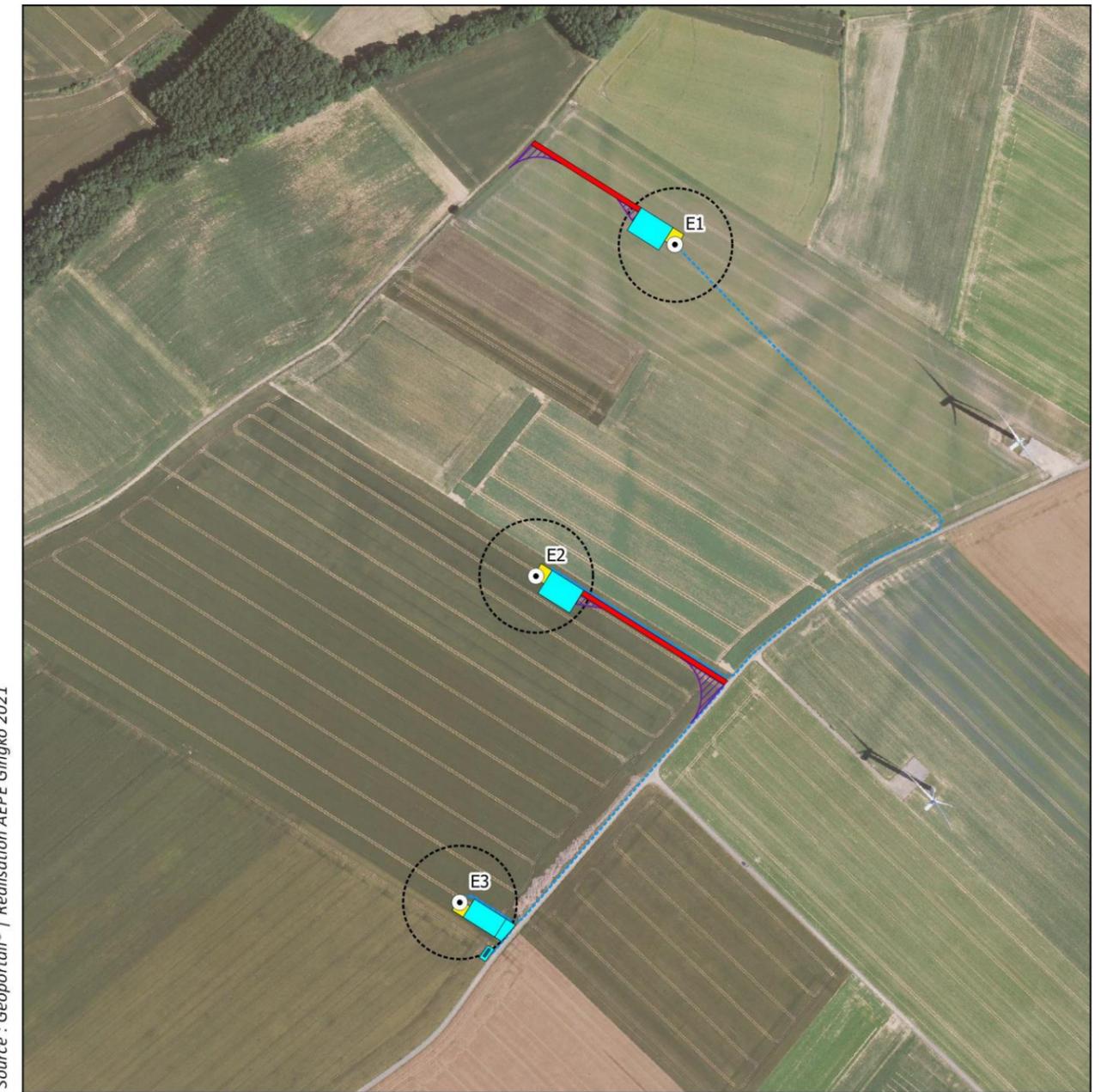
Tableau 1 : Caractéristiques maximales des éoliennes étudiées

Élément	Mesure
Hauteur Totale (HT)	135 m max
Hauteur du Moyeu (HM)	83,5 m max
Hauteur du mât (H)	85,2 m max
Diamètre du rotor (D)	103 m max
Demi-rotor (D/2)	51,5 m max
Longueur de pale (R)	50,2 m max
Largeur de Base de la pale (LB)	3,93 m max
Largeur de base du mât (L)	4,3 m max
Largeur liaisons locales et chemins d'exploitation	5 m
Largeur routes départementales	6 m

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs.

Tableau 2 : Les coordonnées GPS et côtes NGF des éoliennes et du poste de livraison

Éolienne	Coordonnées Projection Lambert 93		Coordonnées WGS84		Côte au sol	Côte maximum des éoliennes
	E (m)	N (m)	E	N	NGF	NGF
E1	646092	7019316	2°14'41.2494" E	50°16'9.9977" N	123.6	258.6
E2	645962	7019006	2°14'34.8432" E	50°15'59.9375" N	128.2	263.2
E3	645890	7018700	2°14'31.3606" E	50°15'50.0245" N	131.6	266.6
E4	644590	7016863	2°13'26.7190" E	50°14'50.2386" N	135.5	270.5
E5	644671	7016379	2°13'31.0415" E	50°14'34.6200" N	138.6	273.6
E6	644460	7016027	2°13'20.5810" E	50°14'23.1749" N	141.6	276.6
E7	644373	7015672	2°13'16.3726" E	50°14'11.6722" N	141.2	276.2

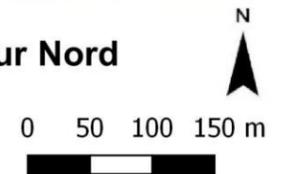


Source : Geoportail® | Réalisation AEPE Gingko 2021



Plan d'implantation du projet - Secteur Nord

- Éoliennes du projet
- Postes de livraison
- Plateformes
- Massif stabilisé
- Accès à créer
- Accès provisoire
- Surplomb
- Raccordement inter éolien



Carte 2 : Plan d'implantation du projet – Secteur Nord

I.3. L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

L'analyse préliminaire des risques liés aux installations et équipements du site est basée sur un recensement des accidents possibles, ainsi que sur l'évaluation de leurs conséquences, de leur probabilité de se réaliser en prenant en compte les moyens de secours et de prévention adaptés notamment à la vitesse d'apparition de l'accident.

Cette analyse préliminaire permet d'identifier les risques retenus en vue de l'analyse détaillée :

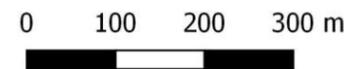
- Risques d'effondrement de l'éolienne, la zone impactée correspondant à une surface dont le rayon est limité à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale (135 m) ;
- Risque de chute de glace en période hivernale, la zone impactée correspondant à la zone de survol des pales c'est-à-dire à un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor (51,5 m) ;
- Risque de chute d'éléments d'une éolienne, la zone impactée correspondant à la zone de survol des pales c'est-à-dire à un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor (51,5 m) ;
- Risques de projection de pales ou de fragments de pale avec une distance d'effet retenue de 500 mètres issue de l'accidentologie et d'études de risques ;
- Risque de projection de glace en période hivernale, la distance d'effet se calculant à l'aide d'une formule basée sur la hauteur et le diamètre de l'éolienne (280 m).



Source : Geoportail® / Réalisation AEPE Gingko 2021



Plan d'implantation du projet - Secteur Sud



- Éoliennes du projet
- Postes de livraison
- Plateformes
- Massif stabilisé
- Accès à créer
- Accès provisoire
- Surplomb
- Raccordement inter éolien

Carte 3 : Plan d'implantation du projet – Secteur Sud

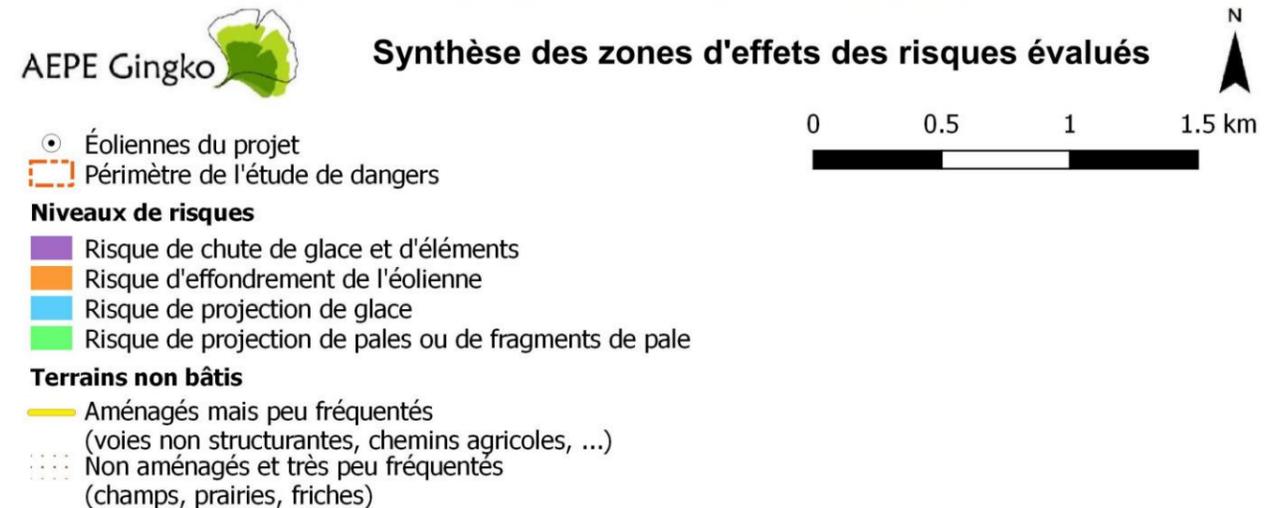
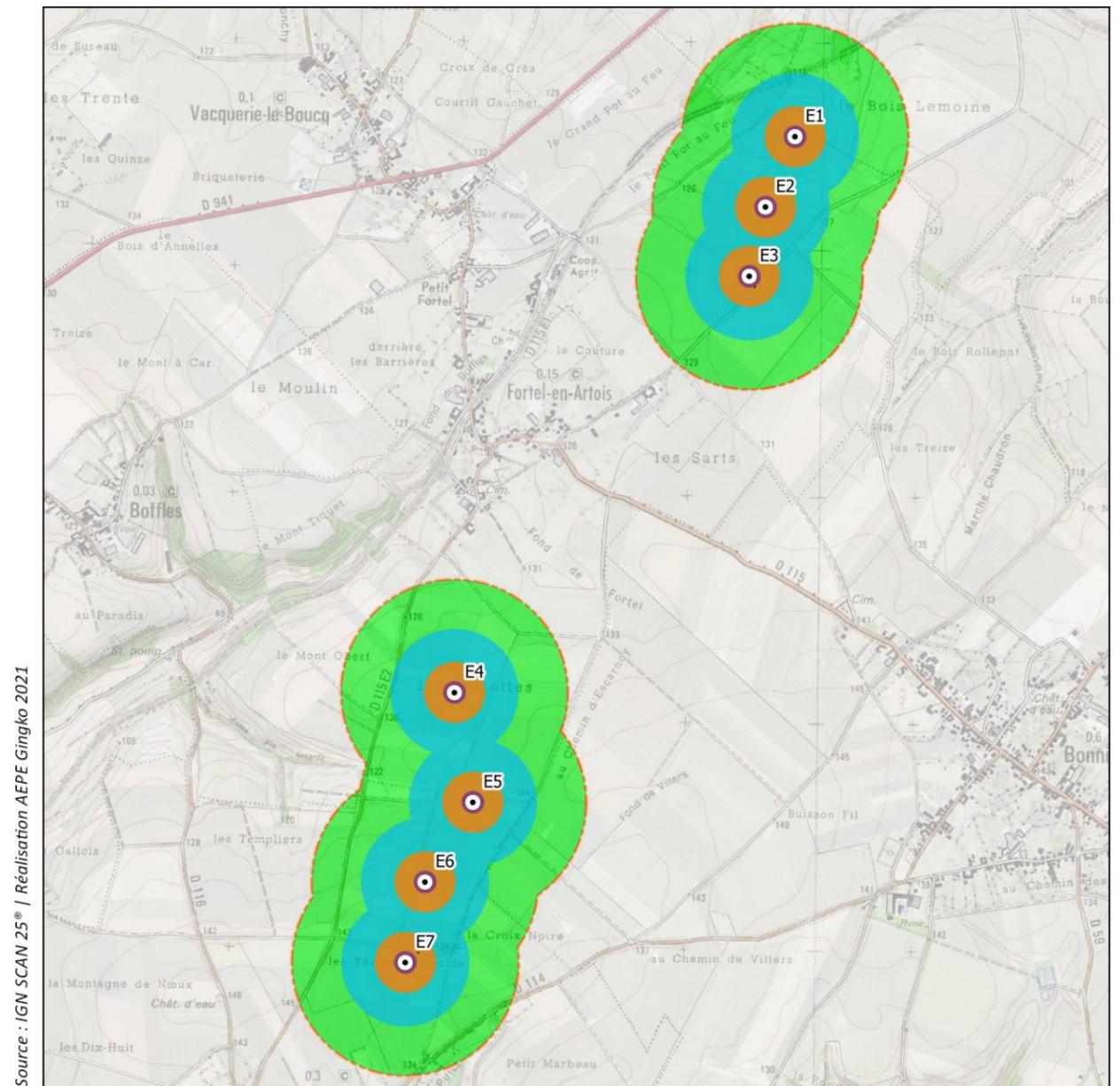
I.4. L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

I.4.1. LA SYNTHÈSE DES SCÉNARIOS ÉTUDIÉS

Le tableau suivant récapitule, pour chaque événement redouté central retenu, les paramètres de risques : la cinétique, l'intensité, la gravité et la probabilité. Il concerne les sept éoliennes du parc de Fortel-Villers qui présentent un même profil de risque.

Tableau 3 : la synthèse de l'évaluation des risques étudiés

Scénario	Numéro de scénario	Zone d'effet	Éolienne	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne	Sc1	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale, soit 135 m	Toutes	Rapide	Exposition modérée	D	Modérée
Chute de glace	Sc2	Zone de survol soit un rayon de 51,5 m	Toutes	Rapide	Exposition modérée	A	Modéré
Chute d'élément de l'éolienne	Sc3	Zone de survol soit un rayon de 51,5 m	Toutes	Rapide	Exposition modérée	C	Modéré
Projection de pales ou de fragments de pales	Sc4	Rayon de 500 m autour des éoliennes	E1, E2, E3, E4 et E7	Rapide	Exposition modérée	D	Modéré
	Sc5		E5 et E6	Rapide	Exposition modérée	D	Sérieux
Projection de glace	Sc6	Rayon de 280 m autour des éoliennes	Toutes	Rapide	Exposition modérée	B	Modéré



Carte 4 : Synthèse des zones d'effet des risques étudiés

I.4.2. L'ACCEPTABILITÉ DES RISQUES

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

		Classe de Probabilité Faible ↔ Forte				
		E	D	C	B	A
Classe de gravité Faible ↔ Forte	Désastreux					
	Catastrophique					
	Important					
	Sérieux		Sc5			
	Modéré		Sc1 et Sc4	Sc3	Sc6	Sc2

Légende de la matrice :

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

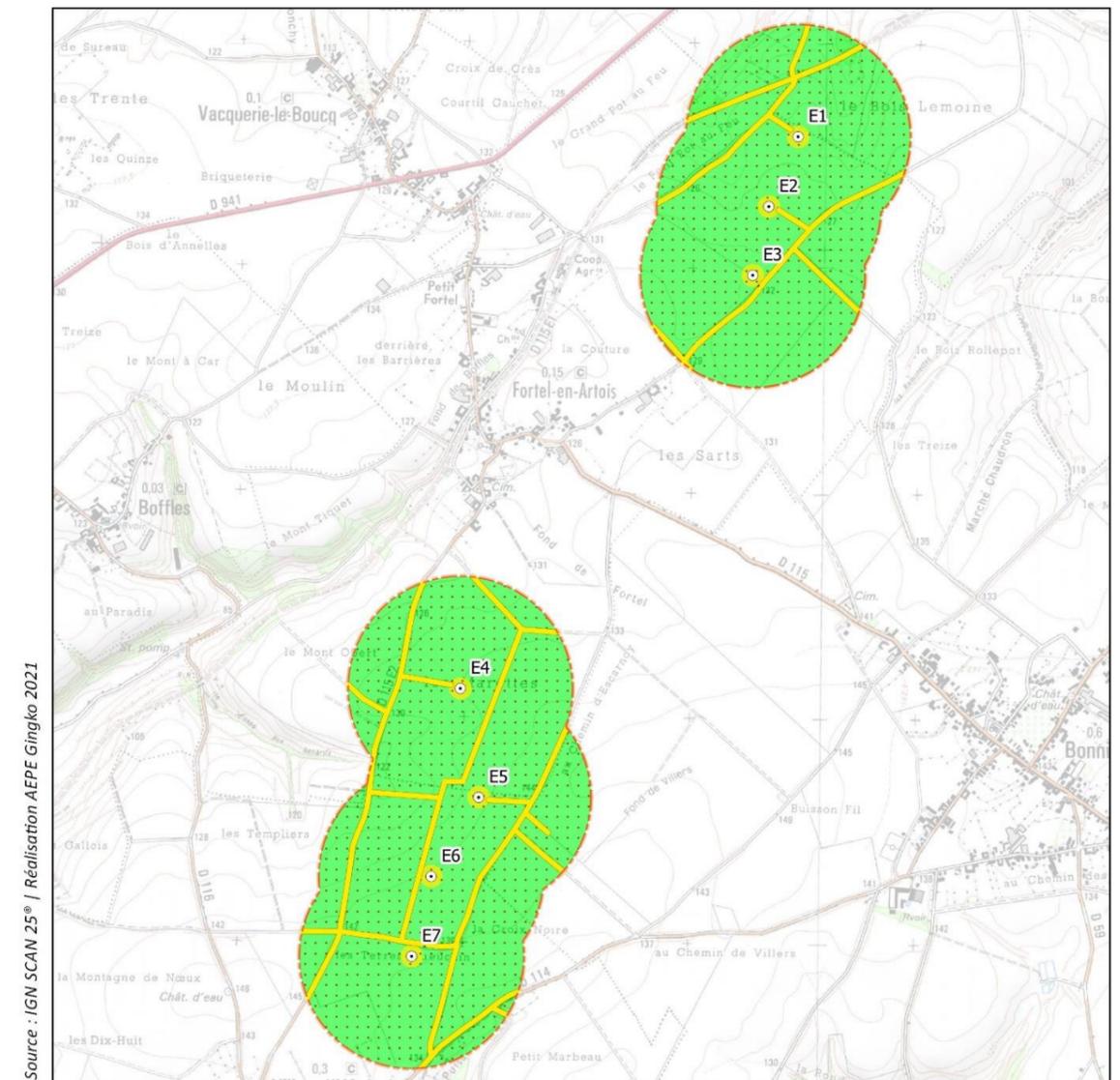
Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée qu'aucun scénario d'accident n'est jugé inacceptable.

- Quatre scénarios d'accident sont concernés par des risques très faibles (cases vertes) : il s'agit des risques d'effondrement d'une éolienne, de chute d'éléments de l'éolienne, de projection de pales et fragments de pales, de projection de glace. Ils ne nécessitent pas de mesures de maîtrise des risques.
- Un scénario d'accident induit un risque faible (case jaune). Il s'agit des risques de chute de glace. Il nécessite la mise en œuvre de mesures de maîtrise des risques.

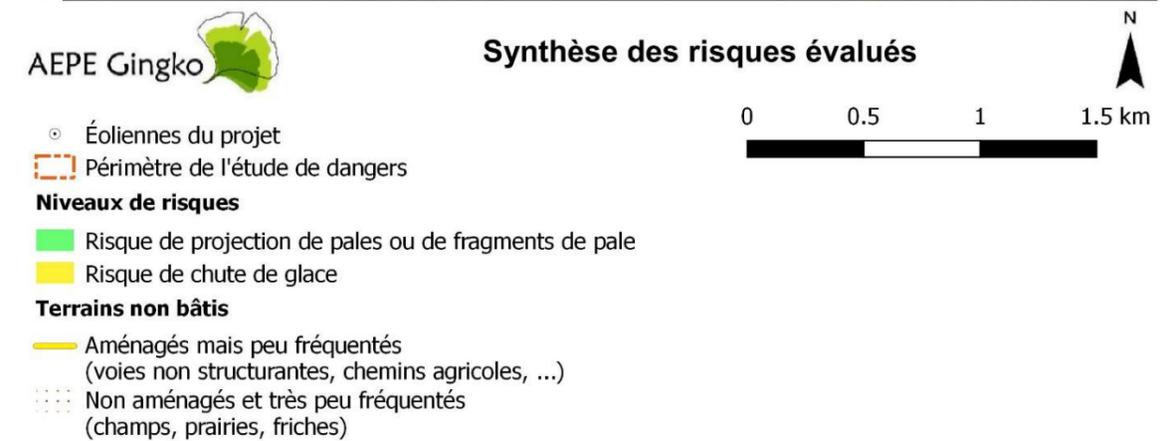
Tous les scénarios d'accident liés aux installations du projet éolien de Fortel-Villers engendrent un risque jugé acceptable. Pour les scénarios présentant un niveau de risque très faible, aucune mesure n'est nécessaire. Pour le scénario de chute de glace, présentant un niveau de risque faible, des mesures de maîtrise des risques seront mises en place.

I.4.3. LA CARTOGRAPHIE DE SYNTHÈSE DES RISQUES

La carte ci-après permet d'illustrer le niveau de risque calculé à partir des différents scénarios envisagés, sachant qu'aucun risque important n'a été recensé :



Source : IGN SCAN 25® / Réalisation AEPE Gingko 2021



Carte 5 : les niveaux de risques évalués pour le parc éolien

I.5. LES MESURES DE MAÎTRISE DES RISQUES

I.5.1. LES MOYENS TECHNIQUES

Pour les scénarios d'accidents, dont le niveau de risque a été jugé comme faible, il convient de souligner que les fonctions de sécurité et de maîtrise des risques suivantes seront prises. Dans le cas du présent projet, ces mesures concernent uniquement le risque de chute de glace. Les mesures suivantes sont proposées.

LA MAÎTRISE DU RISQUE LIÉ À LA CHUTE DE GLACE

Les mesures de maîtrise des risques, présentées dans le tableau ci-dessous, seront prises dans le cadre de l'exploitation du parc éolien afin de limiter le risque de chute de glace.

Tableau 4 : les mesures de maîtrise du risque de chute de glace

Évènement initiateur	Évènement intermédiaire	N° fonction de sécurité	Description de la mesure de maîtrise de risque (MMR)
Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	2	Panneautage en pied de projet Éloignement des zones habitées et fréquentées Système de détection de formation de glace



Figure 1 : un exemple de panneau de prévention des risques sur un parc éolien

Les mesures de maîtrise de risque mises en œuvre permettront de limiter les risques d'accidents liés au phénomène de chute de glace. Rappelons que ce risque est jugé acceptable au regard de l'étude détaillée menée pour les installations du projet.

I.5.2. LES MOYENS DE SECOURS ET D'INTERVENTION

I.5.2.1. LES MOYENS INTERNES

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

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

I.5.2.2. LES MOYENS EXTERNES

La caserne d'intervention la plus proche est le centre de secours de Frévent (62). Elle est située à environ 2,6 km des installations du parc éolien, le temps de route entre les deux est estimé au maximum à 9 mn.

CIS de Frévent
48 B Av. Philippe Lebas
62 270 Frévent
Tél : 03 21 47 78 30

I.5.2.3. LE TRAITEMENT DE L'ALERTE

Les éoliennes font l'objet d'un suivi à distance 24h/24 et 7j/7. Toute défaillance de l'installation fait l'objet d'un message d'alerte transmis à l'exploitant.

Les messages d'alerte tels que définis par l'article 23 l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020, seront envoyés en moins d'une minute à l'exploitant qui est à même de contacter les services d'urgence dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'installation.

II. PRÉAMBULE

II.1. LES OBJECTIFS DE L'ÉTUDE DE DANGERS

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par la société « Boralex Extension Fortel SAS » pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du projet de parc éolien de Fortel-Villers situé sur les communes de Fortel-en-Artois et Villers-l'Hôpital.

Elle vise à s'assurer que le parc éolien est technologiquement réalisable et analyse les causes des risques qu'ils soient intrinsèques aux substances ou matières utilisées, liées aux procédés mis en œuvre ou dues à la proximité d'autres risques d'origine interne ou externe à l'installation.

Cette étude est proportionnée aux risques présentés par les 7 éoliennes du parc de Fortel-Villers. Le choix de la méthode d'analyse utilisée et la justification des mesures de prévention, de protection et d'intervention sont adaptés à la nature et la complexité des installations et de leurs risques.

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

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

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

Ce document a été réalisé à partir du modèle d'étude de dangers spécifique aux installations éoliennes validé par la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR) en mai 2012.

II.2. LE CONTEXTE LÉGISLATIF ET RÉGLEMENTAIRE

Les objectifs et le contenu de l'étude de dangers sont définis dans la partie du code de l'environnement relative aux installations classées.

L'article D181-15-2 définit le contenu du dossier de demande d'autorisation environnementale. Parmi ces éléments à fournir dans le cadre de l'autorisation environnementale, l'article L181-25 définit l'étude de dangers :

« Le demandeur fournit une étude de dangers qui précise les risques auxquels l'installation peut exposer, directement ou indirectement, les intérêts mentionnés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation.

Le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation. En tant que de besoin, cette étude donne lieu à une analyse de risques qui prend en compte la probabilité d'occurrence,

la cinétique et la gravité des accidents potentiels selon une méthodologie qu'elle explicite. Elle définit et justifie les mesures propres à réduire la probabilité et les effets de ces accidents. »

D'une manière générale, d'après <http://www.installationsclassées.developpement-durable.gouv.fr>, toute étude de dangers doit s'appuyer sur une description suffisante des installations, de leur voisinage et de leur zone d'implantation.

Elle doit présenter les mesures organisationnelles et techniques de maîtrise des risques et expliciter, s'ils sont pertinents, un certain nombre de points clés fondés sur une démarche d'analyse des risques :

- Identification et caractérisation des potentiels de dangers ;
- Description de l'environnement et du voisinage ;
- Réduction des potentiels de dangers ;
- Présentation de l'organisation de la sécurité ;
- Estimation des conséquences de la concrétisation des dangers ;
- Accidents et incidents survenus (accidentologie) ;
- Évaluation préliminaire des risques ;
- Étude détaillée de réduction des risques ;
- Quantification et hiérarchisation des différents scénarios en termes de gravité, de probabilité et de cinétique de développement en tenant compte de l'efficacité des mesures de prévention et de protection ;
- Évolutions et mesures d'amélioration proposées par l'exploitant ;
- Résumé non technique de l'étude de dangers – Représentation cartographique.

Plus précisément, l'article D181-15-2, définit le contenu de l'étude de dangers selon le principe de proportionnalité :

« III. 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.

« 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.

« Cette étude précise, notamment, 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. Dans le cas des installations figurant sur la liste prévue à l'article L. 515-8, le pétitionnaire doit fournir les éléments indispensables pour l'élaboration par les autorités publiques d'un plan particulier d'intervention.

« L'étude comporte, notamment, un résumé non technique explicitant la probabilité et la cinétique des accidents potentiels, ainsi qu'une cartographie agrégée par type d'effet des zones de risques significatifs.

« Le ministre chargé des installations classées peut préciser les critères techniques et méthodologiques à prendre en compte pour l'établissement de l'étude de dangers, par arrêté pris dans les formes prévues à l'article L. 512-5.

« Pour certaines catégories d'installations impliquant l'utilisation, la fabrication ou le stockage de substances dangereuses, le ministre chargé des installations classées peut préciser, par arrêté pris en application de l'article L. 512-5, le contenu de l'étude de dangers portant, notamment, sur les mesures d'organisation et de gestion propres à réduire la probabilité et les effets d'un accident majeur. »

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

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

II.3. LA NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSÉES

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

Tableau 5 : la nomenclature ICPE d'un parc éolien

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

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

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

II.4. LA DÉMARCHÉ GÉNÉRALE DE L'ÉTUDE DE DANGERS

Le graphique ci-dessous synthétise les différentes étapes et les objectifs de l'étude de dangers :

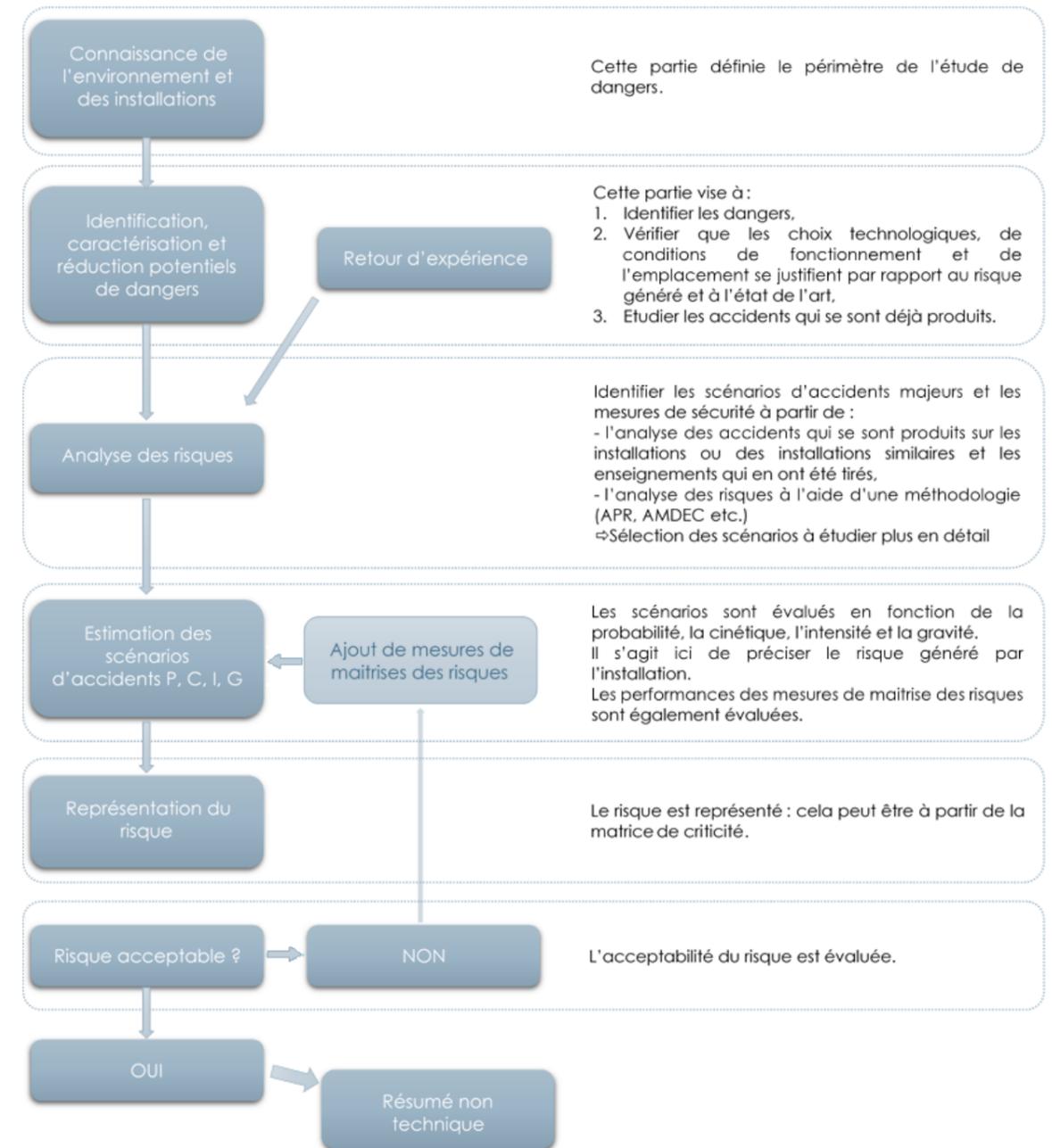


Figure 2 : la démarche générale de l'étude de dangers

² Rayon d'affichage en kilomètres.

