



Parc éolien du Fond de Barle

Commune de Fressin

Département du Pas-de-Calais (62)

Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale (DDAE)

Pièce 6 : Étude de dangers et son résumé non technique

SOMMAIRE

PARTIE 1 - RÉSUMÉ NON TECHNIQUE	4
I. L'ENVIRONNEMENT DU PROJET	5
II. LA DESCRIPTION DU PROJET	6
III. L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES	8
IV. L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES	8
IV.1. LA SYNTHÈSE DES SCÉNARIOS ÉTUDIÉS	8
IV.2. L'ACCEPTABILITÉ DES RISQUES	9
IV.3. LA CARTOGRAPHIE DE SYNTHÈSE DES RISQUES	10
V. LES MESURES DE MAÎTRISE DES RISQUES	10
V.1. LA MAÎTRISE DU RISQUE D'EFFONDREMENT	10
V.2. LA MAÎTRISE DU RISQUE LIÉ À LA CHUTE DE GLACE	10
V.3. LA MAÎTRISE DU RISQUE DE PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES	11
VI. LES MOYENS DE SECOURS ET D'INTERVENTION	11
VI.1. LES MOYENS INTERNES	11
VI.2. LES MOYENS EXTERNES	11
VI.3. LE TRAITEMENT DE L'ALERTE	11
PARTIE 2 - ÉTUDE DE DANGERS	12
I. PREAMBULE	13
I.1. LES OBJECTIFS DE L'ÉTUDE DE DANGERS	13
I.2. LE CONTEXTE LEGISLATIF ET RÉGLEMENTAIRE	13
I.3. LA NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSÉES	14
I.4. LA DÉMARCHE GÉNÉRALE DE L'ÉTUDE DE DANGERS	14
II. LES INFORMATIONS GÉNÉRALES CONCERNANT L'INSTALLATION	15
II.1. LES RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS	15
II.2. LE PORTEUR DE PROJET ET LES AUTEURS DES ÉTUDES	15
II.3. LA LOCALISATION DU SITE	16
II.4. LA DÉFINITION DE L'AIRE D'ÉTUDE	17
III. LA DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION	18
III.1. L'ENVIRONNEMENT HUMAIN	18
III.2. L'ENVIRONNEMENT NATUREL	19
III.3. L'ENVIRONNEMENT MATÉRIEL	24
III.4. LA SYNTHÈSE DES ENJEUX	26
IV. LA DESCRIPTION DE L'INSTALLATION	27
IV.1. LES CARACTÉRISTIQUES DE L'INSTALLATION	27
IV.2. LE FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION	32
V. L'IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION	38
V.1. LES POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX PRODUITS	38
V.2. LES POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AUX DÉCHETS	39
V.3. LES POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION	39
V.4. LA RÉDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS À LA SOURCE	39
VI. L'ANALYSE DES RETOURS D'EXPÉRIENCE	42
VI.1. L'INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS EN FRANCE	42
VI.2. L'INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS À L'INTERNATIONAL	43
VI.3. LA SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTÉS ISSUS DU RETOUR D'EXPÉRIENCE	45
VI.4. LES LIMITES D'UTILISATION DE L'ACCIDENTOLOGIE	45

VII. L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES	46
VII.1. L'OBJECTIF DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES	46
VII.2. LE RECENSEMENT DES ÉVÉNEMENTS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES	46
VII.3. LE RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES	46
VII.4. LES SCÉNARIOS ÉTUDIÉS DANS L'ANALYSE GÉNÉRIQUE DES RISQUES	48
VII.5. LES EFFETS DOMINOS	50
VII.6. LA MISE EN PLACE DES MESURES DE SÉCURITÉ	51
VII.7. LA CONCLUSION DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES	56
VIII. L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES	57
VIII.1. RAPPEL DES DÉFINITIONS	57
VIII.2. LA CARACTÉRISATION DES SCÉNARIOS RETENUS	59
VIII.3. LA SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES	72
VIII.4. LES MESURES DE MAÎTRISE DES RISQUES	76
VIII.5. LES MOYENS DE SECOURS ET D'INTERVENTION	77
IX. LA CONCLUSION DE L'ÉTUDE DE DANGERS	77
X. LES ANNEXES	78

LISTE DES CARTES

CARTE 1 : LES TYPES DE TERRAIN DANS LE PERIMETRE DE L'ÉTUDE DE DANGERS	5
CARTE 2 : PLAN D'IMPLANTATION DES EOLIENNES ET DES AMENAGEMENTS.....	7
CARTE 3 : SYNTHÈSE DES ZONES D'EFFET DES RISQUES ETUDIÉS	9
CARTE 4 : SYNTHÈSE DES RISQUES ÉVALUÉS.....	10
CARTE 5 : LA LOCALISATION DU PROJET.....	16
CARTE 6 : LE PERIMETRE DE L'ÉTUDE DE DANGERS.....	17
CARTE 7 : ENVIRONNEMENT HUMAIN DU PERIMETRE DE L'ÉTUDE DE DANGERS	19
CARTE 8 : LA DENSITÉ DE FOUDROIEMENT ANNUEL AU KM ² (MÉTÉORAGE	20
CARTE 9 : ZONE SISMIQUE EN FRANCE MÉTROPOLITAINE	22
CARTE 10 : L'ENVIRONNEMENT NATUREL DU PERIMETRE DE L'ÉTUDE DE DANGERS	24
CARTE 11 : L'ENVIRONNEMENT MATÉRIEL DU PERIMETRE DE L'ÉTUDE DE DANGERS	25
CARTE 12 : LES TYPES DE TERRAIN DANS LE PERIMETRE DE L'ÉTUDE DE DANGERS	26
CARTE 13 : LE PLAN D'IMPLANTATION DES EOLIENNES ET DES AMENAGEMENTS - SCAN 25.....	30
CARTE 14 : LE PLAN D'IMPLANTATION DES EOLIENNES ET DES AMENAGEMENTS – PHOTOGRAPHIE AÉRIENNE	31
CARTE 15 : ZONE D'EFFET DU RISQUE D'EFFONDREMENT DES EOLIENNES.....	60
CARTE 16 : ZONE D'EFFET DU RISQUE DE CHUTE DE GLACE.....	63
CARTE 17 : ZONE D'EFFET DU RISQUE DE CHUTE D'ÉLÉMENTS.....	65
CARTE 18 : ZONE D'EFFET DU RISQUE DE PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES	67
CARTE 19 : ZONE D'EFFET DU RISQUE DE PROJECTION DE GLACE	70
CARTE 20 : SYNTHÈSE DES RISQUES ÉVALUÉS.....	73
CARTE 21 : ZONES D'EFFETS DES RISQUES ETUDIÉS POUR L'EOLIE NNE E1	73
CARTE 22 : ZONES D'EFFETS DES RISQUES ETUDIÉS POUR L'EOLIE NNE E2	74
CARTE 23 : ZONES D'EFFETS DES RISQUES ETUDIÉS POUR L'EOLIE NNE E3	74
CARTE 24 : ZONES D'EFFETS DES RISQUES ETUDIÉS POUR L'EOLIE NNE E4	75
CARTE 25 : SYNTHÈSE DES ZONES D'EFFET DES RISQUES ETUDIÉS	75

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1 : EXEMPLE DE PANNEAU DE PRÉVENTION DES RISQUES SUR UN PARC EOLIEN.....	10
FIGURE 2 : LA DÉMARCHÉ GÉNÉRALE DE L'ÉTUDE DE DANGERS.....	14
FIGURE 3 : POTENTIEL EOLIEN EN FRANCE MÉTROPOLITAINE (SOURCE : ADEME)	20
FIGURE 4 : LA ROSE DES VENTS DU SITE (SOURCE MÉTÉOBLUE)	21
FIGURE 5 : SCHEMA SIMPLIFIÉ D'UN AÉROGÉNÉRATEUR (SOURCE : NORDEX).....	27
FIGURE 6 : ILLUSTRATION DES EMPRISES AU SOL D'UNE EOLIE NNE.....	28
FIGURE 7 : LES DIMENSIONS MAXIMALES DE L'EOLIE NNE RETENUE.....	28
FIGURE 8 : DESSIN SCHEMATIQUE D'UNE NACELLE (SOURCE : NORDEX)	33
FIGURE 9 : PLANNING TYPE DE MAINTENANCE PRÉVENTIVE	36
FIGURE 10 : SCHEMA DE RACCORDEMENT ÉLECTRIQUE D'UN PARC EOLIEN	36
FIGURE 11 : LES CAUSES PREMIÈRES DES ACCIDENTS D'AÉROGÉNÉRATEURS EN FRANCE (SOURCE : FEE).....	42
FIGURE 12 : LES PRINCIPAUX ÉVÉNEMENTS ACCIDENTELS D'AÉROGÉNÉRATEURS DANS LE MONDE ENTRE 2000 ET 2011.....	43
FIGURE 13 : LES CAUSES PREMIÈRES DES ACCIDENTS D'AÉROGÉNÉRATEURS DANS LE MONDE	43
FIGURE 14 : RECENSEMENT DES ÉVÉNEMENTS ACCIDENTELS DANS LE MONDE ENTRE 2012 ET 2020 (SOURCE : CWIF)	44
FIGURE 15 : RÉPARTITION DES ÉVÉNEMENTS ACCIDENTELS DANS LE MONDE ENTRE 2012 ET 2020 (SOURCE : CWIF)	44
FIGURE 16 : LE NOMBRE D'ACCIDENTS EOLIENS RECENSÉS PAR LA BASE ARIA ENTRE 2002 ET 2022 EN FRANCE (SOURCE : ARIA)	45
FIGURE 17 : EXEMPLE DE PANNEAU DE PRÉVENTION DES RISQUES SUR UN PARC EOLIEN.....	76

LISTE DES TABLEAUX

TABLEAU 1 : CARACTÉRISTIQUES MAXIMALES DES EOLIENNES ÉTUDIÉES	6
TABLEAU 2 : LES COORDONNÉES GPS ET COTES NGF DES EOLIENNES ET DES POSTES DE LIVRAISON.....	6
TABLEAU 3 : LA SYNTHÈSE DE L'ÉVALUATION DES RISQUES ETUDIÉS.....	8
TABLEAU 4 : MATRICE D'ACCEPTABILITÉ DES RISQUES (SOURCE : GUIDE TECHNIQUE – ÉLABORATION DE L'ÉTUDE DE DANGERS DANS LE CADRE DES PARCS EOLIENS – 2012)	9
TABLEAU 5 : LES MESURES DE MAÎTRISE DU RISQUE DE CHUTE DE GLACE	10
TABLEAU 6 : LA NOMENCLATURE ICPE D'UN PARC EOLIEN	14
TABLEAU 7 : DONNÉES DÉMOGRAPHIQUES DES COMMUNES AUTOUR DU PERIMETRE D'ÉTUDE DE DANGERS (SOURCE : INSEE)	18
TABLEAU 8 : LA DISTANCE DES EOLIENNES AUX HABITATIONS LES PLUS PROCHES	18
TABLEAU 9 : LA MOYENNE DES PRÉCIPITATIONS MENSUELLES ENTRE 1992 ET 2021 (SOURCE : MÉTÉO-CLIMAT)	19
TABLEAU 10 : LA MOYENNE DES TEMPÉRATURES MENSUELLES EN °C ENTRE 1992 ET 2021 (SOURCE : MÉTÉO-CLIMAT)	19
TABLEAU 11 : LA MOYENNE D'ENSOLEILLEMENT MENSUEL ENTRE 1992 ET 2021 (SOURCE : MÉTÉO-CLIMAT).....	19
TABLEAU 12 : LES MOYENNES MENSUELLES DES JOURS DE GÉLÉE RECENSÉS ENTRE 1992 ET 2021 (SOURCE : MÉTÉO-CLIMAT).....	20
TABLEAU 13 : LES ARRÊTES DE RECONNAISSANCE DE CATASTROPHE NATURELLE	21
TABLEAU 14 : LES COORDONNÉES GPS ET COTES NGF DES EOLIENNES ET DES POSTES DE LIVRAISON.....	29
TABLEAU 15 : LES DIMENSIONS ENVISAGÉES DES AMÉNAGEMENTS DU PARC EOLIEN	29
TABLEAU 16 : SUBSTANCES LIQUIDES EN PRÉSENCE DANS LES EOLIENNES	38
TABLEAU 17 : DÉCHETS PRODUITS LORS DE L'EXPLOITATION	39
TABLEAU 18 : LES POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION.....	39
TABLEAU 19 : LES AGRESSIONS EXTERNES LIÉES AUX ACTIVITÉS HUMAINES	47
TABLEAU 20 : LES AGRESSIONS EXTERNES LIÉES AUX PHÉNOMÈNES NATURELS.....	47
TABLEAU 21 : LES SCÉNARIOS GÉNÉRIQUES D'ACCIDENTS POSSIBLES	48
TABLEAU 22 : LES FONCTIONS DE SÉCURITÉ DE L'INSTALLATION.....	52
TABLEAU 23 : LES CATÉGORIES DE SCÉNARIOS EXCLUS	56
TABLEAU 24 : LES NIVEAUX DE GRAVITÉ	58
TABLEAU 25 : LES NIVEAUX DE PROBABILITÉ.....	58
TABLEAU 26 : CARACTÉRISTIQUES MAXIMALES DES EOLIENNES ÉTUDIÉES	59
TABLEAU 27 : L'ÉVALUATION DE L'INTENSITÉ POUR LE RISQUE D'EFFONDREMENT DES EOLIENNES	60
TABLEAU 28 : NOMBRE DE PERSONNES CONCERNÉES PAR LA ZONE D'EFFET DE L'EFFONDREMENT D'UNE EOLIE NNE.....	61
TABLEAU 29 : L'ÉVALUATION DE LA GRAVITÉ DU RISQUE D'EFFONDREMENT D'UNE EOLIE NNE	61
TABLEAU 30 : CALCUL DE LA PROBABILITÉ DE L'EFFONDREMENT D'UNE EOLIE NNE	62
TABLEAU 31 : ACCEPTABILITÉ DU RISQUE D'EFFONDREMENT D'UNE EOLIE NNE	62
TABLEAU 32 : L'ÉVALUATION DE L'INTENSITÉ DU RISQUE DE CHUTE DE GLACE	63
TABLEAU 33 : NOMBRE DE PERSONNES CONCERNÉES PAR LA ZONE D'EFFET DE CHUTE DE GLACE.....	64
TABLEAU 34 : L'ÉVALUATION DE LA GRAVITÉ DU RISQUE DE CHUTE DE GLACE.....	64
TABLEAU 35 : ACCEPTABILITÉ DU RISQUE DE CHUTE DE GLACE.....	64
TABLEAU 36 : L'ÉVALUATION DE L'INTENSITÉ DU RISQUE DE CHUTE D'ÉLÉMENTS DE L'EOLIE NNE.....	65
TABLEAU 37 : NOMBRE DE PERSONNES CONCERNÉES PAR LA ZONE D'EFFET DE CHUTE D'ÉLÉMENTS DE L'EOLIE NNE.....	66
TABLEAU 38 : ÉVALUATION DE LA GRAVITÉ DU RISQUE DE CHUTE D'ÉLÉMENTS D'UNE EOLIE NNE	66
TABLEAU 39 : ACCEPTABILITÉ DU RISQUE DE CHUTE D'ÉLÉMENTS D'UNE EOLIE NNE	66
TABLEAU 40 : ÉVALUATION DE L'INTENSITÉ DU RISQUE DE PROJECTION DE PALE OU DE FRAGMENT DE PALE	67
TABLEAU 41 : NOMBRE DE PERSONNES CONCERNÉES PAR LA ZONE D'EFFET DE PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENT DE PALES	68
TABLEAU 42 : ÉVALUATION DE LA GRAVITÉ DU RISQUE DE PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENT DE PALES.....	68
TABLEAU 43 : ÉVALUATION DE LA GRAVITÉ DU RISQUE DE PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENT DE PALES	68
TABLEAU 44 : ACCEPTABILITÉ DU RISQUE DE PROJECTION DE PALE OU DE FRAGMENT DE PALE	69
TABLEAU 45 : ÉVALUATION DE L'INTENSITÉ DU RISQUE DE PROJECTION DE MORCEAUX DE GLACE POUR LES EOLIENNES	69
TABLEAU 46 : NOMBRE DE PERSONNES CONCERNÉES PAR LA ZONE D'EFFET DE PROJECTION DE GLACE	71
TABLEAU 47 : ÉVALUATION DE LA GRAVITÉ DU RISQUE DE PROJECTION DE GLACE.....	71
TABLEAU 48 : ACCEPTABILITÉ DU RISQUE DE PROJECTION DE GLACE	71
TABLEAU 49 : LA SYNTHÈSE DE L'ÉVALUATION DES RISQUES ETUDIÉS.....	72
TABLEAU 50 : MATRICE D'ACCEPTABILITÉ DES RISQUES (SOURCE : GUIDE TECHNIQUE – ÉLABORATION DE L'ÉTUDE DE DANGERS DANS LE CADRE DES PARCS EOLIENS – 2012)	72
TABLEAU 51 : LES MESURES DE MAÎTRISE DU RISQUE DE CHUTE DE GLACE	76

PARTIE 1 - RÉSUMÉ NON TECHNIQUE

I. L'ENVIRONNEMENT DU PROJET

Le projet éolien se situe sur la commune de Fressin, dans le département du Pas-de-Calais et la région Hauts-de-France. Le projet se situe à 30 km au sud-est du Touquet-Paris-Plage.

Le périmètre de l'étude de dangers s'inscrit sur les communes d'Auchy-lès Hesdin, Azincourt, Fressin, Planques et Wamin.

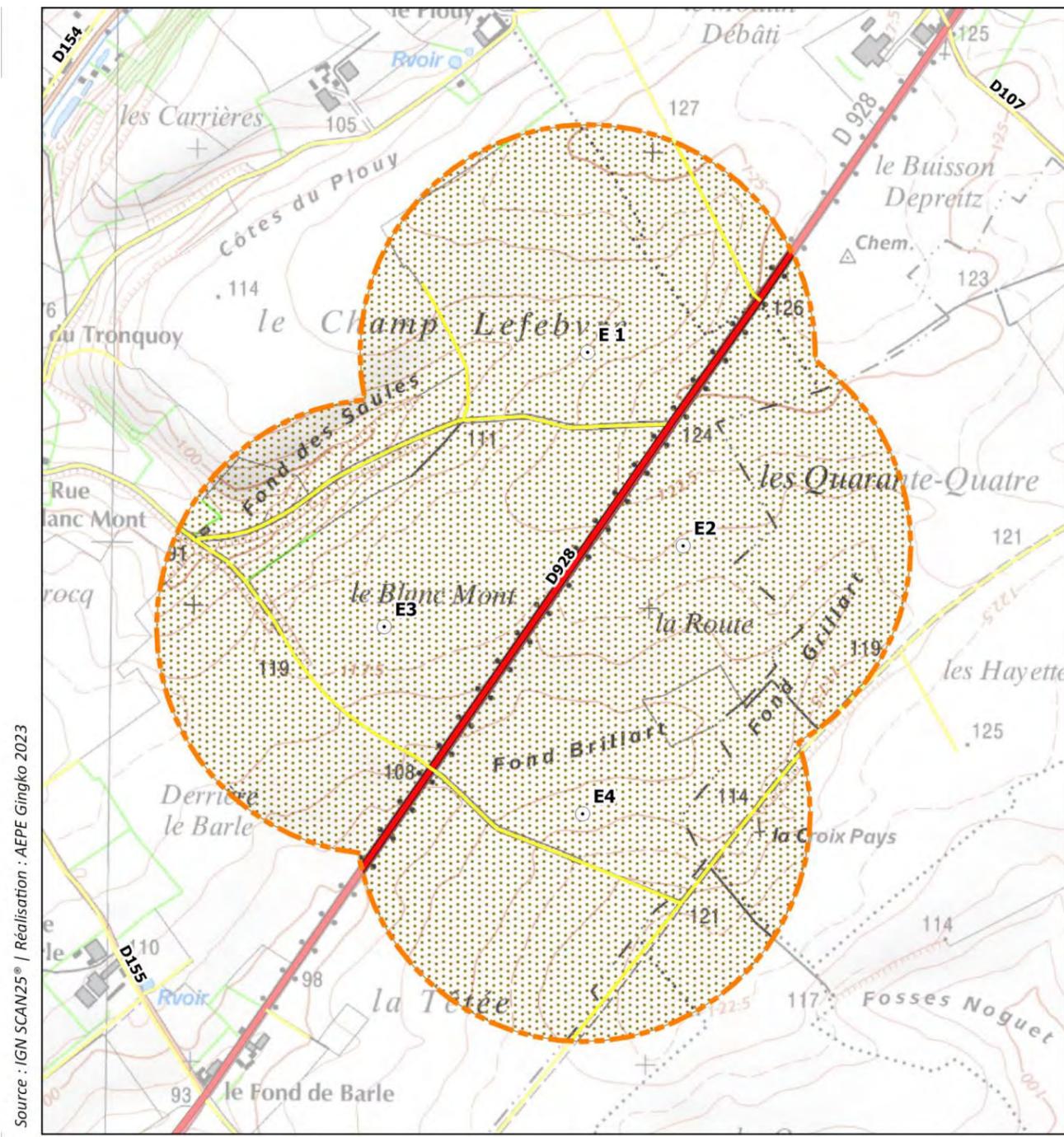
Plusieurs enjeux ont été recensés au sein du périmètre de l'étude de dangers :

- Milieu humain : Aucune habitation n'est située au sein du périmètre de l'étude de dangers. Aucun bâtiment à usage de loisir ou à usage agricole n'y est recensé.
- Milieu naturel : Les éoliennes et les postes de livraison sont concernés par un risque lié au retrait-gonflement des argiles (faible).
- Milieu matériel : Le périmètre de l'étude de dangers est concerné par un réseau de communication structurant (RD928). D'autres routes et des chemins d'exploitation considérés comme axes non structurants sont également présents. Une ligne électrique souterraine est présente sur le périmètre de l'étude de dangers.

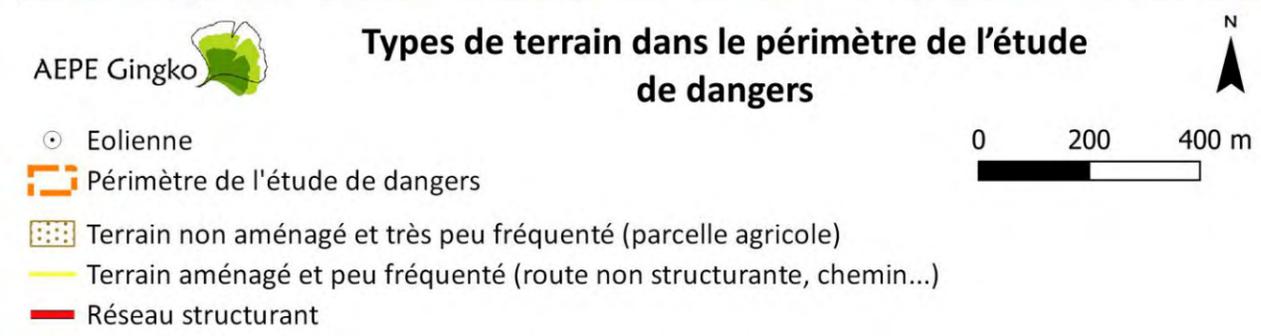
Au regard de l'annexe 1 (méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne), une typologie des terrains présents au sein du périmètre de l'étude de dangers a pu être réalisée. Cette démarche permet d'identifier et de quantifier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

Plusieurs types de zones peuvent ainsi être définies :

- Les parcelles agricoles (champs, prairies) 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) ;
- **Le réseau structurant** correspond aux voies de circulations structurantes dont le trafic est supérieur à 2000 véhicules/jour (0,4 personne permanente par km exposé par tranche de 100 véhicules/jour)



Source : IGN SCAN25® / Réalisation : AEPE Gingko 2023



Carte 1 : Les types de terrain dans le périmètre de l'étude de dangers

II. LA DESCRIPTION DU PROJET

Le parc éolien du Fond de Barle est composé de quatre éoliennes et de deux postes de livraison. Le maître d'ouvrage du projet éolien de Montérolier a retenu trois modèles différents d'éoliennes correspondant au gabarit souhaité (ENERCON EN141 et ENERCON EN156). La hauteur totale en bout de pale sera de 189 m maximum.