III. LES INFORMATIONS GÉNÉRALES CONCERNANT L'INSTALLATION

III.1. LES RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

III.1.1. LE DEMANDEUR

Le projet éolien de Fortel-Villers a été développé par la société Boralex, spécialisée dans la conception de parcs éoliens.

Le demandeur (et maître d'ouvrage du projet) est une société de projet dénommée Boralex Extension Fortel créée spécifiquement pour la construction et l'exploitation de l'installation.

<u>Dénomination/raison sociale</u>	Boralex Extension Fortel SAS
<u>Forme juridique :</u>	Société par action simplifiée à associé unique
<u>Numéro SIRET</u>	90465073600013
<u>Siège social :</u>	71 rue Jean Jaurès 62575 Blendecques
<u>Qualité du signataire de la demande</u>	M. Éric Bonnafoux, Directeur Général Délégué de la société Boralex SAS, président de Boralex Extension Fortel SAS
<u>Capital social :</u>	5 000 €
<u>RCS :</u>	904650736
<u>Téléphone :</u>	03 21 88 07 27
<u>Nature de l'activité :</u>	Exploitation d'une ou plusieurs éoliennes, la production et la vente d'électricité, la participation de la société, par tous moyens, directement ou indirectement dans toutes les opérations pouvant se rattacher à son objet.

LE PORTEUR DU PROJET (COORDINATION GLOBALE ET CONCEPTION DU PROJET)

Boralex

8, rue Anatole France

59 000 Lille

Tél : 03 28 36 54 95



LE RÉDACTEUR DU DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE

AEPE-GINGKO

Emeric Touzet

Chargé d'études en environnement

66, rue du Roi René

Saint Mathurin-sur-Loire

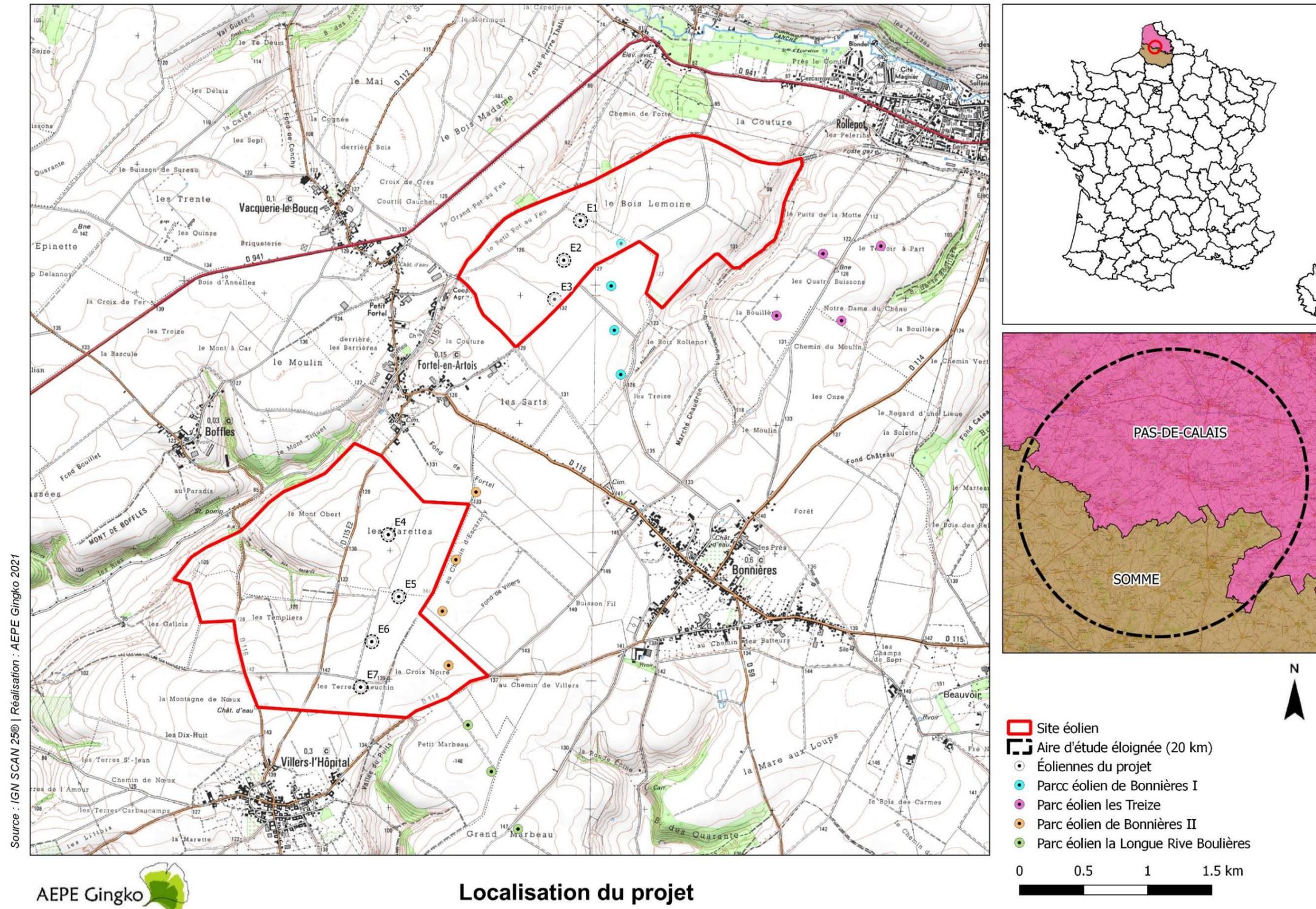
49 250 La Ménitrie

Tél : 02 41 68 06 95



III.2. LA LOCALISATION DU SITE

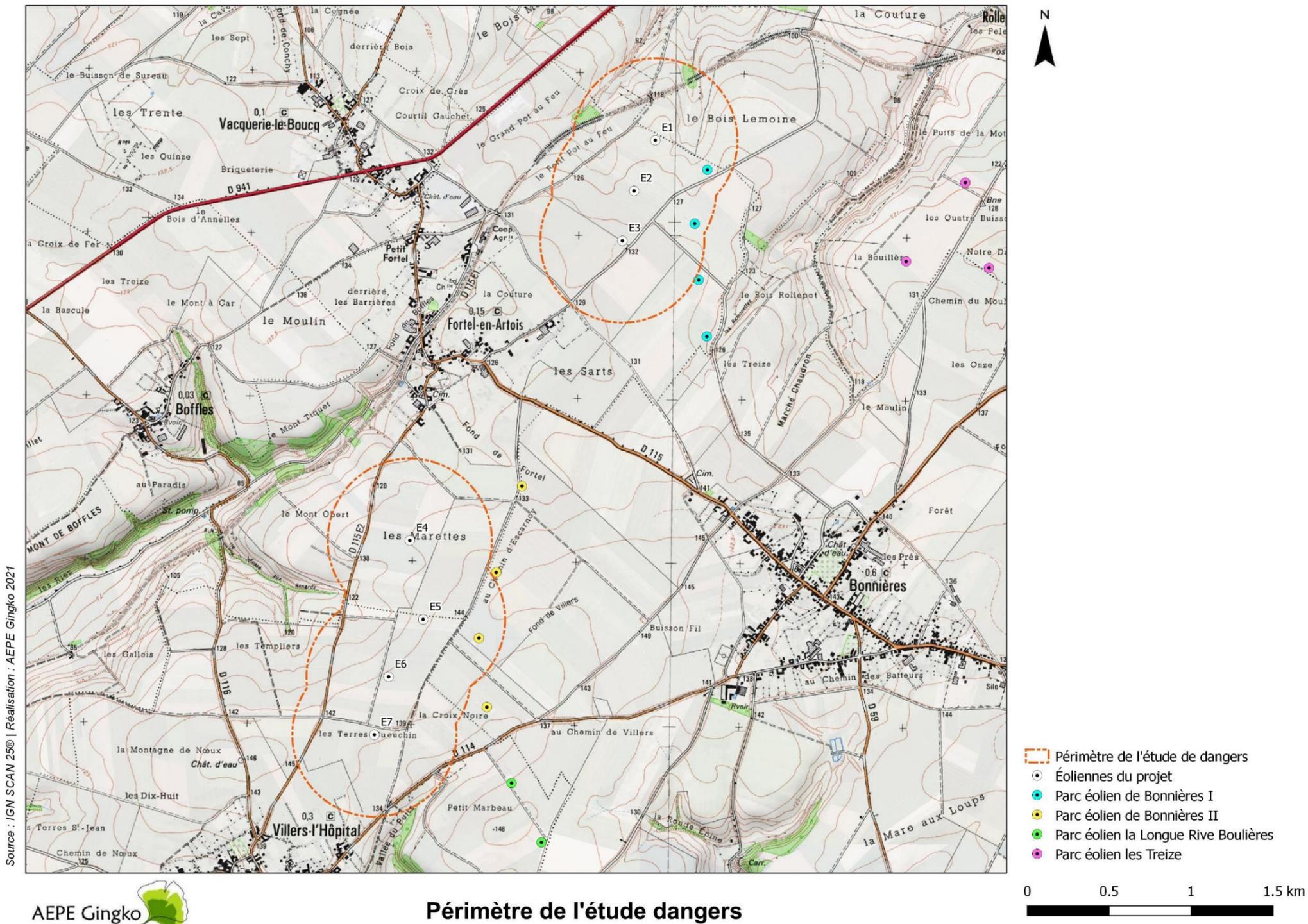
Les installations du projet éolien de Fortel-Villers sont localisées sur les communes de Fortel-en-Artois et Villers-l'Hôpital dans le département du Pas-de-Calais (62).



Carte 6 : la localisation des installations du projet

III.3. LA DÉFINITION DE L'AIRE D'ÉTUDE

Compte tenu des spécificités de l'organisation spatiale d'un parc éolien, composé de plusieurs éléments disjoints, la zone sur laquelle porte l'étude de dangers est constituée d'une aire d'étude par éolienne. Chaque aire d'étude correspond à l'ensemble des points situés à une distance inférieure ou égale à 500 m à partir de l'emprise du mât de l'aérogénérateur. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection. La zone d'étude n'intègre pas les environs du poste de livraison, qui est 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.



Carte 7 : le périmètre de l'étude de dangers

IV. LA 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).

IV.1. L'ENVIRONNEMENT HUMAIN

IV.1.1. LES ZONES URBANISÉES

Le périmètre de l'étude de dangers s'inscrit essentiellement sur les communes de Fortel-en-Artois et Villers-l'Hôpital.

Tableau 6 : Données démographiques des communes autour du périmètre d'étude de dangers (INSEE)

Commune	Population en 2016	Population en 2011	Variation de la population	Due au solde naturel	Due au solde migratoire	Superficie (km ²)	Densité de la population (hab/km ²) en 2016
Bonnières	674	665	+ 0,3 %	0 %	+ 0,2 %	27,16	24,8
Fortel-en-Artois	212	221	- 0,8 %	+ 0,6 %	- 1,4 %	5,89	36,0
Ligny-sur-Canche	188	191	- 0,3 %	+ 0,1 %	- 0,4 %	7,17	26,2
Villers-l'Hôpital	262	266	- 0,3 %	+ 0,2 %	- 0,5 %	8,40	31,2

Les quatre communes concernées par le périmètre de l'étude de dangers présentent une population totale d'environ 1 330 habitants. Les communes de l'aire d'étude rapprochée sont donc principalement des communes rurales à très faible dynamisme démographique et assez peu densément peuplées. L'espace non urbanisé essentiellement constitué de terrains agricoles est largement prédominant.

À proximité du périmètre de l'étude de dangers, l'urbanisation est organisée autour des bourgs et s'étend le long des axes de communication sous forme de petits hameaux dispersés. Les bourgs les plus proches sont ceux de Fortel-en-Artois et Villers-l'Hôpital, situés respectivement à environ 550 m et 250 m du périmètre de l'étude de dangers.

Une recherche des bâtiments présents autour du projet a été effectuée de manière précise dans un rayon de 600 m autour des éoliennes. (Cf : carte ci-après). Aucun bâtiment à usage d'habitation, industriel ou commercial n'est recensé au sein du périmètre d'étude de dangers.

Tableau 7 : la distance des éoliennes aux habitations les plus proches

Éoliennes	Habitations les plus proches	Commune	Distance
E1	Hameau, rue de la Gare	Fortel-en-Artois	1 228 m
E2	Ferme, rue de Frévent	Fortel-en-Artois	936 m
E3	Ferme, rue de Frévent	Fortel-en-Artois	650 m
E4	Dernière maison au sud du bourg, rue de Villers	Fortel-en-Artois	684 m
E5	Dernière maison au sud du bourg, rue de Villers	Fortel-en-Artois	1 167 m
E6	Ferme, rue de Bonnières	Villers-l'Hôpital	1 048 m
E7	Ferme, rue de Bonnières	Villers-l'Hôpital	683 m

Les éoliennes seront situées à plus de 650 m de toute habitation.

La commune de Ligny-sur-Canche est régie par une carte communale approuvée le 23/03/2011. Aucune éolienne n'est implantée sur cette commune.

L'occupation du sol sur les communes Fortel-en-Artois, Bonnières et Villers-l'Hôpital est régie par le règlement national d'urbanisme (RNU). La compatibilité d'un projet avec le RNU s'apprécie lors de l'instruction de la demande d'autorisation du projet. Un parc éolien est considéré comme un équipement d'intérêt collectif. Il peut à ce titre être implanté en dehors des parties actuellement urbanisées de la commune, sous réserve d'être en conformité avec les dispositions contenues aux articles l'article L111-1-2 et R 111-1 et suivants du code de l'urbanisme.

L'éloignement des éoliennes à plus de 500 m des zones urbanisables à destination d'habitation sera respecté.

IV.1.2. LES ÉTABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC (ERP)

Aucun établissement recevant du public n'est recensé dans la zone d'étude de dangers.

IV.1.3. LES INSTALLATIONS CLASSÉES POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (ICPE)

Aucun établissement SEVESO ni installation nucléaire de base (INB) n'est présent dans les limites de la zone d'étude de danger.

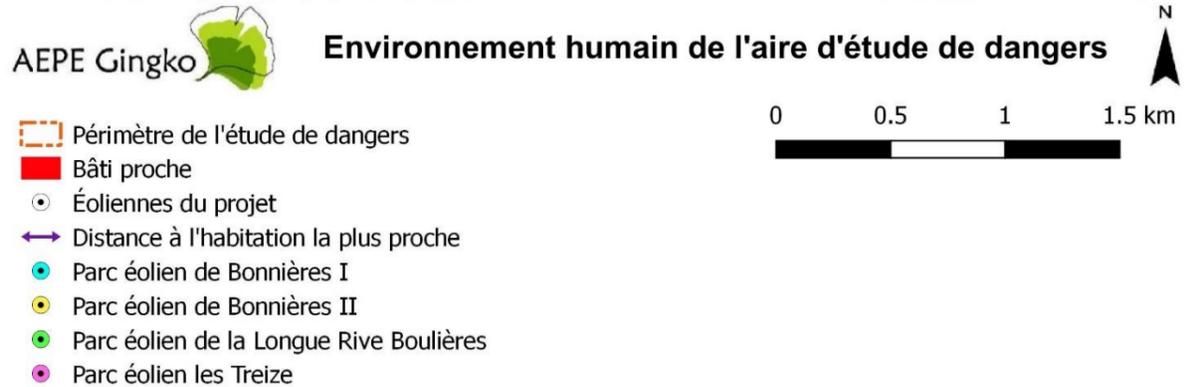
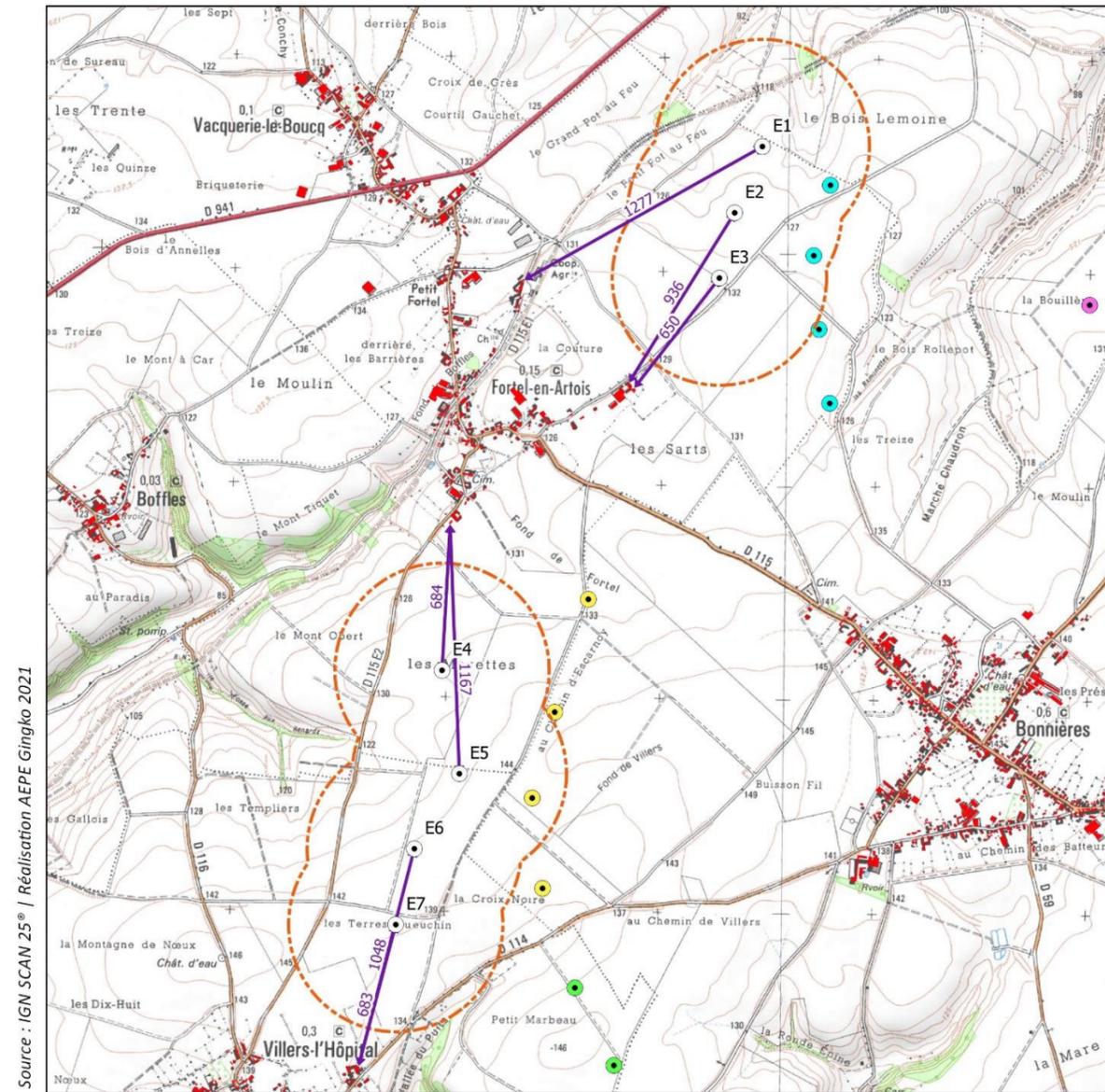
Comme demandé par l'article 3 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020, les éoliennes seront situées à plus de 300 m de toute installation classée pour l'environnement relevant de l'article L. 515-32 du code de l'environnement.

Les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) les plus proches des éoliennes seront les parcs éoliens de Bonnières I et II. Ils se situeront à environ 362 m de l'éolienne 1 pour le parc de Bonnières I et à 360 m de l'éolienne 5 pour le parc de Bonnières II.

À cette distance, aucun risque industriel ne peut être envisagé au regard du type d'installation identifié.

IV.1.4. LES AUTRES ACTIVITÉS

Hormis l'agriculture, la zone d'étude de dangers n'accueille aucune autre activité qu'elle soit commerciale, ou industrielle.



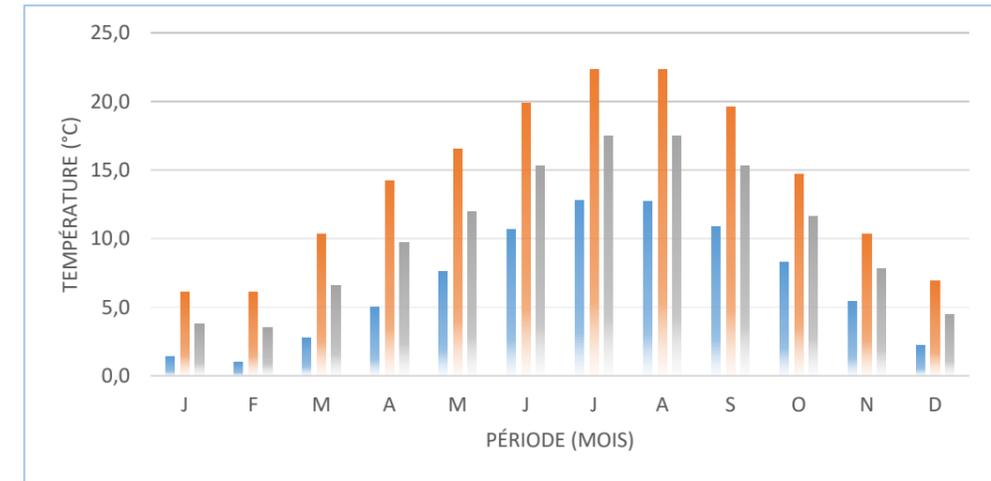
Carte 8 : l'environnement humain de l'aire d'étude de dangers

IV.2. L'ENVIRONNEMENT NATUREL

IV.2.1. LE CONTEXTE CLIMATIQUE

IV.2.1.1. LES TEMPÉRATURES

Les températures sont relativement fraîches en hiver et douces en été. La moyenne annuelle est de l'ordre de 10 °C. L'hiver est assez doux (3,8 °C en moyenne en janvier) et l'été est modéré (17,5 °C en moyenne en juillet et août). Le caractère océanique est donc assez présent dans cette région.



Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
T° minimale	1,4	1,0	2,8	5,0	7,6	10,7	12,8	12,7	10,9	8,3	5,4	2,2	6,7
T° maximale	6,1	6,1	10,3	14,2	16,5	19,9	22,3	22,3	19,6	14,7	10,3	6,9	14,1
T° moyenne	3,8	3,5	6,6	9,7	12,0	15,3	17,5	17,5	15,3	11,6	7,8	4,5	10,4

Tableau 8 : La moyenne des températures mensuelles en °C entre 2009 et 2018 (source : météo climat)

IV.2.1.2. LES PRÉCIPITATIONS

Le site d'étude est localisé dans la partie nord du territoire métropolitain français, secteur soumis à un climat océanique. La pluviosité est de l'ordre de 805 mm par an. Les précipitations les plus élevées se manifestent en novembre. Les mois de mars et d'avril sont les moins pluvieux. Il n'y a pas réellement de pic de précipitations. La fréquence et la répartition des pluies tout au long de l'année sont caractéristiques de ce climat.

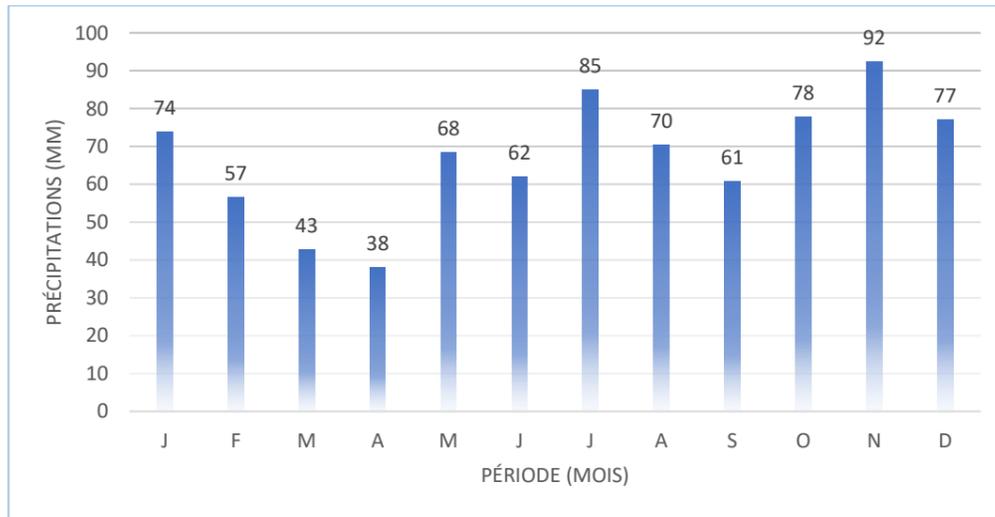


Tableau 9 : La moyenne des précipitations mensuelles entre 2009 et 2018 (source : météo climat)

IV.2.1.3. L'ENSOLEILLEMENT

La durée annuelle d'ensoleillement varie en France métropolitaine entre 1 500 et 2 900 h. Le site d'étude dispose d'un ensoleillement d'environ 1 679,7 h par an (normales 1991 – 2010) ce qui le place dans la fourchette basse à l'échelle du territoire français. Toutefois, sur l'année 2018, la durée d'ensoleillement était de 1875,2 h. Par ailleurs, l'ensoleillement est très nettement concentré sur la période de mai à septembre avec une moyenne mensuelle de 200 h ou plus, soit environ 7 h de soleil par jour. À contrario les mois d'hiver sont très peu ensoleillés : moins de 70 h de soleil en moyenne pour les mois de décembre et janvier, soit environ 2 h de soleil par jour.

Tableau 10 : La moyenne d'ensoleillement mensuel en 2018 (source : météo France)

Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Ensoleillement (h)	32,5	133,5	76,7	164,8	238,4	236,0	301,8	210,1	201,9	158,2	76,7	44,6	1875,2

IV.2.1.4. LES JOURS DE GEL

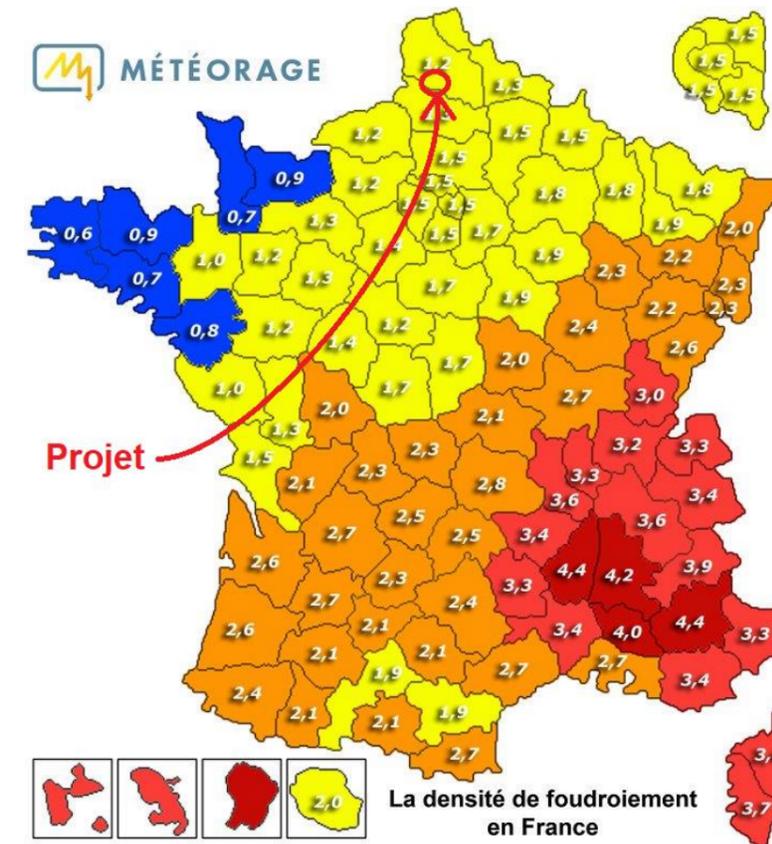
Le climat océanique de la zone d'étude induit un nombre de jours de gel relativement limité. Les fortes gelées (température inférieure à -5°C) sont recensées environ 5 jours et demi par an en moyenne. Elles se concentrent particulièrement sur les mois de décembre, janvier et février. Les températures de grand froid (inférieure à -10°C) sont quant à elles anecdotiques (à peine 1 jour par an).

Tableau 11 : Les moyennes mensuelles des jours de gelée recensés entre 2009 et 2018 (source : météo climat)

Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Gelée (Tn ≤ 0°C)	10	10,5	5,83	1,57	0	0	0	0	0	0,14	2,17	9	35,75
Forte Gelée (Tn ≤ -5°C)	1,67	0,83	0,17	0	0	0	0	0	0	0	0	2,14	5,50
Grand Froid (Tn ≤ -10°C)	0,33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,14	1,13

IV.2.1.5. LES ORAGES

Le département du Pas-de-Calais présente une densité de foudroiement limitée au regard des données disponibles à l'échelle du territoire français avec un moyenne de l'ordre de 1,2 impacts de foudre au sol par km² et par an.



Carte 9 : La densité de foudroiement annuel au km² (Météorage)

IV.2.1.6. LES VENTS

Le département du Pas-de-Calais possède un potentiel éolien particulièrement intéressant avec des vents intenses et réguliers, ce qui est idéal pour l'exploitation de l'énergie éolienne. D'après la carte ci-dessous, les vents en rase campagne peuvent atteindre entre 6,5 et 7,5 m/s, ce qui représente un potentiel de vent très intéressant.

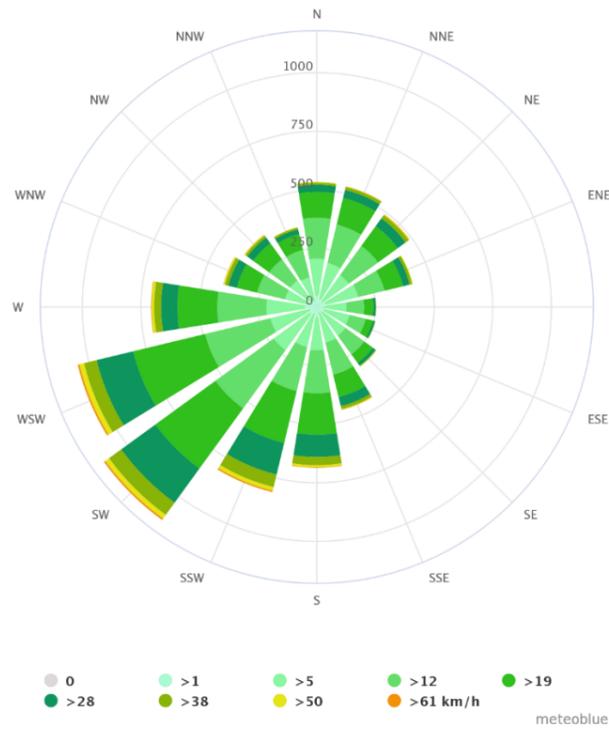


Figure 3 : la rose des vents du site (source : meteoblue)

IV.2.2. LES RISQUES NATURELS

IV.2.2.1. LES ARRÊTÉS DE RECONNAISSANCE DE CATASTROPHE NATURELLE

Tableau 12 : les arrêtés de catastrophes naturelles

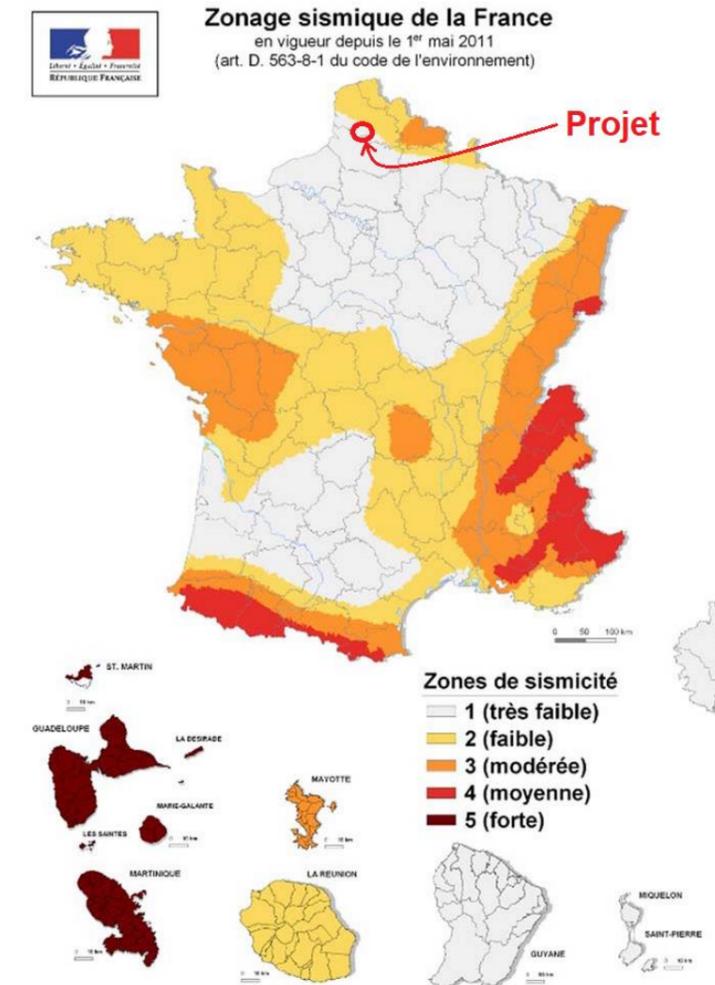
Type de catastrophe	Début	Fin	Arrêté du	Communes
Inondations et coulées de boue	24/05/2018	24/05/2018	26/06/2018	Boubers-sur-Canche
Inondations et coulées de boue	28/05/2018	28/05/2018	26/06/2018	Boubers-sur-Canche
Inondations par remontées de nappe phréatique	15/12/2000	06/06/2001	29/08/2001	Noeux-lès-Auxi
Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	Bonnières ; Frévent ; Fortel-en-Artois ; Ligny-sur-Canche ; Noeux-lès-Auxi ; Villers-l'Hôpital ; Boffles ; Vacquerie-le-Boucq ; Boubers-sur-Canche
Inondations et coulées de boue	14/05/1994	17/05/1994	08/09/1994	Ligny-sur-Canche ; Noeux-lès-Auxi
Inondations et coulées de boue	19/12/1993	02/01/1994	11/01/1994	Frévent
Inondations et coulées de boue	20/01/1988	25/02/1988	07/04/1988	Frévent

Ces risques concernent les phénomènes suivants :

- Séismes : toutes les communes sont concernées par un risque de séisme de niveau 1 (très faible) ;
- Inondation ;
- Mouvement de terrain.

IV.2.2.2. LA SISMICITÉ

Les communes de Fortel-en-Artois et Villers-l'Hôpital sont localisées dans une zone de sismicité très faible.



Carte 10 : le zonage sismique en vigueur

L'arrêté du 15 septembre 2014 modifiant l'arrêté du 22 octobre 2010 définit chaque catégorie de bâtiment. Parmi les modifications de cet arrêté, on peut noter que seuls « les bâtiments des centres de production collective d'énergie répondant au moins à l'un des trois critères suivants, quelle que soit leur capacité d'accueil feront l'objet d'une attestation :

- la production électrique est supérieure au seuil de 40 MW électrique ;
- la production thermique est supérieure au seuil de 20 MW thermique ;
- le débit d'injection dans le réseau de gaz est supérieur à 2 000 Nm³/h. »

Le parc éolien ne dépasse pas une puissance électrique de 40 MW, il ne sera pas nécessaire d'insérer dans le dossier de demande d'autorisation environnementale, un document établi par un contrôleur technique, attestant qu'il a fait connaître au maître d'ouvrage son avis sur la prise en compte, au stade de la conception, des règles parasismiques et paracycloniques anciennement prévues par l'article L. 563-1 du code de l'environnement (article A431-10 et 431-16

du code de l'urbanisme). De même, il ne sera pas obligatoire d'établir une attestation à joindre à la déclaration d'achèvement des travaux (article 462-4 du code de l'urbanisme).

Les centres de production eux-mêmes, c'est-à-dire les éoliennes, ne sont pas soumis à l'arrêté du 22 octobre 2010, qui ne concerne que les bâtiments. Les éoliennes dont la hauteur du mât et de la nacelle au-dessus du sol est supérieure ou égale à 12 mètres sont soumises au contrôle technique obligatoire en vertu de l'article R 111-38 du code de la construction et de l'habitation. C'est dans ce cadre que l'ensemble des contrôles relatifs aux aléas techniques susceptibles d'être rencontrés dans la réalisation des ouvrages est effectué.

IV.2.2.3. LES RISQUES D'INONDATION

Une inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau. Le risque inondation est la conséquence de deux composantes :

- l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement ou apparaître par résurgence (remontée),
- l'homme qui s'installe dans la zone inondable pour y implanter toutes sortes de constructions, d'équipements et d'activités.

Les communes de l'aire d'étude rapprochée ne sont pas exposées à un territoire à risque important d'inondation (TRI), ni par un Atlas de zone inondables (AZI) ni un programme d'action de prévention des inondations (PAPI).

Le plan de prévention des risques inondation (PPRi) le plus proche est le PPRi de la vallée de la Lawe qui se trouve à 17 km au nord-est de la ZIP.

IV.2.2.4. LES RISQUES LIÉS AUX CAVITÉS

D'après le site <http://www.georisques.gouv.fr>, aucune cavité n'est recensée sur les communes de Fortel-en-Artois et Villers-l'Hôpital

IV.2.2.5. LES RISQUES DE MOUVEMENTS DE TERRAIN

Un mouvement de terrain est un déplacement plus ou moins brutal du sol ou du sous-sol. Il est fonction de la nature et de la disposition des couches géologiques ou des sols. Il est dû à des processus lents de dissolution ou d'érosion favorisés par l'action de l'eau et de l'homme.

D'après le site <http://www.georisques.gouv.fr>, les communes de l'aire d'étude rapprochée ne font pas l'objet de risque de mouvement de terrain recensé et ne sont pas non plus concernées par un plan de prévention des risques naturels (PPRN) « mouvements de terrains ».

Toutefois les arrêtés de catastrophes naturelles de ces communes font état de mouvements de terrain répertoriés suite à la tempête de 1999. Ce type de risque a été traité précédemment.

IV.2.2.6. LES RISQUES LIÉS AUX FEUX DE FORÊT ET DE CULTURES

Il est question de feu de forêt lorsqu'un feu concerne une surface minimale d'un hectare d'un seul tenant et qu'une partie au moins des étages arbustifs et/ou arborés (parties hautes) est détruite. En plus des forêts au sens strict, les incendies concernent des formations subforestières de petite taille : le maquis, la garrigue, et les landes.

Généralement, la période de l'année la plus propice aux feux de forêt est l'été, car aux effets conjugués de la sécheresse et d'une faible teneur en eau des sols, viennent s'ajouter les travaux en forêt.

D'après le dossier départemental des risques majeurs (DDRM), le risque de feu de forêt n'est pas recensé comme risque naturel important à l'échelle du département, de plus aucun boisement important n'est concerné par la zone d'étude.

Quelques boisements et haies sont présents au sein du site du projet (cf. carte ci-après). La majorité étant recensé au niveau du vallon de la zone sud. Les principaux enjeux se concentrent à proximité de ces boisements.

IV.2.2.7. L'ALÉA RETRAIT/GONFLEMENT D'ARGILE

Les données et cartes éditées par le BRGM ont pour but de délimiter toutes les zones qui sont a priori sujettes au phénomène de retrait-gonflement d'argiles et de hiérarchiser ces zones selon un degré d'aléa croissant. Les zones où l'aléa retrait-gonflement est qualifié de fort, sont celles où la probabilité de survenance d'un sinistre sera la plus élevée et où l'intensité des phénomènes attendus est la plus forte. Dans les zones où l'aléa est qualifié de faible, la survenance de sinistres est possible en cas de sécheresse importante mais ces désordres ne toucheront qu'une faible proportion des bâtiments (en priorité ceux qui présentent des défauts de construction ou un contexte local défavorable, avec par exemple des arbres proches ou une hétérogénéité du sous-sol). Les zones d'aléa moyen correspondent à des zones intermédiaires entre ces deux situations extrêmes. Quant aux zones où l'aléa est estimé a priori nul, il s'agit des secteurs où les cartes géologiques actuelles n'indiquent pas la présence de terrain argileux en surface.

D'après la carte d'aléa retrait et gonflement des argiles (échelle de validité : 1/50 000^{ème}), les aléas sur la zone du projet sont considérés comme faibles, sauf sur une petite partie au nord-est de la zone nord.

IV.2.2.8. LE RISQUE DE REMONTÉES DE NAPPES

Outre les inondations liées aux eaux superficielles, un territoire peut être soumis à des remontées de nappes localisées dans les sédiments ou dans le socle. Si les nappes sont pleines, des remontées d'eau sont susceptibles d'affecter les terres et de provoquer des inondations.

Le site éolien se localise sur des couches sédimentaires, il n'est donc pas concerné par le risque de remontée de nappes liées au socle. Il est en revanche potentiellement touché par le risque de remontée de nappes sédimentaires.

Le site www.georisques.gouv.fr permet de localiser les secteurs potentiellement concernés par le risque de remontée de nappes. Le risque est représenté en 3 classes :

- « 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 ;
- « 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 ;
- « 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.

La zone d'étude n'est pas concernée par des zones sujettes au débordement de nappes, ni comme zone potentiellement sujette aux inondations de cave.

IV.3. L'ENVIRONNEMENT MATÉRIEL

IV.3.1. LES VOIES DE COMMUNICATION

IV.3.1.1. LE TRANSPORT ROUTIER

Pour les axes routiers, conformément à l'annexe 1 (méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne), une distinction a été établie entre :

- Les axes routiers structurants présentant un trafic supérieur ou égal à 2 000 véhicules par jour,
- Les axes routiers non structurants présentant un trafic inférieur à 2 000 véhicules par jour.

LES AXES STRUCTURANTS

Aucun axe structurant ne traverse le périmètre d'étude de dangers.

LES AXES NON STRUCTURANTS

Le périmètre de l'étude de dangers comprend un réseau de liaisons locales et voies communales, servant à desservir les hameaux et fermes qui entourent le projet, ainsi que des chemins d'exploitation utilisés pour l'accès aux parcelles agricoles.

Le périmètre d'étude est ainsi traversé par les RD115 et RD114, sur un linéaire de 2 540 m ; par un réseau de voies communales et chemins agricoles pour 9 980 m.

Ces routes sont peu fréquentées car elles desservent essentiellement les hameaux. Les chemins d'exploitation sont quant à eux uniquement fréquentés par les agriculteurs ou promeneurs car ils desservent uniquement les parcelles agricoles.

La fréquentation de ces voies est inférieure à 2000 véhicules/jour au regard de leur unique rôle de transit local. De ce fait elles n'appartiennent pas aux voies de circulation structurantes et s'inscrivent dans la catégorie d'enjeu liée aux « terrains aménagés mais peu fréquentés » conformément au guide de l'étude de dangers.

IV.3.1.2. LE TRANSPORT FERROVIAIRE

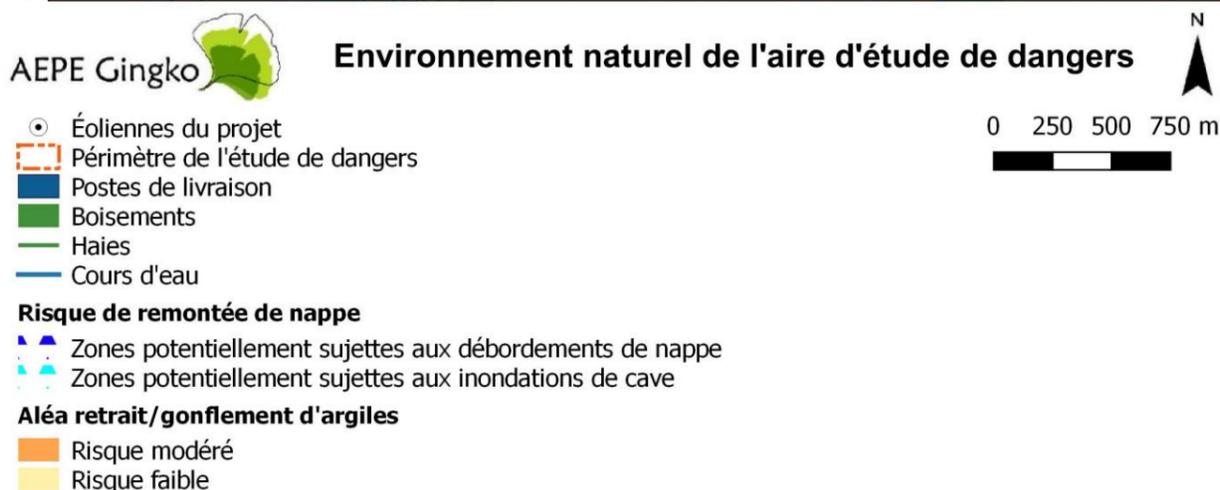
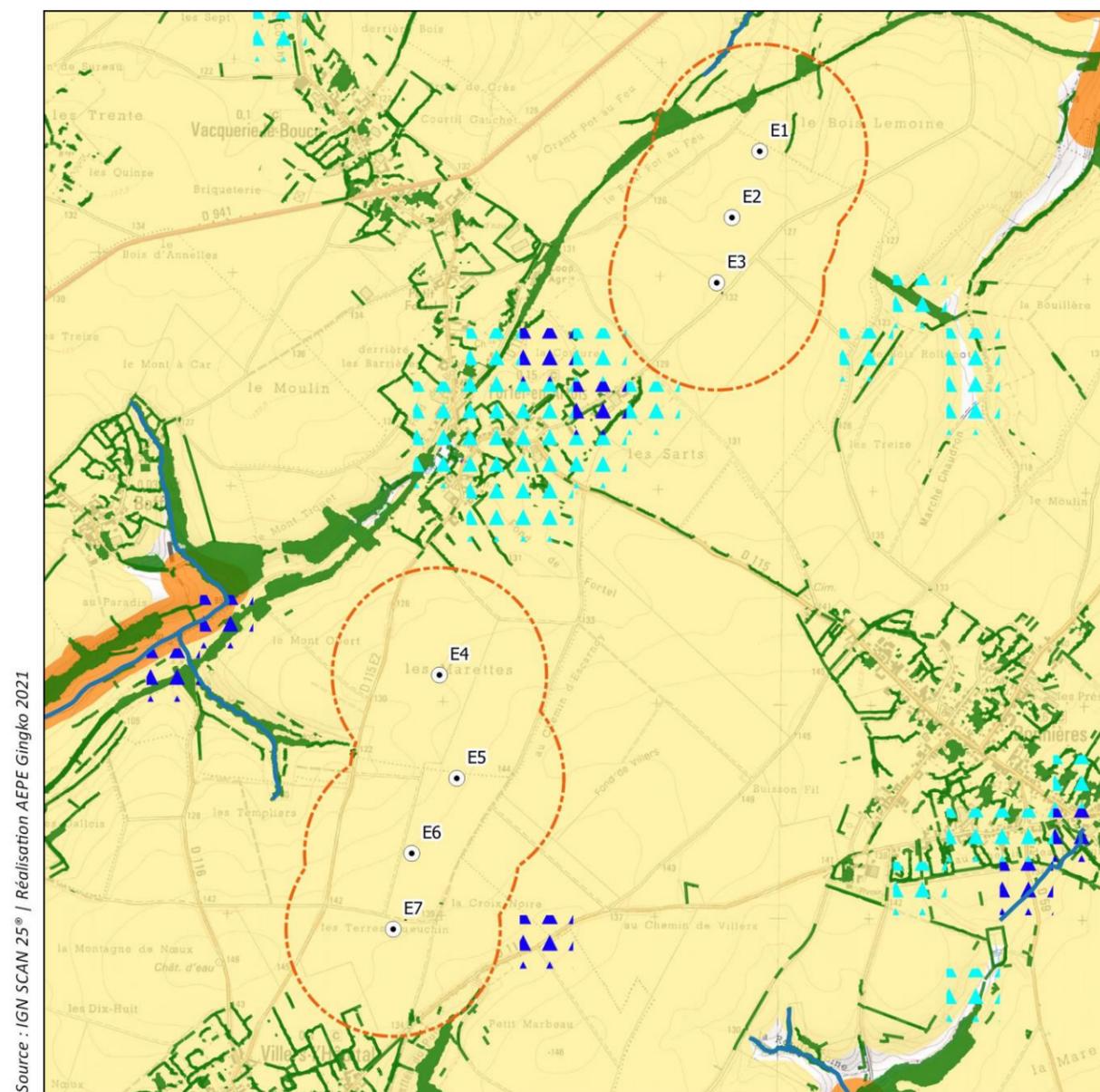
Aucune voie ferrée ne circule aux abords immédiats de l'aire d'étude de dangers.

IV.3.1.3. LE TRANSPORT FLUVIAL

Aucun transport fluvial n'est recensé au sein ou aux abords immédiats de l'aire d'étude de dangers.

IV.3.1.4. LE TRANSPORT AÉRIEN

Les services de la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) ont été consultés afin de prendre connaissance des éventuelles servitudes aéronautiques susceptibles de grever le site d'étude. Par courrier du 23/12/2021 (consultable dans la pièce du dossier 6.1. Consultation DGAC), les services de la DGAC ont été invités à donner un avis sur le projet éolien de Fortel-Villers.



Carte 11: l'environnement naturel de l'aire d'étude de dangers

IV.3.2. LES RÉSEAUX PUBLICS ET PRIVÉS

De la consultation des principaux services gestionnaires d'infrastructures ou de servitudes, il apparaît que le site d'implantation est concerné par des ouvrages et réseaux qui induisent des contraintes et servitudes

Une canalisation de gaz traverse le périmètre d'étude de dangers. De ce fait, GRT Gaz, le gestionnaire a été consulté. Ils indiquent que :

« en ce qui concerne l'implantation de parc éolien au regard des ouvrages de transport de gaz naturel existants, la distance minimale à respecter entre nos ouvrages et une éolienne doit être supérieure ou égale à 2 fois la hauteur totale de l'aérogénérateur (longueur d'une pale ajoutée à la hauteur de la tour). »

Les éoliennes ont été positionnées de manière à maximiser la distance d'éloignement à la canalisation de gaz, aujourd'hui préconisée à 2 fois leur hauteur totale. Ainsi Sur les 7 éoliennes, 5 respectent cette préconisation et les éoliennes E4 et E5 sont éloignées respectivement de 243 m et de 203 m du gazoduc soit au moins 1,5 fois leur hauteur totale.

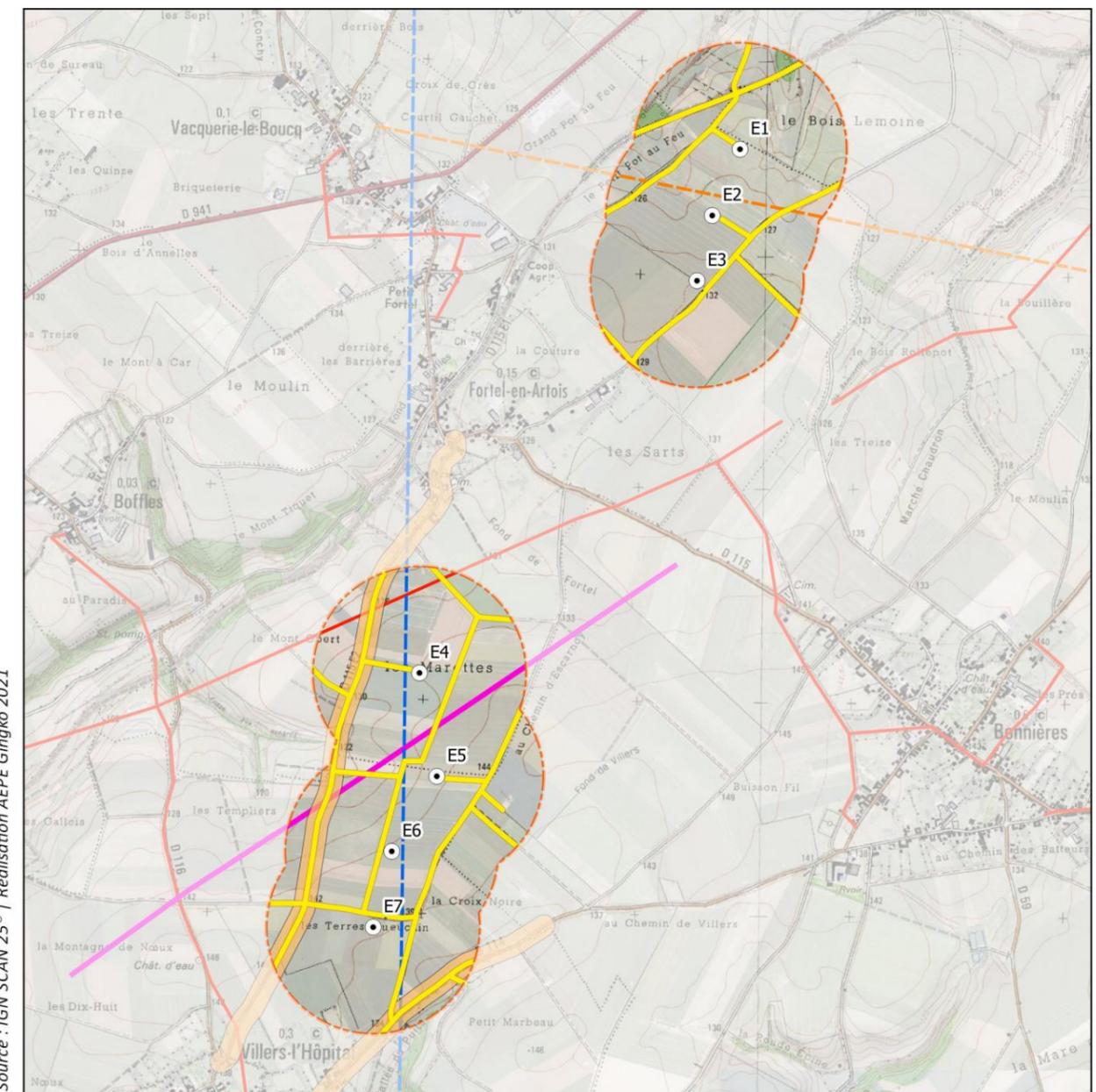
Une ligne électrique aérienne HTA est également recensée au nord de la zone sud du périmètre de l'étude de dangers.

Deux routes départementales (D115 et D114) sont également recensées aux abords immédiats et dans le périmètre de l'étude de dangers. D'après le règlement de Voirie du département du Pas-de-Calais :

« l'implantation d'éolienne n'est pas autorisée sur le domaine public routier départemental, ni même en surplomb ».

Toutes les éoliennes respectent cette préconisation

La zone du projet est traversée par deux faisceaux hertziens exploités par Bouygues Telecom et Free Mobile. Les éoliennes ont été implantées à plus de 95 m du faisceau appartenant à Free Mobile et à plus de 50 m du Faisceau appartenant à Bouygues Telecom.



Source : IGN SCAN 25® | Réalisation AEPE Gingko 2021



Carte 12 : l'environnement matériel de l'aire d'étude de dangers

IV.4. LA SYNTHÈSE DES ENJEUX

Les enjeux au sein de l'aire d'étude de dangers sont les suivants :

- Milieu humain : Aucune habitation n'est située au sein du périmètre de l'étude de dangers.
- Milieu naturel : Toutes les éoliennes et les PDL sont concernés par un aléa faible de retrait-gonflement des argiles.
- Milieu matériel :
 - Le périmètre de l'étude de dangers est traversé par deux routes départementales et un réseau de liaisons locales et chemins d'exploitation considérés comme axes non structurants.
 - Une canalisation de gaz est recensée sur le périmètre de l'étude de dangers. Les éoliennes ont été positionnées de manière à maximiser la distance d'éloignement à la canalisation de gaz, aujourd'hui préconisée à 2 fois leur hauteur totale. Ainsi Sur les 7 éoliennes, 5 respectent cette préconisation et les éoliennes E4 et E5 sont éloignées respectivement de 243 m et de 203 m du gazoduc soit au moins 1,5 fois leur hauteur totale.
 - Une ligne électrique HTA est également recensée au nord de la zone sud du périmètre de l'étude de dangers.
 - La zone du projet est traversée par deux faisceaux hertziens exploités par Bouygues Telecom et Free Mobile. Les éoliennes ont été implantées à plus de 95 m du faisceau appartenant à Free Mobile et à plus de 50 m du Faisceau appartenant à Bouygues Telecom.

Au regard de l'annexe 1 (méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne), une typologie des terrains présents au sein de l'aire d'étude de dangers a pu être réalisée. Cette démarche permet d'identifier et de quantifier les personnes et les biens à protéger sur la zone d'étude.

Plusieurs types de zones peuvent ainsi être définis :

- Les parcelles agricoles et forestières correspondent à des « *terrains non aménagés et très peu fréquentés* » (1 personne pour 100 ha),
- Les voies de circulation non structurantes (dont chemins agricoles) correspondent à des « *terrains aménagés mais peu fréquentés* » (1 personne pour 10 ha),

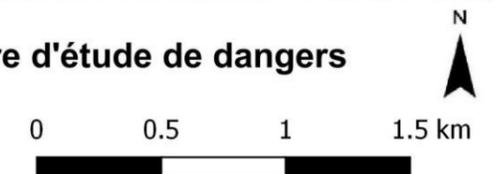


Source : IGN SCAN 25® | Réalisation AEPE Gingko 2021



Types de terrains de l'aire d'étude de dangers

-  Périmètre de l'étude de dangers
-  Éoliennes du projet
- Terrains non bâtis**
-  Aménagés mais peu fréquentés (voies structurantes, chemins agricoles, ...)
-  Non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches)



Carte 13 : les types de terrain de l'aire d'étude de dangers

V. LA DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

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

V.1. LES CARACTÉRISTIQUES DE L'INSTALLATION

L'activité principale du parc éolien de Fortel-Villers est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent.

V.1.1. LES CARACTÉRISTIQUES GÉNÉRALES D'UN PARC ÉOLIEN

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

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

Éventuellement des éléments annexes type mât de mesure de vent, aire d'accueil du public, aire de stationnement, etc.

V.1.2. LES ÉLÉMENTS CONSTITUTIFS D'UN AÉROGÉNÉRATEUR

Au sens de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par 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, 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.

- **Le mât** est généralement composé de 3 à 4 tronçons en acier ou 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 système de freinage mécanique ;
 - le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent pour une production optimale d'énergie ;
 - les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette),
 - le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique.

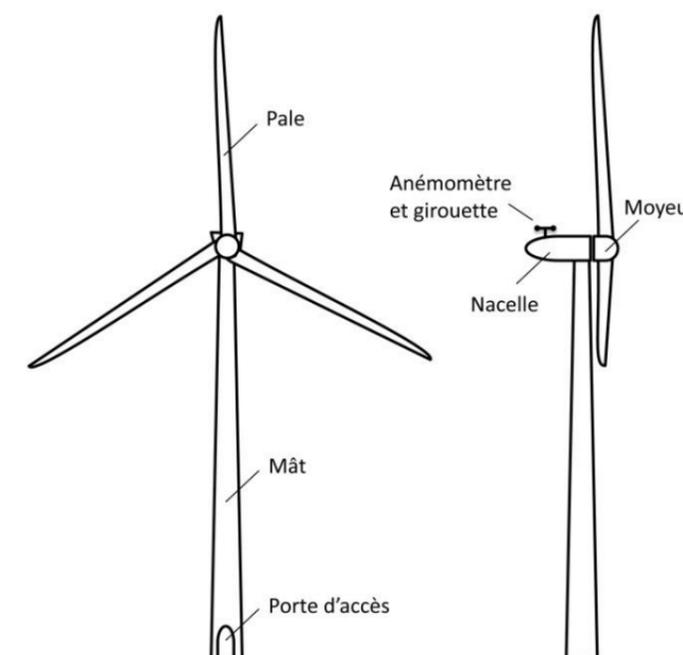


Figure 4 : le schéma simplifié d'un aérogénérateur (Nordex)

V.1.2.1. L'EMPRISE AU SOL

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

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

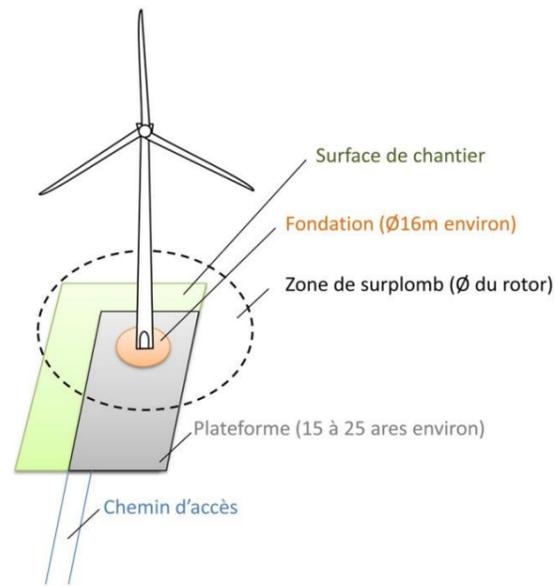


Figure 5 : l'illustration des emprises au sol d'une éolienne

V.1.2.2. LES CHEMINS D'ACCÈS

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

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

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

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

V.1.3. LA COMPOSITION DE L'INSTALLATION

Le parc éolien de Fortel-Villers est composé de 7 éoliennes et de deux postes de livraison. Chaque aérogénérateur aura une hauteur de moyeu de 85,2 m maximum et un diamètre de rotor de 103 m maximum, soit une hauteur totale en bout de pale de 135 m maximum.