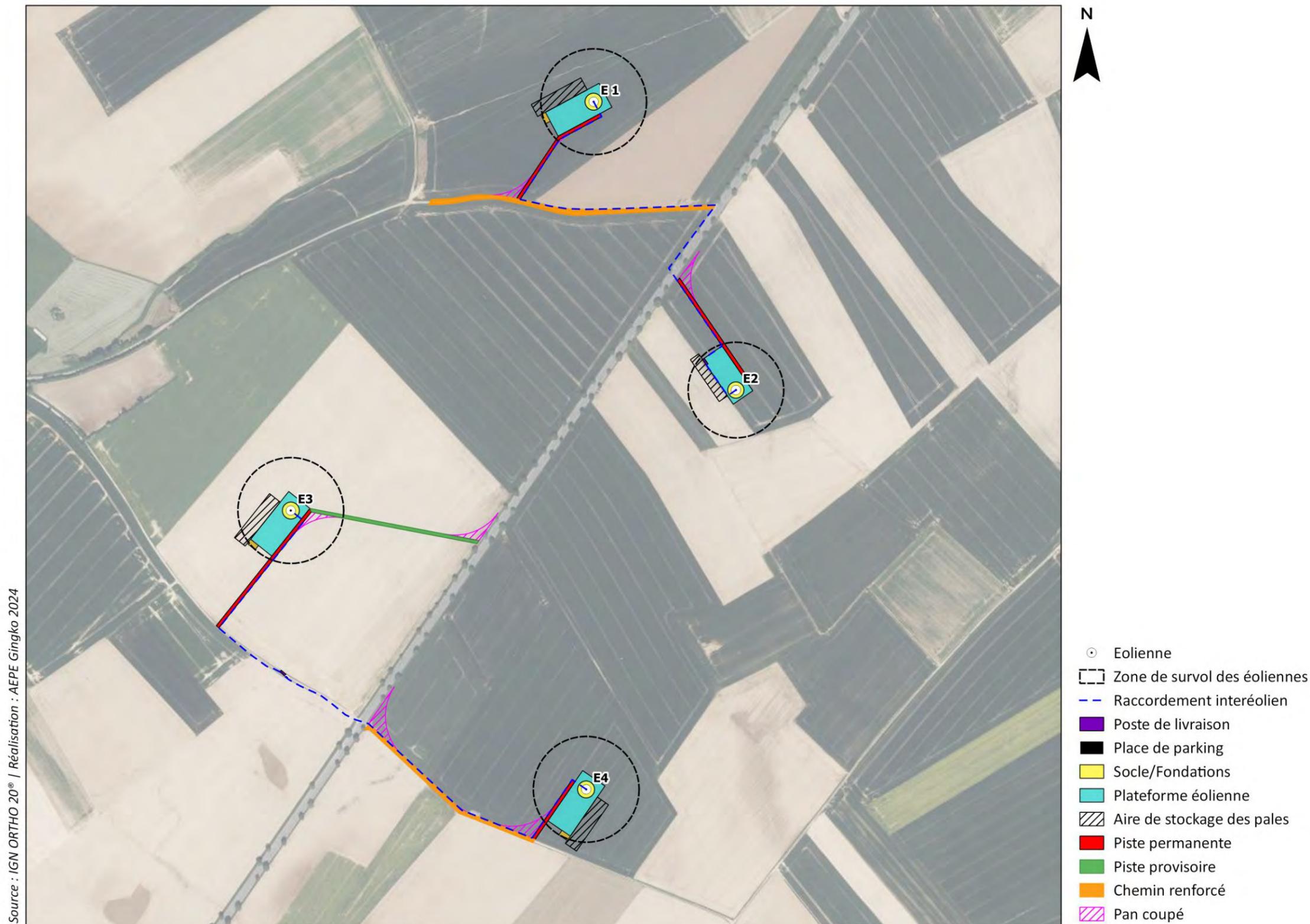
Dans l'ensemble de l'étude de dangers, les valeurs utilisées pour les calculs des zones d'effet sont basées sur les dimensions maximales de hauteur en bout de pale et de diamètre du rotor afin d'évaluer le risque maximal. Pour chaque scénario les dimensions les plus impactantes lors des calculs ont été retenues.

Tableau 1: Caractéristiques maximales des éoliennes étudiées

Élément	Mesure
Hauteur Totale (HT)	189 m
Hauteur du Moyeu (HM)	118,5 m (EN141)
Diamètre du rotor (D)	156 m (EN156)
Demi-rotor (D/2)	78 m (EN156)
Longueur de pale (R)	76,4 m (EN156)
Largeur de Base de la pale (LB)	3,8 m
Largeur de base du mât (L)	4,5 m
Largeur liaisons locales et chemins d'exploitation	4,5 m
Largeur réseau structurant (RD928)	10 m

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

Éolienne	Coordonnées Projection Lambert 93		Coordonnées WGS84		Côte au sol	Côte maximum des éoliennes
	X	Y	N	E	NGF	NGF
E1	634641	7039413	50°26'55.59"N	2° 4'51.99"E	115 m	304 m
E2	634851	7038989	50°26'41.94"N	2° 5'2.86"E	119 m	308 m
E3	634209	7038784	50°26'35.96"N	2° 4'29.74"E	117 m	306 m
E4	634626	7038403	50°26'22.84"N	2° 4'52.03"E	112 m	301 m
PDL 1	634746	7039121	50°26'46.18"N	2° 4'57.49"E	122 m	125 m
PDL 2	634752	7039129	50°26'46.44"N	2° 4'57.77"E	122 m	125 m



Source : IGN ORTHO 20® | Réalisation : AEPE Gingko 2024



Le plan d'implantation des éoliennes et des aménagements sur photographie aérienne

0 100 200 m

Carte 2 : Plan d'implantation des éoliennes et des aménagements

III. L'ANALYSE PRELIMINAIRE 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 (189 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 (78 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 (78 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 (400,5 m).

IV. L'ETUDE DETAILLEE DES RISQUES

IV.1. LA SYNTHESE DES SCENARIOS ETUDIES

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 quatre éoliennes du parc éolien du Fond de Barle 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 189 m	E1, E3, E4	Rapide	Exposition modérée	D	Sérieuse
			E2				Importante
Chute de glace	Sc2	Zone de survol soit un rayon de 78 m	Toutes	Rapide	Exposition modérée	A	Modérée
Chute d'élément de l'éolienne	Sc3	Zone de survol soit un rayon de 78 m	Toutes	Rapide	Exposition modérée	C	Modérée
Projection de pales ou de fragments de pales	Sc4	Rayon de 500 m autour des éoliennes	Toutes	Rapide	Exposition modérée	D	Importante
Projection de glace	Sc5	Rayon de 400,5 m autour des éoliennes	Toutes	Rapide	Exposition modérée	B	Sérieuse

IV.2. L'ACCEPTABILITE 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.

Tableau 4 : Matrice d'acceptabilité des risques (Source : Guide technique – Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens – 2012)

		Classe de Probabilité Faible ↔ Forte				
		E	D	C	B	A
Classe de gravité Faible ↔ Forte	Désastreux					
	Catastrophique					
	Important		Sc1 (E2) & Sc4			
	Sérieux		Sc1		Sc5	
	Modéré			Sc3		Sc2

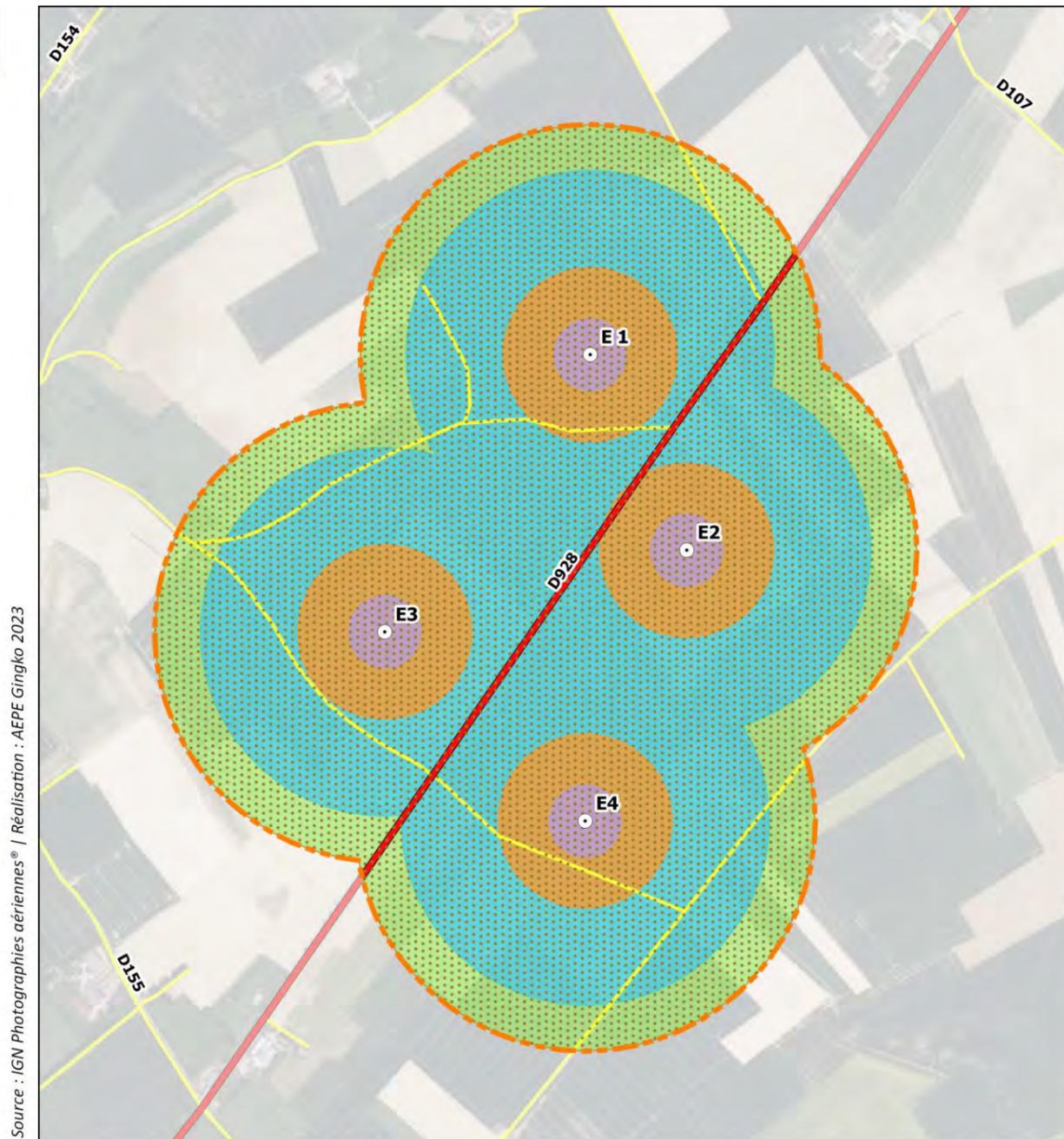
Légende de la matrice :

	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.

- Deux scénarios d'accident sont concernés par des risques très faibles (cases vertes) : il s'agit des risques d'effondrement de l'éolienne (pour 3 éoliennes sur 4) et de chute d'élément de l'éolienne et de projection de pales ou fragments de pales et de projection de glace. Ils ne nécessitent pas de mesures de maîtrise des risques.
- Quatre scénarios d'accident induisent un risque faible (case jaune). Il s'agit des risques d'effondrement (pour l'éolienne E2), de chute de glace, de projection de pales ou fragments de pales et de projection de glace.

Tous les scénarios d'accident liés aux installations du projet éolien de Fressin engendrent un risque jugé acceptable. Pour les scénarios présentant un niveau de risque très faible, aucune mesure n'est nécessaire. Pour les scénarios de chute de glace, d'effondrement pour l'éolienne E2, de projection de pales ou de fragments de pales et de projection de glace, présentant un niveau de risque faible, des mesures de maîtrise des risques seront mises en place.

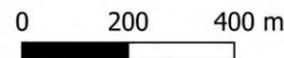


Source : IGN Photographies aériennes® / Réalisation : AEPE Gingko 2023



Synthèse des zones d'effet des risques étudiés

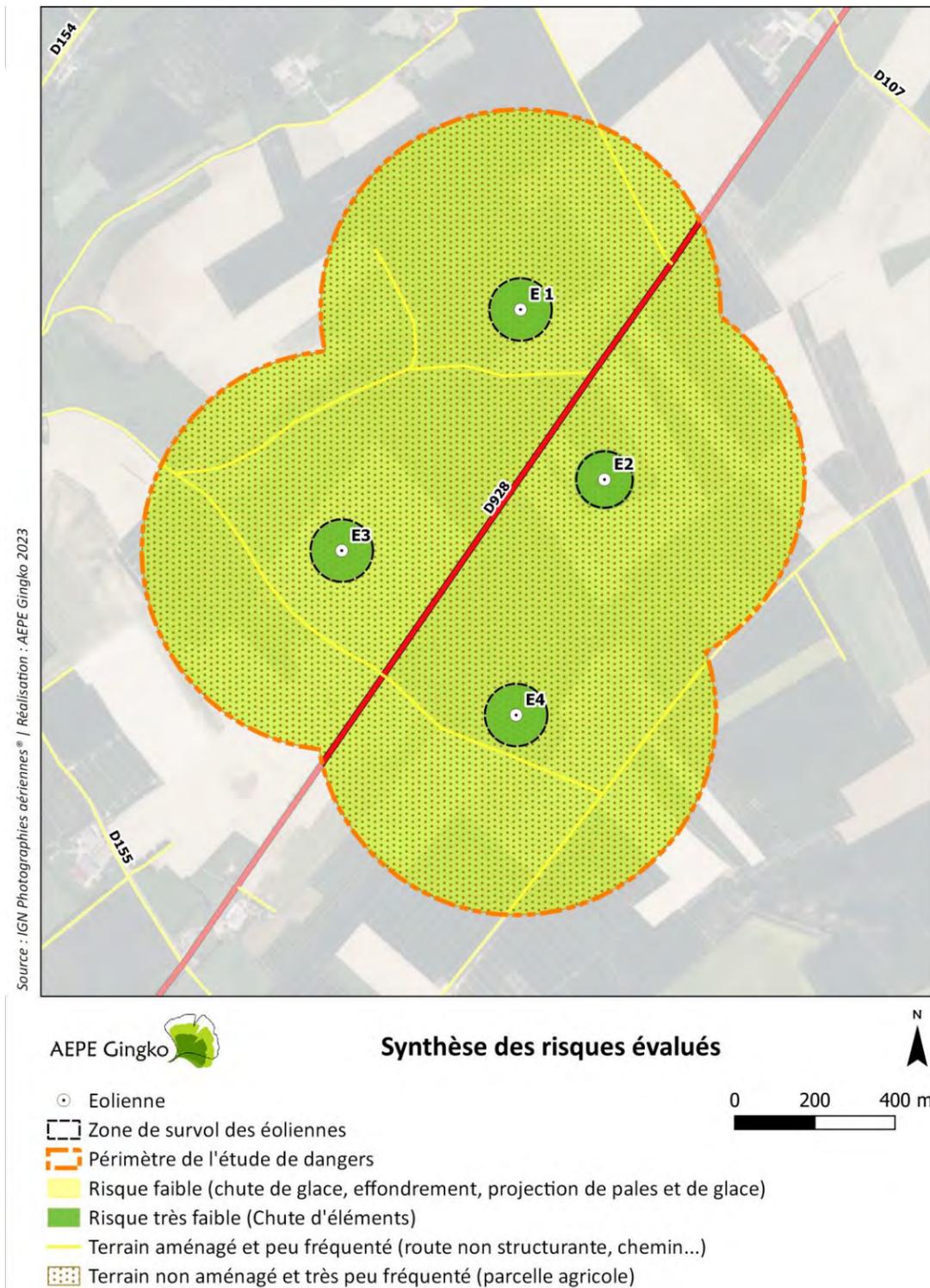
- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ○ Eolienne ▭ Périmètre de l'étude de dangers — Terrain aménagé et peu fréquenté (route non structurante, chemin...) — Réseau structurant ▭ Terrain non aménagé et très peu fréquenté (parcelle agricole) | <p>Zone d'effet</p> <ul style="list-style-type: none"> ▭ Zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne ▭ Zone d'effet du risque de chute d'éléments ou de glace ▭ Zone d'effet du risque de projection de glace ▭ Zone d'effet du risque de projection de pales ou de fragments de pales |
|--|---|



Carte 3 : Synthèse des zones d'effet des risques étudiés

IV.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 4 : Synthèse des risques évalués

V. 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 le risque d'effondrement pour l'éolienne E2, de chute de glace, de projection de pales ou de fragments de pales et de projection de glace.

Les mesures suivantes sont proposées :

V.1. LA MAÎTRISE DU RISQUE D'EFFONDREMENT

Pour le risque d'effondrement pour l'éolienne E2, les fonctions de sécurité 9, 10, 11, 12 et 13 présentées au chapitre « VII.6 La mise en place des mesures de sécurité » de l'étude de dangers sont mises en œuvre.

V.2. 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 5 : 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



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

V.3. LA MAITRISE DU RISQUE DE PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES

Les mesures de maîtrise des risques listées ci-dessous seront prises dans le cadre de l'exploitation du parc éolien du Fond de Barle afin de limiter le risque de projection de pales ou de fragments de pales.

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

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

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

L'emballage de l'éolienne constitue un facteur aggravant en cas de projection de tout ou partie d'une pale. Trois scénarios favorisant ce risque sont identifiés :

- 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.
- Les contraintes exercées sur les pales, qu'elles soient mécaniques (vents violents, variation de la répartition de la masse due à la formation de givre...) ou 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.
- 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.

Ainsi, un contrôle régulier du système d'arrêt automatique sera effectué. D'une manière générale, la maintenance préventive (inspections régulières des pales, réparations si nécessaire) permettra de se prémunir de ce risque.

V.3.1. LA MAITRISE DU RISQUE DE PROJECTION DE GLACE

Pour le risque de projection de glace, les fonctions de sécurités 1 et 2 présentées au chapitre « VII.6 La mise en place des mesures de sécurité » en page 51 de l'étude de dangers sont mises en œuvre.

Les mesures de maîtrise de risque mises en œuvre permettront de limiter les risques d'accidents liés aux phénomènes d'effondrement, de chute de glace, de projection de pales ou de fragments de pales et de projection de glace. Rappelons que ces risques sont jugés acceptables au regard de l'étude détaillée menée pour les installations du projet.

VI. LES MOYENS DE SECOURS ET D'INTERVENTION

VI.1. LES MOYENS INTERNES

Des panneaux de signalisation rappelant les consignes de sécurité ainsi que les coordonnées des secours seront placées sur les voies d'accès au site ainsi qu'à l'entrée des différents équipements (mâts des éoliennes et postes 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'aux postes de livraison. Le personnel sera formé à l'utilisation des extincteurs.

Des protocoles sont établis avec le SDIS. Ce dernier va se prononcer lors de l'instruction. Le développeur du projet s'engage à respecter les prescriptions du SDIS qui seront émises au cours de l'instruction.

VI.2. LES MOYENS EXTERNES

Les installations du parc éolien sont situées à environ 8 km du centre d'incendie et de secours situé sur la commune de Fruges. Le temps de route est estimé à 7 mn.

Centre d'Incendie et de Secours

Rue Hesdin

62 310 Fruges

03 21 47 79 90

VI.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 10 décembre 2021, 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.

PARTIE 2 - ÉTUDE DE DANGERS

I. PREAMBULE

I.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 Velocita pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du projet de parc éolien du Fond de Barle, situé seulement sur cette commune.

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 4 éoliennes du parc de Fressin. 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 du Fond de Barle, 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.

I.2. LE CONTEXTE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE

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 le site du gouvernement sur les installations classées, 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. »

"Pour les installations mentionnées à l'article L. 515-32, l'autorité administrative compétente accepte les informations équivalentes remises par le pétitionnaire, dès lors qu'elles répondent aux exigences du présent III. »

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.

I.3. LA NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSEES

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 6 : La nomenclature ICPE d'un parc éolien

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

Le parc éolien du Fond de Barle 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.

I.4. LA DEMARCHE GENERALE DE L'ETUDE DE DANGERS

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

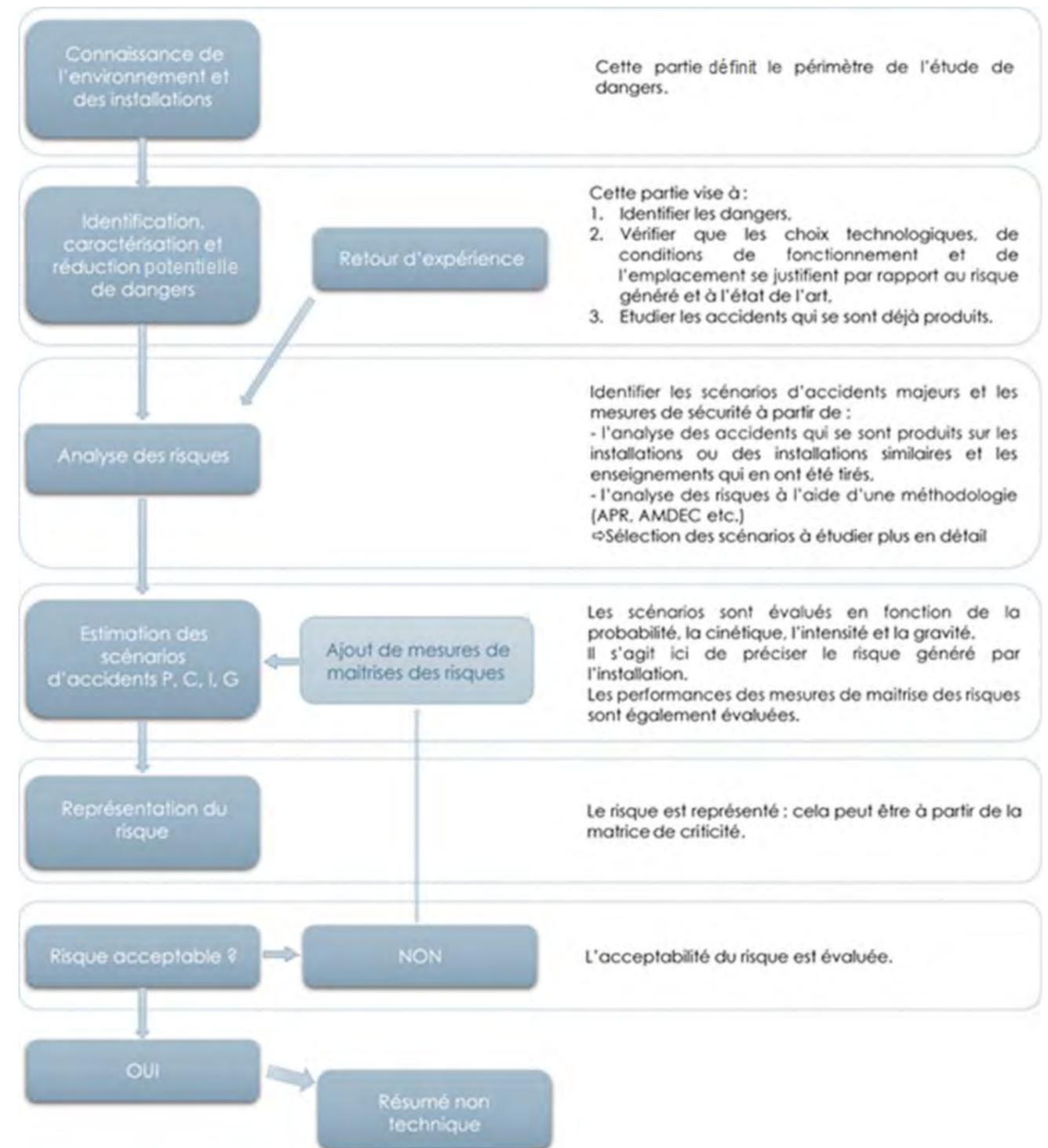


Figure 2 : La démarche générale de l'étude de dangers

II. LES INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

II.1. LES RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

II.1.1. LE PETITIONNAIRE

Le parc éolien a été développé par la société Velocita Energies.

Dénomination/raison sociale : VELOCITA ENERGIES

Siren : 795154418

Adresse : Centre WOJO Paris-Montparnasse
82 AV DU MAINE 75014 PARIS

Nature de l'activité : Société spécialisée dans le secteur d'activité de l'ingénierie, études techniques. Velocita Energies développe, finance, construit et exploite des parcs éoliens en France.



II.2. LE PORTEUR DE PROJET ET LES AUTEURS DES ETUDES

LE PORTEUR DU PROJET

Velocita Energies

82 Av. du Maine
75014 Paris



AUTEUR DE L'ETUDE

La rédaction finale de l'étude de dangers du parc éolien du Fond de Barle a été réalisée par AEPE-Gingko.

Etude de dangers

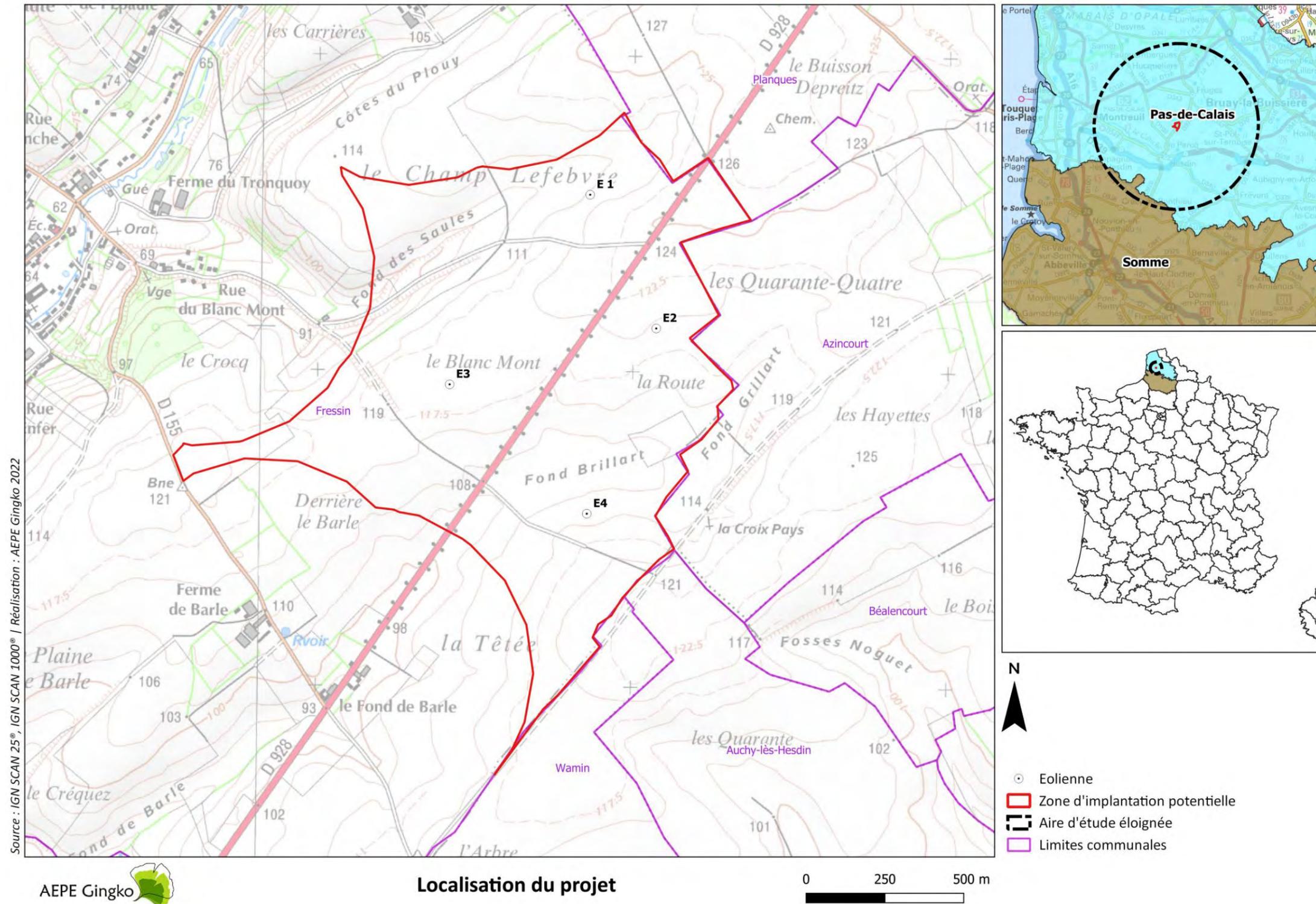
AEPE Gingko

Pierre-Antoine Picabea - Chargé d'études environnement
66 rue du Roi René
49250 La Ménitré
Tél : 02 41 68 06 95



II.3. LA LOCALISATION DU SITE

La zone d’implantation potentielle se situe sur la commune de Fressin, dans le département du Pas-de-Calais et la région Hauts-de-France. Le projet se situe à 30 km au sud-est du Touquet-Paris-Plage.