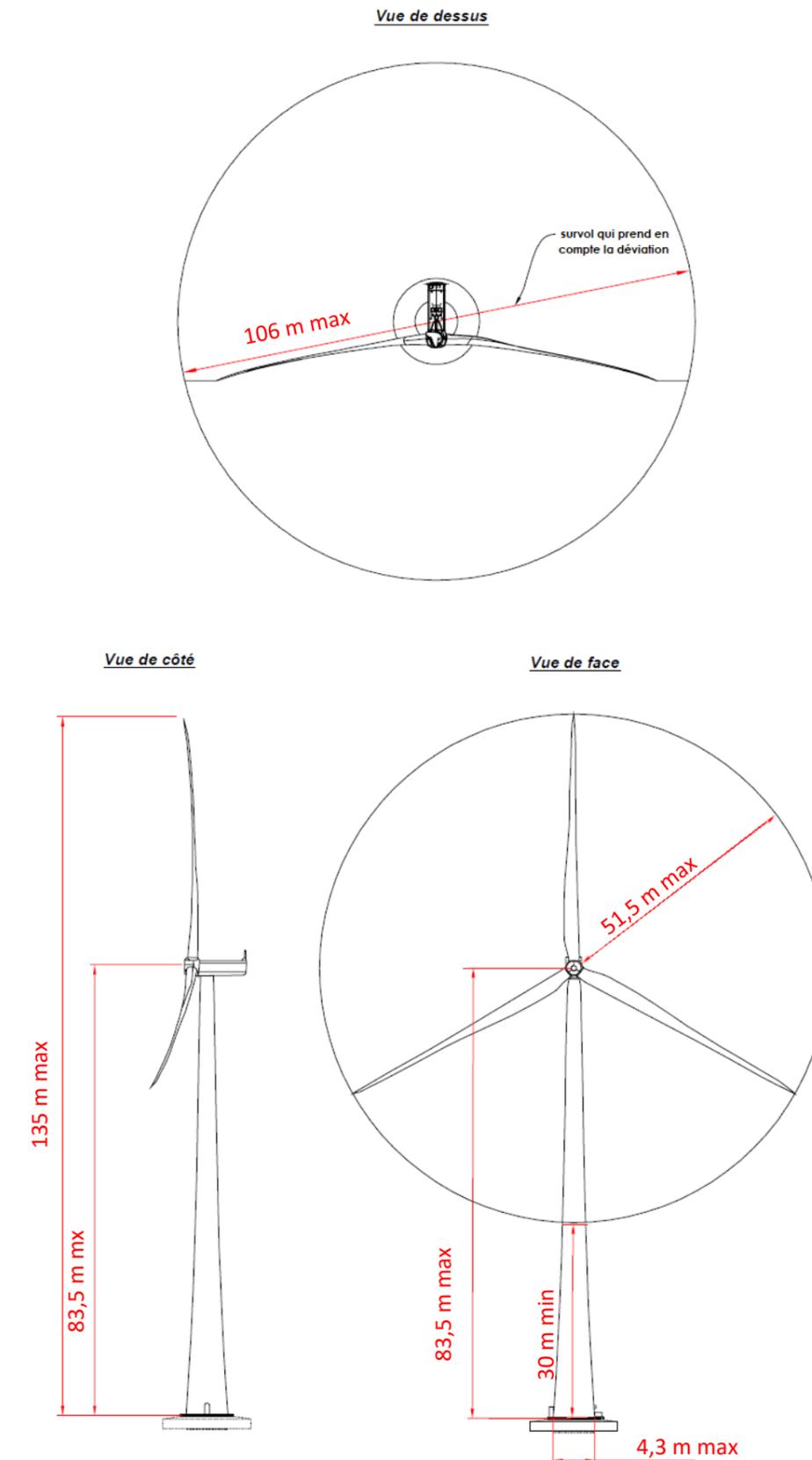


Figure 6 : les dimensions du gabarit d'éolienne envisagé

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs.

Tableau 13 : Les coordonnées GPS et côtes NGF des éoliennes

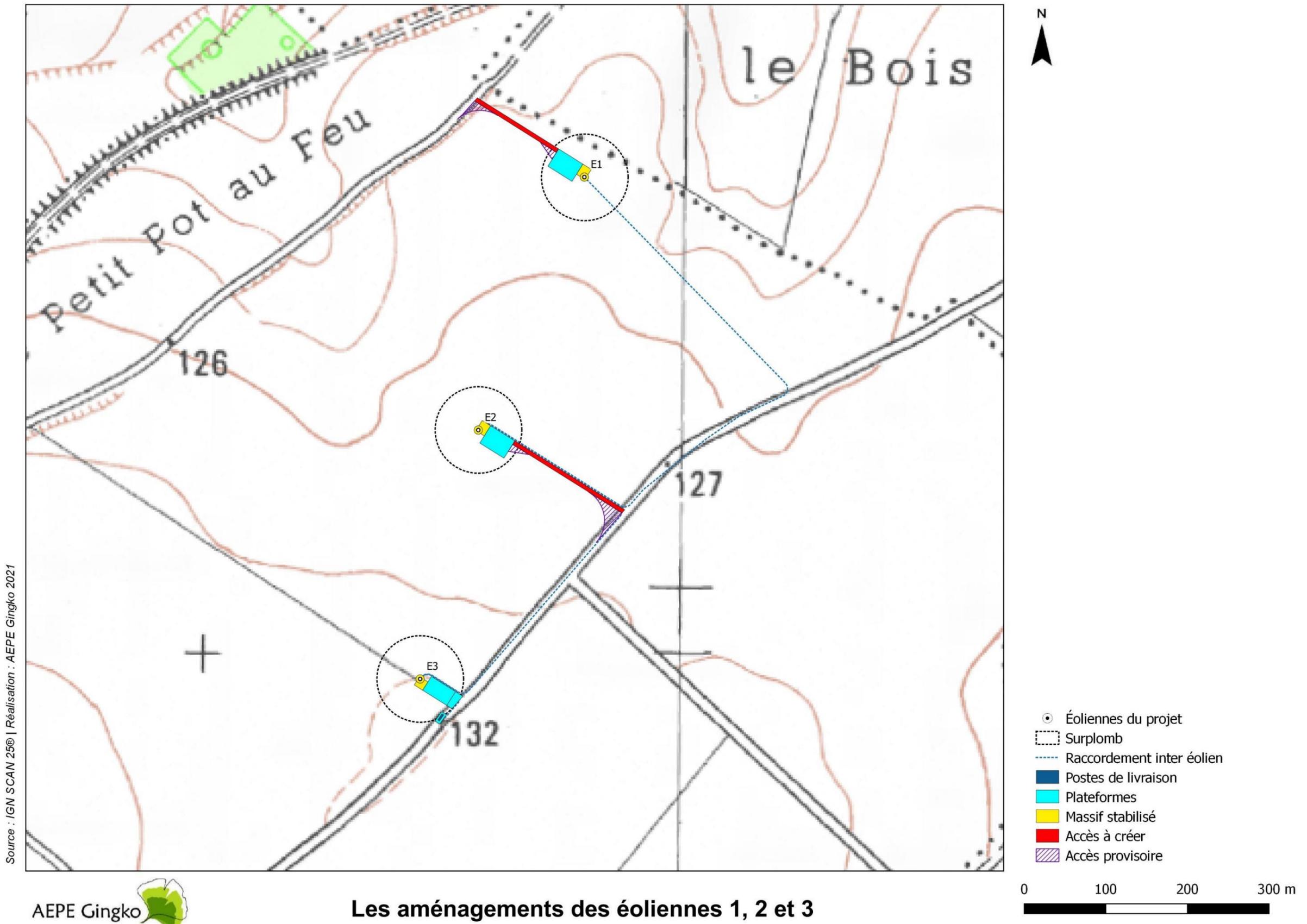
Éolienne	Coordonnées Projection Lambert 93		Coordonnées WGS84		Côte au sol	Côte maximum des éoliennes
	E (m)	N (m)	E	N	NGF	NGF
E1	646092	7019316	2°14'41.2494" E	50°16'9.9977" N	123.6	258.6
E2	645962	7019006	2°14'34.8432" E	50°15'59.9375" N	128.2	263.2
E3	645890	7018700	2°14'31.3606" E	50°15'50.0245" N	131.6	266.6
E4	644590	7016863	2°13'26.7190" E	50°14'50.2386" N	135.5	270.5
E5	644671	7016379	2°13'31.0415" E	50°14'34.6200" N	138.6	273.6
E6	644460	7016027	2°13'20.5810" E	50°14'23.1749" N	141.6	276.6
E7	644373	7015672	2°13'16.3726" E	50°14'11.6722" N	141.2	276.2

Les éoliennes seront accompagnées des aménagements décrits dans le tableau suivant.

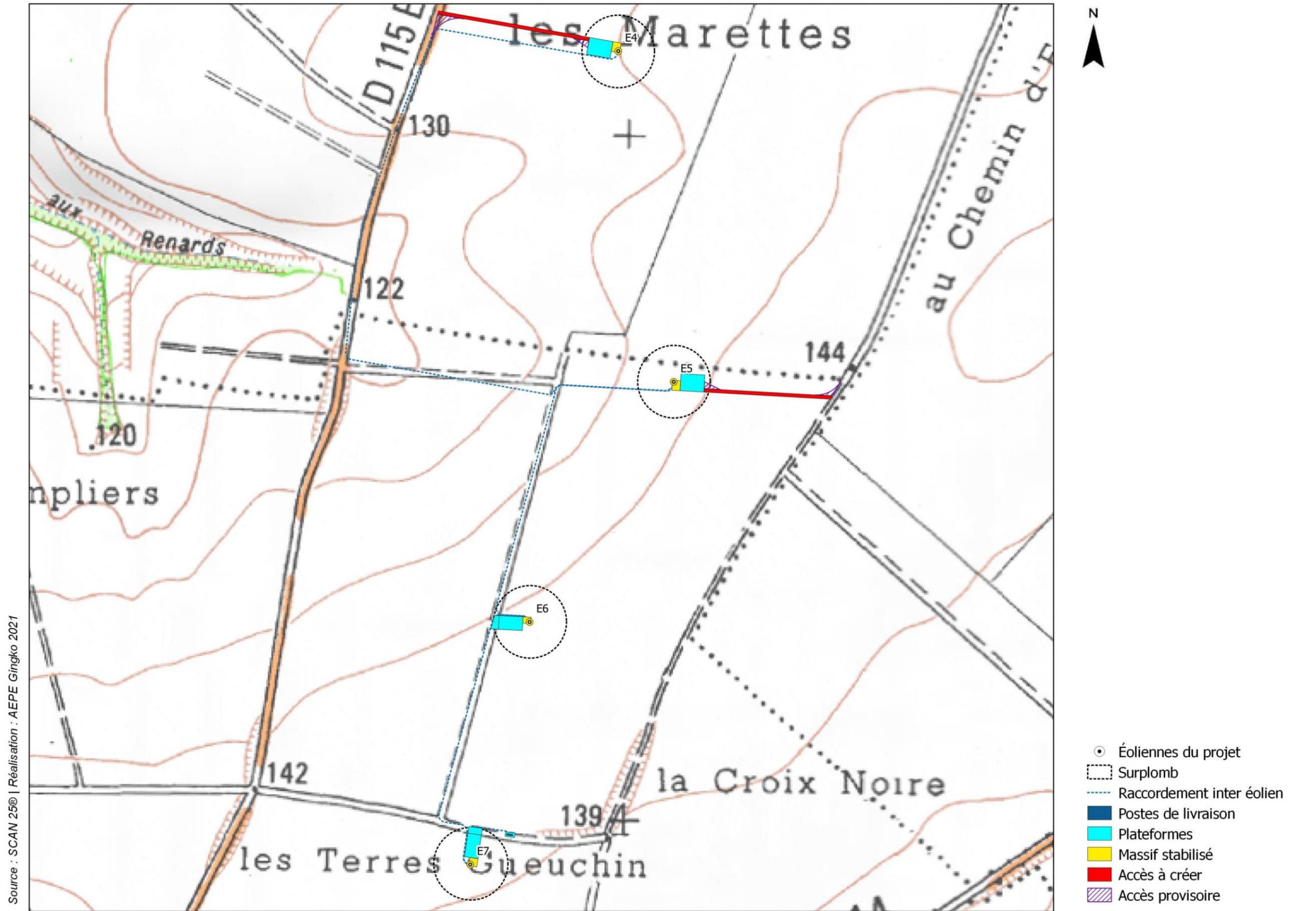
Tableau 14 : les dimensions envisagées des aménagements du parc éolien

Aménagements	Dimensions envisagées
Fondation des éoliennes	La dimension et le procédé utilisé pour le coulage des fondations seront précisés suite à étude géotechnique intervenant en amont de la construction des éoliennes
Aire de grutage des éoliennes	Surface plane de 875 à 898 m ² réalisée en empierrement ou par la mise en œuvre d'un traitement de sol à la chaux
Postes de livraison	Surface de 23m ²
Chemins d'accès	<p>Largeur utile de la chaussée de 4,5 m</p> <p>Largeur exempte d'obstacle de 5 m</p> <p>La création d'un chemin d'accès nécessite généralement une couche d'empierrement en matériaux granulaires ou par la mise en œuvre d'un traitement de sol à la chaux</p>

Des aménagements temporaires auront lieu durant la phase de chantier afin de permettre l'assemblage et le montage de l'éolienne : aires de stockage. Ces aménagements ne nécessitent pas d'apport de matériaux extérieurs et consistent en un simple décapage de la terre végétale afin de s'assurer une surface plane. Suite au montage des éoliennes, les volumes de terre végétale décaissée seront remis en place.



Carte 14 : le plan détaillé de l'installation des éoliennes 1, 2 et 3 sur Scan 25



Source : SCAN 25® | Réalisation : AEPE Gingko 2021



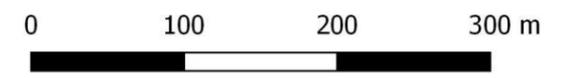
Les aménagements des éoliennes 4, 5, 6 et 7

Carte 15 : le plan détaillé de l'installation des éoliennes 4, 5, 6 et 7 sur Scan 25

Source : BD ORTHO® | Réalisation : AEPE Gingko 2021



- ⊙ Éoliennes du projet
- ⬜ Surplomb
- Raccordement inter éolien
- Postes de livraison
- Plateformes
- Massif stabilisé
- Accès à créer
- ▨ Accès provisoire



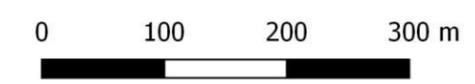
Les aménagements des éoliennes 1, 2 et 3

Carte 16 : le plan détaillé de l'installation des éolienne 1, 2 et 3 sur photo-aérienne

Source : BD ORTHO® | Réalisation : AEPE Gingko 2021



- ⊙ Éoliennes du projet
- ⋯ Surplomb
- ⋯ Raccordement inter éolien
- Postes de livraison
- Plateformes
- Massif stabilisé
- Accès à créer
- Accès provisoire



Les aménagements des éoliennes 4, 5, 6 et 7

Carte 17 : le plan détaillé de l'installation des éoliennes 4, 5, 6 et 7 sur photo-aérienne

V.2. LE FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

V.2.1. LE PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'ÉOLIENNE

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 12 km/h que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor et l'arbre dit « lent » transmettent alors l'énergie mécanique à basse vitesse (entre 5 et 20 tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit « rapide » tourne environ 100 fois plus vite que l'arbre lent. Certaines éoliennes sont dépourvues de multiplicateur et la génératrice est entraînée directement par l'arbre « lent » lié au rotor. La génératrice transforme l'énergie mécanique captée par les pales en énergie électrique.

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

Pour un aérogénérateur de 2,5 MW par exemple, la production électrique atteint 2 500 kWh dès que le vent atteint environ 50 km/h. L'électricité produite par la génératrice correspond à un courant alternatif de fréquence 50 Hz avec une tension de 400 à 690 V. La tension est ensuite élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur placé dans chaque éolienne pour être ensuite injectée dans le réseau électrique public.

Lorsque la mesure de vent, indiquée par l'anémomètre, atteint des vitesses de plus de 100 km/h (variable selon le type d'éoliennes), l'éolienne cesse de fonctionner pour des raisons de sécurité. Deux systèmes de freinage permettront d'assurer la sécurité de l'éolienne :

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

Les tensions électriques de l'installation seront les suivantes :

- Nacelle : 660 V
- Transformateur au pied de l'éolienne : 660 V en entrée et 20 000 V en sortie
- Câbles inter-éoliennes et éoliennes-postes de livraison : 20 000 V
- Poste de livraison : 20 000 V
- Câbles poste de livraison-poste source : 20 000 V

Tableau 15 : les fonctions et caractéristiques des éléments de l'installation

Élément de l'installation	Fonction	Caractéristiques
Fondation	Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol	380 m ²
Mât	Supporter la nacelle et le rotor	85,2 m maximum
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	Tension de 800V
Rotor / pales	Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice	103 m maximum
Transformateur	Élever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau	À l'intérieur du mât Tension de 20 kV à la sortie
Poste de livraison	Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public	23 m ² Tension de 20 kV

V.2.2. LA CONFORMITÉ AUX PRESCRIPTIONS DE L'ARRÊTÉ MINISTÉRIEL

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

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

- La réalisation d'essais d'arrêt permettant de s'assurer du fonctionnement correct de l'ensemble des équipements avant la mise en service industrielle des aérogénérateurs,
- L'interdiction d'entreposage à l'intérieur de l'aérogénérateur de matériaux combustibles ou inflammables,

La description détaillée des différents systèmes de sécurité de l'installation sera quant à elle effectuée ultérieurement.

V.2.3. LES OPÉRATIONS DE MAINTENANCE DE L'INSTALLATION

V.2.3.1. MAINTENANCES PRÉVENTIVES

Les maintenances préventives, garantes du bon fonctionnement des machines à long terme, se décomposent en 4 phases et seront effectuées à tour de rôle chaque trimestre qui suit la mise en service :

- Maintenance visuelle : contrôle visuel de tous les organes principaux, structurels (mâts, échelles, ascenseurs...), électriques (câbles, connexions apparentes...) et mécaniques.
- Maintenance visuelle/graisage : vérification et mise à niveau de tous les organes de graissage (cartouches, pompes à graisse, graisseurs).
- Maintenance visuelle/électrique : contrôle de tous les organes de production et de régulation (génératrices, armoires de puissance, collecteurs tournant) ainsi que de tous les éléments électriques (éclairages, capteurs de sécurité).
- Maintenance visuelle/mécanique : contrôle des boulons de tour, vérification des couples de serrage selon un protocole défini, maintien des câbles et accessoires, moteurs d'orientation, poulies et treuils.

V.2.3.2. MAINTENANCES CURATIVES

Chaque éolienne sera reliée via une connexion par modem au système central de surveillance à distance. Si une machine signale un problème ou un défaut, l'exploitant sera immédiatement averti par l'intermédiaire du système de surveillance à distance (SCADA). Le message sera automatiquement saisi par le logiciel de planification des interventions et apparaîtra sur l'écran du technicien de service sédentaire. Les équipes sur le terrain pourront accéder à tous les documents et données spécifiques de l'éolienne. Chaque opération de maintenance sera ainsi réalisée le plus efficacement et le plus rapidement possible.

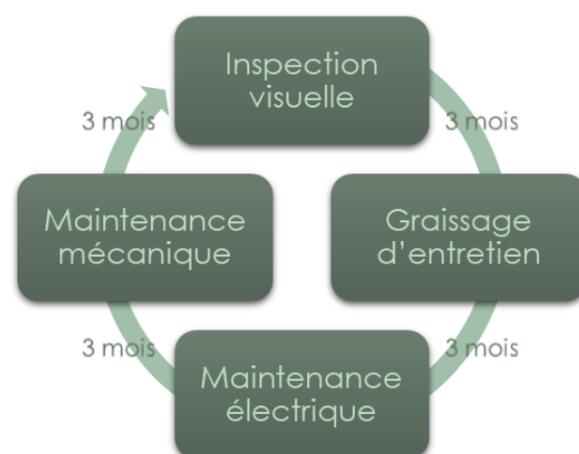


Figure 7 : Planning type de maintenance préventive

V.2.4. LE STOCKAGE ET LES FLUX DE PRODUITS DANGEREUX

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

V.2.5. LE FONCTIONNEMENT DES RÉSEAUX DE L'INSTALLATION

V.2.5.1. LES SPÉCIFICITÉS TECHNIQUES

L'installation sera mise à la terre. Les aérogénérateurs respecteront les dispositions de la norme IEC 61 400-24 (version de juin 2010). L'exploitant tiendra à disposition de l'inspection des installations classées les rapports des organismes compétents attestant de la conformité des aérogénérateurs à la norme précitée.

Les installations électriques à l'intérieur de l'aérogénérateur respecteront les dispositions de la directive du 17 mai 2006 susvisée qui leur sont applicables.

Les installations électriques extérieures à l'aérogénérateur sont conformes aux normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NFC 13-100 (version de 2001) et NFC 13-200 (version de 2009). Ces installations sont entretenues et maintenues en bon état et sont contrôlées avant la mise en service industrielle puis à une fréquence annuelle, après leur installation ou leur modification par une personne compétente. La périodicité, l'objet et l'étendue des vérifications des installations électriques ainsi que le contenu des rapports relatifs auxdites vérifications sont fixés par l'arrêté du 10 octobre 2000 susvisé.

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

V.2.5.2. LE RACCORDEMENT ÉLECTRIQUE

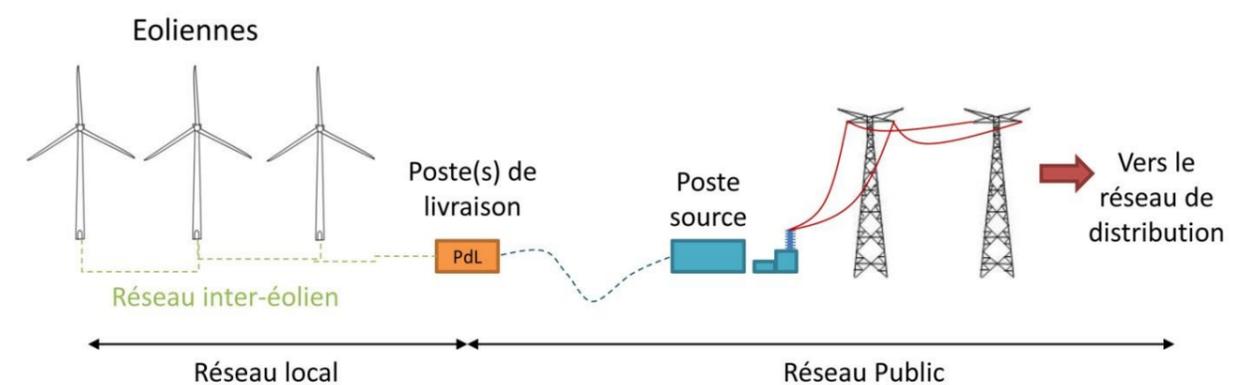


Figure 8 : le schéma de raccordement électrique d'un parc éolien

LE RÉSEAU INTER-ÉOLIEN

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur, intégré ou non dans le mât de chaque éolienne³, 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.

Chaque éolienne sera raccordée au poste de livraison par une liaison électrique de tension égale à 20 kV (réseau inter-éolien). Ces câbles ont une section de 95 à 150 mm² et seront enfouis à environ 0,80 m - 1,20 m de profondeur.

Le linéaire de câbles pour le projet de Fortel-Villers est d'environ 3 930 m.

V.2.5.3. LES POSTES 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 des postes de livraison est fonction de la proximité du réseau inter-éolien et de la localisation du poste source vers lequel l'électricité est ensuite acheminée. Le premier poste de livraison sera situé sur la commune de Fortel-en-Artois à proximité de l'éolienne 3. Le second poste de livraison sera situé sur la commune de Villers-l'Hôpital à proximité de l'éolienne 7.

V.2.5.4. LE 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 (ENEDIS). Il est entièrement enterré.

Après l'obtention de l'autorisation environnementale, une demande de raccordement au réseau public de transport d'électricité sera adressée au gestionnaire de ce réseau qui établira une Proposition Technique et Financière (PTF). Cette proposition définira notamment le poste source de raccordement du projet et le tracé du câblage électrique qui permettra ce raccordement.

À l'étape de l'étude d'impact du projet, ce tracé ne peut être connu (l'autorisation environnementale étant une pièce nécessaire à la demande de raccordement). L'impact du tracé de raccordement entre le poste de livraison du projet et le poste source ne peut donc être évalué à ce stade.

Sous réserve des conclusions de l'étude détaillée effectuée par le gestionnaire du réseau publique, le poste source pressenti pour raccorder le projet éolien au réseau public de transport d'électricité est celui de Frévent. Il s'agit du poste le plus proche du projet avec une distance d'environ 3,3 km au nord-est du projet.

À titre indicatif, au 29/12/2021, ce poste source présentait un potentiel de raccordement de 0,2 MW ainsi qu'un volume de projet en attente égal à 0,1 MW. Ce qui témoigne une saturation de ce poste

Au regard de la puissance de 22,61 MW du projet éolien de Fortel-Villers, le raccordement au poste source de Frévent ne semble pas envisageable à ce jour.

Toutefois, des solutions restent envisageables, comme faire une demande de transfert de puissance à RTE, ou bien faire une demande de création d'un nouveau poste source, ou encore choisir un autre poste pour se raccorder.

³ Si le transformateur n'est pas intégré au mât de l'éolienne, il est situé à l'extérieur du mât, à proximité immédiate, dans un local fermé.

VI. L'IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION

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

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

VI.1. LES 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 Fortel-Villers 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 n'est stocké dans les aérogénérateurs ou les postes de livraison.

Le tableau ci-après synthétise les dangers liés aux produits utilisés dans le cadre du fonctionnement de l'installation. Ces dangers dépendent de 3 facteurs :

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

Les risques associés aux différents produits concernant le site du parc éolien de Fortel-Villers sont :

- L'incendie : des produits combustibles sont présents sur le site. Ainsi, la présence d'une charge calorifique peut alimenter un incendie en cas de départ de feu.
- La toxicité : ce risque peut survenir suite à un incendie créant certains produits de décomposition nocifs, entraînés dans les fumées de l'incendie.

- La pollution : en cas de fuite sur une capacité de stockage, la migration des produits liquides dans le sol peut entraîner une pollution, également en cas d'entraînement dans les eaux d'extinction incendie.

Étant donné le confinement de ces produits et notamment des huiles, ces potentiels de dangers liés peuvent être considérés comme très faibles.

VI.2. LES POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX DÉCHETS

L'activité de production d'électricité par les éoliennes ne génère pas de déchet, ni d'émission atmosphérique, ni d'effluent. Les produits sortants concernent donc les opérations de maintenance régulières des installations, sous la forme de déchets.

Seuls deux types de déchets seront produits pendant l'exploitation du parc éolien :

- des déchets industriels banals : ces déchets concernent les pièces usagées non souillées, cartons usagers d'emballage (quantités < 1 100 litres par an), etc. ;
- des déchets industriels spéciaux : ces déchets concernent les huiles usagées (transmission), graisses, bombes à graisse usagées vides, etc.

Pour chaque catégorie de déchet, les dangers potentiels (explosif, comburant, carburant, extrêmement inflammable, ...) sont mentionnés sur les fiches de données sécurité qui les concernent en tant que produit.

À titre d'exemple, le retour d'expérience d'ENERCON montre par ailleurs que les quantités de déchets générés sont très faibles. En effet, pour un modèle de type E126 (le plus gros modèle), les déchets annuels sont de l'ordre des quantités suivantes⁴ :

- les absorbants, matériaux filtrants (filtres à huile), chiffons d'essuyage et vêtements de protection contaminés par des substances dangereuses : 7 kg par an ;
- les papiers et cartons : 2 kg par an ;
- les emballages en mélange : 2 kg par an ;
- les déchets résiduels : 6 kg par an.

Les déchets produits par d'autres marques d'éoliennes de même gabarit sont du même ordre de grandeur.

⁴ D'après le document ENERCON « ESC_Waste_Amount_E-126_after_commissioning_2012-02-13_rev000_gereng.docx »

VI.3. LES POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien de Fortel-Villers 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,
- Échauffement de pièces mécaniques,
- Courts-circuits électriques (aérogénérateur ou poste de livraison).

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant.

Tableau 16 : les potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

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

VI.4. LA RÉDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS À LA SOURCE

VI.4.1. LES PRINCIPALES ACTIONS PRÉVENTIVES

Afin de réduire à la source les potentiels de dangers, plusieurs mesures ont été prises lors de la conception du projet tant du point de vue de l'emplacement des installations et que des caractéristiques des éoliennes au regard des enjeux potentiels identifiés :

- Conformément à la réglementation, les éoliennes sont distantes de plus de 500 m des habitations riveraines,
- Aucune installation classée (autre qu'un parc éolien) n'est située à moins de 500 m de l'éolienne la plus proche,
- Les éoliennes sont éloignées des routes à forte circulation (à plus de 200 m),
- Les éoliennes retenues respectent les recommandations de l'aviation civile,
- Les éoliennes retenues sont situées à 17,2 km d'un radar militaire mais n'auront pas d'impact sur son fonctionnement,
- Les éoliennes E1, E2, E3, E6 et E7 respectent le recul de deux fois leur hauteur à la canalisation de gaz, les éoliennes E4 et E5 respectent un recul d'au moins 1,5 fois leur hauteur,
- Les éoliennes du projet ont été dimensionnées afin de prendre en considération l'ensemble des risques liés à l'installation et son environnement.

VI.4.2. L'UTILISATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES

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

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

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

VII. L'ANALYSE DES RETOURS D'EXPÉRIENCE

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

L'analyse des retours d'expérience vise donc ici à faire émerger des typologies d'accident rencontrés tant au niveau national qu'international. Ces typologies apportent un éclairage sur les scénarios les plus rencontrés.

VII.1. L'INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS EN FRANCE

Un recensement des incidents et accidents en France a été réalisé afin d'identifier les principaux phénomènes dangereux potentiels pouvant affecter le parc éolien de Fortel-Villers. Cet inventaire se base sur le retour de la base de données accidentologie de la filière éolienne (IRIS), disponible à compter de mars 2020.

Plusieurs sources ont été utilisées pour effectuer ce recensement. Il s'agit à la fois de sources officielles, d'articles de la 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 (<http://www.aria.developpementdurable.gouv.fr/>) ;
- Communiqués de presse du SER-FEE et/ou des exploitants éoliens ;
- Site Internet de l'association « Vent de Colère » ;
- Site Internet de l'association « Fédération Environnement Durable » ;
- Articles de presse divers ;
- Données diverses fournies par les exploitants de parcs éoliens en France.

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 notamment pour les incidents les moins graves.

Dans l'état actuel, la base de données constituée par le groupe de travail du Syndicat des Énergies Renouvelables (SER) 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. Au total, 88 incidents ont pu être recensés entre 2000 et début 2019. Ce chiffre est à mettre en rapport avec les 8 000 éoliennes environ installées en France fin 2018.

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

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et 2019. Cette synthèse exclut les accidents du travail et les événements qui

n'ont pas conduit à des effets sur les zones autour des aérogénérateurs. L'identification des causes est nécessairement réductrice. Dans ce graphique sont présentés :

- La répartition des différents types d'événements (rupture de pale, incendie, effondrement, chute de pale, chute d'élément, etc.) par rapport à la totalité des accidents observés en France.
- 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.