Carte 5 : La localisation du projet

II.4. LA DEFINITION DE L'AIRE D'ETUDE

Compte tenu des spécificités de l'organisation spatiale d'un parc éolien, composé de plusieurs éléments disjoints, la zone sur laquelle porte l'étude de dangers est constituée d'une aire d'étude par éolienne. Chaque aire d'étude correspond à l'ensemble des points situés à une distance inférieure ou égale à 500 m à partir de l'emprise du mât de l'aérogénérateur. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection. La zone d'étude n'intègre pas les environs des postes de livraison, qui sont néanmoins représentés sur la carte. Les expertises réalisées dans le cadre de la présente étude ont en effet montré l'absence d'effet à l'extérieur des postes de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter.

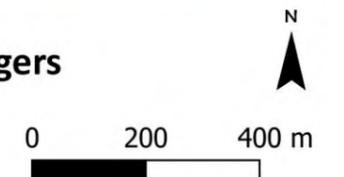
Source : IGN SCAN25®, IGN Photographies aériennes® | Réalisation : AEPE Gingko 2023



AEPE Gingko 

Le périmètre de l'étude de dangers

-  Eolienne
-  Périmètre de l'étude de dangers
-  Zone de survol des éoliennes



Carte 6 : Le périmètre de l'étude de dangers

III. 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).

III.1. L'ENVIRONNEMENT HUMAIN

III.1.1. LES ZONES URBANISEES

Le périmètre de l'étude de dangers s'inscrit sur les communes d'Auchy-lès-Hesdin, Azincourt, Fressin, Planques et Wamin.

Tableau 7 : Données démographiques des communes autour du périmètre d'étude de dangers (Source : INSEE)

Commune	Population en 2013	Population en 2018	Densité en nbre d'habitants/km ²
Auchy-lès-Hesdin	1647	1574	163,8
Azincourt	303	308	36,4
Fressin	544	578	33,7
Planques	98	88	14,2
Wamin	238	235	32,6

Le profil démographique propre à chaque commune concernée par l'aire d'étude immédiate est globalement homogène. La plupart des communes de l'aire d'étude immédiate présentent un profil globalement rural, avec une population et une densité faibles. La commune d'Auchy-lès-Hesdin qui présente un profil plus urbain, compte plus de 1000 habitants et une densité relativement importante (164 hab/km²) par rapport à la densité moyenne sur le territoire français (105 hab/km²).

Le profil du territoire est donc globalement rural, peu densément peuplé et laisse de vastes espaces vierges d'habitants.

Les communes d'Auchy-lès-Hesdin, Planques et Wamin présentent une évolution annuelle de leur population négative. La commune de Fressin est celle où l'évolution a été la plus importante (+1,22 %). La balance entre le solde naturel et le solde migratoire est variable sur les communes du périmètre de l'étude de dangers. Aucune tendance nette ne se dégage du territoire.

À proximité du périmètre de l'étude de dangers, le bâti est principalement organisé sous forme de bourgs et de hameaux et fermes dispersés sur l'ensemble du territoire. Le bourg le plus proche est celui de Fressin, à environ 700 m à l'ouest 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 mâts des éoliennes (Cf : carte ci-après). Aucun bâtiment n'est présent dans cette zone.

Aucun bâtiment à usage d'habitation ou de loisir n'est recensé au sein du périmètre d'étude de dangers.

Tableau 8 : La distance des éoliennes aux habitations les plus proches

Éolienne la plus proche	Habitation la plus proche	Commune	Distance des habitations au centre du mât de l'éolienne la plus proche
E1	Le Plouy	Fressin	644 m
E2	Bucamps	Azincourt	1 254 m
E3	Rue du Blanc-Mont	Fressin	821 m
E4	Le Fond de Barle	Fressin	881 m

La distance minimale entre le centre du mât d'une éolienne et une habitation est donc de 644 m pour le projet de Fressin.

La commune de Fressin est régie par une carte communale approuvée le 15 octobre 2003. Les éoliennes sont localisées en zone non constructible (NC). Ce zonage correspond aux secteurs « où les constructions ne sont pas admises, à l'exception de l'adaptation, la réfection ou l'extension des constructions existantes, des constructions nécessaires à des équipements collectifs, à l'adaptation agricole ou forestière et à la mise en valeur des ressources naturelles ». 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 dans aux articles l'article L111-1-2 et R111-1 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.

III.1.2. LES ETABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC (ERP)

Aucun établissement recevant du public n'est recensé dans le périmètre de l'étude de dangers.

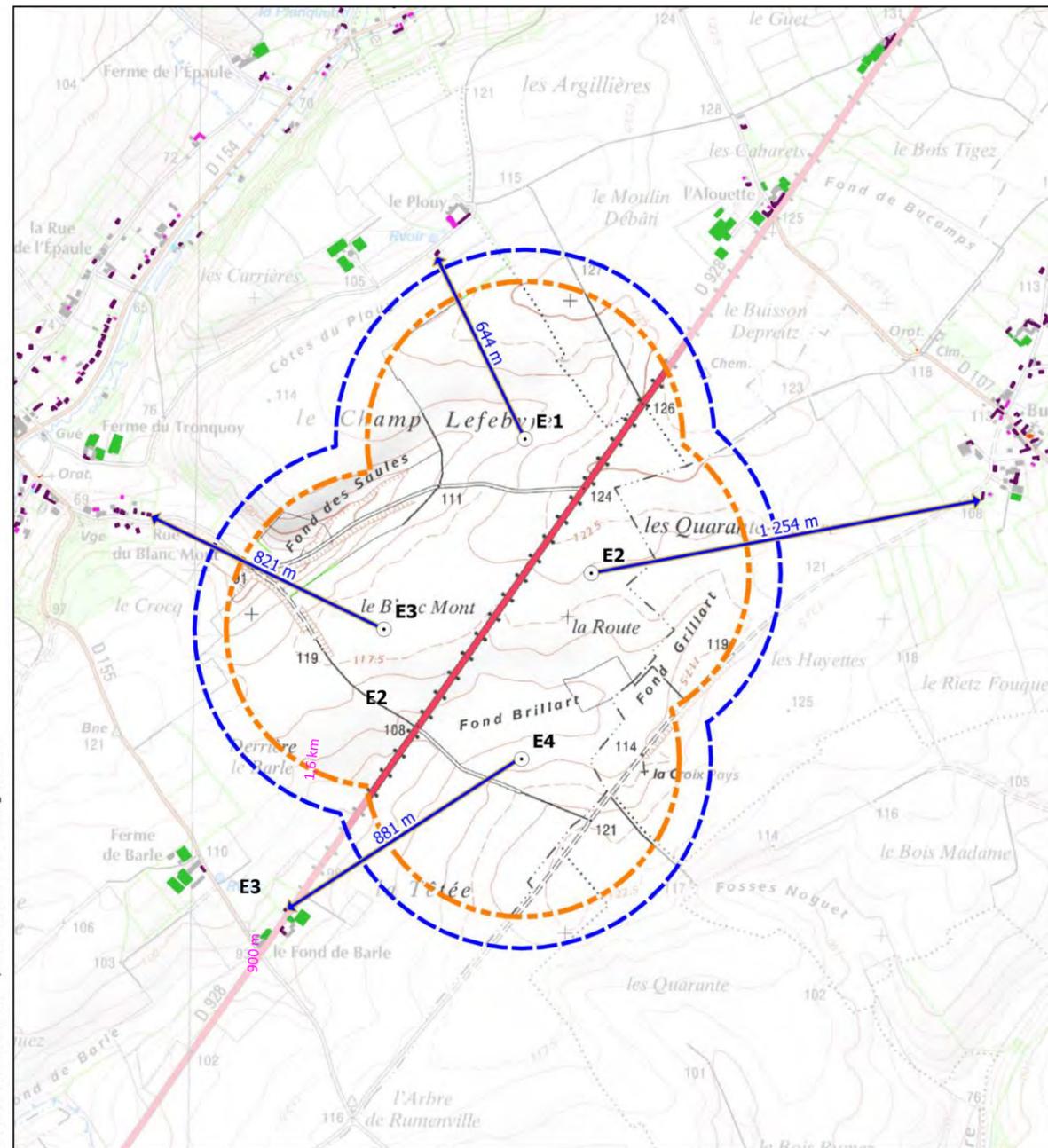
III.1.3. LES INSTALLATIONS CLASSEES POUR LA PROTECTION DE L'ENVIRONNEMENT (ICPE)

Aucun établissement SEVESO ni installation nucléaire de base (INB) n'est présent dans les limites du périmètre de l'étude de dangers.

L'ICPE la plus proche est une entreprise dont les activités principales sont la culture et l'élevage et ne constitue pas d'enjeu particulier. Elle se situe à environ 1,7 km de l'éolienne la plus proche (E2). À cette distance, aucun risque industriel ne peut être envisagé au regard du type d'installation identifié.

III.1.4. LES AUTRES ACTIVITES

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



Source : IGN SCAN25® | Réalisation : AEPE Gingko 2023



Carte 7 : Environnement humain du périmètre de l'étude de dangers

III.2. L'ENVIRONNEMENT NATUREL

III.2.1. LE CONTEXTE CLIMATIQUE

III.2.1.1. LES PRECIPITATIONS

La zone d'implantation potentielle est localisée dans la partie nord du territoire métropolitain français, secteur soumis à un climat océanique qui se caractérise par des hivers doux et humides et des étés assez frais. La pluviométrie est de l'ordre de 890 mm par an. Les précipitations les plus élevées se manifestent d'octobre à décembre avec un pic au mois de novembre. Les mois de juin et juillet sont les mois les plus secs.

Tableau 9 : La moyenne des précipitations mensuelles entre 1992 et 2021 (Source : Météo-climat)

Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Précipitations (mm)	79.8	61.9	53.4	48.5	60.7	56.3	59.7	75	76.1	102.3	109.7	108.7	891.9

III.2.1.2. LES TEMPERATURES

Les températures sont relativement douces tout au long de l'année. La moyenne annuelle est de l'ordre de 11°C. L'hiver est relativement doux (2,5°C en janvier) et l'été est doux (21,9°C pour le mois d'août). L'effet régulateur thermique de l'océan atlantique est donc très présent.

Tableau 10 : La moyenne des températures mensuelles en °C entre 1992 et 2021 (Source : Météo-climat)

Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Température minimale	2.5	2.5	4	5.6	8.8	11.7	13.8	14	11.7	9	5.6	3.3	7.7
Température maximale	7.6	8.3	10.9	14.1	17.3	19.8	21.5	21.9	19.5	15.8	11.3	8.3	14.7
Température moyenne	5.1	5.4	7.4	9.8	13	15.8	17.7	18	15.6	12.4	8.5	5.8	11.3

III.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 1 700 h par an ce qui le place dans la fourchette basse à l'échelle du territoire français. Par ailleurs, l'ensoleillement est très nettement concentré sur la période de mai à août avec une moyenne mensuelle de 200 h ou plus, soit environ 7 h de soleil par jour. A contrario les mois d'hiver sont très peu ensoleillés : moins de 70 h de soleil en moyenne pour les mois de novembre à janvier, soit environ 2 h de soleil par jour.

Tableau 11 : La moyenne d'ensoleillement mensuel entre 1992 et 2021 (Source : Météo-climat)

Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Ensoleillement (h)	60.6	79.3	135.7	193	214.4	221.3	222.9	200.1	160.5	111.1	63.3	51.2	1713.8

Le climat océanique de la zone d'implantation potentielle induit un nombre de jours de gel limité. Les fortes gelées (température inférieure à 5°C) sont recensées environ 4 jours par an en moyenne. Elles se concentrent

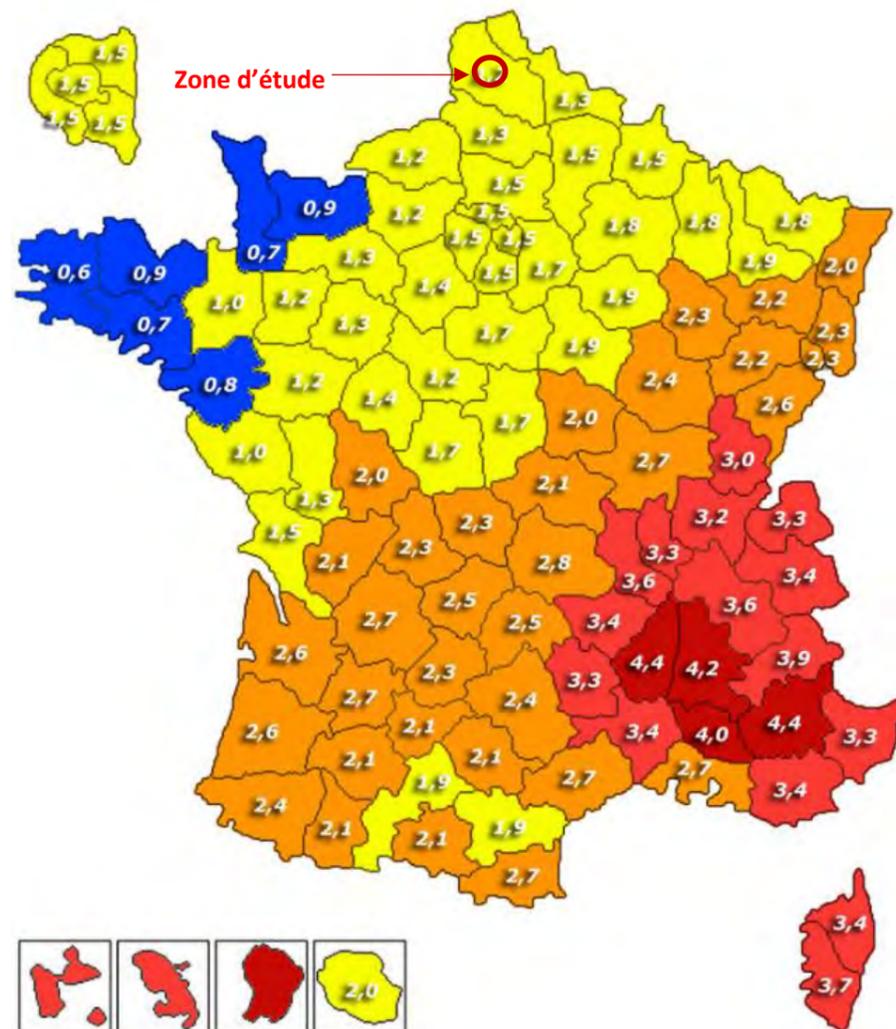
particulièrement sur les mois de décembre, janvier et février. Les températures de grand froid (inférieure à - 10° C) sont quant à elles anecdotiques (moins d’1 jour par an).

Tableau 12 : Les moyennes mensuelles des jours de gelée recensés entre 1992 et 2021 (Source : Meteo-climat)

Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Année
Gelée (Tn ≤ 0°C)	8.87	7.9	4.63	1.77	0.07	0	0	0	0	0.5	2.63	8.5	34.87
Forte Gelée (Tn ≤ -5°C)	1.9	1.23	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0.2	0.97	4.4
Grand Froid (Tn ≤ -10°C)	0.13	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0.37

III.2.1.4. 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 une moyenne de l’ordre de 1,2 impacts de foudre au sol par km² et par an. **L’enjeu est très faible.**



Carte 8 : La densité de foudroiement annuel au km² (Météorage)

III.2.1.5. LES VENTS

La France bénéficie d’un potentiel éolien remarquable. Elle possède en effet le deuxième potentiel éolien en Europe, après celui du Royaume-Uni. Ce potentiel est estimé à 66 TWh sur terre et 90 TWh en mer ;

Selon l’atlas éolien de l’ADEME, la façade ouest du territoire français présente de manière générale des vents de secteur ouest relativement constants et importants. Le département du Pas de Calais est notamment situé en zone 4 en termes de gisement éolien. Les vents en rase campagne peuvent atteindre entre 6,5 et 7,5 m/s, ce qui représente un gisement en vent important.

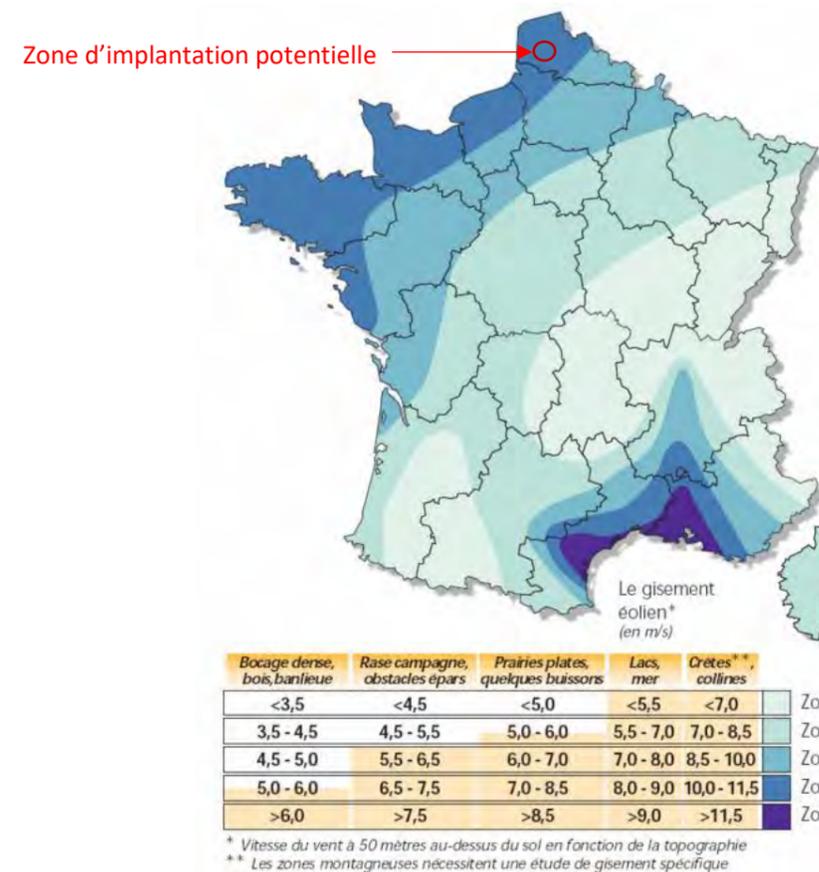


Figure 3 : Potentiel éolien en France Métropolitaine (Source : ADEME)

Enfin, la rose des vents ci-après présente le nombre d’heures par an durant lequel le vent souffle dans la direction indiquée au niveau de la commune de Fressin. Les vents dominants sont d’orientation Sud-Ouest/Nord-Est.

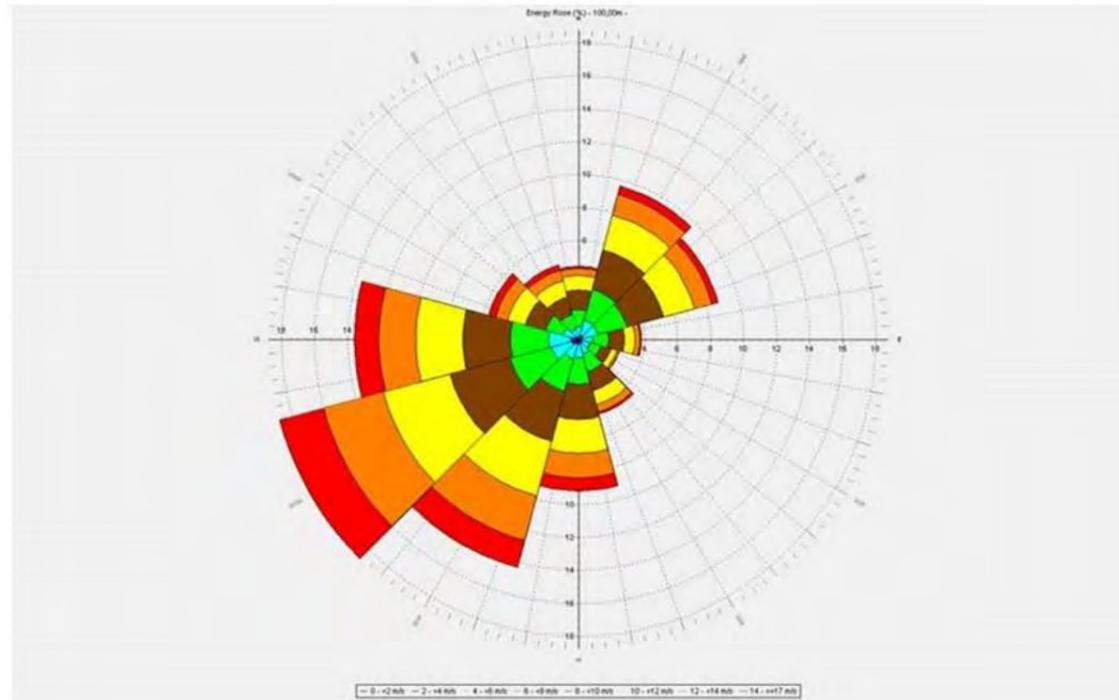


Figure 4 : La rose des vents du site (Source : Velocita)

III.2.2. LES RISQUES NATURELS

L'étude des risques naturels s'est concentrée sur les communes concernées par le périmètre de l'étude de dangers. Les principaux risques naturels répertoriés sur ces communes par le site Géorisques sont listés ci-après.

III.2.2.1. LES ARRETES DE RECONNAISSANCE DE CATASTROPHE NATURELLE

Plusieurs catastrophes naturelles ont fait l'objet d'un arrêté de reconnaissance sur les communes du périmètre de l'étude de dangers. L'arrêté pris sur la majeure partie des communes du périmètre de l'étude de dangers concerne le risque Inondations et coulées de boue.

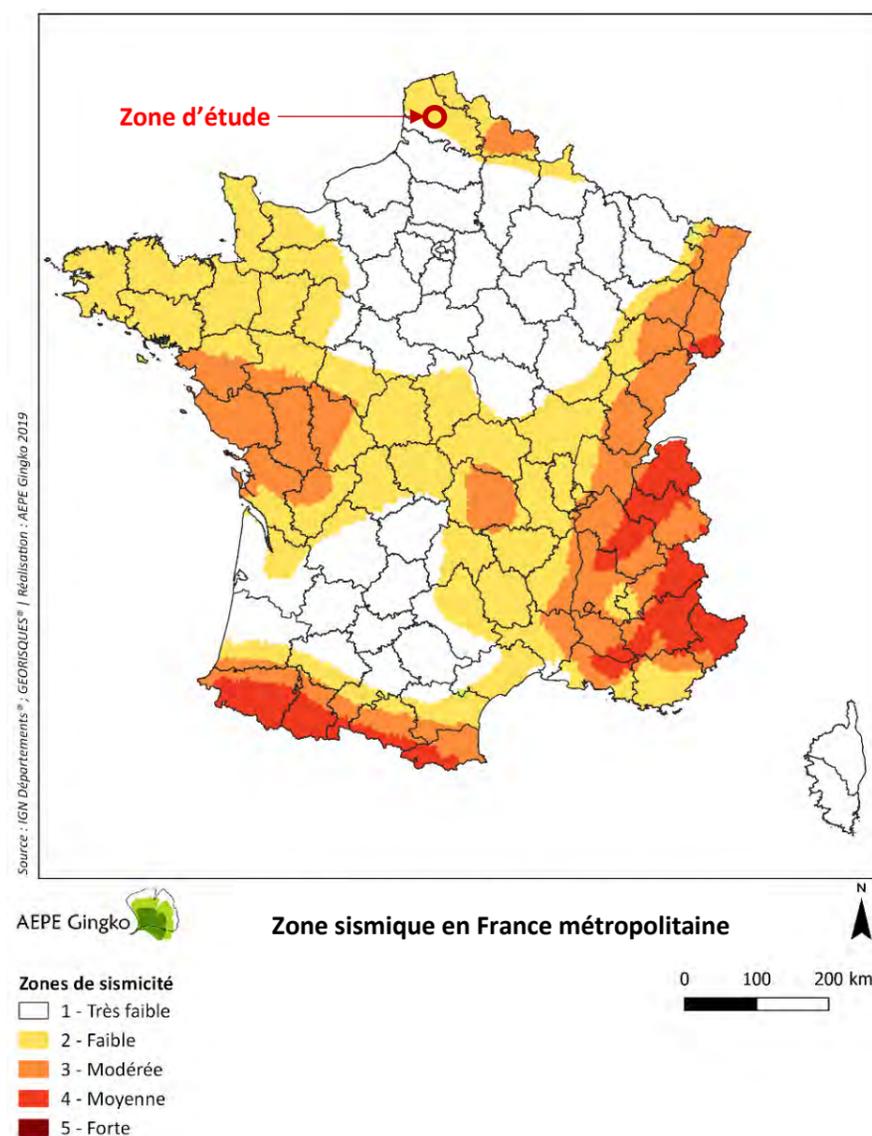
Tableau 13 : Les arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle

Type de catastrophe	Début	Fin	Arrêté du	Communes
Inondations, coulées de boue et effets exceptionnels dus aux précipitations	28/01/2021	31/01/2021	19/02/2021	Auchy-lès-Hesdin
Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	Auchy-lès-Hesdin / Azincourt / Fressin / Planques / Wamin
Inondations et coulées de boue	03/07/2005	04/07/2005	06/10/2005	Auchy-lès-Hesdin Béalencourt Wamin
	06/07/2001	07/07/2001	03/12/2001	Auchy-lès-Hesdin
	31/10/1998	01/11/1998	29/12/1998	Auchy-lès-Hesdin
	18/05/1996	18/05/1996	01/10/1996	Auchy-lès-Hesdin / Azincourt
	17/01/1995	05/02/1995	21/02/1995	Auchy-lès-Hesdin / Azincourt / Fressin / Planques
	25/12/1994	31/12/1994	18/07/1995	Auchy-lès-Hesdin / Azincourt / Fressin / Planques
	19/12/1993	02/01/1994	11/01/1994	Auchy-lès-Hesdin / Fressin
	06/12/1992	07/12/1992	16/08/1993	Auchy-lès-Hesdin
	31/05/1992	31/05/1992	18/05/1993	Planques / Fressin
	28/05/1992	28/05/1992	24/12/1992	Auchy-lès-Hesdin / Planques Fressin
Inondations par remontées de nappe phréatique	01/02/2001	20/03/2001	27/12/2001	Auchy-lès-Hesdin
	25/01/1995	22/06/1995	28/07/1995	Auchy-lès-Hesdin / Fressin

III.2.2.2. LE RISQUE SISMIQUE

Le zonage sismique de la France est défini par le décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010. Il découpe la France en cinq zones de sismicité croissante en fonction de la probabilité d'occurrence des séismes :

Zonage	Aléa sismique	Règle de construction
Zone 1	Très faible	Pas de prescription parasismique particulière pour les bâtiments à risque normal
Zone 2	Faible	Règles de construction parasismiques applicables aux nouveaux bâtiments, et aux bâtiments anciens dans des conditions particulières
Zone 3	Modéré	
Zone 4	Moyen	
Zone 5	Fort	



Carte 9 : Zone sismique en France métropolitaine

La zone d'étude est répertoriée en tant que zone de sismicité 1 à 2 (très faible à faible). **L'enjeu est donc très faible.**

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. »

Si 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

para-cycloniques 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 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. 125-17 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.