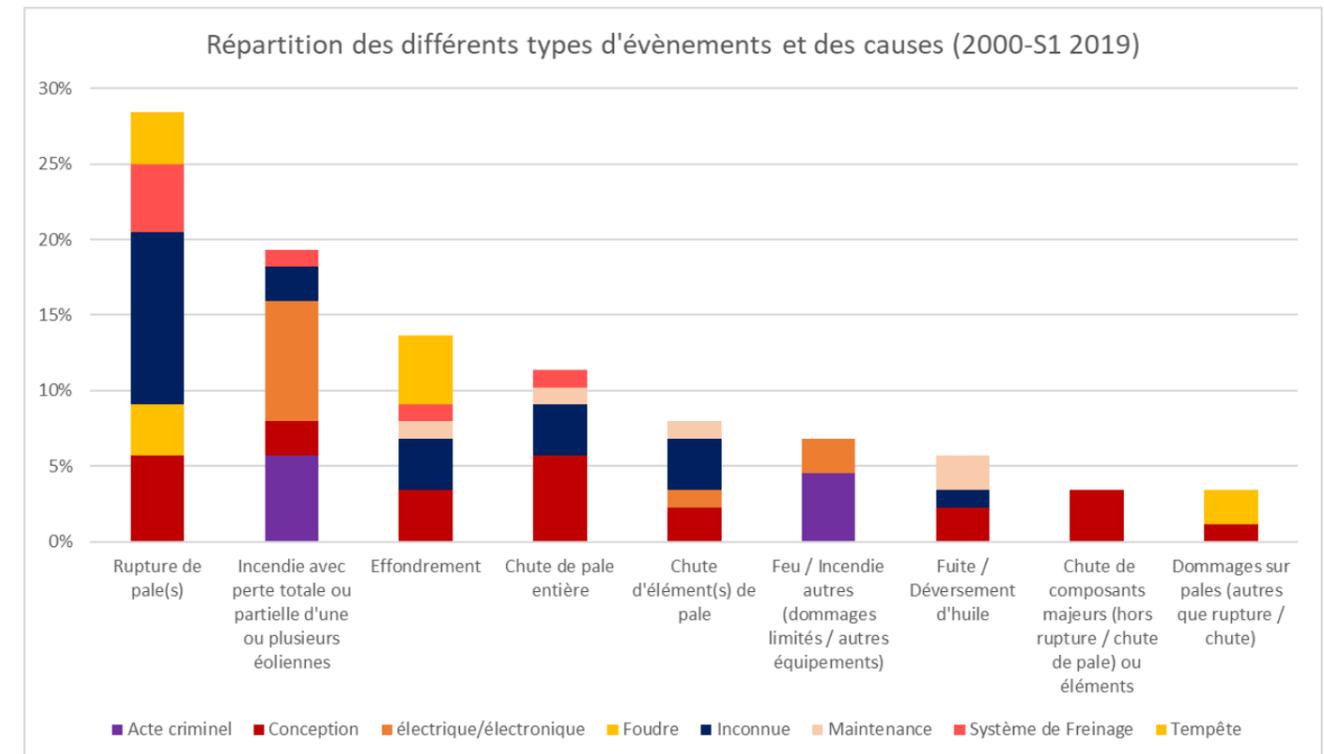


Figure 9 : Les causes premières des accidents d'aérogénérateurs en France (Source : FEE)

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

VII.2. L'INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS À L'INTERNATIONAL

La synthèse ci-dessous provient de l'analyse des accidents dans le monde, issue des descriptions de 994 accidents proposés par le Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur ces 994 accidents, seuls 236 sont considérés comme des « accidents majeurs », les autres concernant plutôt des accidents du travail, des presque-accidents, des incidents, etc.

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels par rapport à la totalité des accidents analysés. L'accident le plus fréquent est la rupture de pale, suivi par l'incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes. Ensemble, ces accidents représentent près de 45% de la totalité des accidents survenus entre 2000 et le premier semestre 2019.

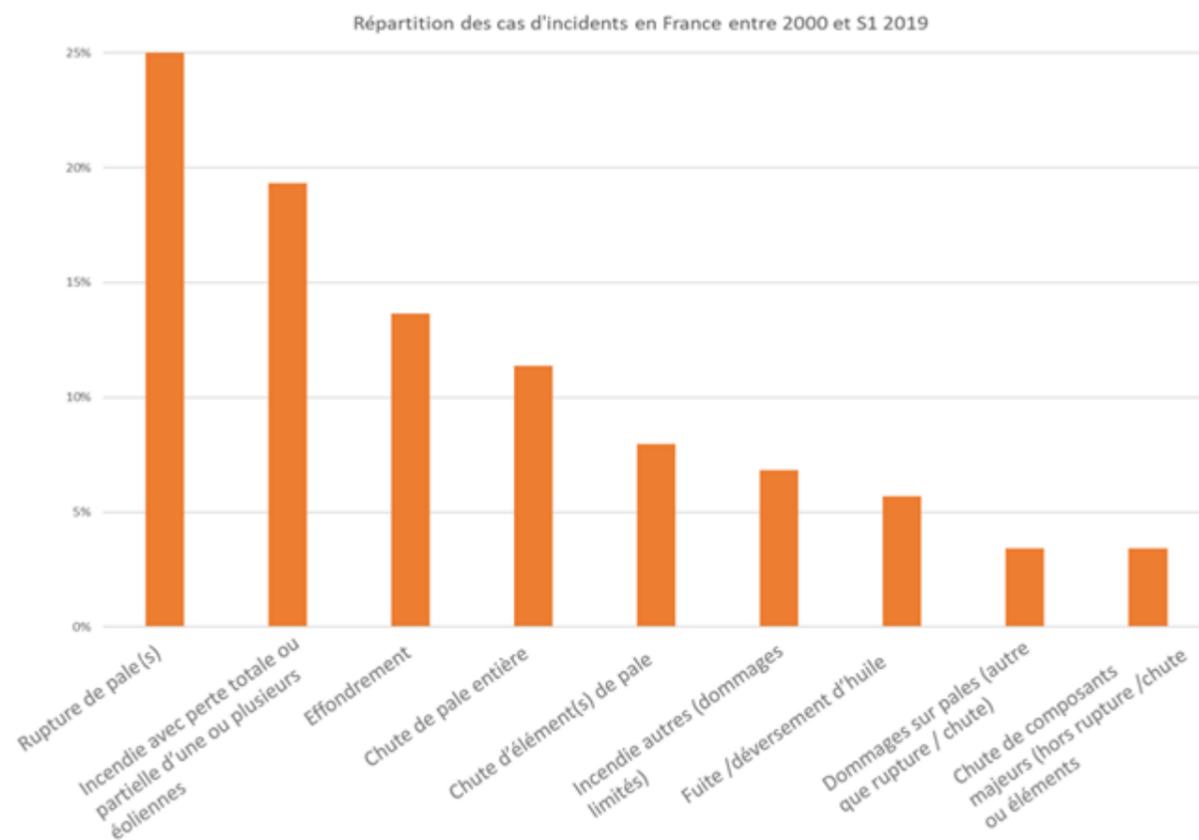


Figure 10 : La répartition des accidents d'aérogénérateurs dans le monde (Source : FEE)

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

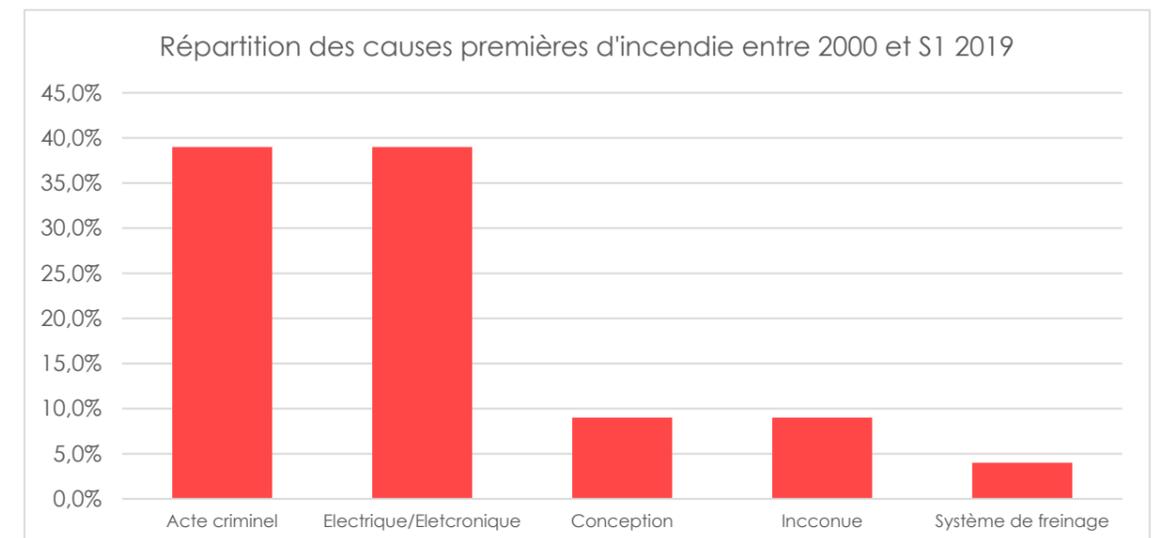
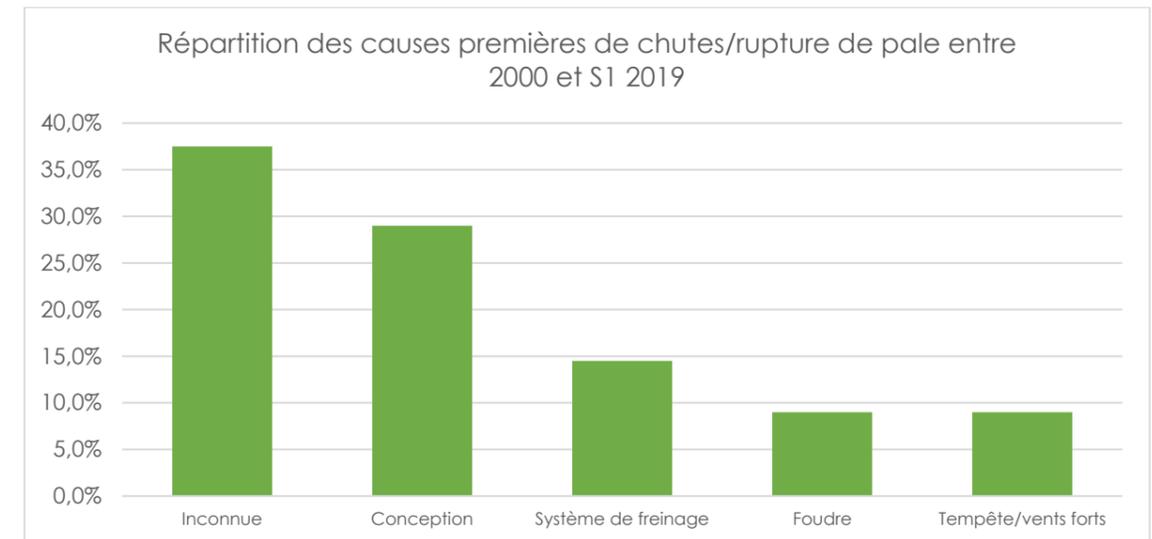
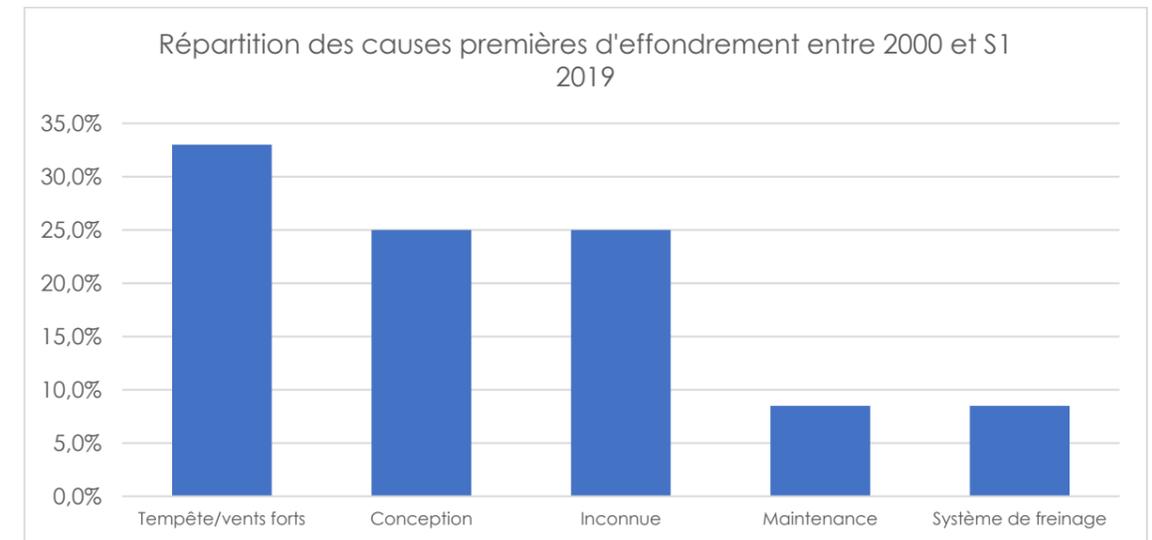


Figure 11 : Les causes premières des accidents d'aérogénérateurs dans le monde (Source : FEE)

Tout comme pour le retour d'expérience français, le retour d'expérience à l'international montre l'importance de la cause « tempêtes/vents forts » dans l'effondrement des éoliennes. Pour les accidents de chutes/rupture de pale, la première cause connue est, quant à elle, liée à la conception des aérogénérateurs. Enfin, les premières causes d'incendie sont les actes criminels et les défauts électriques/électroniques.

VII.3. LA SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTÉS ISSUS DU RETOUR D'EXPÉRIENCE

VII.3.1. L'ANALYSE DE L'ÉVOLUTION DES ACCIDENTS EN FRANCE

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

La figure ci-dessous montre cette évolution et il apparaît que le nombre d'incidents par année 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 faible.

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.

D'après la base de données ARIA, 115 incidents ou accidents sont survenus en France entre 2002 et 2020, soit une moyenne sur cette période d'environ 6 accidents par an. Le détail de ces accidents survenus en France de 2002 à 2020 est disponible sur la base de données ARIA (<http://www.aria.developpementdurable.gouv.fr/>).

Il convient de noter qu'à ce jour, en France et dans le monde, aucun accident n'a entraîné la mort d'une personne tierce (promeneurs, riverains) du fait de l'effondrement d'éoliennes, de bris de pales ou de projections de fragment de pales (Source : FEE).

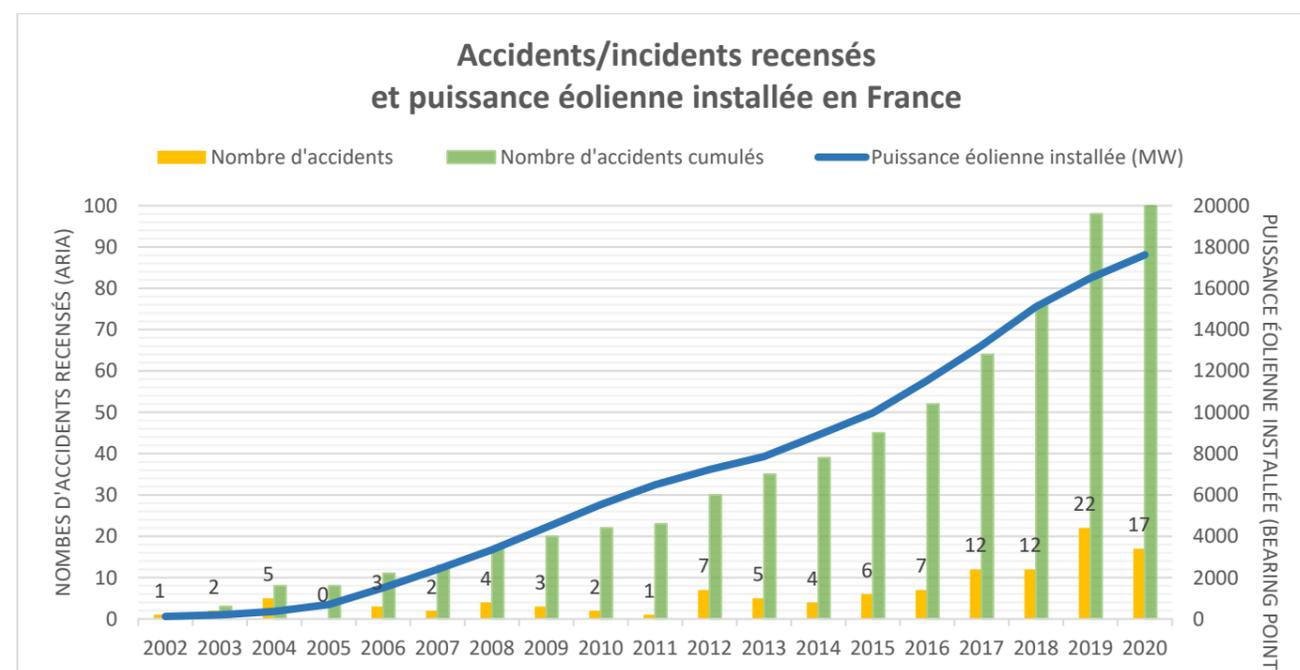


Figure 12 : Le nombre d'accidents éoliens recensés par la base ARIA entre 2002 et 2020 en France (Source : ARIA)

VII.3.2. L'ANALYSE DES TYPOLOGIES D'ACCIDENTS LES PLUS FRÉQUENTS

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

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

VII.3.3. LES ACCIDENTS/INCIDENTS SURVENUS EN HAUTS-DE-FRANCE

D'après la base de données Aria, 9 incidents ou accidents se sont déroulés sur les parcs éoliens en Hauts-de-France de 2004 à 2021.

Quatre accidents concernent le département du Pas-de-Calais (62) :

- Chute d'une partie d'une éolienne sur la commune du Portel en 2004
- Bris d'une pale d'éolienne par une tempête sur la commune de Widehem en 2012
- Chute d'une pale d'éolienne sur la commune de Conchy-sur-Canche en 2017
- Endommagement d'une nacelle d'éolienne lors d'une tempête sur la commune de Wancourt en 2020

VII.4. LES 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 comporte des incertitudes importantes.

VIII. L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

Les outils d'analyse des risques sont nombreux (ex : AMDEC, APR, HAZOP, etc.). La présente étude se base sur l'utilisation de la méthode APR (Analyse Préliminaire des Risques) qui est souple d'utilisation, adaptée et plus facile à mettre en œuvre et à instruire dans le contexte des éoliennes.

VIII.1. L'OBJECTIF DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

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

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

VIII.2. LE RECENSEMENT DES ÉVÉNEMENTS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES

En application de l'arrêté du 10 mai 2000 modifié par l'Arrêté du 5 octobre 2010 relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation, les événements initiateurs externes suivants, pouvant initier une séquence accidentelle, ne seront pas pris en compte dans l'analyse préliminaire des risques :

- La chute de météorite,
- Les séismes d'amplitude supérieure aux séismes maximums de référence éventuellement corrigés de facteurs, tels que définis par la réglementation applicable aux installations classées considérées,
- Les crues d'amplitude supérieure à la crue de référence, selon les règles en vigueur,
- Les événements climatiques d'intensité supérieure aux événements historiquement connus ou prévisibles pouvant affecter l'installation, selon les règles en vigueur,
- La chute d'avion hors des zones de proximité d'aéroport ou aérodrome (rayon de 2 km des aéroports et aérodromes),
- La 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,
- Les 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.

VIII.3. LE RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES

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

Traditionnellement, deux types d'agressions externes sont identifiés :

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

Les tableaux suivants constituent une synthèse des agressions externes identifiées.

VIII.3.1. LES AGRESSIONS EXTERNES LIÉES AUX ACTIVITÉS HUMAINES

Le tableau ci-dessous synthétise les principales agressions externes liées aux activités humaines. Il fournit une estimation des distances minimales séparant chaque aérogénérateur de la source de l'agression potentielle.

Seules les agressions externes liées aux activités humaines présentes dans un rayon de 200 m (distance à partir de laquelle l'activité considérée ne constitue plus un agresseur potentiel) seront recensées ici, à l'exception de la présence des aérodromes qui sera reportée lorsque ceux-ci sont implantés dans un rayon de 2 km.

Tableau 17 : Les agressions externes liées aux activités humaines

Infrastructure	Fonction	Événement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Observations	Éoliennes concernées
Voies de circulation	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Énergie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	Absence de voies de circulation régionale ou nationale	Uniquement liaisons locales
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Énergie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2 km	Absence d'aérodrome dans un rayon de 2 km	Non concerné

Infrastructure	Fonction	Événement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Observations	Éoliennes concernées
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	Ligne THT	Non concerné
Autres aérogénérateurs	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Énergie cinétique des éléments projetés	500 m	Absence d'aérogénérateurs d'autres parcs	Éoliennes distantes de plus de 350 m les unes des autres

Aucune installation classée pour l'environnement n'est présente au sein ou en limite de périmètre d'étude de dangers hormis deux éoliennes du parc éolien de Bonnières I et une éolienne du parc éolien de Bonnières II.

La fiche de synthèse sur les accidents et incidents dans les activités d'élevage (source ARIA) permet de caractériser les risques d'agression liés à ce type d'activité. Ainsi sur 2 686 événements analysés entre 1992 et 2009, ont été recensés :

- 85 % d'incendies,
- 16 % de rejets de matières dangereuses ou polluantes,
- 1,2% d'explosions.

Le risque d'incendie est lié à la présence combinée de matières combustibles en quantité (paille ou fourrage) et de sources d'allumage potentielles (installations électriques inadaptées).

Le risque d'explosion, beaucoup plus anecdotique, est quant à lui lié à la présence de cuves de fuel ou de bouteilles de gaz explosant en réaction à une source de chaleur excessive (incendie). Ces risques ont une portée relativement limitée et la distance de 3 kilomètres entre le parc éolien et l'installation classée (autre qu'un parc éolien) la plus proche (ARTEA SOMATER conditionnements) est suffisante pour considérer le risque d'agression comme nul.

Cette activité n'induit donc pas d'évènement redouté, et de danger potentiel, au regard d'une installation éolienne.

Aucune agression externe liée aux activités humaines n'est donc recensée.

VIII.3.2. LES AGRESSIONS EXTERNES LIÉES AUX PHÉNOMÈNES NATURELS

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

Tableau 18 : les agressions externes liées aux phénomènes naturels

Agression externe	Intensité
Séisme	Zone de sismicité 1, soit un risque très faible.
Vents et tempête	Sur le site, la vitesse moyenne des vents est de l'ordre de 6,5 à 7,5 m/s pour une hauteur de 50 m. Toutefois des phénomènes de tempêtes peuvent avoir lieu ponctuellement et induire des vents très violents.
Foudre	Le nombre moyen d'impacts de foudre au sol par km ² /an est de 1,2. Les risques de foudroiement sont donc faibles.
Glissement de sols/ affaissement miniers	Aucun risque de ce type n'est répertorié sur la zone d'étude

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

Le cas spécifique des effets directs de la foudre et du risque de « tension de pas » n'est pas traité dans l'analyse des risques et dans l'étude détaillée des risques car la norme IEC 61 400-24 (Juin 2010) ou la norme EN 62 305-3 (Décembre 2006) est respectée par les éoliennes.

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

Aucune agression externe de forte intensité liée aux phénomènes naturels n'est donc recensée.

VIII.4. LES SCÉNARIOS ÉTUDIÉS DANS L'ANALYSE GÉNÉRIQUE DES RISQUES

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

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

- une description des causes et de leur séquençage (*événements initiateurs* et *événements intermédiaires*) ;
- une description des *événements redoutés centraux* qui marquent la partie incontrôlée de la séquence d'accident ;
- une description des *fonctions de sécurité* permettant de prévenir l'événement redouté central ou de limiter les effets du phénomène dangereux (cf. partie VII.6.) ;
- une description des *phénomènes dangereux* dont les effets sur les personnes sont à l'origine d'un accident ;
- une évaluation qualitative de l'intensité de ces événements.

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

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

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

Tableau 19 : Les scénarios génériques d'accidents possibles

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
G0 1	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	1
G0 2	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	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)	2

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
					Propagation de l'incendie	
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
C02	Défaillance fixation anémomètre	Chute anémomètre	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
C03	Défaut fixation nacelle – pivot central – mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop importante sur les pales	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie de la pale	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Impact sur cible	2
P03	Serrage inapproprié	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie de la pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les	Impact sur cible	2

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
	Erreur maintenance – desserrage			défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)		
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	Projection/chute fragments et chute mât	2

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
				d'abattage et d'arrimage au sol (N°13)		
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

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

VIII.5. LES EFFETS DOMINOS

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

Les effets dominos susceptibles d'impacter les éoliennes sont décrits dans le tableau d'analyse des risques génériques présentés 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 ».

Dans le cadre des études de dangers éoliennes, il est donc proposé de limiter l'évaluation de la probabilité d'impact d'un élément de l'aérogénérateur sur une autre installation ICPE que lorsque celle-ci se situe dans un rayon de 100 m.

Aucune installation classée pour l'environnement (ICPE) n'est recensée dans un périmètre de 100 m autour des éoliennes, aucun effet domino n'est donc attendu.

VIII.6. LA MISE EN PLACE DES MESURES DE SÉCURITÉ

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

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les fonctions de sécurité identifiées sur les éoliennes.

Dans le cadre de l'étude de dangers des parcs éoliens, les aspects relatifs aux fonctions de sécurité qui seront détaillés sont donc les 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** : cette colonne 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 colonne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires, pour permettre à l'inspection de comprendre leur fonctionnement
- **Indépendance** (« oui » ou « non ») : cette caractéristique décrit le niveau d'indépendance d'une mesure de maîtrise des risques vis-à-vis des autres systèmes de sécurité et des scénarios d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner « oui ») ou non (renseigner « non »). Dans le cadre des études de dangers éoliennes, il est recommandé de mesurer cette indépendance à travers les questions suivantes :
 - Est-ce que la mesure de sécurité décrite a pour unique but d'agir pour la sécurité ? Il s'agit en effet ici de distinguer ces dernières de celles qui ont un rôle dans la sécurité mais aussi dans l'exploitation de l'aérogénérateur.
 - Cette mesure est-elle indépendante des autres mesures intervenant sur le scénario ?
- **Temps de réponse** (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité. Il s'agit ici de vérifier que la mesure de maîtrise des risques agira « à temps » pour prévenir ou pour limiter les accidents majeurs. Dans le cadre d'une étude de dangers éolienne, l'estimation de ce temps de réponse peut être simplifiée et se contenter d'une estimation d'un temps de réponse maximum qui doit être atteint. Néanmoins, et pour rappel, la réglementation impose les temps de réponse suivants :
 - une mesure de maîtrise des risques remplissant la fonction de sécurité « limiter les conséquences d'un incendie » doit permettre de détecter un incendie et de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes ;

- une seconde mesure de maîtrise des risques remplissant la fonction de sécurité « limiter les conséquences d'un incendie » doit permettre de détecter un incendie et de mettre en œuvre une procédure d'arrêt d'urgence dans un délai de 60 minutes ;
- **Efficacité** (100% ou 0%) : l'efficacité mesure la capacité d'une mesure de maîtrise des risques à remplir la fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation. Il s'agit de vérifier qu'une mesure de sécurité est bien dimensionnée pour remplir la fonction qui lui a été assignée. En cas de doute sur une mesure de maîtrise des risques, une note de calcul de dimensionnement peut être produite.
- **Test (fréquence)** : Il s'agit ici de reporter les tests/essais qui seront réalisés sur les mesures de maîtrise des risques. Pour rappel, la réglementation demande qu'à minima un essai d'arrêt, d'arrêt d'urgence et d'arrêt à partir d'une situation de survitesse doivent être réalisés avant la mise en service de l'aérogénérateur. Cette information, si elle est connue au moment de la réalisation de l'étude de dangers, pourra être indiquée pour chacune des fonctions de sécurité. 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)** : Il s'agit ici de fournir 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.

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

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

Tableau 20 : les fonctions de sécurité de l'installation

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
Mesures de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage.		
Description	Système de détection redondant du givre permettant, en cas de détection de glace, une mise à l'arrêt rapide de l'aérogénérateur. Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site.		
Indépendance	Non, les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. En cas de danger particulièrement élevé sur site (survol d'une zone fréquentée sur site soumis à des conditions de gel importantes), des systèmes additionnels peuvent être envisagés.		
Temps de réponse	Quelques minutes (<60 min.) conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par 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 projet Éloignement des zones habitées et fréquentées		
Description	Mise en place de panneaux informant de la possible formation de glace en pied de machines (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par 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 18 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par 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 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020.		
Efficacité	100 %		
Tests	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procédure d'arrêt en cas de survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011.		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par 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 courts-circuits	N° de la fonction de sécurité	5
Mesures de sécurité	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.		
Description	Les organes et armoires électriques de l'éolienne sont équipés d'organes de coupures et de protection adéquats et correctement dimensionnés. Tout fonctionnement anormal des composants électriques est suivi d'une coupure de la transmission électrique et de la transmission d'un signal d'alerte vers l'exploitant qui prend alors les mesures appropriées.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	De l'ordre de la seconde		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Des vérifications de tous les composants électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrées dans la plupart des mesures de maintenance préventive mises en œuvre. Les installations électriques sont contrôlées avant la mise en service du parc puis à une fréquence annuelle, conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par 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, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par 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 18 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par 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 suite à une défaillance du matériel.		

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	Détecteurs de niveau d'huiles Procédure d'urgence Kit antipollution		
Description	<p>Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence.</p> <p>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.</p> <p>Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin :</p> <ul style="list-style-type: none"> - de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; - d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...) ; - de récupérer les déchets absorbés. <p>Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, une société spécialisée récupérera et traitera le gravier souillé via les filières adéquates, puis le remplacera par un nouveau revêtement.</p>		
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 qualifiés Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)		
Description	<p>La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne.</p> <p>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.</p> <p>Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223.</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	NA		
Maintenance	Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du pitch system, couronne du Yam Gear, boulons de fixation de la nacelle...) sont vérifiés au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par 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	NA		
Maintenance	NA		

Tableau 21 : les catégories de scénarios exclus

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	/		

L'ensemble des procédures de maintenance et des contrôles d'efficacité des systèmes sera conforme à l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020.

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

VIII.7. LA CONCLUSION DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES

À l'issue de l'analyse préliminaire des risques, l'étude de dangers doit préciser quels scénarios sont retenus en vue de l'analyse détaillée des risques.

Dans le cadre de l'APR générique, trois catégories de scénarios sont a priori exclues de l'étude détaillée, en raison de leur faible intensité.

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. 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	En cas d'incendie du poste de livraison, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton des postes de livraison. Il est également noté que la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 Août 2011, modifié par 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 libérés dans le sol restent mineurs. Par ailleurs le transformateur est installé dans le mât et une goulotte en acier assure la collecte de toute l'huile du transformateur. Les bacs de rétention d'huile dans les postes et les sous-sols de mâts sont étanches à l'huile.

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

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

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

IX. L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

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

IX.1. RAPPEL DES DÉFINITIONS

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

IX.1.1. LA CINÉTIQUE

La cinétique d'un accident est la vitesse d'enchaînement des événements constituant une séquence accidentelle, de l'événement initiateur aux conséquences sur les éléments vulnérables. La cinétique peut être lente ou rapide. Dans le cas d'une cinétique lente, les personnes ont le temps d'être mises à l'abri. La cinétique est rapide dans le cas contraire.

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

IX.1.2. L'INTENSITÉ

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

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

Or, les seuils d'effets proposés dans l'arrêté du 29 septembre 2005 [13] caractérisent des phénomènes dangereux dont l'intensité s'exerce dans toutes les directions autour de l'origine du phénomène, pour des effets de surpression, toxiques ou thermiques. Ces seuils ne sont donc pas adaptés aux accidents générés par les aérogénérateurs.