III.2.2.3. LE RISQUE DU SUBMERSION

Le site d'étude ne se situe ni à proximité directe du littoral ni sur une zone de risque de submersion par rupture de barrage ou digue.

L'enjeu lié au risque de submersion est nul.

III.2.2.4. LE RISQUE 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.

D'après le site <http://www.georisques.gouv.fr>, plusieurs communes de l'aire d'étude immédiate sont concernées par un plan de prévention des risques inondation (PPRI) par remontées de nappes naturelles. Il s'agit des communes d'Auchy-lès-Hesdin, Béalencourt, Fressin, Planques et Wambercourt. Aucune commune n'est soumise à un territoire à risque important d'inondation (TRI).

Un programme d'action de prévention des inondations (PAPI) a également été arrêté le 27/07/2015 pour tout le bassin de la Canche (PAPI Canche).

Aucun cours d'eau ne se situe sur le périmètre de l'étude de dangers. Le cours d'eau le plus proche est situé à 1,2 km de l'éolienne E3. Il s'agit de La Planquette, petit cours d'eau affluent de La Canche.

III.2.2.5. LE RISQUE DE TEMPETE

Une tempête correspond à l'évolution d'une perturbation atmosphérique, ou dépression, le long de laquelle s'affrontent deux masses d'air aux caractéristiques distinctes (température, teneur en eau).

De cette confrontation naissent notamment des vents pouvant être très violents. Sur terre, on parle de tempête lorsque les vents dépassent 89 km/h. L'essentiel des tempêtes touchant la France se forment sur l'océan Atlantique au cours des mois d'automne et d'hiver (tempêtes d'hiver). De diamètre inférieur à 1 000 km, elles progressent vers les terres à une vitesse moyenne de l'ordre de 50 km/h.

Bien que le risque tempête intéresse plus spécialement le quart nord-ouest du territoire métropolitain et la façade atlantique dans sa totalité, les tempêtes survenues en décembre 1999 ont souligné qu'aucune partie du territoire n'est à l'abri du phénomène. Elles ont également démontré l'ampleur des conséquences (humaines, économiques, environnementales) que les tempêtes sont en mesure de générer. Les tempêtes des 26, 27 et 28 décembre 1999 ont en effet été les plus dramatiques de ces dernières dizaines d'années, avec un bilan total de 92 morts et de plus de 15 milliards d'euros de dommages. Leur période de retour a été estimée de l'ordre de 400/500 ans. L'une des caractéristiques de ces tempêtes a été que les vents violents ont concerné une très grande partie du territoire métropolitain et pas seulement des secteurs « classiquement » frappés par ce type de phénomène

III.2.2.6. LE RISQUE DE FEUX DE FORET

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.

Aucun boisement n'est situé sur le périmètre de l'étude de dangers.

III.2.2.7. LE RISQUE 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 immédiate ne sont pas concernées par le risque de mouvement de terrain.

Toutefois les arrêtés de catastrophes naturelles de ces communes font état de mouvements de terrain répertoriés du fait de la tempête de 1999).

L'ensemble de ces mouvements de terrain se situent en dehors du périmètre de l'étude de dangers.

III.2.2.8. LE RISQUE LIÉ AUX CAVITES

D'après le site Géorisques, plusieurs cavités souterraines abandonnées d'origine non minière sont situées sur les communes concernées par le périmètre de l'étude de dangers. La plus proche se situe à l'ouest du périmètre de l'étude de dangers, à 1,8 km de l'éolienne E3.

III.2.2.9. LE RISQUE DE RETRAIT-GONFLEMENT DES ARGILES

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 000ème), les aléas sur le périmètre de l'étude de dangers sont considérés comme faibles.

III.2.2.10. LE RISQUE DE REMONTEE 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.

La zone d'implantation potentielle se localise sur des couches sédimentaires, elle n'est donc pas concernée par le risque de remontée de nappes liées au socle. Elle est en revanche potentiellement touchée 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.

Les éoliennes se situent en dehors des zones à risque. Quelques zones du périmètre de l'étude de dangers sont concernées par des zones potentiellement sujettes aux inondations de cave ainsi qu'aux débordements de nappe.

III.3. L'ENVIRONNEMENT MATERIEL

III.3.1. LES VOIES DE COMMUNICATION

III.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

Le périmètre de l'étude de dangers est concerné par un axe structurant. Il s'agit de la RD928 dont le trafic moyen journalier annuel est de 3 177 véhicules.

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 à proximité, ainsi que des chemins d'exploitation utilisés pour l'accès aux parcelles agricoles. Le périmètre d'étude est ainsi traversé par un réseau de liaisons locales et chemins agricoles sur un linéaire de 5 010 m.

III.3.1.2. LE TRANSPORT FERROVIAIRE

Aucune voie ferrée n'est recensée au sein ou aux abords immédiats du périmètre de l'étude de dangers.

III.3.1.3. LE TRANSPORT FLUVIAL

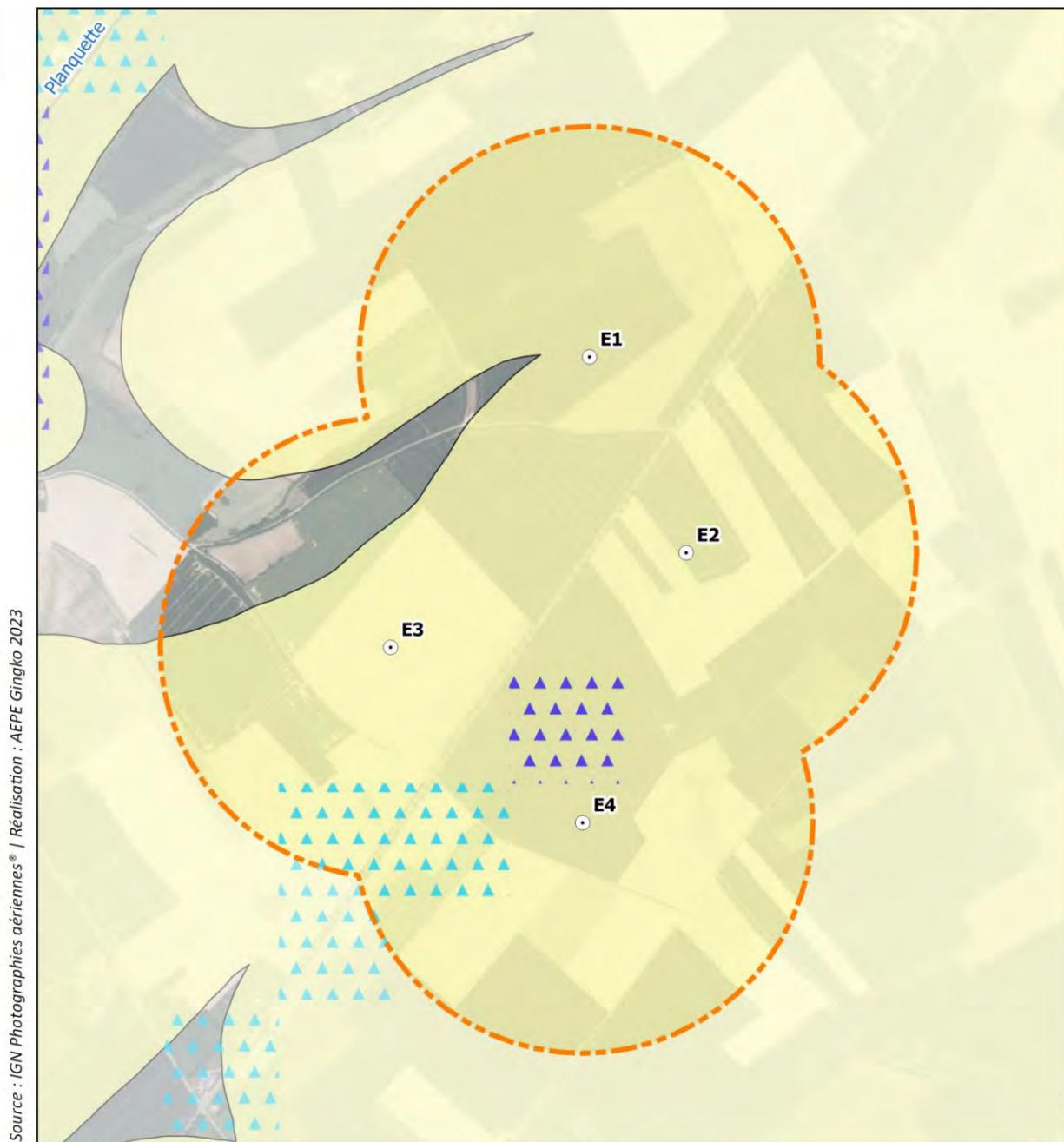
Aucun transport fluvial n'est recensé au sein ou aux abords immédiats du périmètre de l'étude de dangers.

III.3.1.4. LE TRANSPORT AERIEN

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 12/05/2022 (consultable en annexe), la DGAC indique que le projet se situe en dehors des zones concernées par des servitudes aéronautiques et radioélectriques associées à des installations de l'aviation civile.

III.3.2. LES RESEAUX PUBLICS ET PRIVES

Une déclaration de travaux (via le site <http://www.reseaux-et-canalisation.ineris.fr>) a été réalisée sur les communes concernées par l'aire d'étude immédiate. Cette démarche a permis de mettre en évidence la présence de réseaux et canalisations au droit de cette aire d'étude. Ces ouvrages sont détaillés ci-après.



Source : IGN Photographies aériennes® / Réalisation : AEPE Gingko 2023

AEPE Gingko 

L'environnement naturel du périmètre de l'étude de dangers

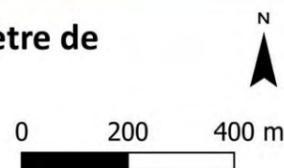
- Eolienne
- ▭ Périmètre de l'étude de dangers

Zones potentiellement sujettes :

- ▲ Aux inondations de cave
- ▲ Aux débordements de nappe

Aléa retrait et gonflement des argiles

- Faible



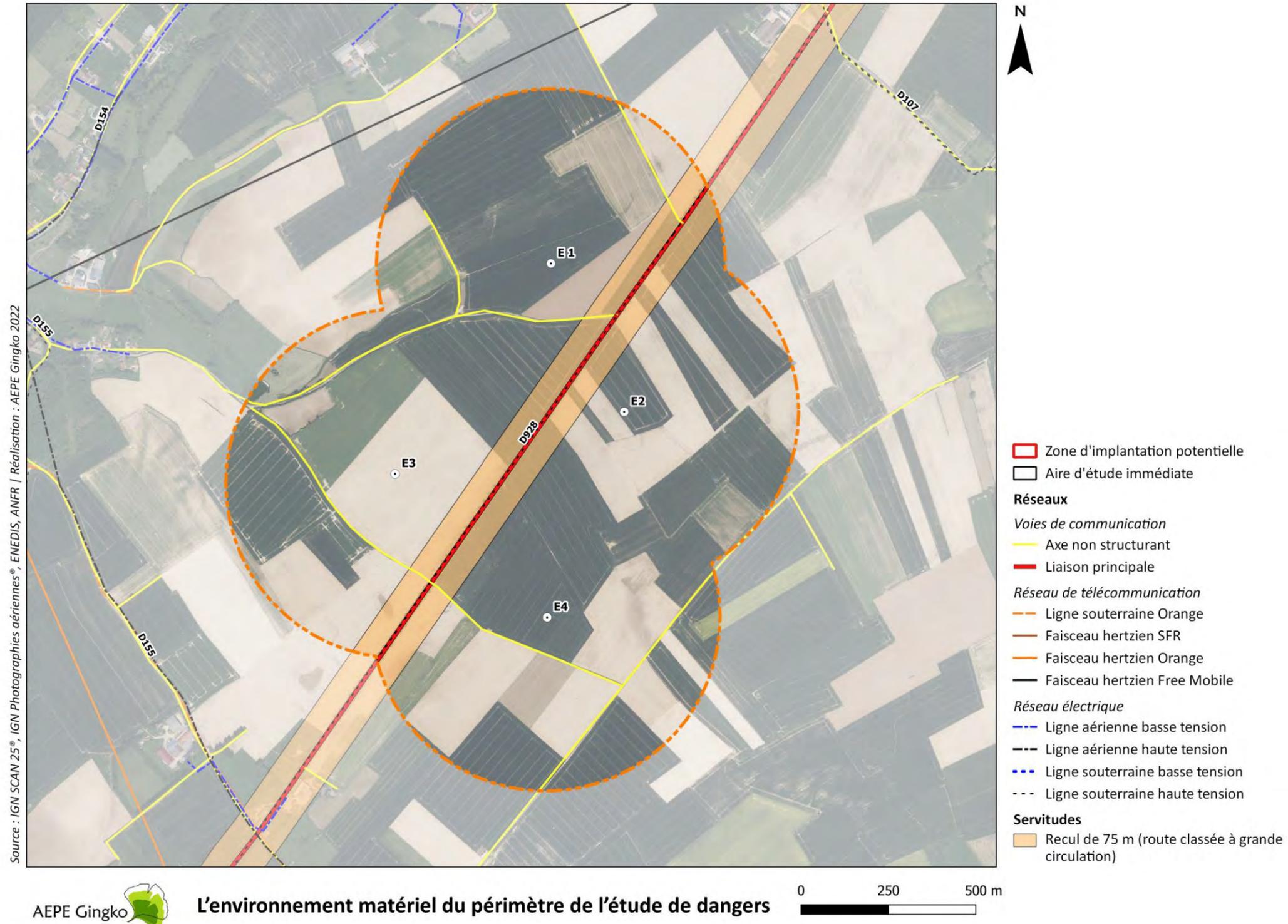
Carte 10 : L'environnement naturel du périmètre de l'étude de dangers

III.3.2.1. LE RESEAU D'ELECTRICITE

Une ligne électrique souterraine haute tension traverse le périmètre de l'étude de dangers. Elle longe la RD928 et passe à 235 m environ au sud-est de l'éolienne E3. Des recommandations apportées par ENEDIS devront être respectées lors de la phase travaux.

III.3.2.2. LE RESEAU DE TELECOMMUNICATION

Aucune ligne de télécommunication ne se situe sur le périmètre de l'étude de dangers.



Carte 11 : L'environnement matériel du périmètre de l'étude de dangers

IV. 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.

IV.1. LES CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION

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

IV.1.1. LES CARACTERISTIQUES GENERALES D'UN PARC EOLIEN

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.

IV.1.2. LES ELEMENTS CONSTITUTIFS D'UN AEROGENERATEUR

Au sens de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 10 décembre 2021, 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.

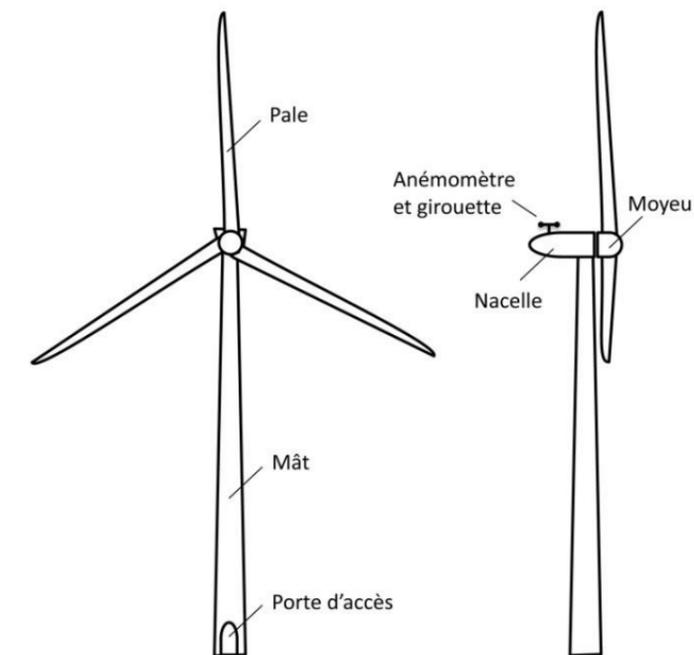


Figure 5 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur (Source : Nordex)

IV.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.

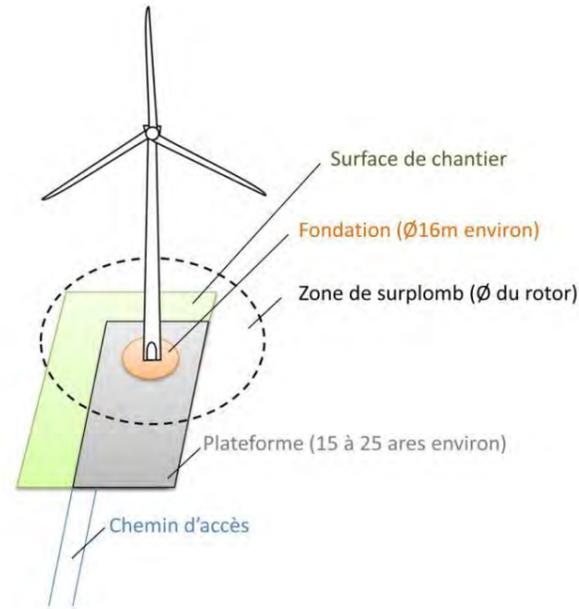


Figure 6 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne

IV.1.2.2. LES CHEMINS D'ACCES

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).

IV.1.3. LA COMPOSITION DE L'INSTALLATION

Le parc éolien du Fond de Barle est composé de quatre éoliennes et de deux postes de livraison. Chaque aérogénérateur aura une hauteur de mât de 118,5 m maximum et un diamètre de rotor de 156 m maximum. La hauteur totale en bout de pale sera de 189 m maximum.

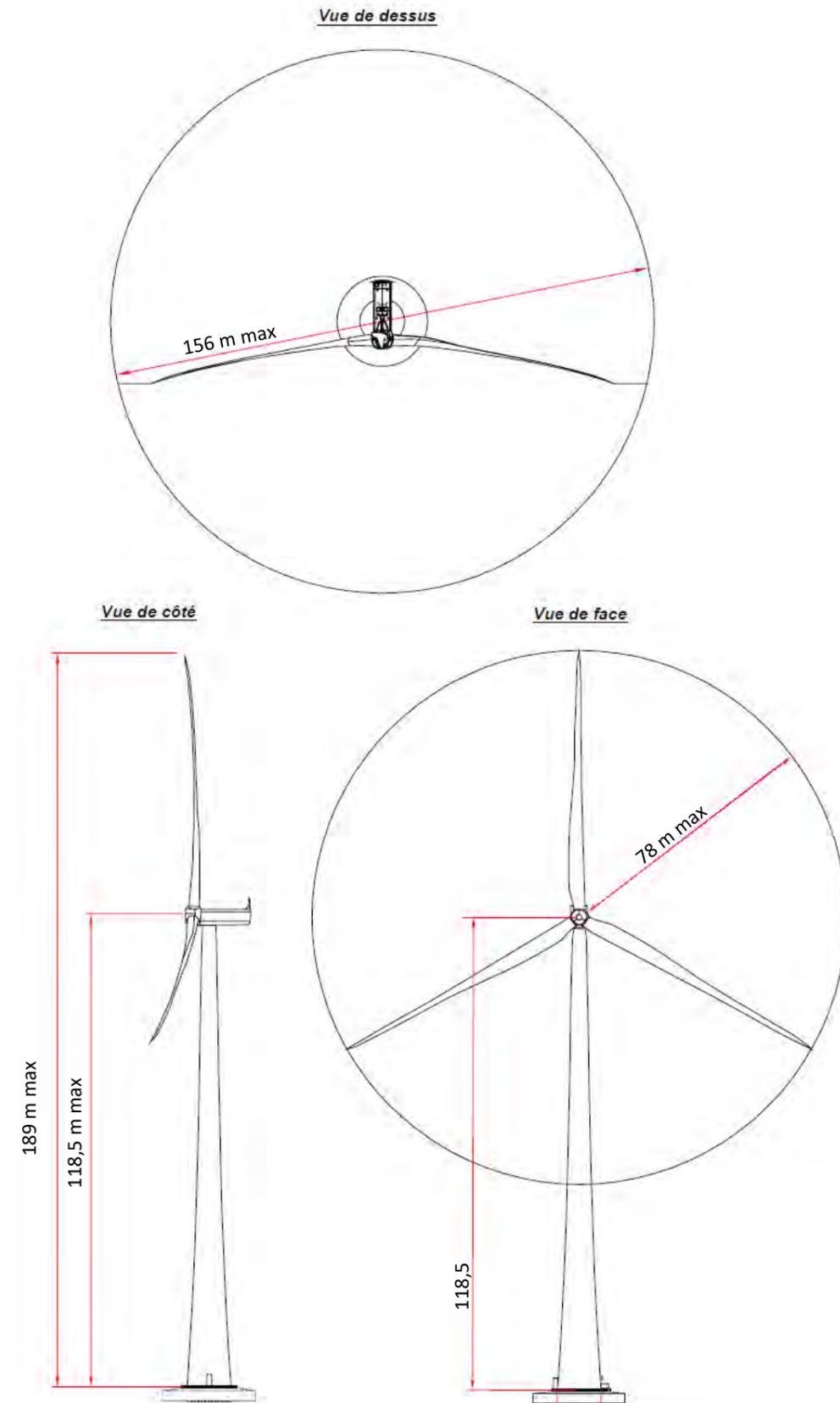


Figure 7 : Les dimensions maximales de l'éolienne retenue

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs.

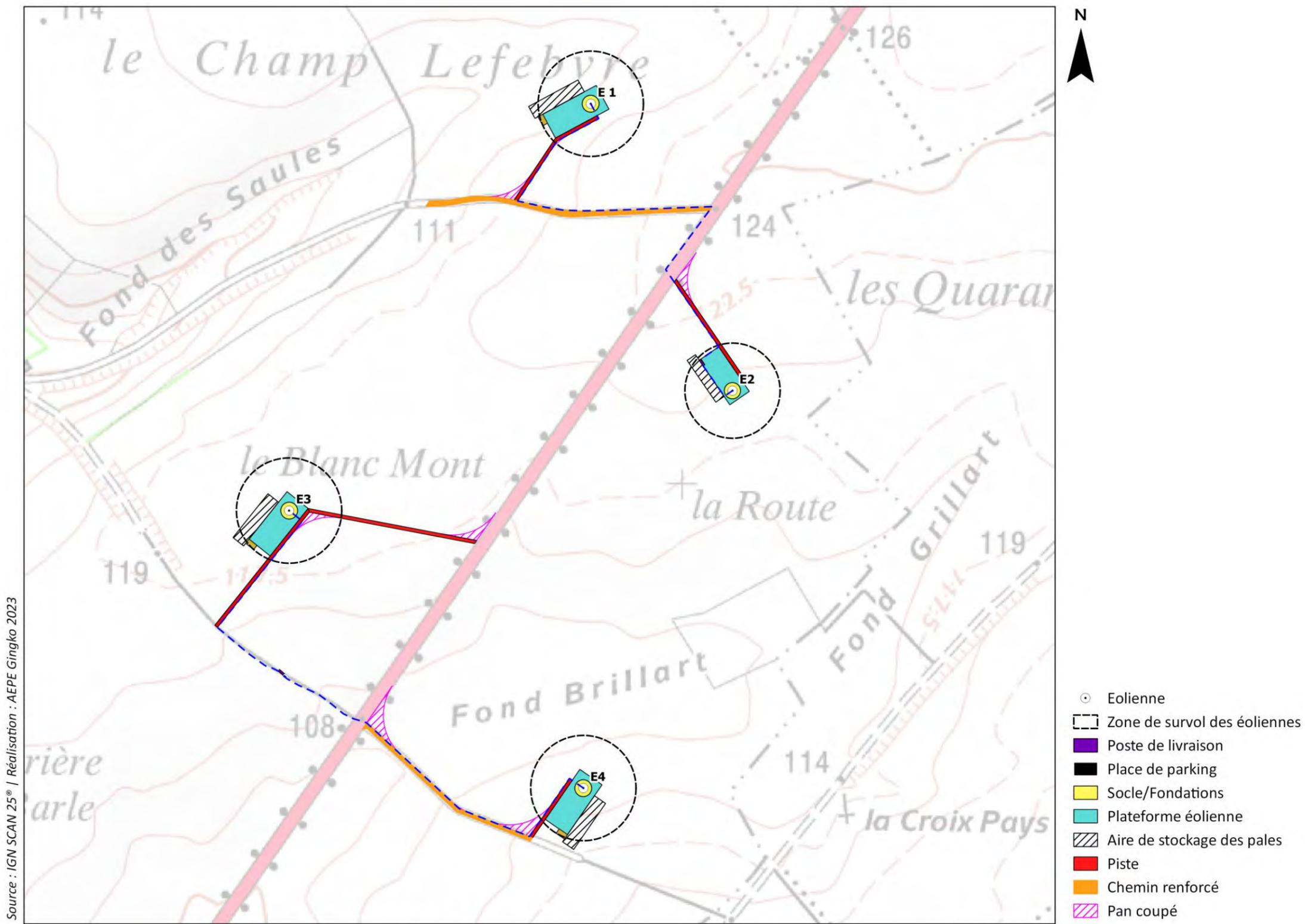
Tableau 14 : Les coordonnées GPS et côtes NGF des éoliennes et des postes de livraison

Éolienne	Coordonnées Projection Lambert 93		Coordonnées WGS84		Côte au sol	Côte maximum des éoliennes
	X	Y	N	E	NGF	NGF
E1	634641	7039413	50°26'55.59"N	2° 4'51.99"E	115 m	304 m
E2	634851	7038989	50°26'41.94"N	2° 5'2.86"E	119 m	308 m
E3	634209	7038784	50°26'35.96"N	2° 4'29.74"E	117 m	306 m
E4	634626	7038403	50°26'22.84"N	2° 4'52.03"E	112 m	301 m
PDL 1	634746	7039121	50°26'46.18"N	2° 4'57.49"E	122 m	125 m
PDL 2	634752	7039129	50°26'46.44"N	2° 4'57.77"E	122 m	125 m

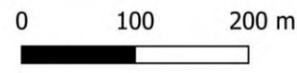
Les éoliennes seront accompagnées des aménagements décrits dans le tableau suivant.

Tableau 15 : Les dimensions envisagées des aménagements du parc éolien

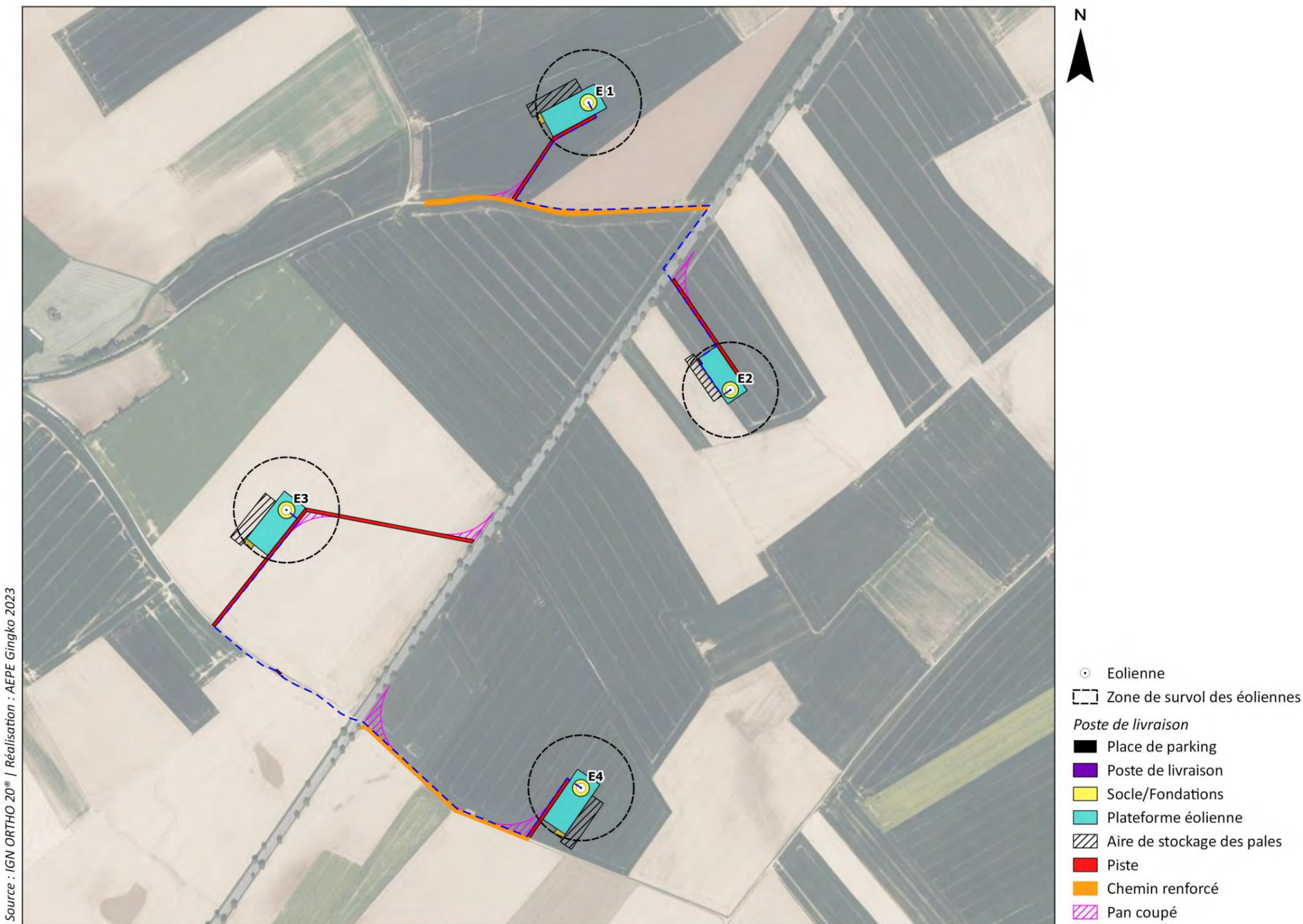
Aménagements	Dimensions envisagées
Fondation des éoliennes	La dimension et le procédé utilisé pour le coulage des fondations seront précisés à la suite d'étude géotechnique intervenant en amont de la construction des éoliennes
Plateforme des éoliennes	Surface plane de 3 600 m ² maximum par éolienne (soit 13 600 m ² au total) réalisée en empierrement ou par la mise en œuvre d'un traitement de sol à la chaux
Postes de livraison	Surface de 60 m ² maximum
Chemins d'accès	Largeur utile de la chaussée de 4,5 m à 6 m. 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



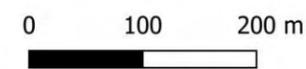
Le plan d'implantation des éoliennes et des aménagements
Scan 25



Carte 13 : Le plan d'implantation des éoliennes et des aménagements - Scan 25



Le plan d'implantation des éoliennes et des aménagements sur photographie aérienne



Carte 14 : Le plan d'implantation des éoliennes et des aménagements – Photographie aérienne

IV.2. LE FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

IV.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. Les éoliennes sont dépourvues de multiplicateur et la génératrice est entraînée directement par l'arbre « lent » lié au rotor. Cet entraînement direct permet de limiter la quantité d'huile utilisée, les pannes, ainsi que les maintenances.

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 sur une heure 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

IV.2.1.1. LE MÂT

Le choix du mât s'est porté sur une hauteur maximale de 118,5 m maximum. Il est constitué d'acier et positionné sur une fondation qui sera adaptée aux conditions de sol du site.

La couche de peinture ou la protection contre les intempéries et la corrosion sont appliquées sur les mâts en usine, de sorte que, après le montage, les seuls travaux nécessaires dans ce domaine sont la correction des éventuels dommages occasionnés lors du transport.

IV.2.1.2. LE ROTOR

Le rotor de l'éolienne est équipé de trois pales en polyester renforcé de fibres de verre, qui jouent un rôle important dans le rendement de l'éolienne et dans son comportement sonore.

À l'extérieur, les pales du rotor sont protégées des intempéries par un revêtement de surface. Ce revêtement à base de polyuréthane est robuste et très résistant à l'abrasion, aux facteurs chimiques et aux rayons du soleil.

Les pales de l'éolienne sont conçues pour fonctionner à angle et à vitesse variables. Le réglage d'angle individuel de chaque pale du rotor est assuré par trois systèmes indépendants et commandés par microprocesseurs. L'angle de chaque pale est surveillé en continu par une mesure d'angle des pales, et les trois angles sont synchronisés entre eux. Ce principe permet d'ajuster rapidement et avec précision l'angle des pales aux conditions du vent (ce qui limite la vitesse du rotor et la force engendrée par le vent). La puissance fournie par l'éolienne est ainsi limitée exactement à la puissance nominale, même pour des courtes durées.

L'inclinaison des pales du rotor en position dite de drapeau stoppe le rotor sans que l'arbre d'entraînement ne subisse les effets occasionnés par un frein mécanique.

IV.2.1.3. LA NACELLE

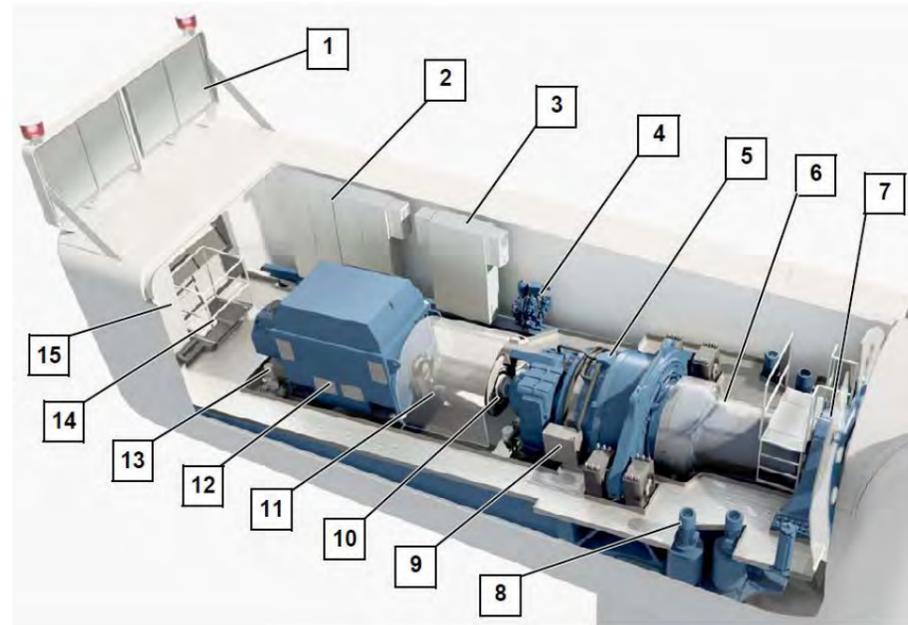
L'éolienne possède un dispositif de mesure mixte installé sur le dessus de la nacelle, composé :

- d'une girouette, qui relève la direction du vent ;
- d'un anémomètre, qui mesure la vitesse ;
- d'un paratonnerre.

Le palier d'orientation de la nacelle, muni d'une couronne, est monté directement sur la connexion supérieure de la tour. Il permet la rotation de l'éolienne et ainsi de l'orienter face au vent. Les moteurs équipés de roues dentées (« moteurs d'orientation » ou moteurs de « Yaw ») s'engagent dans la couronne pour faire tourner la nacelle et l'orienter en fonction du vent.

Le poids de la nacelle est absorbé par le mât, par l'intermédiaire du palier d'orientation. Le support principal est fixé directement sur le palier d'orientation.

La commande d'orientation de l'éolienne commence à fonctionner même lorsque la vitesse du vent est faible. Même à l'arrêt, en raison, par exemple, d'une trop grande vitesse du vent, l'éolienne est tournée face au vent. Le processus d'orientation est déterminé par le décompte des rotations du moteur d'inclinaison. Si le système de commande détecte des anomalies dans la commande d'orientation ou le vrillage des câbles, il déclenche une procédure d'arrêt.



- | | |
|---|--|
| 1. Echangeur thermique | 9. Refroidissement à huile du multiplicateur |
| 2. Armoire électrique 2 | 10. Frein Rotor |
| 3. Armoire électrique 1 | 11. Accouplement |
| 4. Groupe hydraulique | 12. Génératrice |
| 5. Multiplicateur | 13. Pompe pour refroidissement à eau |
| 6. Arbre Rotor | 14. Trappe Grue Intérieure |
| 7. Roulement du Rotor | 15. Armoire électrique 3 |
| 8. Entraînement Système d'Orientation Nacelle | |

Figure 8 : Dessin schématique d'une nacelle (Source : NORDEX)

IV.2.1.4. LE GENERATEUR (DANS LA NACELLE)

La nacelle est le cœur de l'éolienne. Sous l'habillage aérodynamique, elle contient :

- Une plateforme de travail et de montage,
- Un générateur,
- Un moyeu.

Le générateur annulaire de l'éolienne est directement entraîné par le rotor (donc par les pales du rotor).

La partie rotative du générateur annulaire et le rotor forment une unité. Ces pièces sont fixées directement sur le moyeu, de sorte qu'elles tournent à la même vitesse de rotation (vitesse lente). Grâce à l'absence de boîte de vitesse et d'autres pièces à grande vitesse de rotation, les pertes d'énergie entre le rotor et le générateur, les bruits émis, la consommation d'huile à engrenages et l'usure mécanique se trouvent considérablement réduits.

En raison de la faible vitesse de rotation et de la grande section transversale du générateur, le niveau de température reste relativement bas en service et ne subit que de faibles variations. De faibles fluctuations de température pendant le fonctionnement et des variations de charges relativement rares réduisent les tensions mécaniques et le

vieillesse des matériaux. L'énergie produite par le générateur est acheminée dans le réseau de l'exploitant par un système de connexion au réseau.

Ce concept de raccordement au réseau par le biais d'un transformateur permet d'exploiter le rotor de l'éolienne à une vitesse de rotation variable. Le rotor tourne lentement en présence de vents lents, et à grande vitesse si les vents sont forts. Cela assure un flux optimal de l'air sur les pales du rotor. La vitesse variable réduit aussi les sollicitations produites par des rafales de vent.

IV.2.1.5. L'UNITE D'ALIMENTATION AU RESEAU

L'énergie produite par les éoliennes est redirigée vers un poste de livraison qui est le nœud de raccordement de toutes les éoliennes avant que l'électricité ne soit injectée dans le réseau public. Le câblage des éoliennes jusqu'au poste de livraison correspond au réseau électrique interne. Il se fera en souterrain en longeant les routes à proximité ou en plein champs conformément au plan d'implantation. Les tranchées nécessaires seront de 1 m de profondeur. En parallèle avec la pose des câbles, il sera mis en place un réseau de fibre optique afin de permettre la surveillance et le contrôle du parc éolien.

IV.2.1.6. LA CERTIFICATION DES EOLIENNES

Les éoliennes sont conçues, fabriquées, installées et certifiées selon les exigences de la norme IEC 61400. Elles répondent aux exigences de l'arrêté ministériel du 26 août 2011 relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées relatives à la sécurité de l'installation, modifié par l'arrêté du 10 décembre 2021.

IV.2.1.7. LES MODES DE FONCTIONNEMENT

LE FONCTIONNEMENT NORMAL

Dès que la phase de démarrage de l'éolienne est terminée, l'éolienne est en fonctionnement normal. Les conditions de vent sont relevées en permanence pendant ce temps. La vitesse de rotation, le débit de puissance et l'angle des pales sont constamment adaptés aux changements du régime des vents, la position de la nacelle est ajustée en fonction de la direction du vent et l'état de tous les capteurs est enregistré. La puissance électrique est contrôlée par l'excitation du générateur. Au-dessus de la vitesse nominale du vent, la vitesse de rotation est également maintenue à une valeur nominale par le réglage de l'angle des pales.

En cas de températures extérieures et de vitesses de vent élevées, le système de refroidissement se met en route.

LE FONCTIONNEMENT EN CHARGE PARTIELLE

En fonctionnement en charge partielle, la vitesse et la puissance sont adaptées en permanence aux changements du régime des vents. Dans la plage supérieure de charge partielle, l'angle des pales du rotor est modifié de quelques degrés pour éviter une distorsion de l'écoulement (effet de décrochage).

Le régime de rotation et la puissance augmentent au fur et à mesure de l'augmentation de la vitesse du vent.

LE FONCTIONNEMENT DE REGULATION

Au-dessus de la vitesse nominale du vent, la vitesse de rotation est maintenue à peu près à sa valeur nominale grâce au réglage de l'angle des pales, et la puissance prélevée dans le vent est limitée (mode de commande automatique).

Le changement requis de l'angle des pales est déterminé après analyse du régime de rotation et de l'accélération, puis transmis à l'entraînement d'inclinaison des pales. La puissance conserve ainsi sa valeur nominale.

LE MODE DE FONCTIONNEMENT AU RALENTI / A VIDE

Si l'éolienne est arrêtée (par exemple en raison de l'absence de vent ou à la suite d'un dérangement), les pales se mettent généralement dans une position de 60° par rapport à leur position opérationnelle. L'éolienne tourne alors à faible vitesse. Si la vitesse de ralenti est dépassée (environ 3 tr/mn), les pales de rotor s'inclinent pour se mettre en position drapeau. Ces conditions portent le nom de « fonctionnement au ralenti ». Le fonctionnement au ralenti réduit les charges et permet à l'éolienne de redémarrer dans de brefs délais. Un message d'état indique la raison pour laquelle l'éolienne a été arrêtée, passant donc en fonctionnement au ralenti.

IV.2.1.8. L'ARRET DE L'EOLIENNE

L'éolienne peut être arrêtée manuellement (interrupteur Marche/Arrêt) ou en actionnant le bouton d'arrêt d'urgence. Le système de commande arrête l'éolienne en cas de dérangement, ou encore si les conditions de vent sont défavorables.

L'ARRET AUTOMATIQUE

En mode automatique, les éoliennes sont freinées de façon aérodynamique par la seule inclinaison des pales. Les pales du rotor inclinées réduisent les forces aérodynamiques, freinant ainsi ce dernier. Les dispositifs d'inclinaison des pales (Pitch) peuvent décrocher les pales du vent en l'espace de quelques secondes seulement en les mettant en position drapeau.

L'éolienne s'arrête si la vitesse du vent est de 34 m/s avec une valeur moyenne de 10 minutes. Si nécessaire, ces limites peuvent être modifiées dans le système de contrôle de l'éolienne. Pour des raisons de protection de l'éolienne l'augmentation des vitesses de coupure est cependant limitée assez rigoureusement. L'éolienne redémarre dès que les conditions correspondantes aux 10 minutes (réglage standard) ne sont plus détectées. Si nécessaire, il est possible d'adapter cette période dans le système de contrôle de l'éolienne.

L'éolienne s'arrête également automatiquement en cas de défaillance, et lors de certains événements. Certaines défaillances entraînent une coupure rapide par les alimentations de secours des pales, d'autres pannes conduisent à un arrêt normal de l'éolienne.

Selon le type de défaillance, l'éolienne peut redémarrer automatiquement. Dans tous les cas, les convertisseurs sont découplés galvaniquement du réseau pendant la procédure d'arrêt.

Lorsqu'un capteur de sécurité signale un défaut ou qu'un interrupteur correspondant se déclenche, l'éolienne est immédiatement stoppée. Les armoires de commande des pales dissocient chaque moteur de réglage des pales. Ces armoires permettent également de commuter les contacteurs présents dans chaque boîtier du rotor via des armoires de condensateurs. Les pales se mettent alors en drapeau indépendamment les unes des autres.

Lors d'un freinage d'urgence du rotor, en cas d'incendie par exemple, un frein rotor électromécanique est utilisé en plus. Un arrêt du rotor depuis sa puissance nominale s'effectue en 10 à 15 secondes.

L'ARRET MANUEL

L'éolienne peut être arrêtée à l'aide de l'interrupteur Marche/Arrêt (armoire de commande). Le système de commande tourne alors les pales du rotor pour les décrocher du vent et l'éolienne ralentit puis s'arrête. Le frein d'arrêt n'est pas activé et la commande des yaw (moteur d'orientation) reste active. L'éolienne peut donc continuer à s'adapter avec précision au vent.

L'ARRET MANUEL D'URGENCE

Si nécessaire, l'éolienne peut être stoppée immédiatement, en appuyant sur le bouton d'arrêt d'urgence (armoire de commande). Ce bouton déclenche un freinage d'urgence sur le rotor, avec une inclinaison rapide par l'intermédiaire des unités de réglage des pales et de freinage d'urgence. Le frein d'arrêt électro-mécanique est actionné simultanément. L'alimentation électrique de tous les composants reste assurée.

Une fois l'urgence passée, le bouton d'arrêt d'urgence doit être réarmé pour permettre le redémarrage de l'éolienne. Si l'interrupteur principal de l'armoire de commande est mis en position d'arrêt, tous les composants de l'éolienne, à l'exception de l'éclairage du mât et de l'armoire électrique, ainsi que les différents interrupteurs d'éclairage et les connecteurs mobiles, sont déconnectés. L'éolienne déclenche l'inclinaison rapide des pales par l'intermédiaire des dispositifs d'inclinaison d'urgence. Le frein d'arrêt mécanique n'est pas activé lorsque l'interrupteur principal est actionné.

L'ABSENCE DE VENT

Si l'éolienne est en service, mais que l'absence de vent fait trop ralentir le rotor, l'éolienne passe en mode de fonctionnement au ralenti (fonctionnement à vide) par l'inclinaison lente des pales du rotor dans une direction de 60°.

L'éolienne reprend automatiquement son fonctionnement une fois que la vitesse de vent de démarrage est de nouveau atteinte.

Grâce à ce déplacement lent, les paliers du rotor sont moins sollicités que lors d'une immobilisation prolongée, et une reprise de la production et de l'injection de courant est plus rapide lorsque le vent devient plus fort.

IV.2.2. LA SECURITE DE L'INSTALLATION

IV.2.2.1. LA CONFORMITE AUX PRESCRIPTIONS DE L'ARRETE MINISTERIEL

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 ICPE ou 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 lui 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.

IV.2.2.2. LA GESTION A DISTANCE DU FONCTIONNEMENT DES EOLIENNES

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

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

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

De plus, les éoliennes sont équipées d'un système de contrôle à distance des données. La supervision peut s'effectuer à distance depuis un PC équipé d'un navigateur Internet et d'une connexion ADSL ou RNIS. Le logiciel de supervision (SCADA – Supervising Control And Data Acquisition) prévu sera propre au constructeur des éoliennes

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

IV.2.2.3. LES METHODES ET MOYENS D'INTERVENTION

Suite à l'obtention de l'autorisation environnementale, l'exploitant du parc prendra contact avec les services de secours afin de présenter le parc éolien pour que celui-ci soit connu et localisé par les services de secours concernés. En cas de sinistre, les pompiers seront prévenus le plus rapidement possible par le personnel qui supervise les éoliennes à distance, le personnel du site ou les riverains directement par le 18. L'appel arrivera au Centre de Traitement des Appels (CTA), qui est capable de mettre en œuvre les moyens nécessaires en relation avec l'importance du sinistre. Cet appel sera ensuite répercuté sur le Centre de Secours disponible et le plus adapté au type du sinistre.

Une voie d'accès donne aux services d'interventions un accès facilité au site du parc éolien. Les moyens d'intervention une fois l'incident ou accident survenu sont des moyens de récupération des fragments : grues, engins, camions. En cas d'incendie avancé, les sapeurs-pompiers se concentreront sur le barrage de l'accès au foyer d'incendie. Une zone de sécurité avec un rayon de 500 m autour de l'éolienne devra être respectée.

Par mesure de sécurité, l'exploitant du parc éolien ferme à clef la porte d'entrée de l'éolienne lors de toute intervention du personnel. Afin de réduire le temps d'intervention des services de secours, il sera mis en place un système d'entrée pour chaque éolienne :

- Mettre les clés à disposition grâce à un système de plusieurs boîtes à clés ;
- Ou fournir un double de clés passe partout au centre de secours le plus proche.

IV.2.3. LES OPERATIONS DE MAINTENANCE DE L'INSTALLATION

Quel que soit le constructeur choisi, un programme de maintenance sera mis en place. Ce programme de maintenance s'étale sur quatre niveaux :

- type 1 : vérification après 500 à 1500 heures de fonctionnement (contrôle visuel du mât, des fixations fondation/tour, tour/nacelle, rotor...et test du système de déclenchement de la mise en sécurité de l'éolienne) ;
- type 2 : vérification semestrielle des équipements mécaniques et hydrauliques ;
- type 3 : vérification annuelle des matériaux (soudures, corrosions), des équipements mécaniques et hydrauliques, de l'électrotechnique et des éléments de raccordement électrique ;
- type 4 : vérification quinquennale de forte ampleur pouvant inclure le remplacement de pièces.

Lors de la maintenance, tous les composants et fonctions relatifs à la sécurité sont contrôlés comme par exemple le réglage des pales, le système de contrôle d'orientation (yaw), les systèmes de sécurité, le système de protection parafoudre, les points d'attache et l'échelle.

Chacune des interventions sur les éoliennes ou leurs périphériques fait l'objet de l'arrêt du rotor pendant toute la durée des opérations. L'exploitation est gérée par la société Velocita Energies qui possèdent des équipes réparties sur l'ensemble du territoire national. Des techniciens de maintenance internes travaillent avec les équipes de maintenance des constructeurs d'éoliennes pour assurer le suivi et l'entretien des parcs.

IV.2.3.1. 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.