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

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

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

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

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

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

IX.1.3. LA 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 22 : les niveaux de gravité

Intensité Gravité	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition très forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée
5. Désastreux	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1 000 personnes exposées
4. Catastrophique	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1 000 personnes exposées
3. Important	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
2. Sérieux	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
1. Modéré	Pas de zone de létalité hors établissement		Présence humaine exposée à des effets irréversibles inférieure à « une personne »

Au regard de l'occupation du sol dans le périmètre de l'étude de dangers et des éléments fournis par la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relatives aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers, il est possible d'estimer une présence humaine de l'ordre de :

- 1 personne par tranche de 100 ha dans les terrains non aménagés et très peu fréquentés (parcelles agricoles),
- 1 personne par tranche de 10 ha dans les terrains aménagés mais très peu fréquentés (voies de communications locales et chemins d'exploitation).

IX.1.4. LA PROBABILITÉ

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

Tableau 23 : les niveaux de probabilité

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

IX.2. LA CARACTÉRISATION DES SCÉNARIOS RETENUS

Dans l'ensemble de l'étude, les valeurs utilisées pour les calculs des zones d'effet sont basées sur les dimensions des éoliennes suivantes :

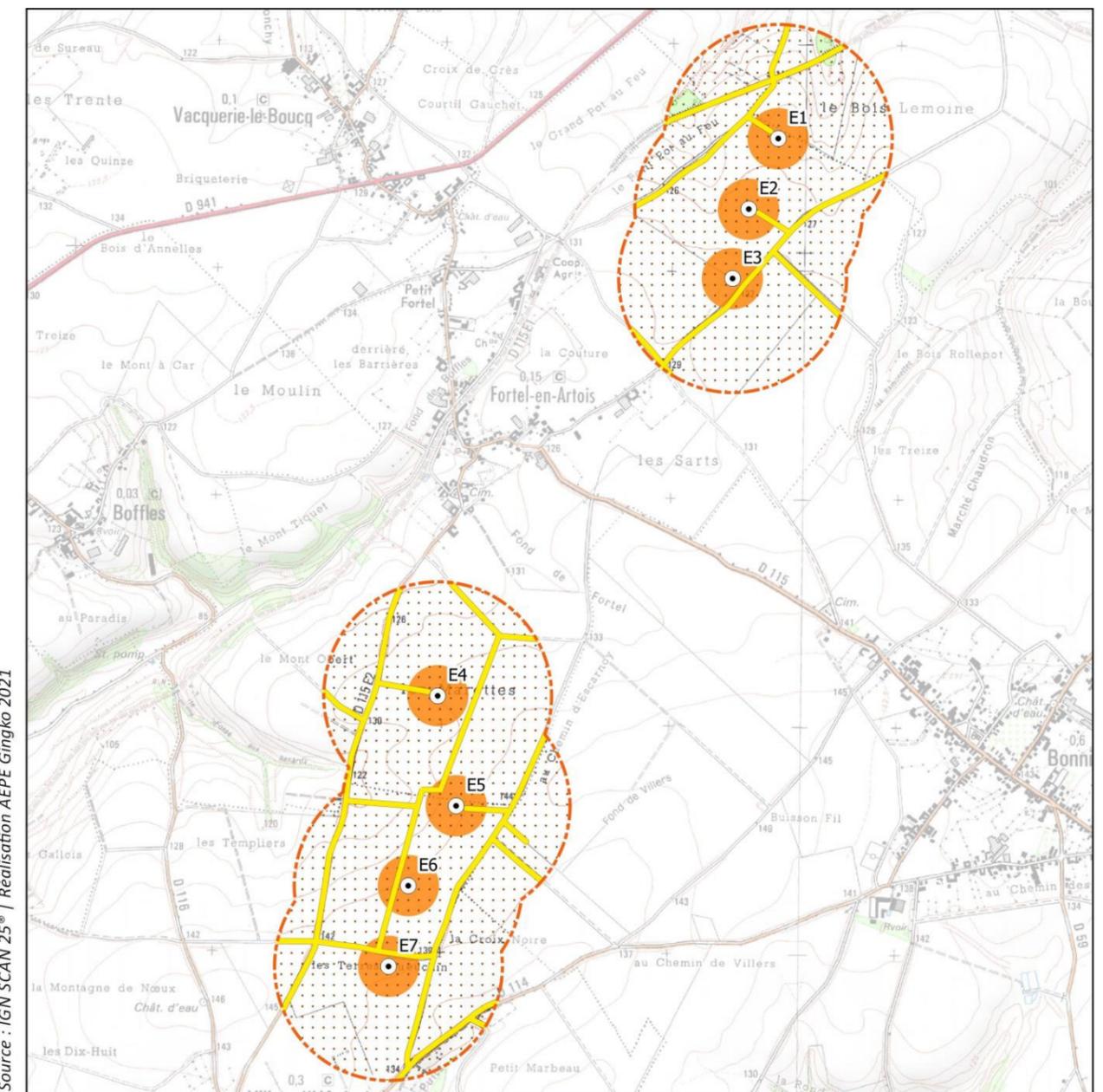
Élément	Mesure
Hauteur Totale (HT)	135 m max
Hauteur du Moyeu (HM)	83,5 m max
Hauteur du mât (H)	85,2 m max
Diamètre du rotor (D)	103 m max
Demi-rotor (D/2)	51,5 m max
Longueur de pale (R)	50,2 m max
Largeur de Base de la pale (LB)	3,93 m max
Largeur de base du mât (L)	4,3 m max
Largeur liaisons locales et chemins d'exploitation	5 m
Largeur routes départementales	6 m

IX.2.1. L'EFFONDREMENT D'UNE ÉOLIENNE

IX.2.1.1. LA ZONE D'EFFET DE L'EFFONDREMENT D'UNE ÉOLIENNE

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 135 m dans le cas des éoliennes du parc de Fortel-Villers.

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



Source : IGN SCAN 25® | Réalisation AEPE Gingko 2021

AEPE Gingko 

Zone d'effet du risque d'effondrement de l'éolienne

- Éoliennes du projet
- ▭ Périmètre de l'étude de dangers
- Risque d'effondrement de l'éolienne

Terrains non bâtis

- Aménagés mais peu fréquentés (voies non structurantes, chemins agricoles, ...)
- ⋯ Non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches)



Carte 18 : la zone d'effet du risque d'effondrement de l'éolienne

IX.2.1.2. L'INTENSITÉ DE L'EFFONDREMENT D'UNE ÉOLIENNE

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Fortel-Villers. R est la longueur de pale (R= 50,2 m maximum), H la hauteur du mât (H= 85,2 m maximum), la largeur de la base du mât (L = 4,3 m), la largeur de la base de la pale (LB = 3,93 m).

Tableau 24 : l'évaluation de l'intensité pour le risque d'effondrement des éoliennes

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à 135 m)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = H \times L + 3 \times R \times (LB / 2)$ Soit 662 m ²	$Z_E = \pi \times (H + R)^2$ soit 57 595 m ²	$D = Z_I / Z_E$ Soit 1,1%	Exposition forte

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

IX.2.1.3. LA GRAVITÉ DE L'EFFONDREMENT D'UNE ÉOLIENNE

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

Pour les terrains non aménagés et très peu fréquentés (parcelles agricoles), la zone d'effet est d'environ 5,7 ha par éolienne. Ce chiffre est à mettre en relation avec l'estimation d'une personne pour 100 ha. La fréquentation par éolienne est donc estimée à 0,1 personnes.

Pour les terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de communication et chemins d'exploitation), la superficie concernée par le risque d'effondrement est le suivant :

- De 445 m² pour l'éolienne 1, soit 0,0445 ha,
- De 450 m² pour l'éolienne 2, soit 0,0450 ha,
- De 1205 m² pour l'éolienne 3, soit 0,1205 ha,
- De 450 m² pour l'éolienne 4, soit 0,0450 ha,
- De 975 m² pour l'éolienne 5, soit 0,0975 ha,
- De 1240 m² pour l'éolienne 6, soit 0,1240 ha,
- De 1530 m² pour l'éolienne 7, soit 0,1530 ha,

Pour ces terrains, la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relatives aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers recommande d'estimer la fréquentation à 1 personne par 10 ha. Sur cette base, il est donc possible d'estimer que la présence humaine est très faible (entre 0,0045 et 0,0153 personne estimée selon l'éolienne) et peut être évaluée à « inférieure à 1 personne » par éolienne.

- soit 0,0045 équivalent personnes permanentes pour E1 ;
- soit 0,0045 équivalent personnes permanentes pour E2 ;
- soit 0,0121 équivalent personnes permanentes pour E3 ;
- soit 0,0045 équivalent personnes permanentes pour E4 ;
- soit 0,0098 équivalent personnes permanentes pour E5 ;
- soit 0,0124 équivalent personnes permanentes pour E6 ;
- soit 0,0153 équivalent personnes permanentes pour E7 ;

Notons par ailleurs que le projet n'induit aucun survol des routes départementales : la RD 115 est située à plus de 260 m de l'éolienne E4.

Le tableau ci-après recense le nombre de personnes permanentes concernées dans la zone d'effet du risque d'effondrement pour chaque éolienne.

Éolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)					
	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	Terrains aménagés mais peu fréquentés	Voies automobiles	Habitations (Garages, hangars)	Industries / activités	Total
E1	0,0572	0,0045	0	0	0	0,0617
E2	0,0572	0,0045	0	0	0	0,0617
E3	0,0572	0,0121	0	0	0	0,0693
E4	0,0572	0,0045	0	0	0	0,0617
E5	0,0572	0,0098	0	0	0	0,0670
E6	0,0572	0,0124	0	0	0	0,0696
E7	0,0572	0,0153	0	0	0	0,0725

Il est donc possible d'estimer que la présence humaine est de « Moins de 10 personnes exposées » autour des éoliennes.

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

Tableau 25 : l'évaluation de la gravité du risque d'effondrement d'une éolienne

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à 135 m)		
Éolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,0617	Modérée
E2	0,0617	Modérée
E3	0,0693	Modérée
E4	0,0617	Modérée

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à 135 m)		
Éolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E5	0,0670	Modérée
E6	0,0696	Modérée
E7	0,0725	Modérée

IX.2.1.4. LA PROBABILITÉ DE L'EFFONDREMENT D'UNE ÉOLIENNE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par 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 correctives réduisant significativement la probabilité* ».

IX.2.1.5. L'ACCEPTABILITÉ DE L'EFFONDREMENT D'UNE ÉOLIENNE

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

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modérée	Acceptable
E2	Modérée	Acceptable
E3	Modérée	Acceptable
E4	Modérée	Acceptable
E5	Modérée	Acceptable
E6	Modérée	Acceptable
E7	Modérée	Acceptable

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

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.

IX.2.2. LA CHUTE DE GLACE

IX.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 [15], 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. Les données issues de la station météorologique d'Abbeville indiquent en moyenne environ 5,5 jours par an de forte gelée (température inférieure à -5°C)

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

IX.2.2.2. LA ZONE D'EFFET DE LA CHUTE DE GLACE

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 Fortel-Villers, la zone d'effet a donc un rayon de 51,5 m. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

IX.2.2.3. L'INTENSITÉ DE LA CHUTE DE GLACE

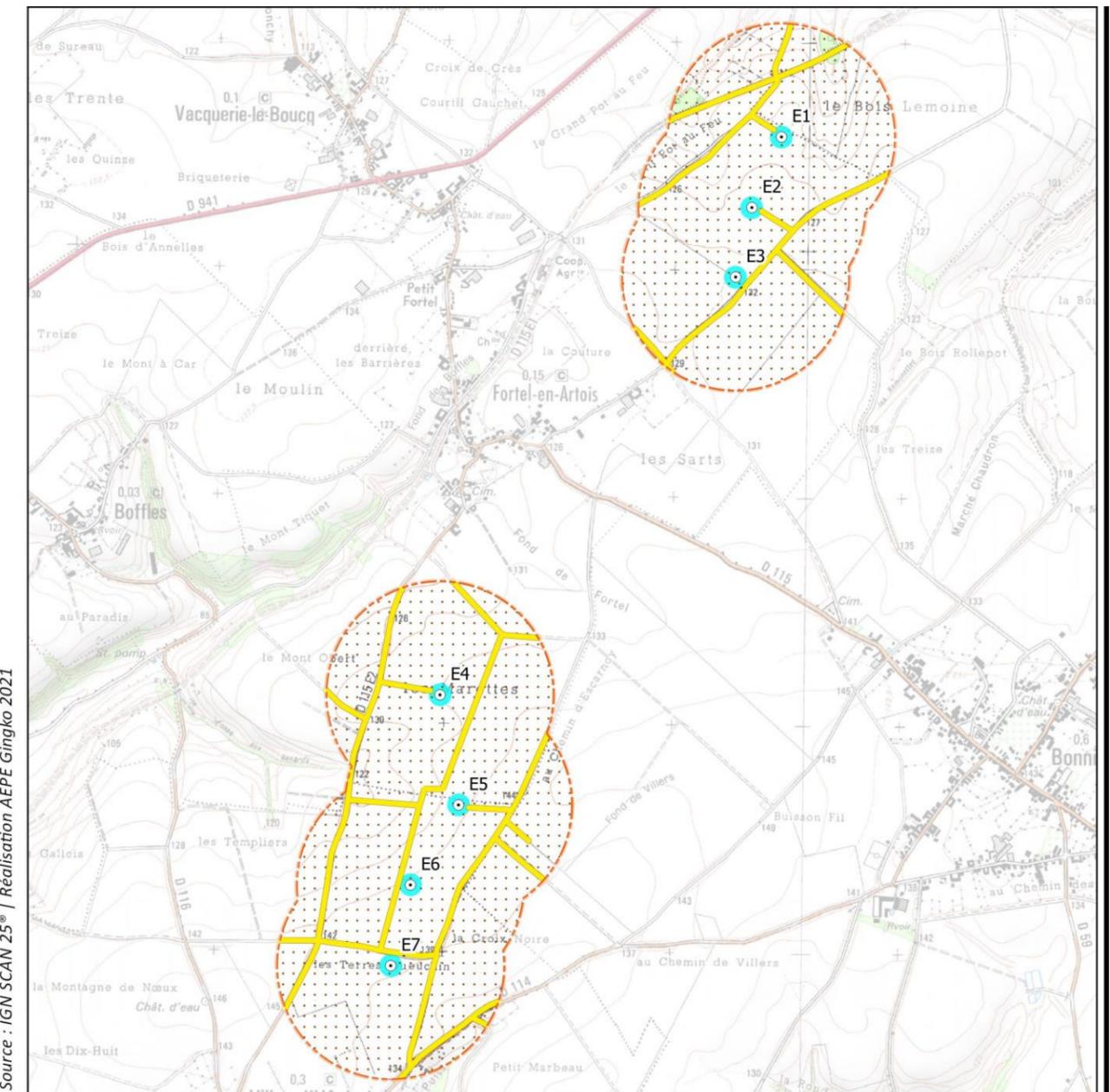
Pour le phénomène de chute de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace et la superficie de la zone d'effet du phénomène (zone de survol).

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace dans le cas du parc éolien de Fortel-Villers. Z_I est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, $D/2$ est le demi-rotor ($D/2 = 51,5$ m), SG est la surface du morceau de glace majorant ($SG = 1$ m²).

Tableau 26 : l'évaluation de l'intensité du risque 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
$Z_I = SG$ Soit 1 m ²	$Z_E = \pi \times D/2^2$ Soit 8 328 m ²	$D = Z_I / Z_E$ Soit 0,012 % (< 1 %)	Exposition modérée

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



AEPE Gingko

Zone d'effet du risque de chute de glace

- Éoliennes du projet
- ▭ Périmètre de l'étude de dangers
- Risque de chute de glace

Terrains non bâtis

- Aménagés mais peu fréquentés (voies non structurantes, chemins agricoles, ...)
- ⋯ Non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches)



Carte 19 : la zone d'effet du risque de chute de glace

IX.2.2.4. LA GRAVITÉ DE LA CHUTE DE GLACE

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.

La zone d'effet concerne :

- des terrains non aménagés et très peu fréquentés. Elle est de l'ordre de 0,8 ha par éolienne.
- des terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de communication et chemins d'exploitation). La superficie concernée par le risque de chute d'éléments sur ce type de terrains concerne seulement E1, E2, E4 et E5.

La zone d'effet est nettement inférieure à 100 ha par éolienne, il est donc possible d'estimer que la présence humaine est « inférieure à 1 personne ».

Le tableau ci-après recense le nombre de personnes permanentes concerné dans la zone d'effet du risque de chute de glace pour chaque éolienne.

Éolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)					Total
	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	Terrains aménagés mais peu fréquentés	Voies automobiles	Habitations (Garages, hangars)	Industries / activités	
E1	0,0083	0,0002	0	0	0	0,0085
E2	0,0083	0,0002	0	0	0	0,0085
E3	0,0083	0	0	0	0	0,0083
E4	0,0083	0,0002	0	0	0	0,0085
E5	0,0083	0,0002	0	0	0	0,0085
E6	0,0083	0	0	0	0	0,0083
E7	0,0083	0	0	0	0	0,0083

Il est donc possible d'estimer que la présence humaine est de « Moins de 10 personnes exposées » autour des éoliennes.

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 27 : l'évaluation de la gravité du risque de chute de glace

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Éolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,0085	Modérée
E2	0,0085	Modérée
E3	0,0083	Modérée

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Éolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E4	0,0085	Modérée
E5	0,0085	Modérée
E6	0,0083	Modérée
E7	0,0083	Modérée

IX.2.2.5. LA PROBABILITÉ DE LA CHUTE DE GLACE

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

IX.2.2.6. L'ACCEPTABILITÉ DE LA CHUTE DE GLACE

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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modérée	Acceptable
E2	Modérée	Acceptable
E3	Modérée	Acceptable
E4	Modérée	Acceptable
E5	Modérée	Acceptable
E6	Modérée	Acceptable
E7	Modérée	Acceptable

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

Il convient également de rappeler que, conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020, 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.

IX.2.3. LA CHUTE D'ÉLÉMENTS D'UNE ÉOLIENNE

IX.2.3.1. LA ZONE D'EFFET DE LA CHUTE D'ÉLÉMENTS D'UNE ÉOLIENNE

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'éléments 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 (51,5 m).

IX.2.3.2. L'INTENSITÉ DE LA CHUTE D'ÉLÉMENTS D'UNE ÉOLIENNE

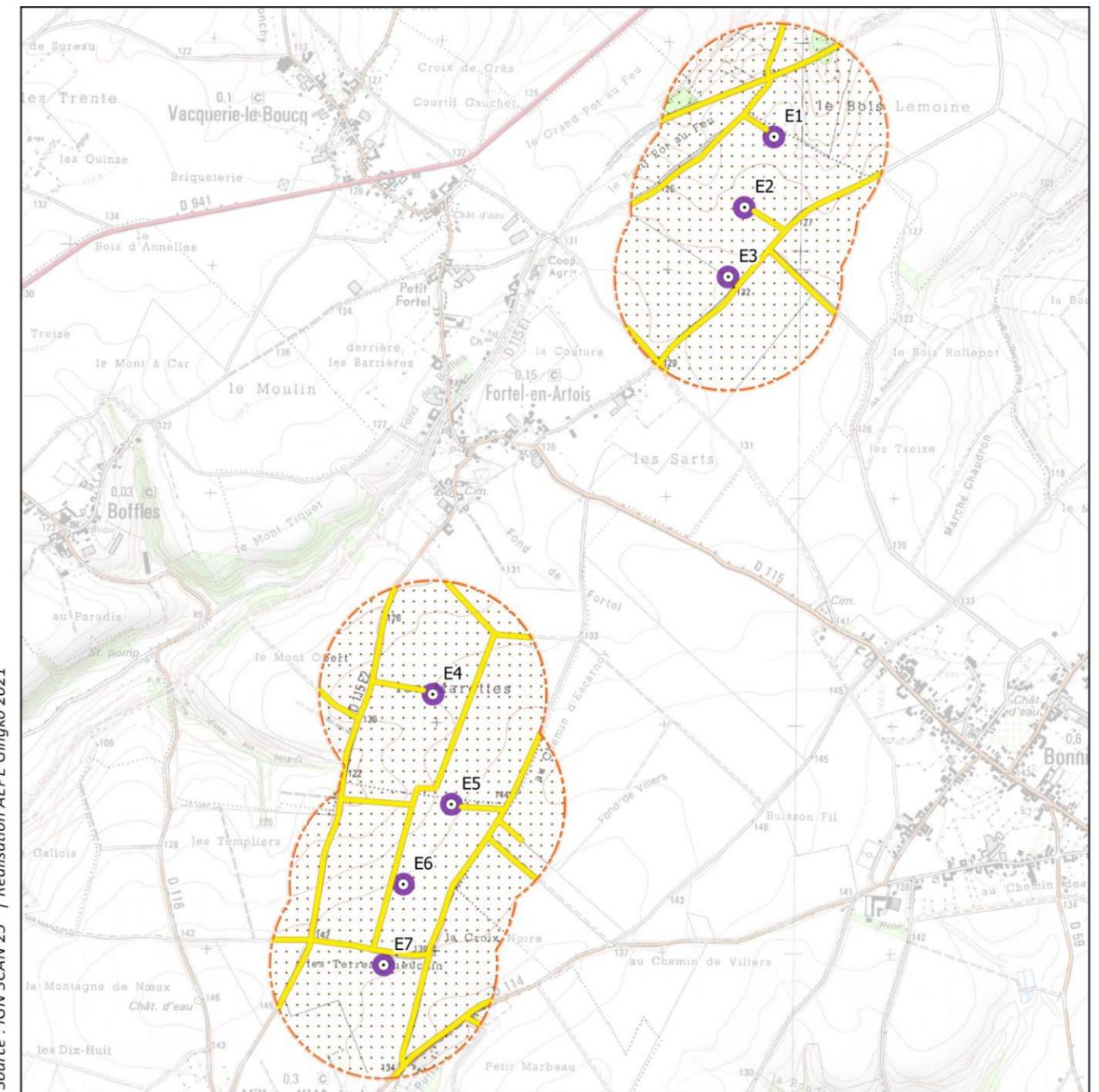
Pour le phénomène de chute d'éléments, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un élément (cas majorant d'une pale entière se détachant de l'éolienne) et la superficie de la zone d'effet du phénomène (zone de survol).

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 Fortel-Villers. D est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, D/2 le demi-rotor (D/2= 51,5m) et LB la largeur de la base de la pale (LB= 3,93 m).

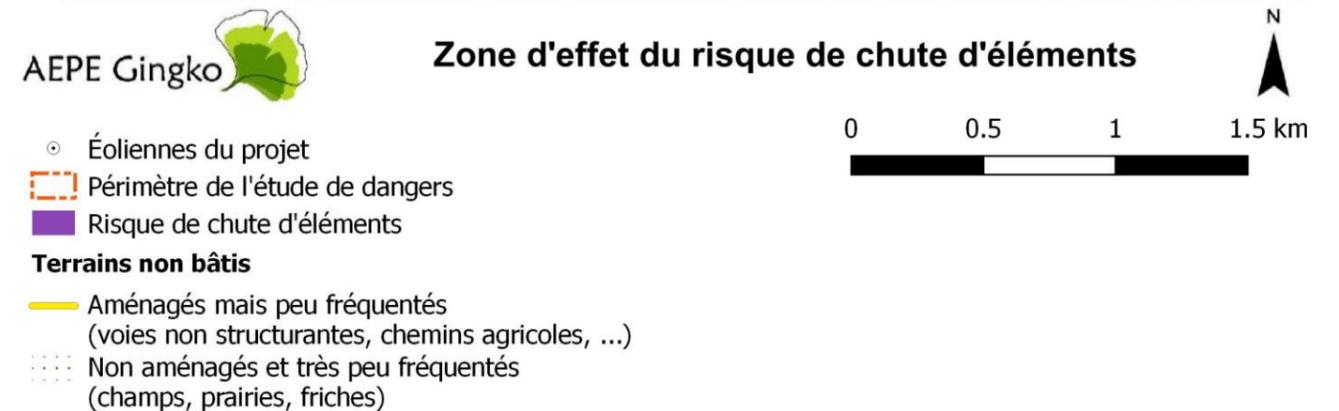
Tableau 28 : l'évaluation de l'intensité du risque de chute d'éléments de l'éolienne

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
Z _I = R x LB / 2 Soit 101,2 m ²	Z _E = π x D/2 ² Soit 8 328 m ²	D = Z _I / Z _E Soit 1,22% x > 1 %	Exposition forte

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



Source : IGN SCAN 25® | Réalisation AEPE Gingko 2021



Carte 20 : la zone d'effet du risque de chute d'éléments

IX.2.3.3. LA GRAVITÉ DE LA CHUTE D'ÉLÉMENTS D'UNE ÉOLIENNE

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 d'éléments, dans la zone de survol de l'éolienne.

La zone d'effet concerne :

- des terrains non aménagés et très peu fréquentés. Elle est de l'ordre de 0,8 ha par éolienne.
- des terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de communication et chemins d'exploitation). La superficie concernée par le risque de chute d'éléments sur ce type de terrains concerne seulement E1, E2, E4 et E5.

La zone d'effet est nettement inférieure à 100 ha par éolienne, il est donc possible d'estimer que la présence humaine est « au plus 1 personne exposée ».

Le tableau ci-après recense le nombre de personnes permanentes concerné dans la zone d'effet du risque de chute d'éléments pour chaque éolienne.

Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)						
Éolienne	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	Terrains aménagés mais peu fréquentés	Voies automobiles	Habitations (Garages, hangars)	Industries / activités	Total
E1	0,0083	0,0002	0	0	0	0,0085
E2	0,0083	0,0002	0	0	0	0,0085
E3	0,0083	0	0	0	0	0,0083
E4	0,0083	0,0002	0	0	0	0,0085
E5	0,0083	0,0002	0	0	0	0,0085
E6	0,0083	0	0	0	0	0,0083
E7	0,0083	0	0	0	0	0,0083

Il est donc possible d'estimer que la présence humaine est de « Moins de 10 personnes exposées » autour des éoliennes.

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 29 : l'évaluation de la gravité du risque de chute d'éléments d'une éolienne

Chute d'éléments d'une éolienne (dans un rayon de D/2 = zone de survol)		
Éolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,0085	Modérée
E2	0,0085	Modérée
E3	0,0083	Modérée

Chute d'éléments d'une éolienne (dans un rayon de D/2 = zone de survol)		
Éolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E4	0,0085	Modérée
E5	0,0085	Modérée
E6	0,0083	Modérée
E7	0,0083	Modérée

IX.2.3.4. LA PROBABILITÉ DE LA CHUTE D'ÉLÉMENTS D'UNE ÉOLIENNE

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

Le retour d'expérience connu en France montre que ces événements ont une classe de probabilité « C » (2 chutes et 5 incendies pour 15 667 années d'expérience, soit 4.47×10^{-4} événement par éolienne et par an).

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

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

IX.2.3.5. L'ACCEPTABILITÉ DE LA CHUTE D'ÉLÉMENTS D'UNE ÉOLIENNE

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

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modérée	Acceptable
E2	Modérée	Acceptable
E3	Modérée	Acceptable
E4	Modérée	Acceptable
E5	Modérée	Acceptable
E6	Modérée	Acceptable
E7	Modérée	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien de Fortel-Villers, le phénomène de chute d'éléments d'une éolienne constitue un risque acceptable pour les personnes.

IX.2.4. LA PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES

IX.2.4.1. LA ZONE D'EFFET DE LA PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES

Dans l'accidentologie française rappelée en annexe 2, la distance maximale relevée et vérifiée par le groupe de travail précédemment mentionné pour une projection de fragment de pale est de 380 m 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] (cf. référence en annexe 6). Pour autant, des études de risques déjà réalisées dans le monde ont utilisé une distance de 500 m, en particulier les études [5] et [6].

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

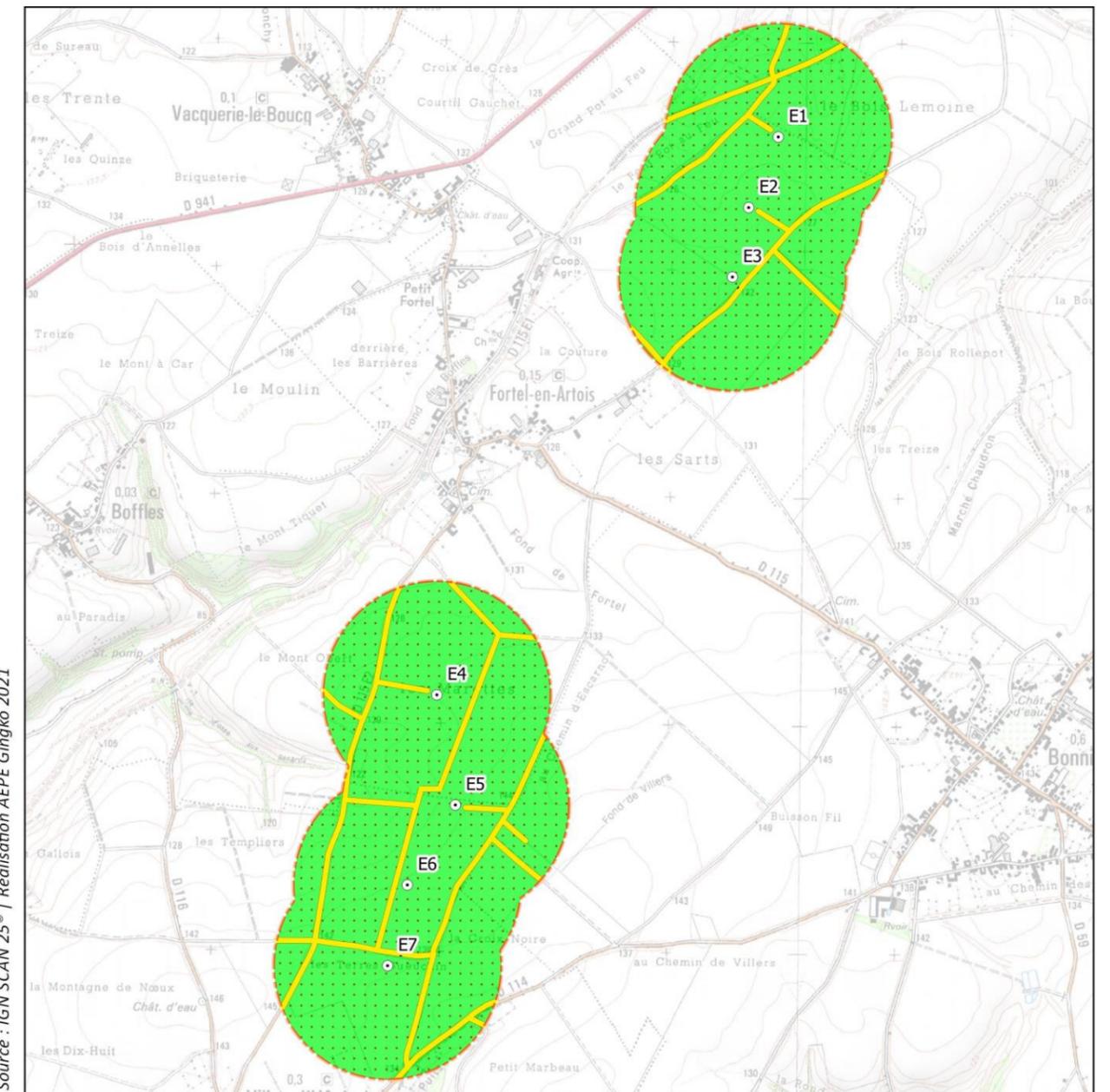
IX.2.4.2. L'INTENSITÉ DE LA PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES

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

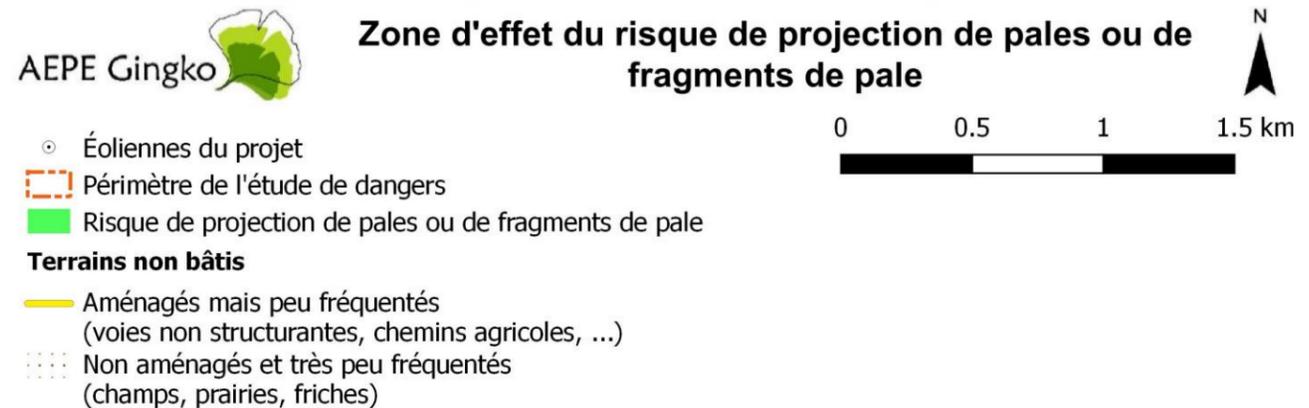
Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Fortel-Villers. D est le degré d'exposition, Z_i la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R la longueur de pale ($R = 50,2$ m), LB la largeur de la base de la pale ($LB = 3,93$ m) et r le rayon de projection maximale ($r = 500$ m).