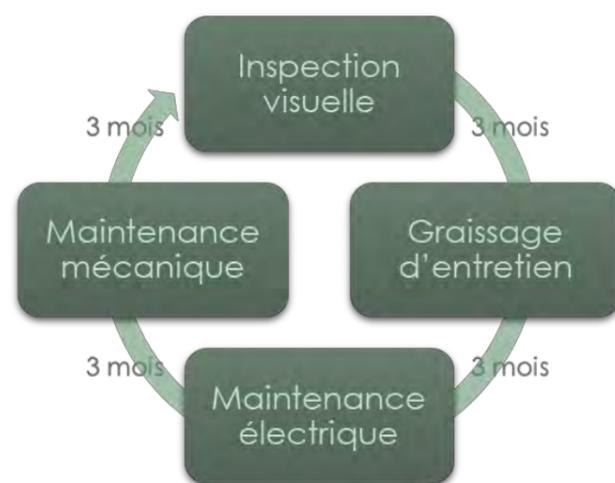


Figure 9 : Planning type de maintenance préventive

IV.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 éolien du Fond de Barle.

IV.2.5. LE FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE L'INSTALLATION

IV.2.5.1. LES SPECIFICITES 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 du Fond de Barle 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.

IV.2.5.2. LE RACCORDEMENT ELECTRIQUE

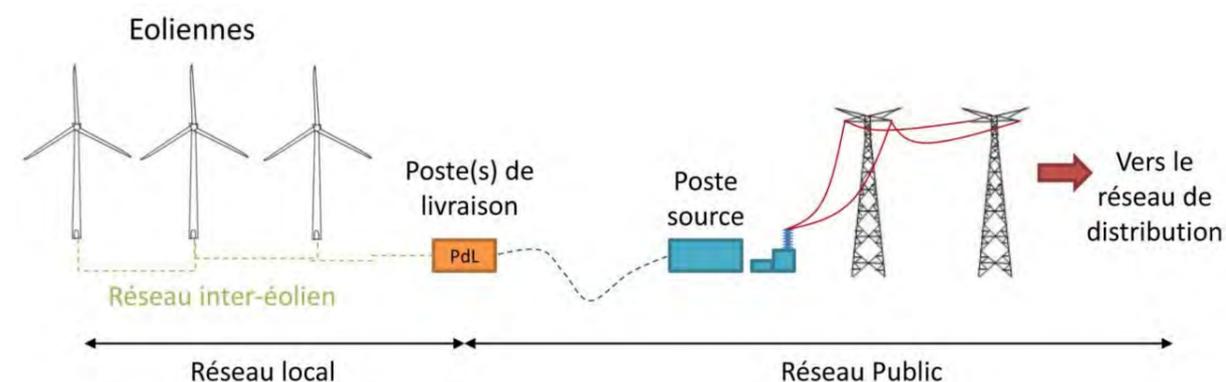


Figure 10 : Schéma de raccordement électrique d'un parc éolien

LE RESEAU INTER-EOLIEN

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur, intégré dans le mât de chaque éolienne, au point de raccordement avec le réseau public. Ce réseau comporte également une liaison de télécommunication qui relie chaque éolienne au terminal de télésurveillance. Ces câbles constituent le réseau interne de la centrale éolienne.

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 240 mm² et seront enfouis à environ 1,00 m - 1,20 m de profondeur.

Le linéaire de câbles pour le projet de Fressin est d'environ 2 879 m maximum.

IV.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).

Les postes de livraison seront situés sur les parcelles cadastrales OB 155 et OB 230 de la commune de Fressin.

IV.2.5.4. LE RESEAU ELECTRIQUE 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.

V. 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.

V.1. LES POTENTIELS DE DANGERS LIES 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 d'émission atmosphérique, ni d'effluent potentiellement dangereux pour l'environnement.

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

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

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

Tableau 16 : Substances liquides en présence dans les éoliennes

Lieu de lubrification	Désignation	Lubrifiant	Quantité	Classe de matière dangereuse
Système de refroidissement /Génératrice, /Convertisseur	Varidos FSK 45	Liquide de refroidissement	env. 70 L	Xn
Roulements de la génératrice	Klüberplex BEM 41-132	Graisse	env. 9,4 kg	-
Multiplicateurs, circuits de refroidissement inclus	Mobilgear XMP 320	Huile minérale Huile synthétique	450 L	-
	Pour CCV : Optigear Synthetic / A320Optigear Synthetic X320Mobilgear SHC XMP 320		Ou 550 L ou 650 L	
Système Hydraulique	Shell Tellus S4 VX 32	Huile minérale	env. 25 L	-
Pallier de rotor	Mobil SHC Graisse 460 WT	Graisse	env. 30 kg	-
Roulement d'orientation de pale /Voie de roulement	Mobil SHC Graisse 460 WT	Graisse	3 x 4,9 kg	-
Engrenage	Ceplattyn BL gleitmo 585 K pour CCV	Graisse Graisse	env. 0,5 kg	-
Engrenage (orientation de pale)	Mobil SHC 629	Huile synthétique	3 x 11 L	-
Engrenage de système d'orientation	Mobil SHC 629	Huile synthétique	3/4 x 21 L	-
Roulements de système d'orientation /Voie de roulement	Mobil SHC Graisse 460 WT	Graisse	3,8 kg	-
/ Engrenage	Ceplattyn BL gleitmo 585 K pour CCV	Graisse Graisse	env. 0,5 kg	-
Transformateur	-	-	-	-

Les risques associés aux différents produits concernant le site du parc éolien du Fond de Barle 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 à la suite d'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.

V.2. LES POTENTIELS DE DANGERS LIES AUX DECHETS

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. D'après l'Annexe II de l'article R541-8 du code de l'environnement, plusieurs types de déchets seront produits pendant l'exploitation du parc éolien :

Tableau 17 : Déchets produits lors de l'exploitation

Type de déchet	Nature	Quantité estimée	Caractère polluant
Huiles des transformateurs	Récupération des fuites dans un bac de rétention	-	Quasi nulle
Huiles d'éoliennes	Huile de vidange tous les 3 ans	Pas de boîte de vitesse à vidanger (modèle à entraînement direct), mais présence d'huiles en faible quantité	Fort
Liquide de refroidissement	Eau glycolée	-	Faible
DEEE	Déchets électroniques et électriques	Selon les pannes	Fort
Pièces métalliques	Métaux	Selon les avaries	Nul
DIB	Ordures ménagères	Très réduit	Nul
Déchets verts	Coupe de haie ou d'arbre	0 mètres linéaires	Nul

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.

V.3. LES POTENTIELS DE DANGERS LIES AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien du Fond de Barle 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 18 : 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

V.4. LA REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS A LA SOURCE

Les produits dangereux présents dans l'éolienne ne peuvent pas être supprimés car ils sont nécessaires au bon fonctionnement du procédé (lubrification). Cependant, les éoliennes envisagées dans le cadre du projet de Fressin sont conçues sans multiplicateur ce qui permet une réduction significative des quantités de substances dangereuses pour l'environnement par rapport à des éoliennes traditionnelles.

V.4.1. LES PRINCIPALES ACTIONS PREVENTIVES

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 à moins de 500 mètres ;
- Les éoliennes sont éloignées des routes à forte circulation ;
- Les éoliennes retenues sont en dehors des servitudes de l'aviation civile ;
- Les éoliennes retenues respectent les recommandations de l'armée de l'air ;
- Les éoliennes du projet ont été dimensionnées afin de prendre en considération l'ensemble des risques liés à l'installation et son environnement.

V.4.2. LE CONTRAT DE MAINTENANCE DES ÉOLIENNES

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

Ce contrat sera d'une durée relativement longue, pouvant aller jusqu'à 20 ans, pour permettre au maître d'ouvrage de bénéficier de toute l'expertise et l'expérience du fabricant d'éoliennes pendant la durée d'exploitation des installations.

De par leur développement sur l'ensemble du territoire français, les fabricants d'éoliennes envisagés sont en mesure de proposer un service de maintenance complet, qui couvre la maintenance programmée et non-programmée, les travaux de réparation ou de remplacement des composants défectueux, la disponibilité des consommables et des pièces de rechange.

Ce type de contrat prend effet dès la mise en exploitation des installations et présente pour le maître d'ouvrage les avantages suivants :

- Maîtrise des coûts et donc des charges d'exploitation (tous les coûts de maintenance et de réparation sont définis et éventuellement inclus dans des forfaits annuels par éolienne ou par MWh d'électricité produite),
- Garantie de disponibilité technique. Le fabricant s'engage sur une disponibilité technique de plus de 96%, et le versement de pénalités si cet objectif n'est pas atteint.

Le contrat de maintenance des éoliennes qui sera conclu intégrera le programme de maintenance des éoliennes défini par le fabricant pour préserver les performances des éoliennes pendant toute la durée d'exploitation convenue.

Ce programme, notamment basé sur la norme DIN 31051, regroupe toutes les interventions dites de maintenance préventive, exécutées à des intervalles prédéterminés ou selon des critères prescrits et destinées à réduire la probabilité de défaillance ou la dégradation du fonctionnement de l'installation.

Parmi ces interventions sont inclus :

- Les vérifications et l'entretien du système de contrôle à distance,
- Les vérifications des brides et boulons de fixation des tours tubulaires,
- Les vérifications de tous les systèmes et capteurs de sécurité de fonctionnement,
- Les vérifications de tous les systèmes de freinage et de mise à l'arrêt normal ou en urgence,
- Les vérifications de tous les systèmes de surveillance de la transmission de puissance,
- Les vérifications de tous les systèmes d'orientation et de calage du pas des pales,
- Les vérifications, analyse d'échantillon et vidange des huiles des systèmes hydrauliques,
- Les vérifications du système de balisage lumineux réglementaire,
- Les vérifications des moyens de protection électrique,
- Les vérifications des moyens de protection contre la foudre,
- Les vérifications des moyens de protection contre l'incendie,

- Les vérifications des moyens de protection contre les intrusions.

Pour ce faire et dans le cadre des dispositions législatives et réglementaires relatives à la sécurité et à la sûreté, les équipes de maintenance qualifiées du fabricant des éoliennes :

- Disposeront d'un accès 24h/24 et 7j/7 au système de contrôle à distance des éoliennes,
- Disposeront d'un accès 24h/24 et 7j/7 aux installations,
- Assureront l'organisation et la gestion d'un dispositif d'astreinte technique 24h/24 et 7j/7,
- Transmettront régulièrement au Maître d'Ouvrage un rapport détaillé d'activités.

Le personnel de maintenance susceptible d'intervenir sur les éoliennes satisfera à des exigences d'aptitude et de formation adaptées et rappelées dans un plan général de coordination en matière de sécurité et de protection de la santé :

- Aptitude médicale aux travaux en hauteur (certificat en cours de validité),
- Formation aux travaux en hauteur,
- Formation à l'utilisation des EPI adaptés aux installations,
- Formation aux premiers secours,
- Formation à la sécurité électrique et habilitation adaptée,
- Formation à l'utilisateur d'extincteur.

De plus le personnel des sociétés de maintenance comme celui d'exploitation en charge du pilotage des machines à distance satisfera à des exigences d'aptitude et de formation adaptées liées à la gestion des risques accidentels.

V.4.3. LA RÉDUCTION DES DANGERS LIÉS AUX PRODUITS

Les principaux produits présents dans une éolienne sont des lubrifiants. La quantité est estimée à plusieurs dizaines de litres par éolienne et selon le modèle d'éolienne. Les lubrifiants doivent être contrôlés et partiellement renouvelés tous les 6 mois à 5 ans selon le type.

Les quantités de produits ne peuvent être diminuées et les produits lubrifiants en eux-mêmes ne peuvent faire l'objet de substitution (considérés comme non dangereux pour l'environnement si utilisés comme recommandés et combustibles mais non inflammables).

Les produits de nettoyage de type solvant, classés comme dangereux pour l'environnement peuvent quant à eux potentiellement faire l'objet de substitution. Il convient de rappeler cependant que ces produits ne sont utilisés que de manière ponctuelle et ne sont pas présents sur le site.

À noter que la nacelle fait office de bac de récupération en cas de fuite au niveau de la couronne d'orientation. Le transformateur, présent dans le pied de l'éolienne ne nécessite pas de bac de récupération car un système sec est utilisé, il ne nécessite donc l'usage d'aucun lubrifiant.

La réduction des dangers liés aux produits dépend donc essentiellement de la bonne maintenance des appareils et du respect des règles de sécurité. Une attention particulière devra également être portée au transport des lubrifiants sur le site lors des phases de renouvellement.

V.4.4. 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.

VI. L'ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE

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

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

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

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.

- Base de données ARIA du Ministère de la Transition écologique (<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.

Ainsi, depuis 2000, 200 accidents impliquant une éolienne sont recensés. À noter que depuis 2020, les chocs entre un oiseau ou une chauve-souris et une éolienne sont également pris en compte. Sans cette catégorie d'accident, le nombre d'accidents est réduit à 143.

Une analyse de l'accidentologie éolienne a été réalisée entre 2000 et 2019 par l'association France Energie Eolienne (FEE). Sur cette période, environ 90 accidents ont pu être recensés. Ce chiffre est à mettre en rapport avec les 8 000 éoliennes environ installées en France à la même date.

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 mai 2020. 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 présentées :

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

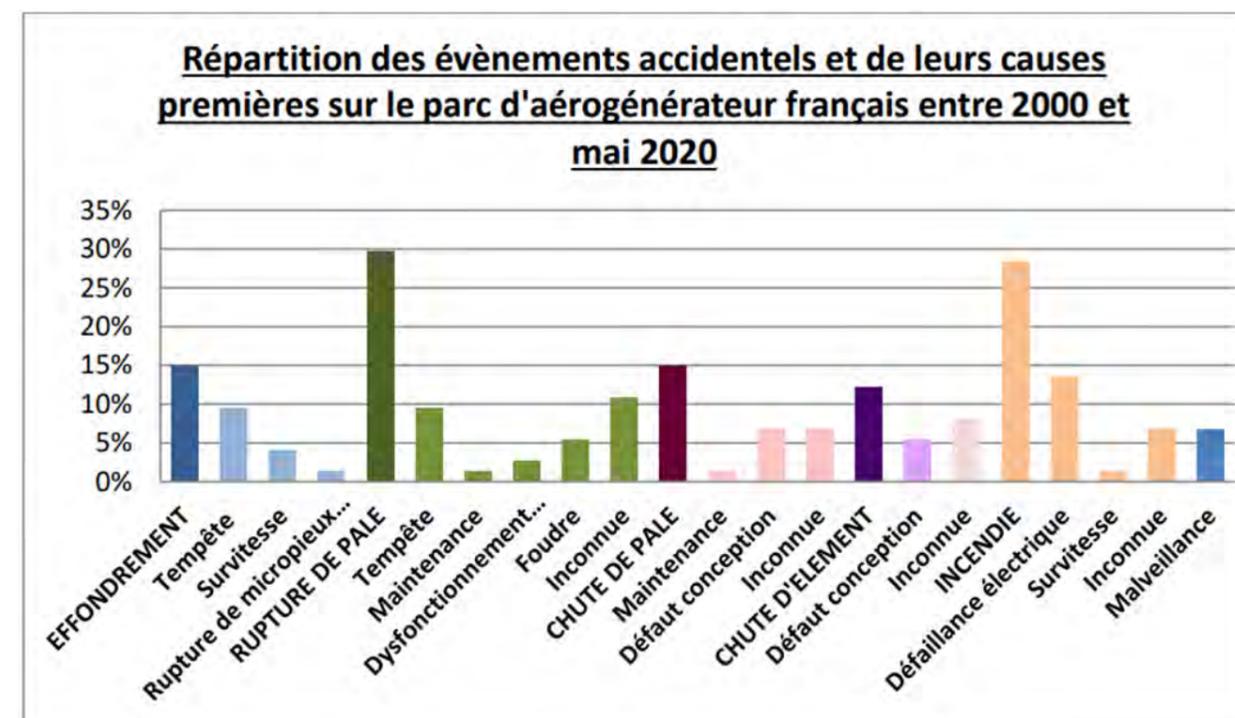


Figure 11 : Les causes premières des accidents d'aérogénérateurs en France (Source : FEE)

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.

En prenant désormais les données entre 2020 et 2022, les accidents les plus fréquents sont les fuites d'huiles (27% des cas), puis les incendies (18% des cas) et les ruptures de pale (16% des cas).

VI.2. L'INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS A L'INTERNATIONAL

VI.2.1. PERIODE 2000-2010

Un premier inventaire des incidents et accidents à l'international a été réalisé dans le cadre de la réalisation du guide technique « Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens » de mai 2012. Il se base sur le retour d'expérience de la filière éolienne fin 2010 et une synthèse provenant de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur les 994 accidents décrits dans la base de données au moment de sa consultation, seuls 236 sont considérés comme des « accidents majeurs ». Les autres concernant plutôt des accidents du travail, des presque-accidents, des incidents, etc. Ils n'ont par conséquent pas été pris en compte.

Selon cette analyse, le phénomène de rupture de pale est le plus fréquent en représentant près de 40 % des accidents.

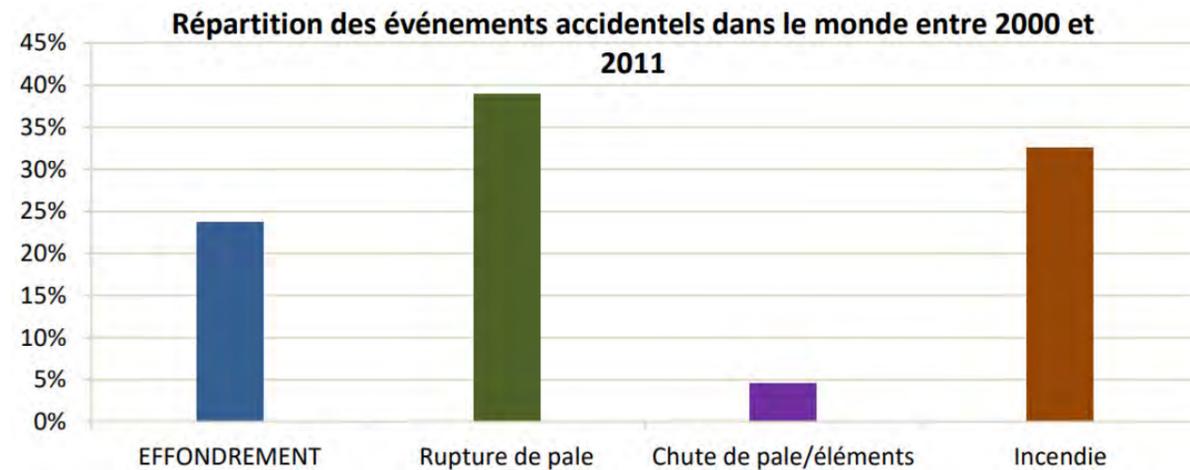


Figure 12 : Les principaux événements accidentels d'aérogénérateurs dans le monde entre 2000 et 2011

Les graphiques qui suivent présentent, quant à eux, les causes premières pour chacun des événements accidentels recensés (données en répartition par rapport à la totalité des accidents analysés). Tout comme pour le retour d'expérience français, ce retour d'expérience montre l'importance des causes « tempêtes et vents forts » dans les accidents et souligne également le rôle de la foudre.

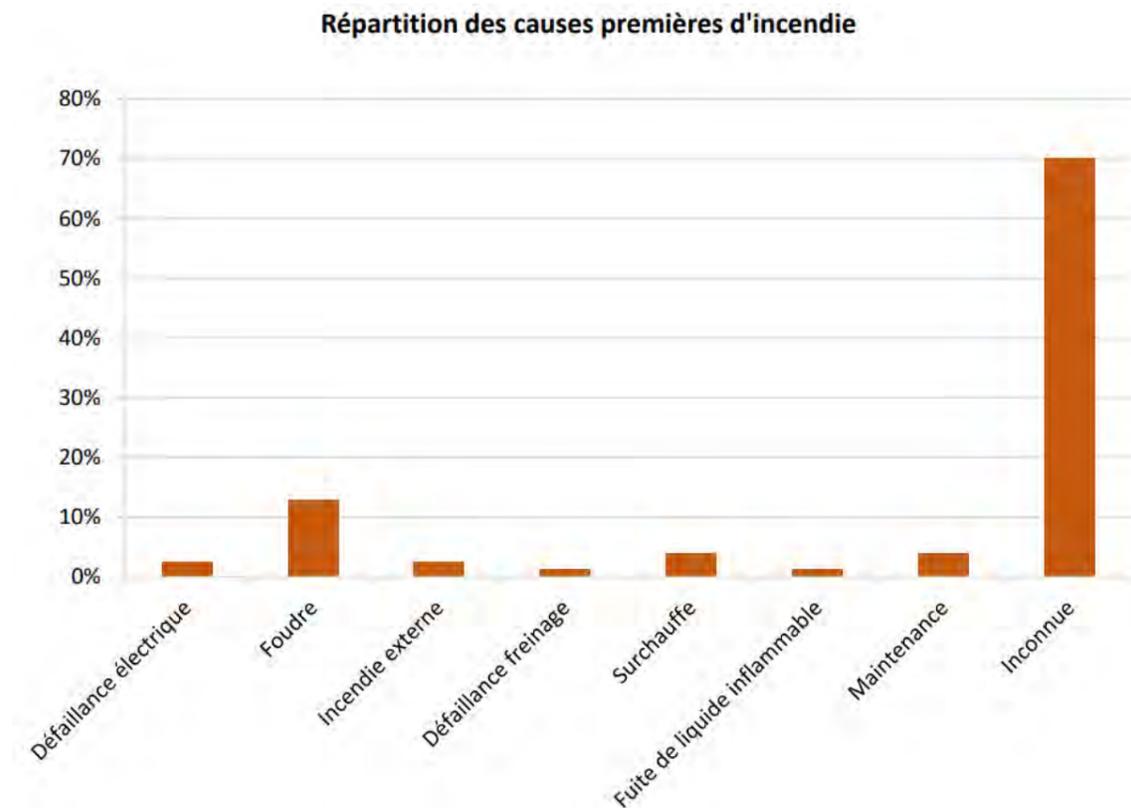
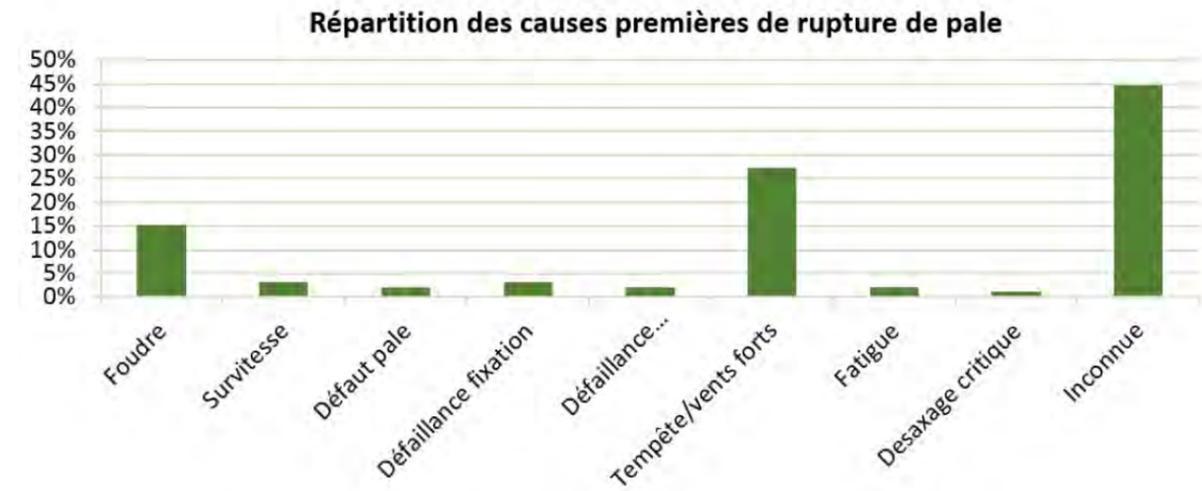
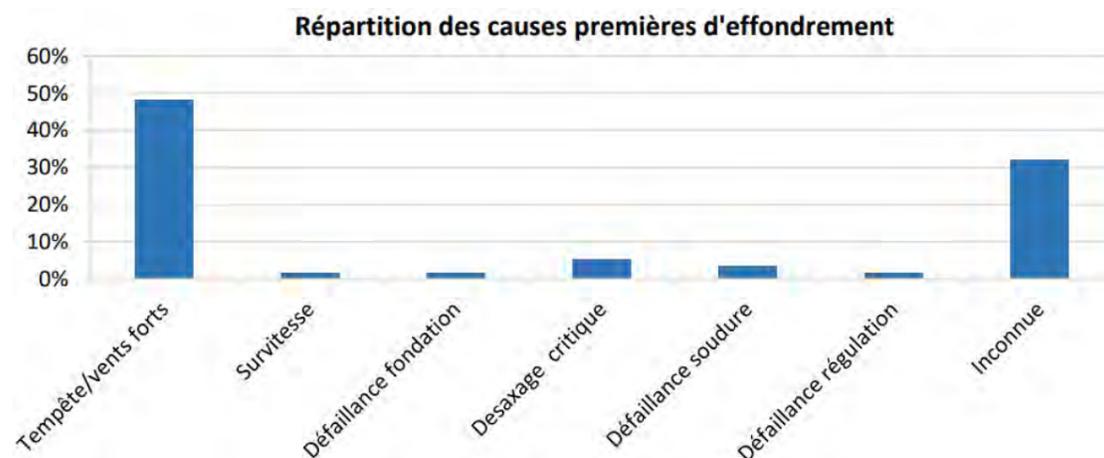


Figure 13 : Les causes premières des accidents d'aérogénérateurs dans le monde

VI.2.2. PERIODE 2012-2020

Un second inventaire des incidents et accidents à l'international a été réalisé par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF) pour la période 2012-2020.

En premier lieu, nous pouvons constater que malgré l'augmentation du parc éolien mondial, le nombre d'accident reste globalement stable, aux environs de 60 par an.