Tableau 30 : l'évaluation de l'intensité du risque de projection de pale ou de 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
$Z_i = R \times LB / 2$ Soit 99 m ²	$Z_E = \pi \times r^2$ Soit 785 000 m ²	$D = Z_i / Z_E$ Soit 0,01 % (< 1 %)	Exposition modérée



Source : IGN SCAN 25® / Réalisation AEPE Gingko 2021



Carte 21 : la zone d'effet du risque de projection de pale ou de fragment de pale

IX.2.4.3. LA GRAVITÉ DE LA PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES

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

Pour les terrains non aménagés et très peu fréquentés (parcelles agricoles), la zone d'effet est d'environ 78,5 ha par éolienne. Ce chiffre est à mettre en relation avec l'estimation d'une personne pour 100 ha. Cela signifie que l'on peut estimer la présence d'un équivalent de 0,78 personnes concernées par éolienne.

Pour les terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de communication et chemins d'exploitation), la superficie concernée par le risque de projection de pales ou de fragments de pales est la suivante :

- De 1,32 ha pour l'éolienne 1,
- De 1,61 ha pour l'éolienne 2,
- De 1,41 ha pour l'éolienne 3,
- De 1,42 ha pour l'éolienne 4,
- De 2,25 ha pour l'éolienne 5,
- De 2,5 ha pour l'éolienne 6,
- De 1,70 ha pour l'éolienne 7,

Pour ces terrains, la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relatives aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers recommande d'estimer la fréquentation à 1 personne par 10 ha.

Le tableau ci-après recense le nombre de personnes permanentes concerné dans la zone d'effet du risque de projection de pale ou de fragment de pale pour chaque éolienne.

Éolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)					
	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	Terrains aménagés mais peu fréquentés	Voies automobiles	Habitations (Garages, hangars)	Industries / activités	Total
E1	0,7850	0,1320	0	0	0	0,9170
E2	0,7850	0,1614	0	0	0	0,9464
E3	0,7850	0,1409	0	0	0	0,9259
E4	0,7850	0,1415	0	0	0	0,9265
E5	0,7850	0,2254	0	0	0	1,0104
E6	0,7850	0,2497	0	0	0	1,0347
E7	0,7850	0,1703	0	0	0	0,9553

Il est donc possible d'estimer que la présence humaine est de « Moins de 10 personnes exposées » autour des éoliennes E5 et E6 est « inférieure à 1 personne » autour des éoliennes E1, E2 E3, E4 et E7.

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 31 : l'évaluation de la gravité du risque de projection de pale ou de fragment de pale

Projection de pale ou de fragment de pale (dans un rayon de 500m)		
Éolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,9170	Modéré
E2	0,9464	Modéré
E3	0,9259	Modéré
E4	0,9265	Modéré
E5	1,0104	Sérieux
E6	1,0347	Sérieux
E7	0,9553	Modéré

IX.2.4.4. LA PROBABILITÉ DE LA PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES

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

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

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

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C » (12 événements pour 15 667 années d'expérience, soit 7,66 x 10⁻⁴ événement par éolienne et par an).

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 Septembre 2005 d'une probabilité « C » : « 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 modifiant l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation permet de s'assurer que les éoliennes font l'objet de mesures réduisant significativement la probabilité de projection.

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

IX.2.4.5. L'ACCEPTABILITÉ DE LA PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES

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

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modéré	Acceptable
E2	Modéré	Acceptable
E3	Modéré	Acceptable
E4	Modéré	Acceptable
E5	Sérieux	Acceptable
E6	Sérieux	Acceptable
E7	Modéré	Acceptable

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

IX.2.5. LA PROJECTION DE GLACE

IX.2.5.1. LA ZONE D'EFFET DE LA PROJECTION DE GLACE

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

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

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

Cette distance de projection est jugée conservatrice dans des études postérieures [17]. À défaut de données fiables, les études menées par l'INERIS dans le cadre de l'élaboration d'une étude de dangers commune validée par la Direction Générale de la Prévention des Risques proposent de considérer cette formule pour le calcul de la distance d'effet pour les projections de glace.

Concernant le parc éolien de Fortel-Villers, la distance d'effet est donc évaluée à un rayon de 280 m autour des éoliennes.

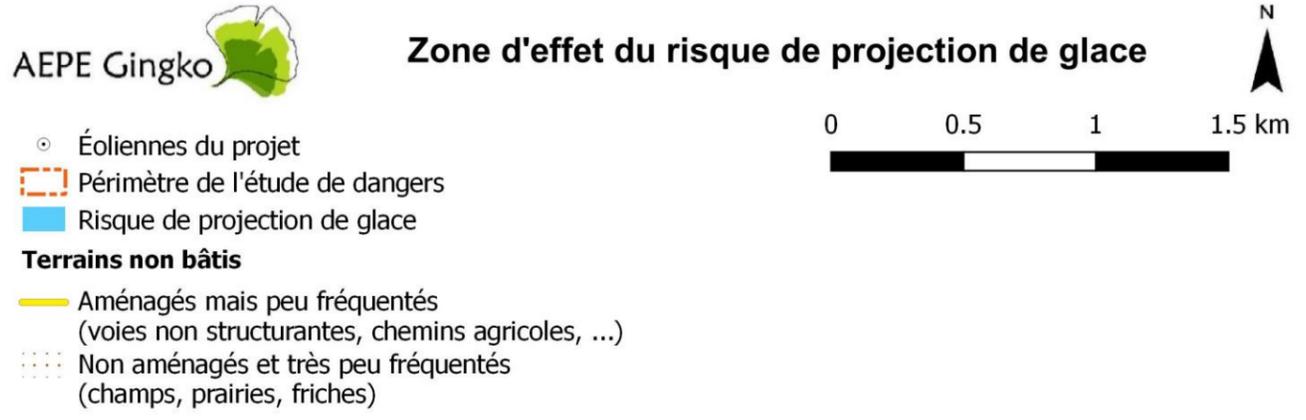
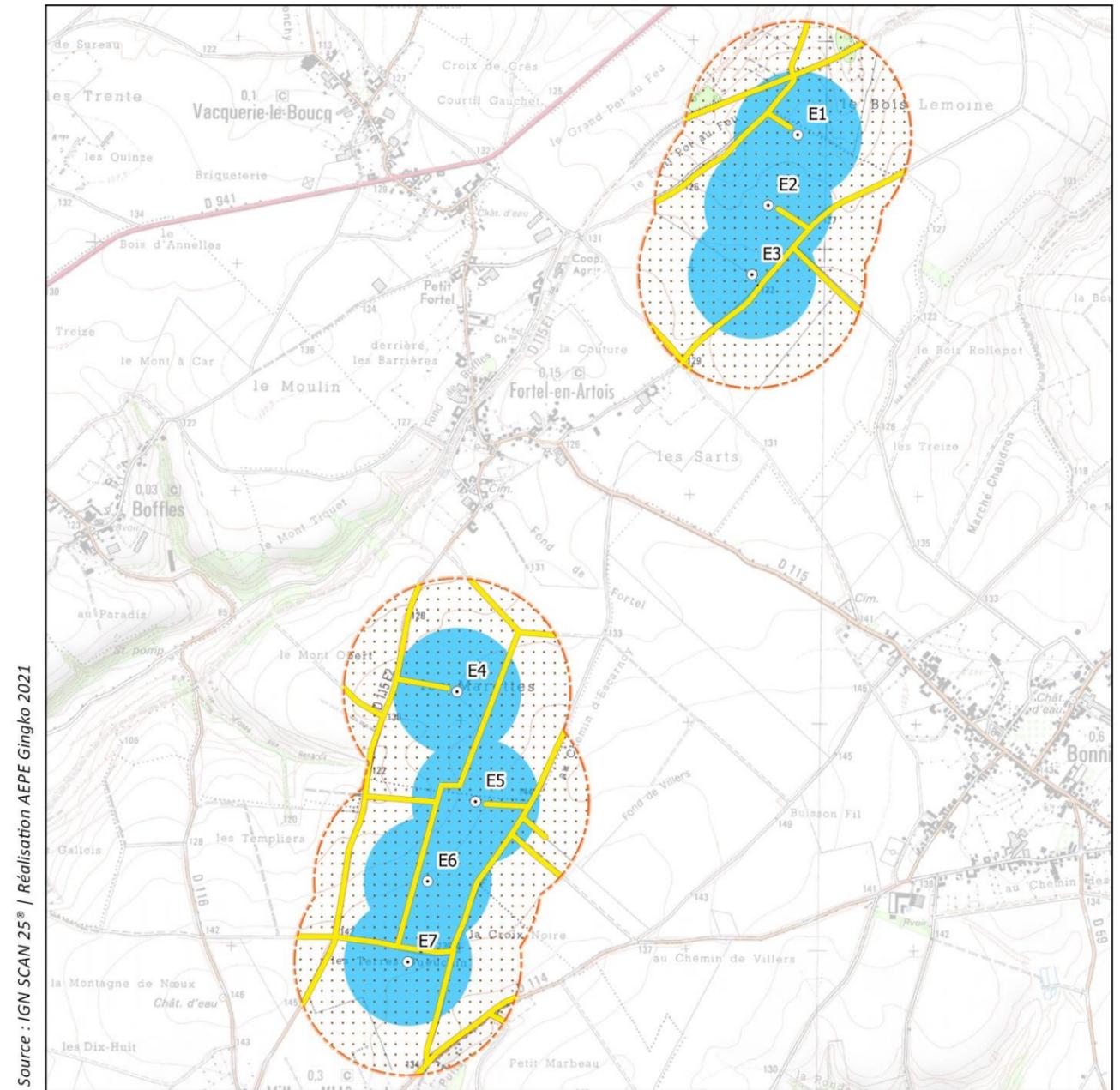
IX.2.5.2. L'INTENSITÉ DE LA PROJECTION DE GLACE

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du parc éolien de Fortel-Villers. D est le degré d'exposition, ZI la zone d'impact, ZE la zone d'effet, D le diamètre du rotor (D= 51,5 m), H la hauteur au moyeu (HM= 83,5 m), et SG la surface majorante d'un morceau de glace.

Tableau 32 : l'évaluation de l'intensité du risque de projection de morceaux de glace pour les éoliennes

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de RPG = 1,5 x (H+D) autour de l'éolienne)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
Z _I = SG soit 1 m ²	Z _E = π x (1,5 x (Hmoyeu + D)) ² Soit 245 737 m ²	D = Z _I / Z _E Soit 0,0004 % (< 1 %)	Exposition modérée



Carte 22 : la zone d'effet des risques de projection de glace

IX.2.5.3. LA GRAVITÉ DE LA PROJECTION DE GLACE

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

Pour les terrains non aménagés et très peu fréquentés (parcelles agricoles), la zone d'effet est d'environ 25 ha par éolienne. Ce chiffre est à mettre en relation avec l'estimation d'une personne pour 100 ha. Cela signifie que l'on peut estimer la présence d'un équivalent de 0,25 personnes concernées par éolienne

Pour les terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de communication et chemins d'exploitation),

La superficie de chaque éolienne concernée par le risque de projection de glace est la suivante :

- De 0,402 ha pour l'éolienne 1,
- De 0,302 ha pour l'éolienne 2,
- De 0,482 ha pour l'éolienne 3,
- De 0,421 ha pour l'éolienne 4,
- De 0,793 ha pour l'éolienne 5,
- De 0,576 ha pour l'éolienne 6,
- De 0,559 ha pour l'éolienne 7.

Pour ces terrains, la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relatives aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers recommande d'estimer la fréquentation à 1 personne par 10 ha. Ainsi, en fonction des éoliennes l'équivalent de personnes concernées par ce risque varie entre :

- De 0,0402 équivalent personnes pour l'éolienne 1,
- De 0,0302 équivalent personnes pour l'éolienne 2,
- De 0,0482 équivalent personnes pour l'éolienne 3,
- De 0,0421 équivalent personnes pour l'éolienne 4,
- De 0,0793 équivalent personnes pour l'éolienne 5,
- De 0,0576 équivalent personnes pour l'éolienne 6,
- De 0,0559 équivalent personnes pour l'éolienne 7.

Il a été observé dans la littérature disponible [17] qu'en cas de projection, les morceaux de glace se cassent en petits fragments dès qu'ils se détachent de la pale. La possibilité de l'impact de glace sur des personnes abritées par un bâtiment ou un véhicule est donc négligeable et ces personnes ne doivent pas être comptabilisées pour le calcul de la gravité.

Le tableau ci-après recense le nombre de personnes permanentes concerné dans la zone d'effet du risque de projection de glace pour chaque éolienne.

Éolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)					
	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	Terrains aménagés mais peu fréquentés	Voies automobiles	Habitations (Garages, hangars)	Industries / activités	Total
E1	0,2457	0,0402	0	0	0	0,2859
E2	0,2457	0,0302	0	0	0	0,2759
E3	0,2457	0,0482	0	0	0	0,2939
E4	0,2457	0,0421	0	0	0	0,2878
E5	0,2457	0,0793	0	0	0	0,3250
E6	0,2457	0,0576	0	0	0	0,3033
E7	0,2457	0,0559	0	0	0	0,3016

Il est donc possible d'estimer que la présence humaine est de « inférieure à 1 personne » autour des éoliennes.

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 33 : l'évaluation de la gravité du risque de projection de glace

Éolienne	Projection de morceaux de glace (dans un rayon de RPG = 1,5 x (H+D) autour de l'éolienne)	
	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,2859	Modéré
E2	0,2759	Modéré
E3	0,2939	Modéré
E4	0,2878	Modéré
E5	0,3250	Modéré
E6	0,3033	Modéré
E7	0,3016	Modéré

IX.2.5.4. LA PROBABILITÉ DE LA PROJECTION DE GLACE

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

- les mesures de prévention de projection de glace imposées par l'arrêté du 26 août 2011, modifié 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.

IX.2.5.5. L'ACCEPTABILITÉ DE LA PROJECTION DE GLACE

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

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

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 280$ 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
E1	Modéré	Oui	Acceptable
E2	Modéré	Oui	Acceptable
E3	Modéré	Oui	Acceptable
E4	Modéré	Oui	Acceptable
E5	Modéré	Oui	Acceptable
E6	Modéré	Oui	Acceptable
E7	Modéré	Oui	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien de Fortel-Villers, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes.

IX.3. LA SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

IX.3.1. LE TABLEAU DE SYNTHÈSE DES SCÉNARIOS ÉTUDIÉS

Le tableau suivant récapitule, pour chaque événement redouté central retenu, les paramètres de risques : la cinétique, l'intensité, la gravité et la probabilité. Il concerne les 7 éoliennes du parc de Fortel-Villers qui présentent un même profil de risque.

Tableau 34 : la synthèse de l'évaluation des risques étudiés

Scénario	Numéro de scénario	Zone d'effet	Éolienne	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne	Sc1	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale, soit 135 m	Toutes	Rapide	Exposition modérée	D	Modérée
Chute de glace	Sc2	Zone de survol soit un rayon de 51,5 m	Toutes	Rapide	Exposition modérée	A	Modérée
Chute d'élément de l'éolienne	Sc3	Zone de survol soit un rayon de 51,5 m	Toutes	Rapide	Exposition modérée	C	Modérée
Projection de pales ou de fragments de pales	Sc4	Rayon de 500 m autour des éoliennes	E1, E2, E3, E4 et E7	Rapide	Exposition modérée	D	Modérée
	Sc5		E5 et E6	Rapide	Exposition modérée	D	Sérieuse
Projection de glace	Sc6	Rayon de 280 m autour des éoliennes	Toutes	Rapide	Exposition modérée	B	Modérée

IX.3.2. L'ACCEPTABILITÉ DES RISQUES

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

		Classe de Probabilité Faible ↔ Forte				
		E	D	C	B	A
Classe de gravité Faible ↔ Forte	Désastreux					
	Catastrophique					
	Important					
	Sérieux		Sc5			
	Modéré		Sc1 et Sc4	Sc3	Sc6	Sc2

Légende de la matrice :

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

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée qu'aucun scénario d'accident n'est jugé inacceptable.

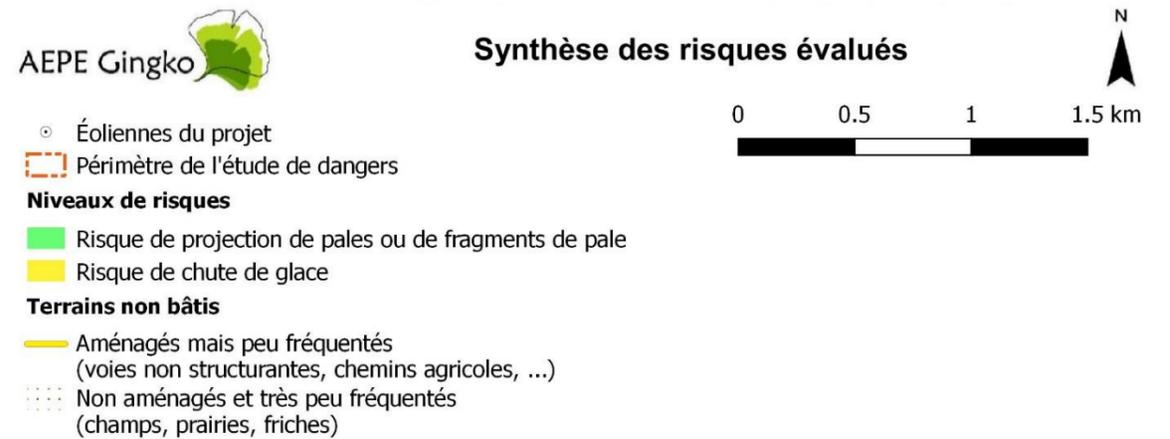
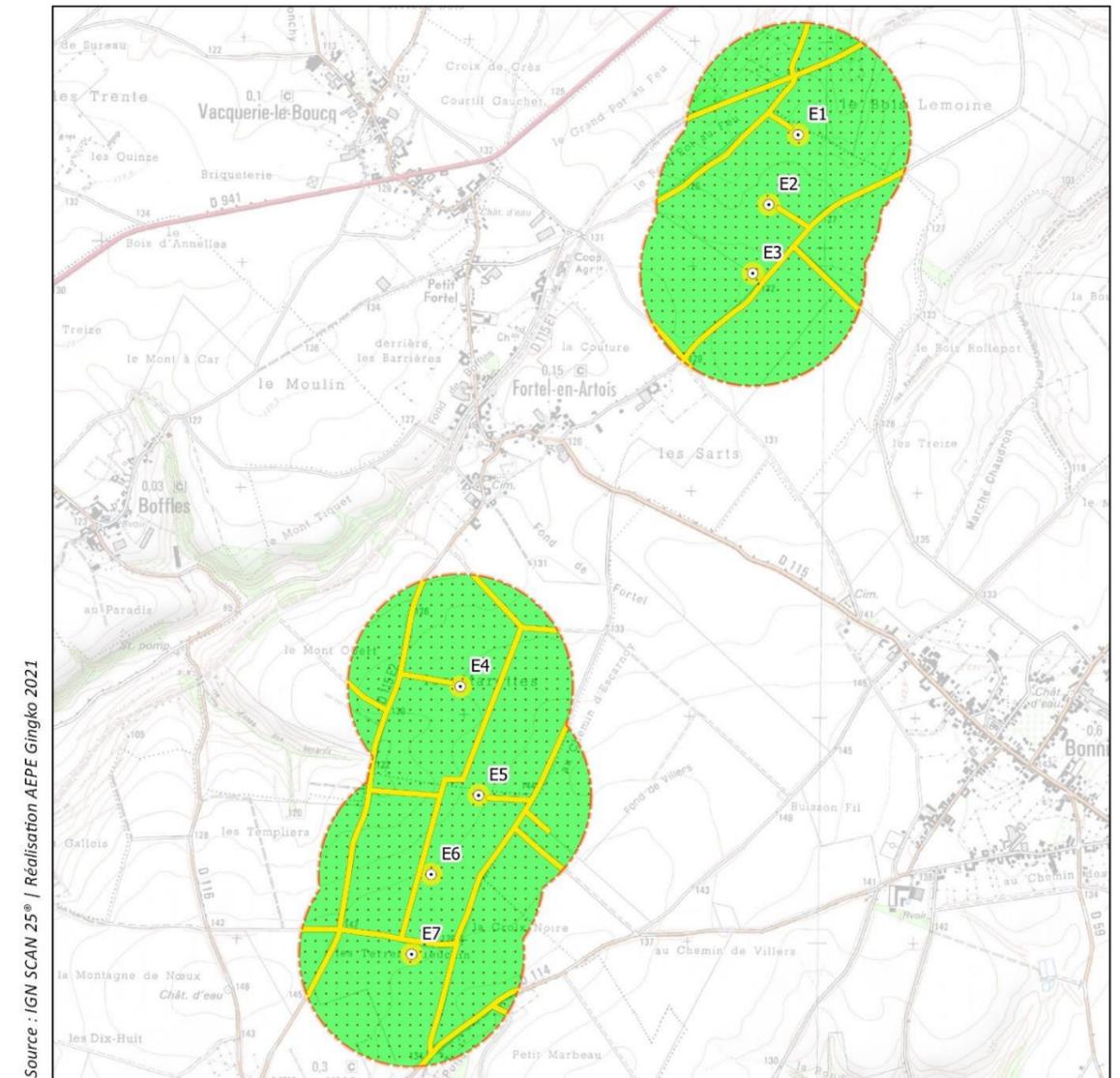
- Quatre scénarios d'accident sont concernés par des risques très faibles (cases vertes) : il s'agit des risques d'effondrement d'une éolienne, de chute d'éléments de l'éolienne, de projection de pales et fragments de pales, de projection de glace. Ils ne nécessitent pas de mesures de maîtrise des risques.
- Un scénario d'accident induit un risque faible (case jaune). Il s'agit des risques de chute de glace. Il nécessite la mise en œuvre de mesures de maîtrise des risques.

Scénario	Zone d'effet	Éolienne	Cinétique	Gravité	Probabilité	Risque	Acceptabilité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale, soit 135 m	Toutes	Rapide	Modérée	D	Très faible	Acceptable
Chute de glace	Zone de survol soit un rayon de 51,5	Toutes	Rapide	Modérée	A	Faible	Acceptable
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol soit un rayon de 51,5 m	Toutes	Rapide	Modérée	C	Très faible	Acceptable
Projection de pales ou de fragments de pales	Rayon de 500 m autour des éoliennes	E1 E2 E3 E4 et E7	Rapide	Modérée	D	Très faible	Acceptable
		E5 et E6	Rapide	Sérieuse	D	Très faible	Acceptable
Projection de glace	Rayon de 280 m autour des éoliennes	Toutes	Rapide	Modérée	B	Très faible	Acceptable

Tous les scénarios d'accident liés aux installations du projet éolien de Fortel-Villers engendrent un risque jugé acceptable. Pour les scénarios présentant un niveau de risque très faible, aucune mesure n'est nécessaire. Pour le scénario de chute de glace, présentant un niveau de risque faible, des mesures de maîtrise des risques seront mises en place.

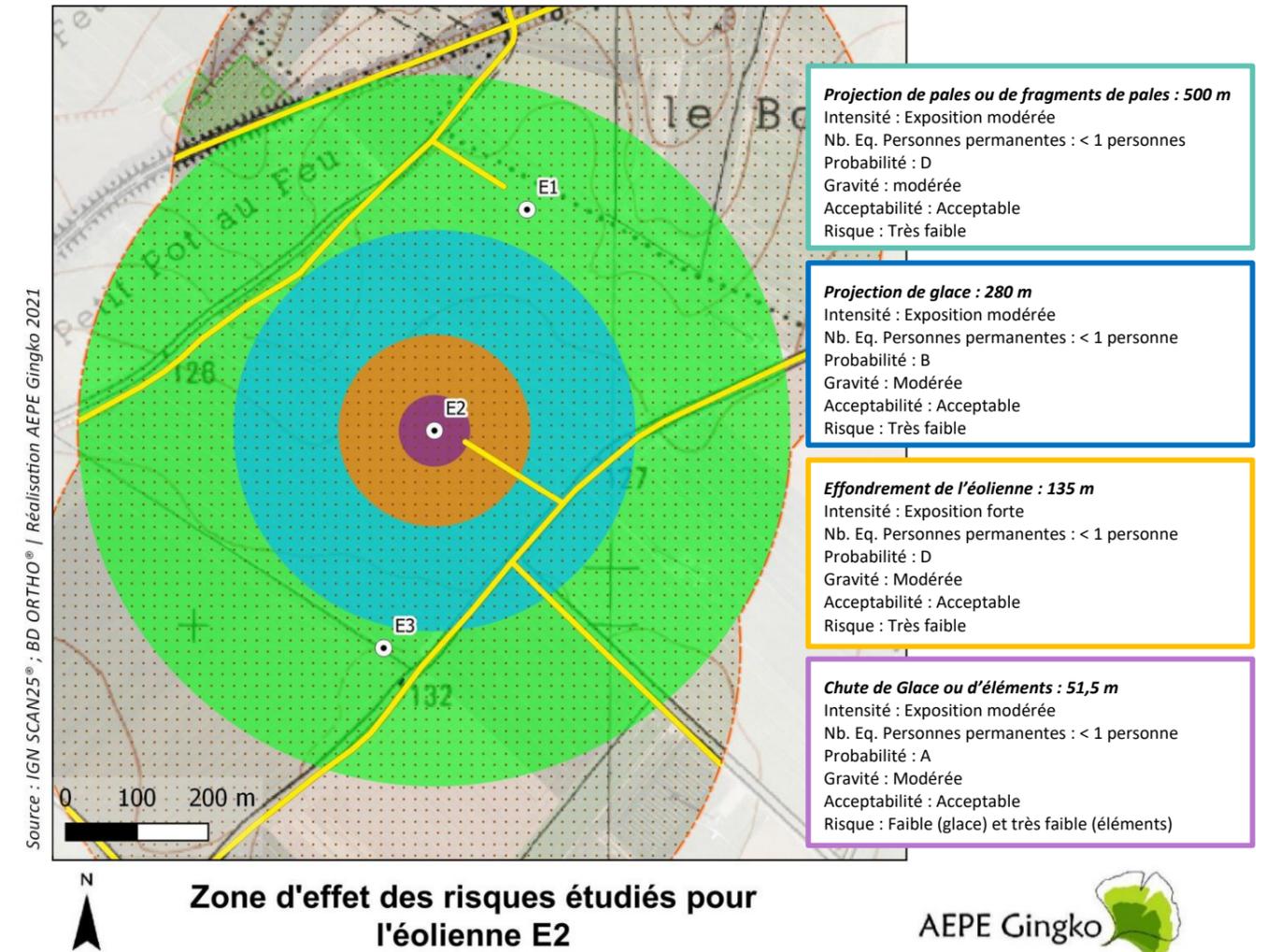
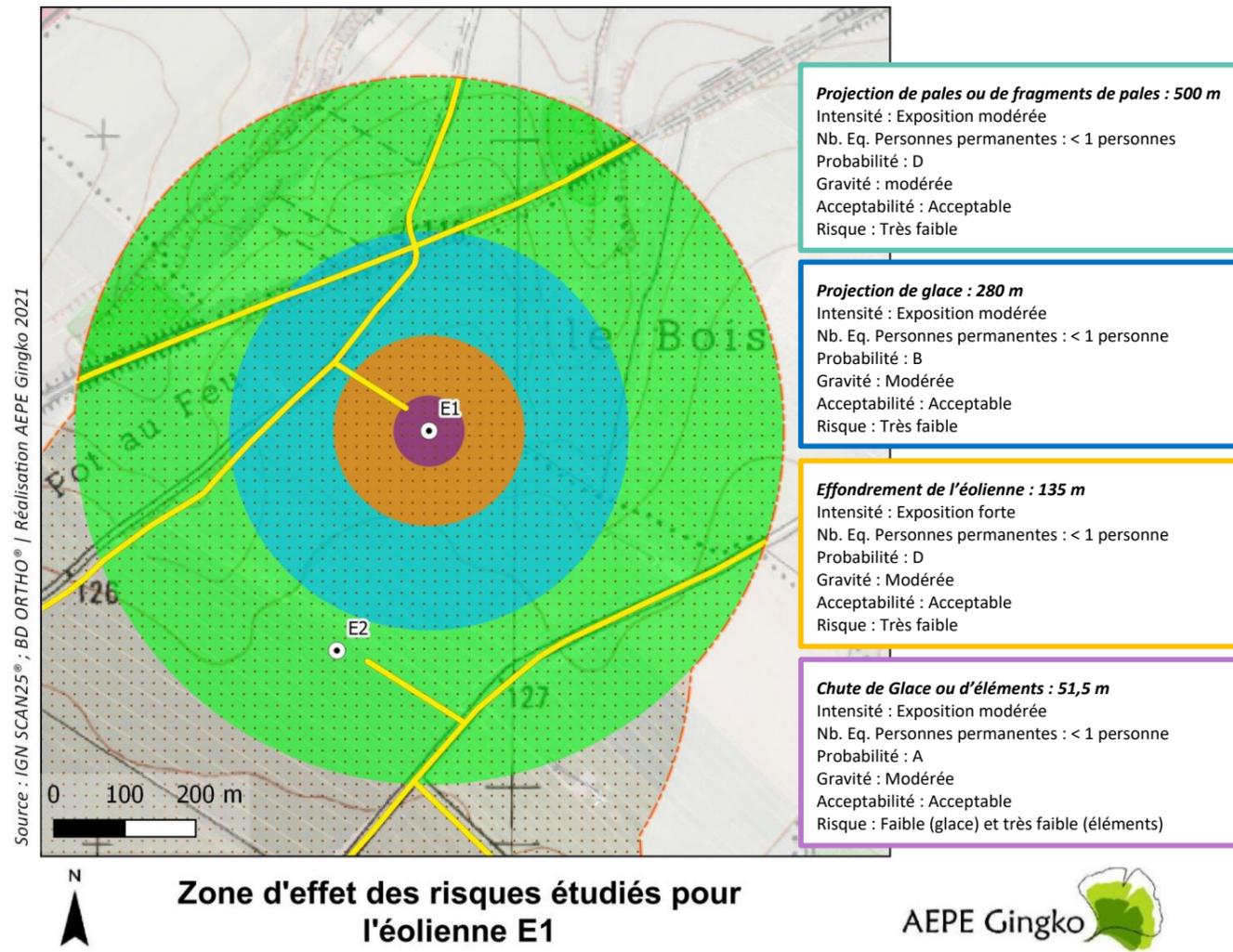
IX.3.3. LA CARTOGRAPHIE DE SYNTHÈSE DES RISQUES

La carte ci-après permet d'illustrer le niveau de risque calculé à partir des différents scénarios envisagés, sachant qu'aucun risque important n'a été recensé :



Carte 23 : les niveaux de risques évalués pour le parc éolien

Les cartes ci-après permettent de visualiser plus précisément les zones d'effets et les risques liés aux différents scénarios de risques envisagés pour chaque éolienne du projet de Fortel-Villers.

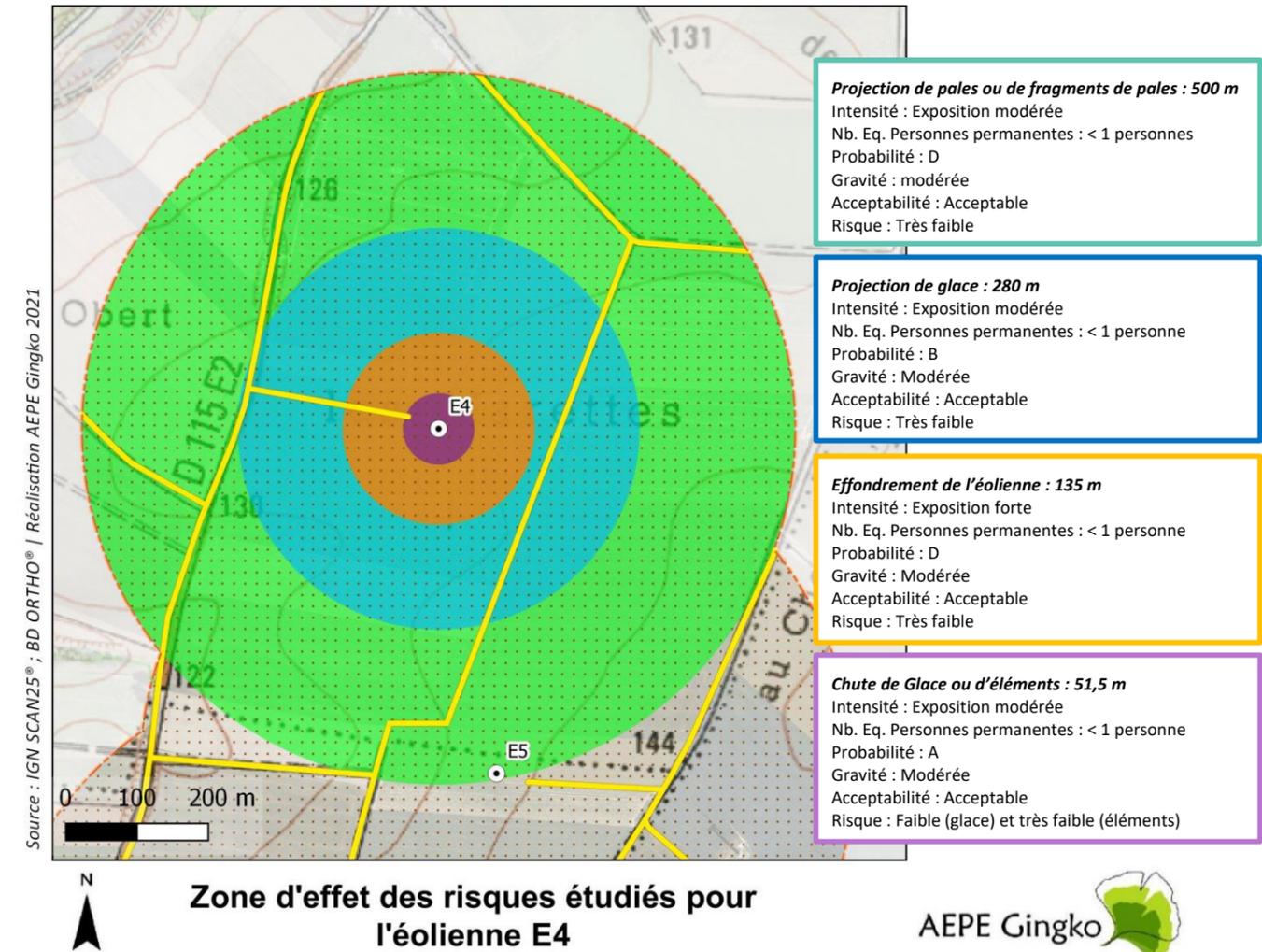
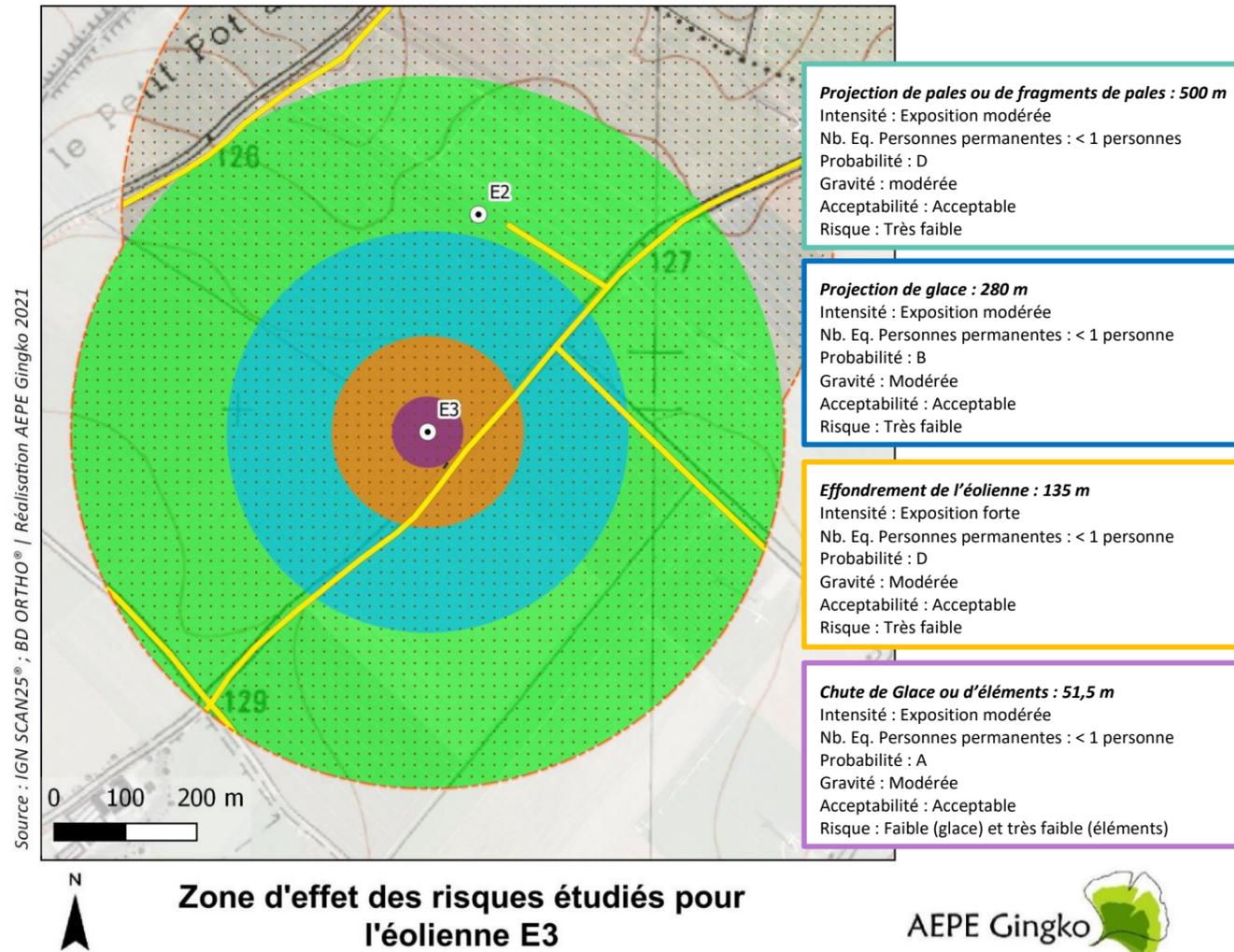


- Éoliennes du projet
- ▭ Périmètre de l'étude de dangers
- Zones d'effets**
- Risque de chute de glace et d'éléments
- Risque de projection de glace
- Risque de projection de pales ou de fragments de pale
- Risque d'effondrement de l'éolienne
- Terrains non bâtis**
- ▨ Non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches)
- Aménagés mais peu fréquentés (voies non structurantes, chemins agricoles, ...)

- Éoliennes du projet
- ▭ Périmètre de l'étude de dangers
- Zones d'effets**
- Risque de chute de glace et d'éléments
- Risque de projection de glace
- Risque de projection de pales ou de fragments de pale
- Risque d'effondrement de l'éolienne
- Terrains non bâtis**
- ▨ Non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches)
- Aménagés mais peu fréquentés (voies non structurantes, chemins agricoles, ...)

Carte 24 : les zones d'effets des différents risques étudiés pour l'éolienne E1

Carte 25 : les zones d'effets des différents risques étudiés pour l'éolienne E2

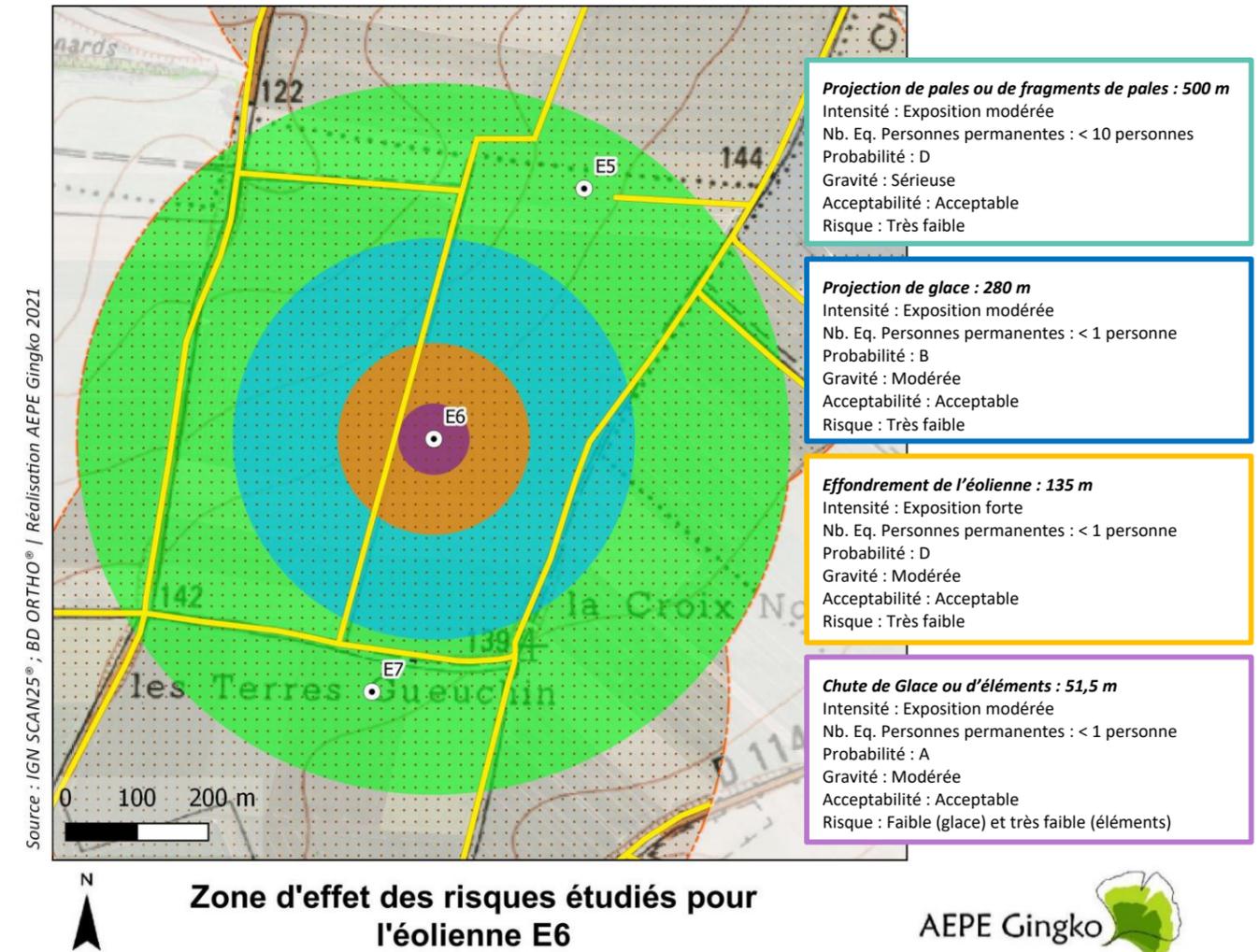
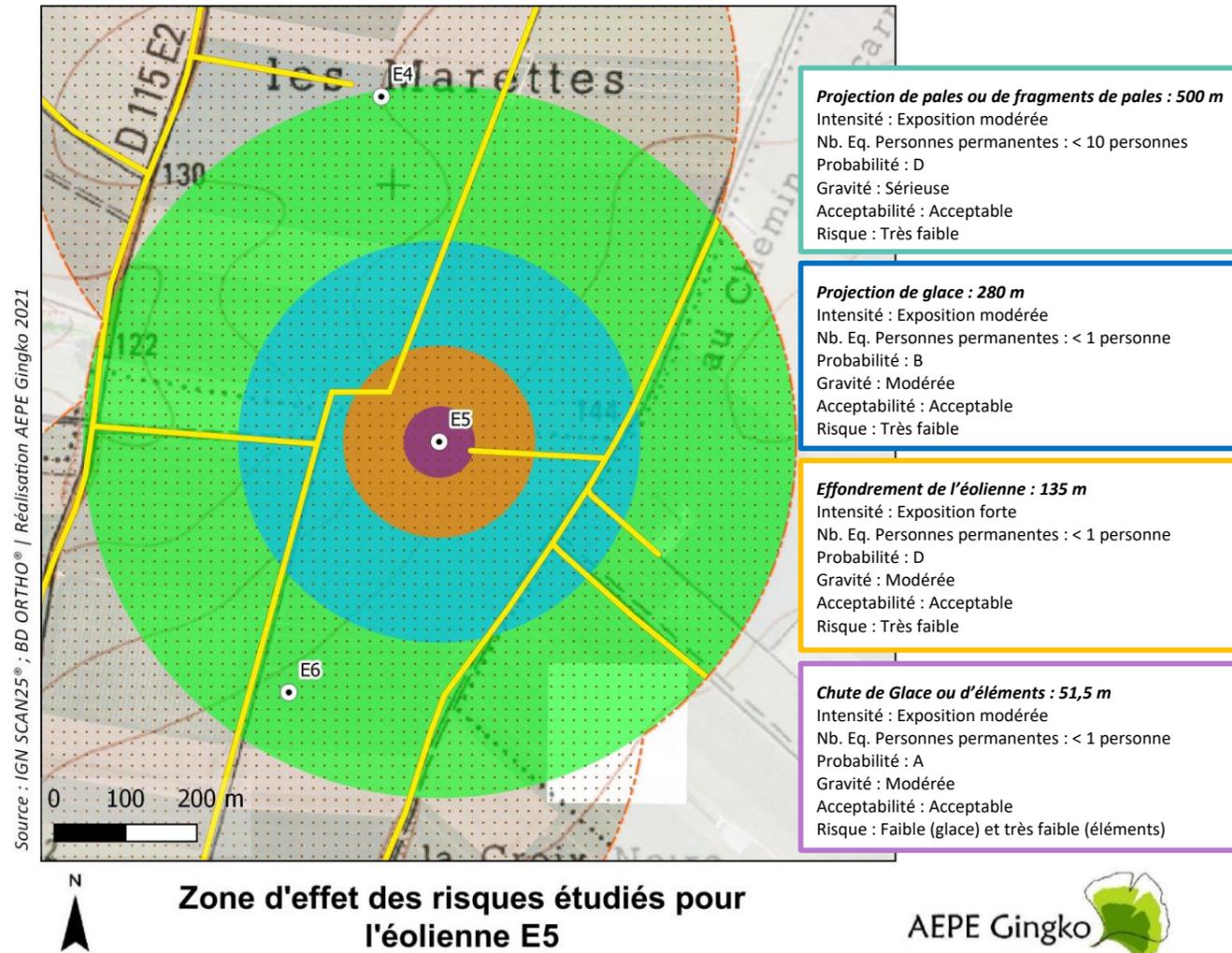


- Éoliennes du projet
- ▭ Périmètre de l'étude de dangers
- Zones d'effets**
- Risque de chute de glace et d'éléments
- Risque de projection de glace
- Risque de projection de pales ou de fragments de pale
- Risque d'effondrement de l'éolienne
- Terrains non bâtis**
- ▨ Non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches)
- Aménagés mais peu fréquentés (voies non structurantes, chemins agricoles, ...)

- Éoliennes du projet
- ▭ Périmètre de l'étude de dangers
- Zones d'effets**
- Risque de chute de glace et d'éléments
- Risque de projection de glace
- Risque de projection de pales ou de fragments de pale
- Risque d'effondrement de l'éolienne
- Terrains non bâtis**
- ▨ Non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches)
- Aménagés mais peu fréquentés (voies non structurantes, chemins agricoles, ...)

Carte 26 : les zones d'effets des différents risques étudiés pour l'éolienne E3

Carte 27 : les zones d'effets des différents risques étudiés pour l'éolienne E4

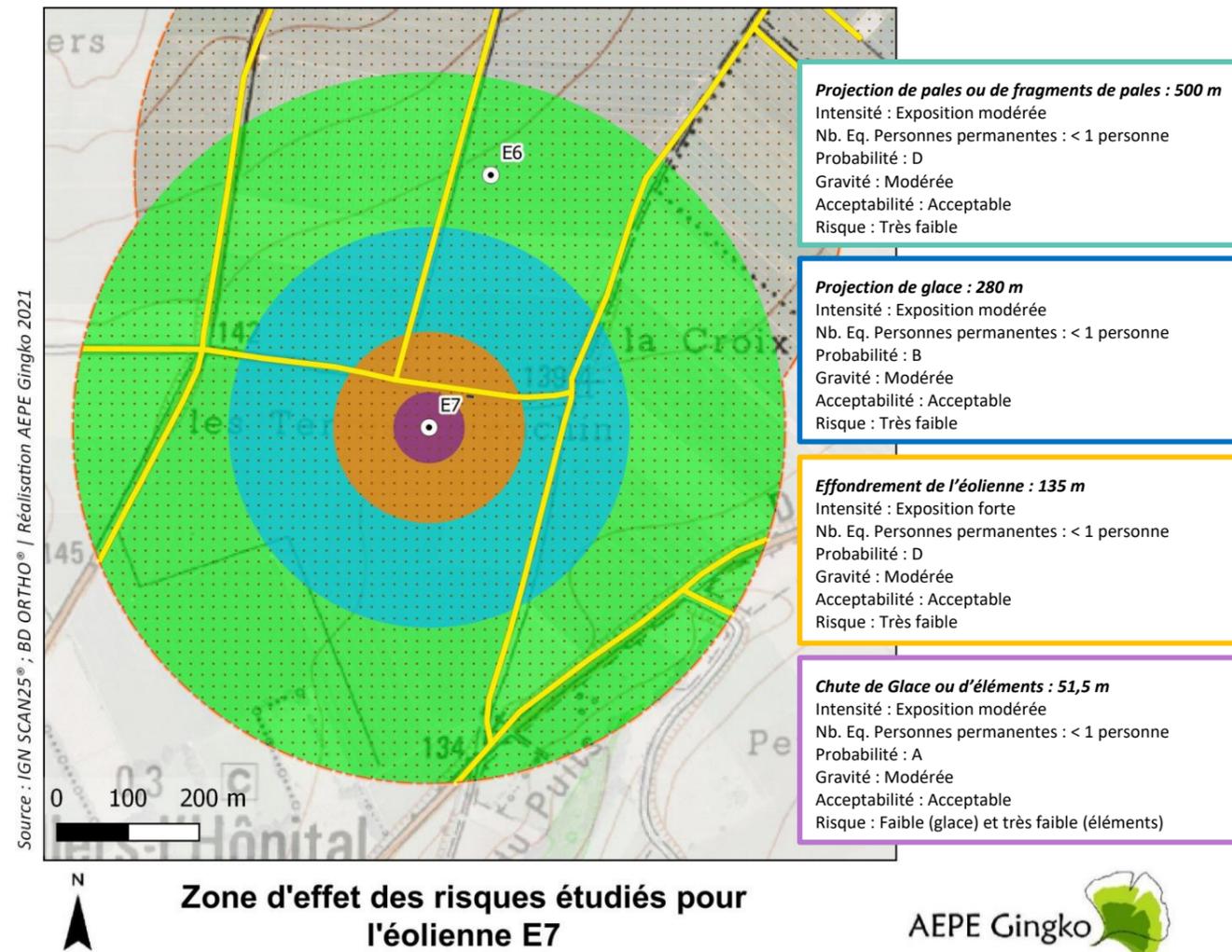


- Éoliennes du projet
- ▭ Périmètre de l'étude de dangers
- Zones d'effets**
- Risque de chute de glace et d'éléments
- Risque de projection de glace
- Risque de projection de pales ou de fragments de pale
- Risque d'effondrement de l'éolienne
- Terrains non bâtis**
- ▭ Non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches)
- ▭ Aménagés mais peu fréquentés (voies non structurantes, chemins agricoles, ...)

- Éoliennes du projet
- ▭ Périmètre de l'étude de dangers
- Zones d'effets**
- Risque de chute de glace et d'éléments
- Risque de projection de glace
- Risque de projection de pales ou de fragments de pale
- Risque d'effondrement de l'éolienne
- Terrains non bâtis**
- ▭ Non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches)
- ▭ Aménagés mais peu fréquentés (voies non structurantes, chemins agricoles, ...)

Carte 28 : les zones d'effets des différents risques étudiés pour l'éolienne E5

Carte 29 : les zones d'effets des différents risques étudiés pour l'éolienne E6



- Éoliennes du projet
- ▭ Périmètre de l'étude de dangers
- Zones d'effets**
- Risque de chute de glace et d'éléments
- Risque de projection de glace
- Risque de projection de pales ou de fragments de pale
- Risque d'effondrement de l'éolienne
- Terrains non bâtis**
- ▨ Non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, friches)
- Aménagés mais peu fréquentés (voies non structurantes, chemins agricoles, ...)

Carte 30 : les zones d'effets des différents risques étudiés pour l'éolienne E7

IX.4. LES MESURES DE MAÎTRISE DES RISQUES

Pour les scénarios d'accidents, dont le niveau de risque a été jugé comme faible, il convient de souligner que les fonctions de sécurité et de maîtrise des risques suivantes seront prises. Dans le cas du présent projet, ces mesures concernent uniquement le risque de chute de glace. Les mesures suivantes sont proposées.

LA MAÎTRISE DU RISQUE LIÉ À LA CHUTE DE GLACE

Les mesures de maîtrise des risques, présentées dans le tableau ci-dessous, seront prises dans le cadre de l'exploitation du parc éolien afin de limiter le risque de chute de glace.

Tableau 35 : les mesures de maîtrise du risque de chute de glace

Évènement initiateur	Évènement intermédiaire	N° fonction de sécurité	Description de la mesure de maîtrise de risque (MMR)
Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	2	Panneautage en pied de projet Éloignement des zones habitées et fréquentées Système de détection de formation de glace



Figure 13 : un exemple de panneau de prévention des risques sur un parc éolien

Les mesures de maîtrise de risque mises en œuvre permettront de limiter les risques d'accidents liés au phénomène de chute de glace. Rappelons que ce risque est jugé acceptable au regard de l'étude détaillée menée pour les installations du projet.

IX.5. LES MOYENS DE SECOURS ET D'INTERVENTION

IX.5.1. LES MOYENS INTERNES

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

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

IX.5.2. LES MOYENS EXTERNES

La caserne d'intervention la plus proche est le centre de secours de Frévent (62). Elle est située à environ 2,6 km des installations du parc éolien, le temps de route entre les deux est estimé au maximum à 9 mn.

CIS de Frévent

48 B Av. Philippe Lebas
62 270 Frévent
Tél : 03 21 47 78 30

IX.5.3. LE TRAITEMENT DE L'ALERTE

Les éoliennes font l'objet d'un suivi à distance 24h/24 et 7j/7. Toute défaillance de l'installation fait l'objet d'un message d'alerte transmis à l'exploitant.

Les messages d'alerte tels que définis par l'article 23 l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020, seront envoyés en moins d'une minute à l'exploitant qui est à même de contacter les services d'urgence dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'installation.

X. LA CONCLUSION DE L'ÉTUDE DE DANGERS

L'analyse préalable des enjeux a permis de montrer que la majorité de la zone d'étude de dangers concerne des **terrains non aménagés et très peu fréquentés**. Les axes non structurants ainsi que les chemins agricoles et ruraux ont été considérés comme des **terrains aménagés et peu fréquentés**.

Les mesures de maîtrise des risques mises en place par le constructeur des éoliennes et par l'exploitant du parc éolien permettent de prévenir et de limiter les risques pour la sécurité des personnes et des biens sur la zone d'implantation du projet éolien de Fortel-Villers. De plus, le caractère très peu aménagé et peu fréquenté du site, ainsi que la distance par rapport aux premiers enjeux humains (habitations à plus de 650 mètres de l'éolienne la plus proche) permettent de limiter la probabilité et la gravité des accidents majeurs, qui sont tous acceptables pour l'ensemble du parc éolien. Aucun bâtiment à usage d'habitation, professionnel ou industriel n'est présent au sein du périmètre d'étude de dangers.

Afin d'évaluer les risques induits par le parc éolien de Fortel-Villers, cinq scénarios d'accidents ont été envisagés. Ils concernent tous les 7 éoliennes constituant le parc éolien. Sur ces cinq scénarios, quatre présentent un risque très faible (acceptable) :

- L'effondrement de l'éolienne,
- La projection d'une pale ou d'un fragment de pale,
- La projection de glace,
- La chute d'éléments de l'éolienne.

Un scénario présente un risque faible (acceptable) :

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

Il faut noter que ces zones de survol des pales sont très peu fréquentées. Toutefois, afin de prévenir ce risque, les mesures mises en place sont : le respect d'un éloignement des éoliennes des lieux de vie fréquentés et la présence de systèmes de détection de glace sur les éoliennes. De plus, conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011, un panneau préventif informant des risques de chute de glace au pied des éoliennes sera mis en place afin de limiter les risques pour le public.

Tous les scénarios d'accidents liés aux installations du projet de parc éolien de Fortel-Villers sont finalement jugés acceptables.

XI. LES ANNEXES

ANNEXE 1 - LA MÉTHODE DE COMPTAGE DES PERSONNES POUR LA DÉTERMINATION DE LA GRAVITÉ POTENTIELLE D'UN ACCIDENT À PROXIMITÉ D'UNE ÉOLIENNE (EDD)	72
ANNEXE 2 - LES SCÉNARIOS GÉNÉRIQUES D'ACCIDENTS POSSIBLES	73
ANNEXE 3 - LA PROBABILITÉ D'ATTEINTE ET RISQUE INDIVIDUEL.....	75
ANNEXE 4 - LE GLOSSAIRE DES MOTS UTILISÉS DANS L'ÉTUDE DE DANGERS	75
ANNEXE 5 - LA BIBLIOGRAPHIE ET RÉFÉRENCES UTILISÉES	77

Annexe 1 - La méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne (EDD)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Chemins et voies piétonnes : Les chemins et voies piétonnes ne sont pas à prendre en compte, sauf pour les chemins de randonnée, car les personnes les fréquentant sont généralement déjà comptées comme habitants ou salariés exposés. Pour les chemins de promenade, de randonnée : compter 2 personnes pour 1 km par tranche de 100 promeneurs/jour en moyenne.

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

Établissements recevant du public (ERP)

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

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

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

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

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

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

Annexe 2 - Les scénarios génériques d'accidents possibles

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

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

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

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

Scénario G01

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

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

- Système de déduction de la formation de glace
- Système de détection de glace sur la nacelle (en option)
- Système de détection de glace sur les pales (en option)
- Arrêt préventif en cas de déséquilibre du rotor
- Arrêt préventif en cas de givrage de l'anémomètre.

Scénario G02

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

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

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

Les éventuels incendies interviendront dans le cas 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. 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.

Scénarios relatifs aux risques de fuites (F01 à F02)

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

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

Scénario F01

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

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

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

Deux événements peuvent être aggravants :

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

Scénario F02

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

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

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

Ce scénario est à adapter en fonction des produits utilisés.

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

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

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

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

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

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

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

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

L'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 (scénarios incendies).

Scénario P01

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

Scénario P02

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

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

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

Scénarios P03

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

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

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

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

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

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

Annexe 3 - La probabilité d'atteinte et risque individuel

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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.

Annexe 4 - Le glossaire des mots utilisés dans l'étude de dangers

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.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Attention aux confusions possibles :

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

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

- Réduction de la probabilité : par amélioration de la prévention, par exemple par ajout ou fiabilisation des mesures de sécurité
- Réduction de l'intensité :
 - par action sur l'élément porteur de danger (ou potentiel de danger), par exemple substitution par une substance moins dangereuse, réduction des vitesses de rotation, etc.
 - réduction des dangers : la réduction de l'intensité peut également être accomplie par des mesures de limitation
- La réduction de la probabilité et/ou de l'intensité correspond à une réduction du risque « à la source ».
- Réduction de la vulnérabilité : par éloignement ou protection des éléments vulnérables (par exemple par la maîtrise de l'urbanisation, ou par des plans d'urgence).

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

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

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.

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

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

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

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

SER : Syndicat des Energies Renouvelables

FEE : France Energie Eolienne (branche éolienne du SER)

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

EDD : Etude de dangers

APR : Analyse Préliminaire des Risques

ERP : Etablissement Recevant du Public

Annexe 5 - La 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 : Évaluation des barrières techniques de sécurité, INERIS, 2005
- [9] Arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement
- [10] Arrêté du 29 Septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation
- [11] Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 Juillet 2003
- [12] Bilan des déplacements en Val-de-Marne, édition 2009, Conseil Général du Val-de-Marne
- [13] Arrêté du 29 Septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation
- [14] Alpine test site Gütsch : monitoring of a wind turbine under icing conditions- R. Cattin et al.
- [15] Wind energy production in cold climate (WECO), Final report - Bengt Tammelin et al. – Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 2000
- [16] Rapport sur la sécurité des installations éoliennes, Conseil Général des Mines - Guillet R., Leteutrois J.-P. - juillet 2004
- [17] Risk analysis of ice throw from wind turbines, Seifert H., Westerhellweg A., Kröning J. - DEWI, avril 2003
- [18] Wind energy in the BSR: impacts and causes of icing on wind turbines, Narvik University College, novembre 2005
- [19] 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