Ensuite, ce second inventaire démontre à nouveau la prédominance des phénomènes de rupture de pale et d'incendie, respectivement 42% et 38% des accidents. En revanche, le phénomène d'effondrement ne représente désormais plus que 18 % des accidents, contre 24% sur la période précédente.

Enfin, le phénomène de chute de glace est désormais pris en compte et représente entre 2 et 3% des accidents dans le monde.

Les causes premières de ces événements sont à nouveau les tempêtes/vents forts et, dans une moindre mesure, la foudre.

Recensement des événements accidentels dans le monde entre 2012 et 2020

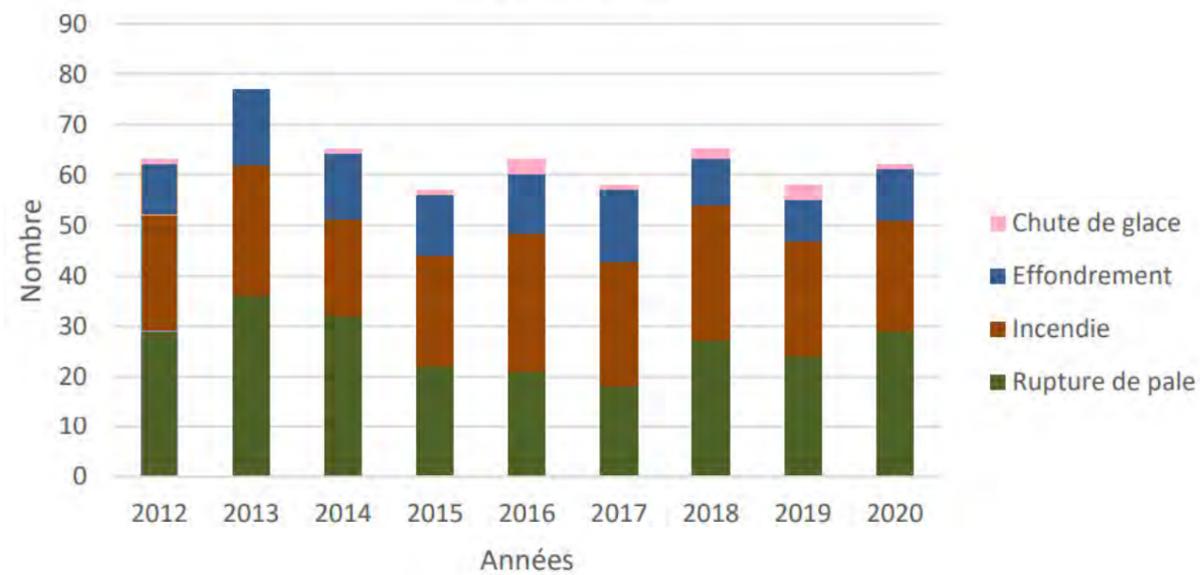


Figure 14 : Recensement des événements accidentels dans le monde entre 2012 et 2020 (Source : CWIF)

Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2012 et 2020

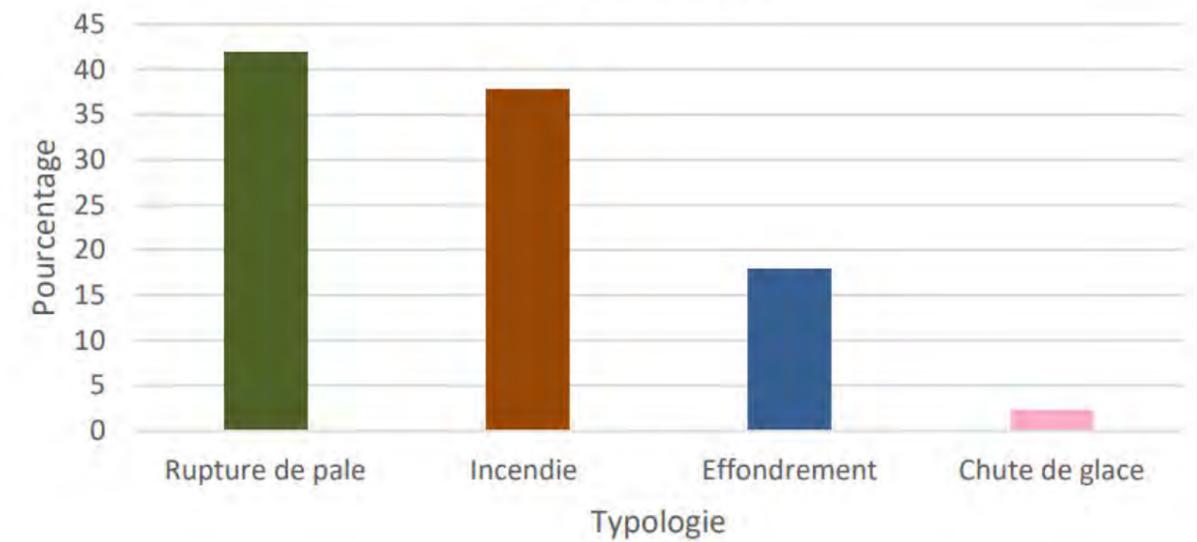


Figure 15 : Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2012 et 2020 (Source : CWIF)

VI.3. LA SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTÉS ISSUS DU RETOUR D'EXPERIENCE

VI.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, 141 incidents ou accidents sont survenus en France entre 2002 et fin 2022, soit une moyenne de 6,7 accidents par an (hors choc entre un oiseau ou une chauve-souris et une éolienne).

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).

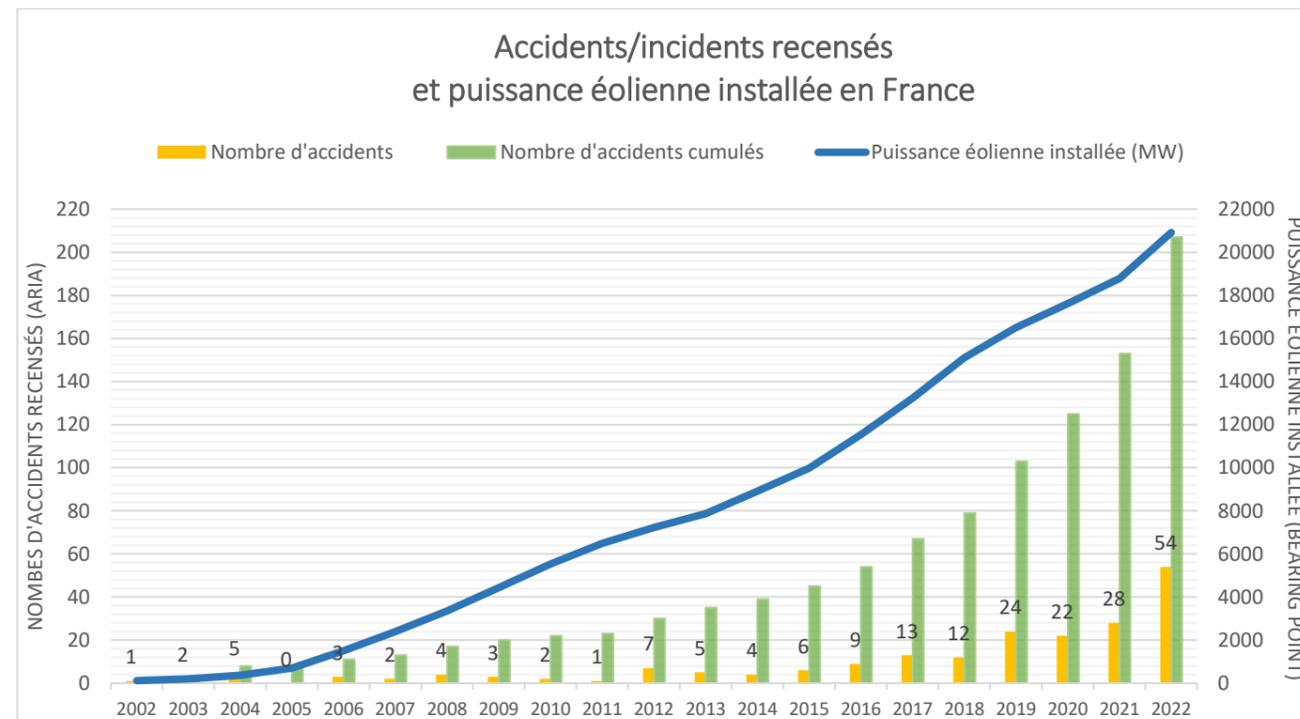


Figure 16 : Le nombre d'accidents éoliens recensés par la base ARIA entre 2002 et 2022 en France (Source : ARIA)

VI.3.2. L'ANALYSE DES TYPOLOGIES D'ACCIDENTS LES PLUS FREQUENTS

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.

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

D'après la base de données Aria, 35 incidents ou accidents se sont déroulés sur les parcs éoliens en région Hauts-de-France entre 2007 et 2023 (hors chocs sur les oiseaux ou les chiroptères). 5 accidents sont à signaler dans le département du Pas-de-Calais (cyberattaque d'un satellite en 2022, Endommagement d'une nacelle d'éolienne lors d'une tempête en 2020, Chute d'une pale d'éolienne en 2017 Bris d'une pale d'éolienne par une tempête en 2012, Chute d'une partie d'une éolienne en 2004).

VI.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.

VII. L'ANALYSE PRELIMINAIRE 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.

VII.1. L'OBJECTIF DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE 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'accidents 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.

VII.2. LE RECENSEMENT DES EVENEMENTS 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 entraîner 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.

VII.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.

VII.3.1. LES AGRESSIONS EXTERNES LIEES AUX ACTIVITES HUMAINES

Le tableau ci-après 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 19 : Les agressions externes liées aux activités humaines

Infrastructure	Fonction	Événement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Observations	E1	E2	E3	E4
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	C*		NC*	C
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			
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	Absence de lignes THT.	Non concerné			
Autres aérogénérateurs	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Énergie cinétique des éléments projetés	500 m	Absence d'aérogénérateurs dans le périmètre de 500 m	Non concerné			

*C : Concerné (liaisons locales) ; NC : Non concerné

Une agression externe liée à la présence de voies de circulation dans le périmètre de 200 m est donc recensée. Il convient de noter que ces voies sont des axes non structurants (liaisons locales).

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.

VII.3.2. LES AGRESSIONS EXTERNES LIEES AUX PHENOMENES NATURELS

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

Tableau 20 : 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 5,5 à 6 m/s pour une hauteur de 40 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.

VII.4. LES SCENARIOS ETUDIES DANS L'ANALYSE GNERIQUE 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 ;
- 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 21 : Les scénarios génériques d'accidents possibles

(Source : Guide technique – Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens – 2012)

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

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

VII.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.

VII.6. LA MISE EN PLACE DES MESURES DE SECURITE

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 22 : 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 de glace ou givre sur les pales de l'aérogénérateur par déduction (analyse des paramètres de puissance). Temps de redémarrage automatique échelonné en fonction de la température extérieure.		
Description	Deux sondes mesurent la température de l'air en nacelle et en pied du mât, afin de détecter si les conditions sont propices à la formation de givre. La présence de glace ou de givre modifie les caractéristiques aérodynamiques de la pale entraînant une dégradation de la courbe de puissance. Lorsque la température est inférieure à 2°C la courbe de puissance à l'instant t est comparée à la courbe de puissance de l'éolienne en condition normale. Une plage de tolérance est définie et les points en dehors de la plage de tolérance sont comptabilisés. A partir d'un certain nombre (donnée paramétrable) de points enregistrés hors de la plage de tolérance, l'éolienne s'arrête automatiquement.		
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 10 décembre 2021		
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 du logiciel.		

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, en pied de machine, informant de la possible formation de glace (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 10 décembre 2021).		
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	En cas de température anormalement haute, une alarme est émise par le système SCADA au centre de contrôle. Si la température dépasse un seuil haut, l'éolienne est mise à l'arrêt et ne peut être relancée qu'après intervention d'un technicien en nacelle, qui procédera à une identification des causes et à des opérations techniques le cas échéant.		
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 10 décembre 2021. 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. Le système coupe l'alimentation électrique des pitchs. Les condensateurs électriques du système de sécurité des pitchs se déchargent alors, activant la mise en drapeau des pales. L'éolienne s'arrête en 10 à 15 secondes.		
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 10 décembre 2021.		
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. Un test de survitesse est également effectué lors de la mise en service de l'installation.		
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 10 décembre 2021 (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. Les systèmes électriques sont équipés de disjoncteurs à tous les niveaux.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	De l'ordre de la seconde		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	La vérification des organes de coupure est comprise dans la maintenance électrique annuelle. 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 10 décembre 2021.		

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	<p>Système de protection foudre de l'éolienne dimensionné pour prévenir toute dégradation des pales de l'éolienne conformément à la norme IEC 61400-24.</p> <p>Pour la protection parafoudre extérieure, la pointe de la pale est en aluminium moulé, et un profilé conducteur est relié par un anneau en aluminium à la base de la pale. Un coup de foudre est absorbé en toute sécurité par ces profilés et le courant de foudre est dévié vers la terre entourant la base de l'éolienne.</p> <p>Pour la protection interne de la machine, les composants principaux tels que l'armoire de contrôle et la génératrice sont protégés par des parasurtenseurs. Toutes les autres platines possédant leur propre alimentation sont équipées de filtres à hautes absorptions. Aussi, la partie télécommunication est protégée par des parasurtenseurs de ligne et une protection galvanique. Enfin, une liaison en fibre optique entre les machines permet une insensibilité à ces surtensions atmosphériques ou du réseau.</p> <p>De même, l'anémomètre est protégé et entouré d'un arceau.</p>		
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 10 décembre 2021.		

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	<p>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</p> <p>Système de détection incendie relié à une alarme transmise à un poste de contrôle</p> <p>Intervention des services de secours</p>		
Description	<p>La technologie sans boîte de vitesse permet de réduire le risque d'échauffement provoqué par frottement mécanique. En effet la génératrice tourne environ à 20 tours par minute, alors que les génératrices entraînées par une boîte de vitesse tournent à environ 1 500 tours par minute.</p> <p>De nombreux capteurs de températures sont présents à proximité de tous les composants critiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nacelle - Génératrice - Palier du moyeu - Mât - Armoires électriques - Transformateurs - Ventilateurs et éléments chauffants - Extérieur de la machine <p>Des seuils d'acceptabilité de niveau de températures sont prédéfinis dans le système de contrôle de l'éolienne pour chacun des capteurs.</p> <p>Des capteurs optiques de fumée sont placés en pied de mât et dans la nacelle. Leur déclenchement conduit 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 ainsi qu'à l'exploitant par SMS, qui se charge de contacter les services d'urgence compétents.</p> <p>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)</p>		
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	Les capteurs optiques de fumée sont testés annuellement (détection volontaire).		
Maintenance	<p>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 10 décembre 2021.</p> <p>Le matériel incendie (type extincteurs) est contrôlé périodiquement par le fabricant du matériel ou un organisme extérieur.</p> <p>Maintenance curative à la suite d'une défaillance du matériel.</p>		

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 qualités 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	<p>- 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 un an après leur mise en service industrielle, puis suivant une périodicité qui ne peut excéder trois ans,</p> <p>- L'exploitant tient à jour la liste de ces équipements de sécurité, précisant leurs fonctionnalités, leurs fréquences de tests et les opérations de maintenance destinées à garantir leur efficacité dans le temps.</p> <p>Conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011, (modifié par l'arrêté du 10 décembre 2021).</p>		

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	<p>Il existe des manuels de maintenance spécifiques à chaque modèle d'éolienne.</p> <p>Tout personnel amené à intervenir dans les éoliennes est formé et habilité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Electriquement, selon son niveau de connaissance ; - Aux travaux en hauteur, port des EPI, évacuation et sauvetage ; - Sauveteur Secouriste du Travail. <p>Ces habilitations sont recyclées périodiquement suivant la réglementation ou les recommandations en vigueur.</p> <p>Des contrôles des connaissances sont réalisés afin de vérifier la validité de ces habilitations.</p> <p>Des points mensuels concernant la sécurité et les procédures sont effectués avec l'ensemble du personnel de maintenance. Une présentation du fonctionnement de la sécurité est réalisée auprès des nouveaux embauchés.</p>		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	<p>Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents.</p> <p>Détection et prévention des vents forts et tempêtes</p> <p>Déclenchement du mode tempête = diminution de la prise au vent progressive des pales et arrêt automatique au-delà d'une certaine vitesse de vent.</p>		
Description	<p>Procédure « site vérification » : une étude de vent est menée sur un an afin de vérifier l'adéquation effective des machines. En cas de doute sur l'adéquation des aérogénérateurs, le site est modélisé et une étude de charge est effectuée.</p> <p>Le mode tempête s'enclenche au-delà d'une certaine vitesse de vent, permettant à l'éolienne de continuer à produire mais à puissance réduite. L'éolienne s'arrête complètement au-delà d'un autre seuil de vitesse de vent (Cf chapitre 4.2.1).</p>		
Indépendance	<p>Oui</p> <p>Ces systèmes s'appuient sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. Ces données sont cependant analysées par l'automate de sécurité embarqué sur chaque éolienne, dont le rôle est dédié à la sécurité de l'installation.</p>		
Temps de réponse	< 1 min		
Efficacité	<p>100 %.</p> <p>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. Si le site est trop turbulent ou les machines trop rapprochées entre elles, il est possible de mettre en place des arrêts sectoriels pour limiter l'impact de la turbulence sur les machines.</p>		
Tests	Procédure de « Site Verification » (contrôle de l'adéquation par rapport à des mesures de fonctionnement)		
Maintenance	Les paramètres d'entrée en cas d'arrêt sectoriel sont régulièrement mis à jour et contrôlés lors des modifications d'hardware ou de software. L'usure de l'éolienne est contrôlée à chaque 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 10 décembre 2021.

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.

VII.7. LA CONCLUSION DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE 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.

Tableau 23 : Les catégories de scénarios exclus

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 10 décembre 2021 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.

VIII. 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.

VIII.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.

VIII.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.

VIII.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.

VIII.1.3. LA GRAVITE

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 24 : 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),
- 0,4 personne permanente par km exposé par tranche de 100 véhicules/jour pour le réseau structurant.

VIII.1.4. LA PROBABILITE

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 25 : 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 à la suite de la présence d'un véhicule ou d'une personne au point d'impact (probabilité d'atteinte). En effet, l'arrêté du 29 septembre 2005 impose une évaluation des probabilités de départ uniquement.

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

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

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

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

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

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

VIII.2. LA CARACTERISATION DES SCENARIOS RETENUS

Dans l'ensemble de l'étude de dangers, les valeurs utilisées pour les calculs des zones d'effet sont basées sur les dimensions maximales de hauteur en bout de pale et de diamètre du rotor des éoliennes afin d'évaluer le risque maximal.

Tableau 26: Caractéristiques maximales des éoliennes étudiées

Élément	Mesure
Hauteur Totale (HT)	189 m
Hauteur du Moyeu (HM)	111 m
Diamètre du rotor (D)	156 m
Demi-rotor (D/2)	78 m
Longueur de pale (R)	76,4 m
Largeur de Base de la pale (LB)	3,8 m
Largeur de base du mât (L)	4,5 m
Largeur liaisons locales et chemins d'exploitation	4,5 m
Largeur réseau structurant (RD928)	10 m

VIII.2.1. L'EFFONDREMENT D'UNE EOLIENNE

VIII.2.1.1. LA ZONE D'EFFET DE L'EFFONDREMENT D'UNE EOLIENNE

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 189 m dans le cas des éoliennes du parc éolien du Fond de Barle.

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.

VIII.2.1.2. L'INTENSITE DE L'EFFONDREMENT D'UNE EOLIENNE

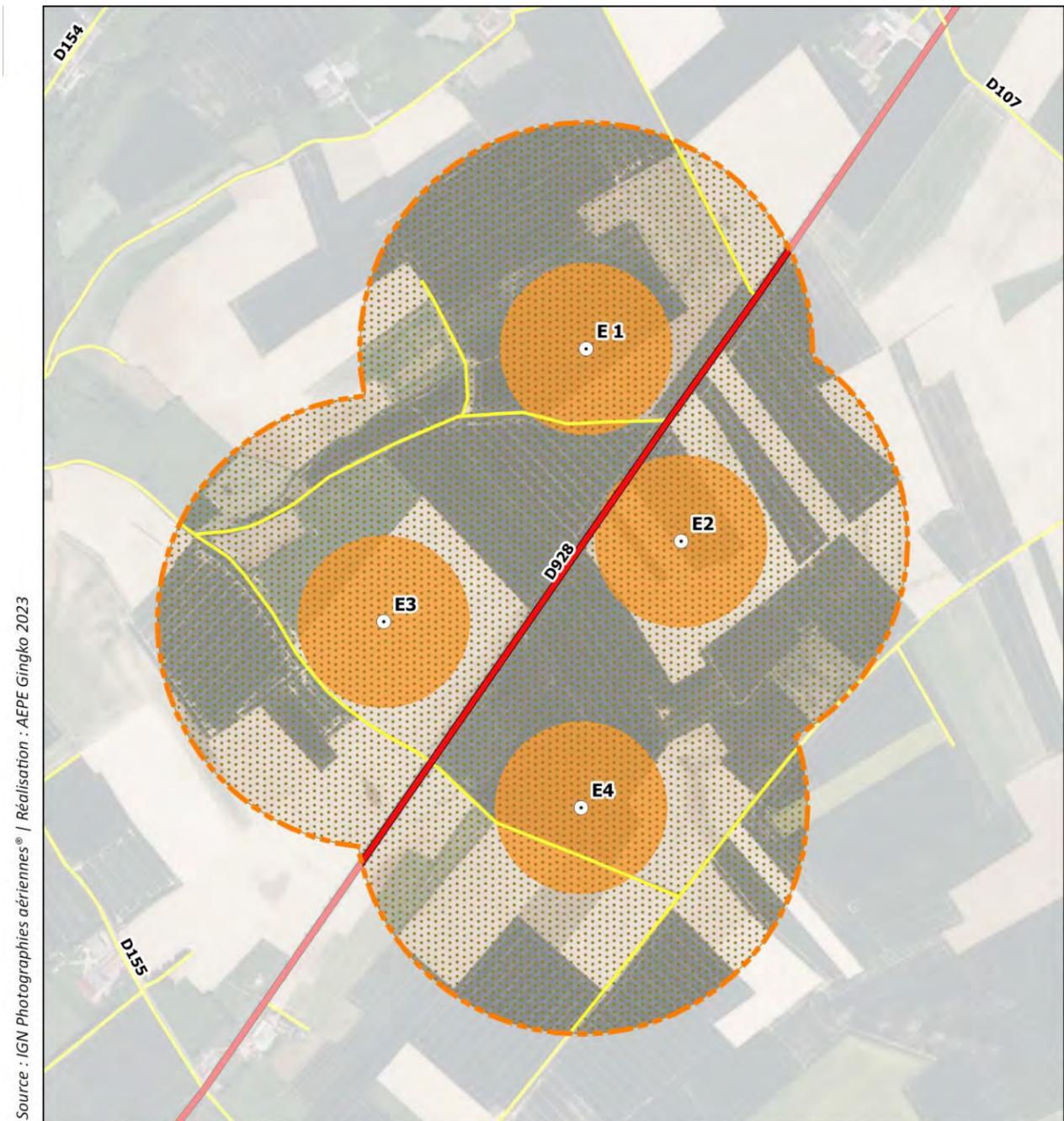
Pour le phénomène d'effondrement de l'éolienne, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface totale balayée par le rotor et la surface du mât non balayée par le rotor, d'une part, et la superficie de la zone d'effet du phénomène, d'autre part.

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne dans le cas du parc éolien du Fond de Barle. R est la longueur du demi-rotor (R= 78 m), H la hauteur du mât (H= 111 m), la largeur de la base du mât (L = 4,5 m), la largeur de la base de la pale (LB = 3,8 m).

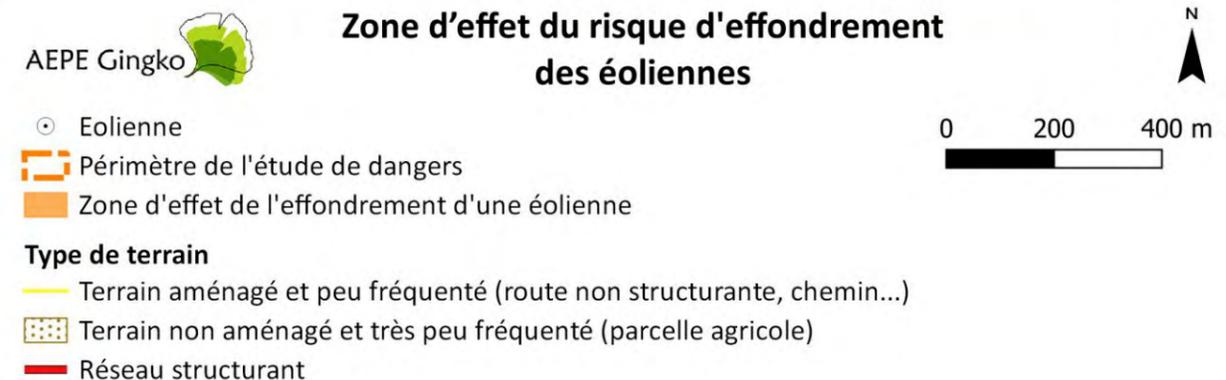
Tableau 27 : L'évaluation de l'intensité pour le risque d'effondrement des éoliennes

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à 189 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 944 m ²	$Z_e = \pi \times (H + R)^2$ soit 112 221 m ²	$D = Z_i / Z_e$ Soit 0,8%	Exposition modérée

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



Source : IGN Photographies aériennes® | Réalisation : AEPE Gingko 2023



Carte 15 : Zone d'effet du risque d'effondrement des éoliennes

VIII.2.1.3. LA GRAVITE 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 de projection, dans la zone de 500 m autour de l'éolienne.

Pour les terrains **aménagés mais peu fréquentés** (axes non structurant et chemins agricoles), la superficie concernée par le risque d'effondrement est le suivant :

- De 1 017 m² pour l'éolienne E1, soit 0,102 ha ;
- De 0 m² pour l'éolienne E2 ;
- De 0 m² pour l'éolienne E3 ;
- De 1 440 m² pour l'éolienne E4, soit environ 0,144 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 faible, entre 0,010 et 0,014 personne estimée selon l'éolienne.

Pour le **réseau structurant**, le calcul doit prendre en compte 0,4 personne permanente par km exposé par tranche de 100 véhicules/jour. Ici le trafic moyen journalier de la RD928 mesuré par la DREAL Haut de France est de 3 177 véhicules par jour. Les linéaires de route structurante mesurés pour chaque éolienne du projet et l'équivalent en nombre de personnes sont les suivants :

- Absence de réseau structurant pour l'éolienne E1 ;
- 140 m pour l'éolienne E2, soit 2 équivalent personnes permanentes
- Absence de réseau structurant pour l'éolienne E3 ;
- Absence de réseau structurant pour l'éolienne E4.

Pour les terrains **non aménagés et très peu fréquentés** (parcelles agricoles), la zone d'effet est comprise entre 11,08 ha et 11,22 ha par éolienne :

- 111 204 m² pour l'éolienne E1, soit environ 11,12 ha ;
- 111 421 m² pour l'éolienne E2, soit environ 11,14 ha ;
- 112 221 m² pour l'éolienne E3, soit environ 11,22 ha ;
- 110 781 m² pour l'éolienne E4, soit environ 11,08 ha

Ce chiffre est à mettre en relation avec l'estimation d'une personne pour 100 ha. La fréquentation par éolienne est donc estimée entre 0,111 et 0,112 personnes :

- 0,111 équivalent personnes permanentes pour E1 ;
- 0,111 équivalent personnes permanentes pour E2 ;
- 0,112 équivalent personnes permanentes pour E3 ;
- 0,111 équivalent personnes permanentes pour E4.

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

Tableau 28 : Nombre de personnes concernées par la zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne

Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)						
Éolienne	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	Terrains aménagés mais peu fréquentés	Voies automobiles (liaisons locales)	Habitations (Garages, hangars)	Industries / activités	Total
E1	0,111	0,010	0	0	0	0,121
E2	0,111	0	1 (2 eq/pers)	0	0	2,111
E3	0,112	0	0	0	0	0,112
E4	0,111	0,014	0	0	0	0,125

Il est donc possible d'estimer que la présence humaine est « inférieure à une personne » autour des éoliennes E1, E3 et E4 et « inférieure à 10 personnes » pour E2.

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 29 : L'évaluation de la gravité du risque d'effondrement d'une éolienne

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à 189 m)		
Éolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,12	Sérieuse
E2	2,11	Importante
E3	0,11	Sérieuse
E4	0,13	Sérieuse

VIII.2.1.4. LA PROBABILITE DE L'EFFONDREMENT D'UNE EOLIENNE

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

Tableau 30 : Calcul de la probabilité de l'effondrement d'une éolienne

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'expérience¹, 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 sécurité sont notamment :

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

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 10 décembre 2021 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 ».

¹ 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.

VIII.2.1.5. L'ACCEPTABILITE DE L'EFFONDREMENT D'UNE EOLIENNE

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

Tableau 31 : Acceptabilité du risque d'effondrement d'une éolienne

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	Sérieuse	Acceptable
E2	Importante	Acceptable
E3	Sérieuse	Acceptable
E4	Sérieuse	Acceptable

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

VIII.2.2. LA CHUTE DE GLACE

VIII.2.2.1. CONSIDERATIONS GENERALES

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 du Touquet indiquent en moyenne environ 4 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.

VIII.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 du Fond de Barle, la zone d'effet a donc un rayon de 78 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.

VIII.2.2.3. L'INTENSITE DE LA CHUTE DE GLACE

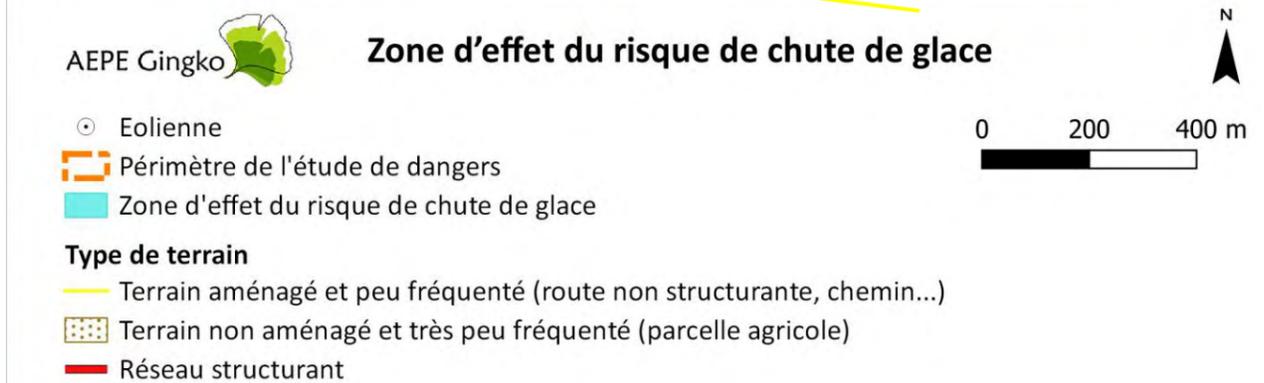
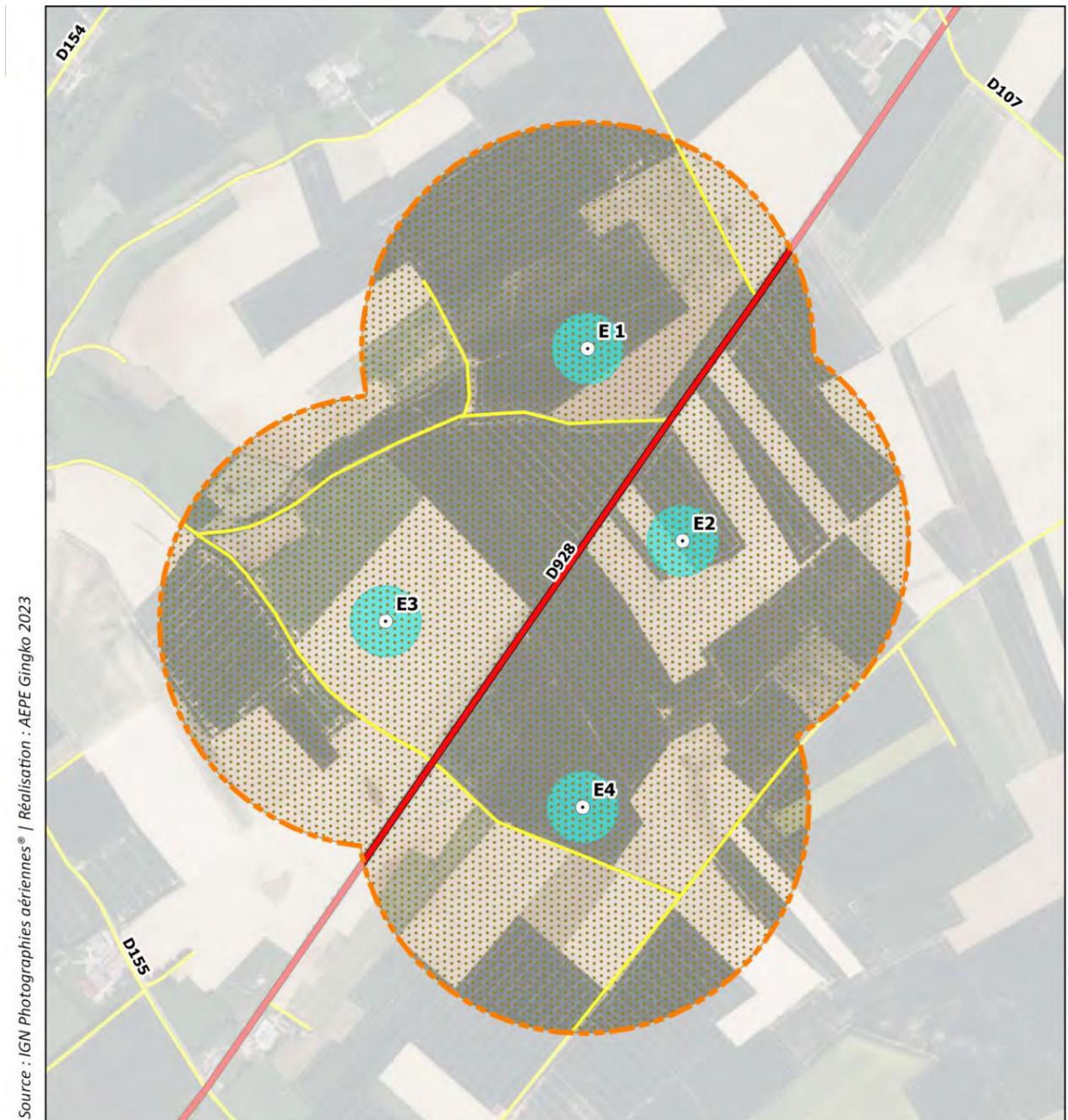
Pour le phénomène de chute de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace et la superficie de la zone d'effet du phénomène (zone de survol).

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace dans le cas du parc éolien du Fond de Barle. Z_I est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, $D/2$ est le demi-rotor ($D/2 = 78\text{ m}$), SG est la surface du morceau de glace majorant ($SG = 1\text{ m}^2$).

Tableau 32 : L'évaluation de l'intensité du risque de chute de glace

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à 78 m)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = SG$ Soit 1 m ²	$Z_E = \pi \times (D/2)^2$ Soit 19 113 m ²	$D = Z_I / Z_E$ Soit 0,005 < 1 %	Exposition modérée

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



Carte 16 : Zone d'effet du risque de chute de glace

VIII.2.2.4. LA GRAVITE 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.

Aucun terrain **aménagé mais peu fréquenté** (axes non structurant et chemins agricoles), ne se situe dans la zone d'effet des éoliennes.

La zone d'effet concerne uniquement des terrains non aménagés et très peu fréquentés pour chacune des éoliennes. Sa superficie est de 19 113 m². Par conséquent, la zone d'effet étant 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.

Tableau 33 : Nombre de personnes concernées par la zone d'effet de chute de glace

Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)						
Éolienne	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	Terrains aménagés mais peu fréquentés	Voies automobiles (liaisons locales)	Habitations (Garages, hangars)	Industries / activités	Total
E1	0,019	0	0	0	0	0,019
E2	0,019	0	0	0	0	0,019
E3	0,019	0	0	0	0	0,019
E4	0,019	0	0	0	0	0,019

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 34 : L'évaluation de la gravité du risque de chute de glace

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à 78 m)		
Éolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,019	Modérée
E2	0,019	Modérée
E3	0,019	Modérée
E4	0,019	Modérée

VIII.2.2.5. LA PROBABILITE 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.

VIII.2.2.6. L'ACCEPTABILITE DE LA CHUTE DE GLACE

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

Tableau 35 : Acceptabilité du risque de chute de glace

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à 78 m)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modérée	Acceptable
E2	Modérée	Acceptable
E3	Modérée	Acceptable
E4	Modérée	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien du Fond de Barle, 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 10 décembre 2021, 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.

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

VIII.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 (78 m).

VIII.2.3.2. L'INTENSITE 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 du Fond de Barle. D est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, $D/2$ le demi-rotor ($D/2 = 78$ m), R la longueur de la pale ($R = 76,4$ m) et LB la largeur de la base de la pale ($LB = 3,8$).

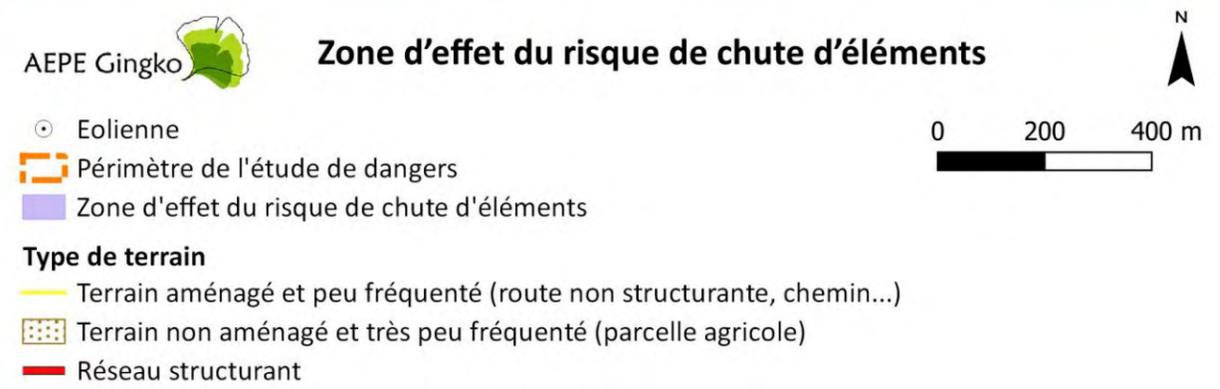
Tableau 36 : L'évaluation de l'intensité du risque de chute d'éléments de l'éolienne

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à 78 m)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = R \times LB / 2$ Soit 148,2 m ²	$Z_E = \pi \times (D/2)^2$ Soit 19 113 m ²	$D = Z_I / Z_E$ Soit 0,78 % < 1 %	Exposition modérée

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



Source : IGN Photographies aériennes® | Réalisation : AEPE Gingko 2023



Carte 17 : Zone d'effet du risque de chute d'éléments

VIII.2.3.3. LA GRAVITE 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'élément, dans la zone de survol de l'éolienne.

Aucun terrain **aménagé mais peu fréquenté** (axes non structurant et chemins agricoles), ne se situe dans la zone d'effet des éoliennes.

La zone d'effet concerne uniquement des terrains non aménagés et très peu fréquentés pour chacune des éoliennes. Sa superficie est de 17 671 m². Par conséquent, la zone d'effet étant 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.

Tableau 37 : Nombre de personnes concernées par la zone d'effet de chute d'éléments de l'éolienne

Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)						
Éolienne	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	Terrains aménagés mais peu fréquentés	Voies automobiles (liaisons locales)	Habitations (Garages, hangars)	Industries / activités	Total
E1	0,019	0	0	0	0	0,019
E2	0,019	0	0	0	0	0,019
E3	0,019	0	0	0	0	0,019
E4	0,019	0	0	0	0	0,019

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 38 : Evaluation de la gravité du risque de chute d'éléments d'une éolienne

Chute d'éléments d'une éolienne (dans un rayon de 78 m)		
Éolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,019	Modérée
E2	0,019	Modérée
E3	0,019	Modérée
E4	0,019	Modérée

VIII.2.3.4. LA PROBABILITE 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 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.

VIII.2.3.5. L'ACCEPTABILITE DE LA CHUTE D'ÉLÉMENTS D'UNE ÉOLIENNE

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

Tableau 39 : Acceptabilité du risque de chute d'éléments d'une éolienne

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à 78 m)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modérée	Acceptable
E2	Modérée	Acceptable
E3	Modérée	Acceptable
E4	Modérée	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien du Fond de Barle, le phénomène de chute d'éléments d'une éolienne constitue un risque acceptable pour les personnes.

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

VIII.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.

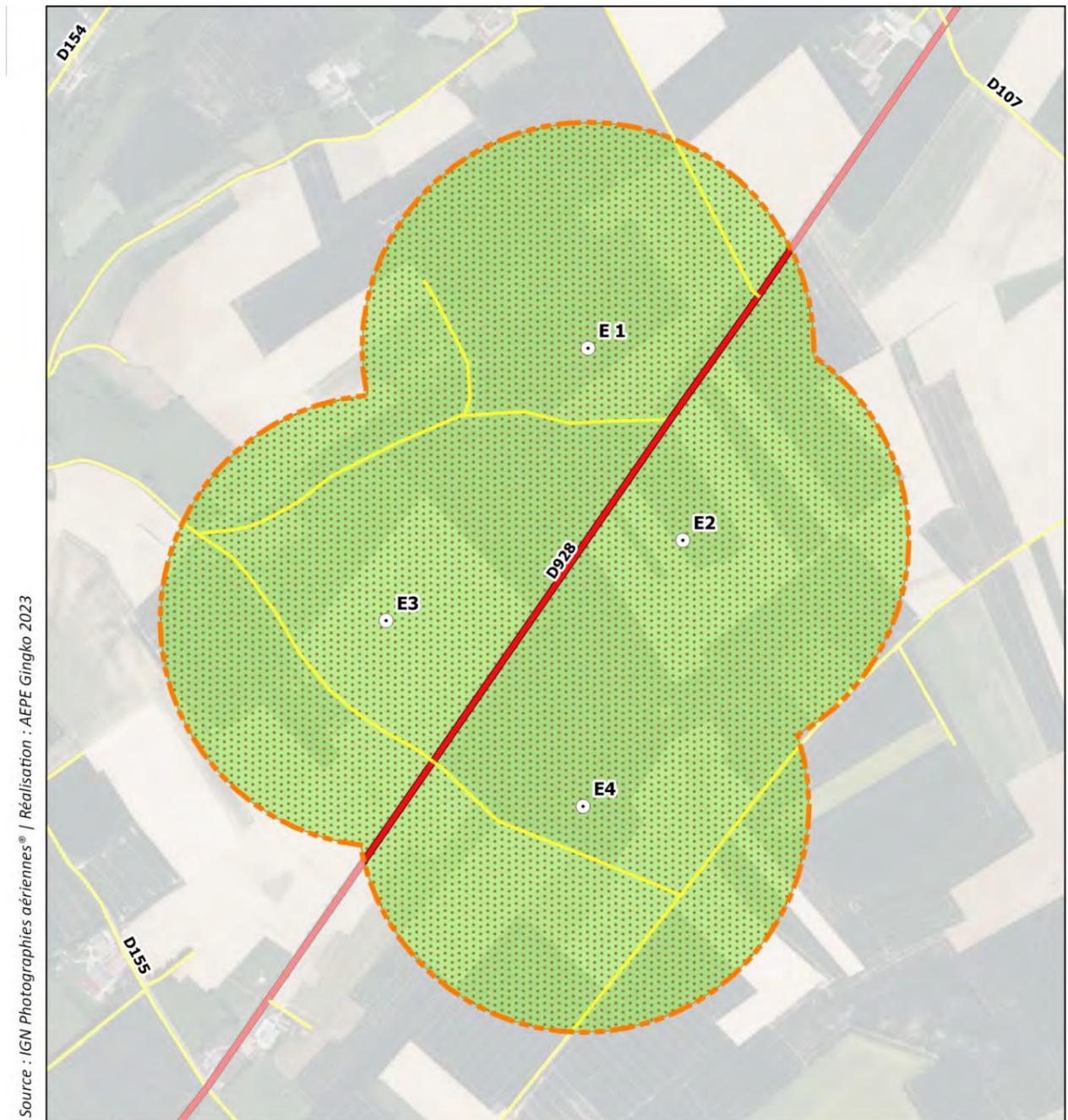
VIII.2.4.2. L'INTENSITE DE LA PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES

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).

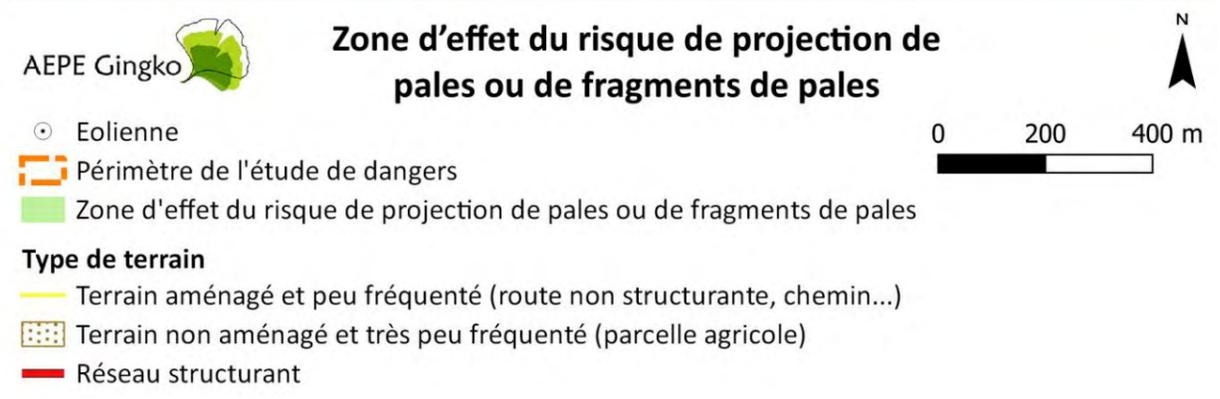
Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien du Fond de Barle. D est le degré d'exposition, Z_i la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R la longueur de pale (R = 76,4 m), LB la largeur de la base de la pale (LB = 3,8 m) et r le rayon de projection maximale (r = 500m).

Tableau 40 : Evaluation de l'intensité du risque de projection de pale ou de fragment de pale

Projection de pales ou de fragment de pales (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 145,2 m ²	$Z_E = \pi \times r^2$ Soit 785 398 m ²	$D = Z_i / Z_E$ Soit 0,02 % (< 1 %)	Exposition modérée



Source : IGN Photographies aériennes® | Réalisation : AEPE Gingko 2023



Carte 18 : Zone d'effet du risque de projection de pales ou de fragments de pales

VIII.2.4.3. LA GRAVITE 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 **aménagés mais peu fréquentés** (axes non structurant et chemins agricoles), la superficie concernée par le risque de projection de pales ou de fragments de pales est le suivant :

- De 6 107 m² pour les éoliennes E1, soit environ 0,61 ha ;
- De 2 030 m² pour l'éolienne E2, soit environ 0,20 ha ;
- De 7 241 m² pour l'éolienne E3, soit environ 0,72ha ;
- De 7 169 m² pour les éoliennes E1, soit environ 0,72 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 faible, entre 0,020 et 0,072 personne estimée selon l'éolienne.

Pour le **réseau structurant**, le calcul doit prendre en compte 0,4 personne permanente par km exposé par tranche de 100 véhicules/jour. Ici le trafic moyen journalier de la RD928 mesuré par la DREAL Haut de France est de 3 177 véhicules par jour. Les linéaires de route structurante mesurés pour chaque éolienne du projet et l'équivalent en nombre de personnes sont les suivants :

- 872 m pour l'éolienne E1, soit 11 équivalent personnes permanentes ;
- 944 m pour l'éolienne E2, soit 12 équivalent personnes permanentes ;
- 848 m pour l'éolienne E3, soit 11 équivalent personnes permanentes ;
- 759 m pour l'éolienne E4, soit 10 équivalent personnes permanentes.

Pour les terrains **non aménagés et très peu fréquentés** (parcelles agricoles), la zone d'effet est comprise entre 76,90 ha et 77,35 ha par éolienne :

- 770 174 m² pour l'éolienne E1, soit environ 77,02 ha ;
- 773 531 m² pour l'éolienne E2, soit environ 77,35 ha ;
- 769 280 m² pour l'éolienne E3, soit environ 76,90 ha ;
- 770 242 m² pour l'éolienne E4, soit environ 77,02 ha.

Ce chiffre est à mettre en relation avec l'estimation d'une personne pour 100 ha. La fréquentation par éolienne est donc estimée entre 0,769 et 0,774 personnes :

- 0,770 équivalent personnes permanentes pour E1 ;
- 0,774 équivalent personnes permanentes pour E2 ;
- 0,769 équivalent personnes permanentes pour E3 ;
- 0,770 équivalent personnes permanentes pour E4.

Le tableau ci-dessous 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.

Tableau 41 : Nombre de personnes concernées par la zone d'effet de projection de pales ou de fragment de pales

Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)						
Éolienne	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	Terrains aménagés mais peu fréquentés	Voies automobiles (réseau structurant)	Habitations (Garages, hangars)	Industries / activités	Total
E1	0,770	0,061	1 (11 pers)	0	0	11,89
E2	0,774	0,020	1 (12 pers)	0	0	12,74
E3	0,769	0,072	1 (11 pers)	0	0	12,02
E4	0,770	0,072	1 (10 pers)	0	0	10,50

Il est donc possible d'estimer que la présence humaine inférieure à 100 personnes pour l'ensemble 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 42 : Evaluation de la gravité du risque de projection de pales ou de fragment de pales

Projection de pales ou de fragments de pales (dans un rayon de 500 m)		
Éolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	11,89	Importante
E2	12,74	Importante
E3	12,02	Importante
E4	10,50	Importante

VIII.2.4.4. LA PROBABILITE 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 :

Tableau 43 : Evaluation de la gravité du risque de projection de pales ou de fragment de pales

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 $7,66 \times 10^{-4}$ événement par éolienne et par an).

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

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

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

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

De manière générale, le respect des prescriptions de, l'arrêté du 10 décembre 2021 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 ».

VIII.2.4.5. L'ACCEPTABILITE DE LA PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES

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

Tableau 44 : Acceptabilité du risque de projection de pale ou de fragment de pale

Projection de pales ou de fragment de pales (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Importante	Acceptable
E2	Importante	Acceptable
E3	Importante	Acceptable
E4	Importante	Acceptable

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

VIII.2.5. LA PROJECTION DE GLACE

VIII.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 :

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 du Fond de Barle, la distance d'effet est donc évaluée à un rayon de 400,5 m autour des éoliennes.

VIII.2.5.2. L'INTENSITE 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 m^2) et la superficie de la zone d'effet du phénomène.

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du parc éolien du Fond de Barle. D est le degré d'exposition, ZI la zone d'impact, ZE la zone d'effet, D le diamètre du rotor ($D = 156 \text{ m}$), HM la hauteur au moyeu ($HM = 111 \text{ m}$), et SG la surface majorante d'un morceau de glace ($SH = 1 \text{ m}^2$).

Tableau 45 : Evaluation de l'intensité du risque de projection de morceaux de glace pour les éoliennes

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de RPG = 400,5 m)			
Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
ZI = SG soit 1 m^2	$Z_E = \pi \times (1,5 \times (HM + D))^2$ Soit $503\,912 \text{ m}^2$	$D = Z_I / Z_E$ Soit $0,0002 \%$ ($< 1 \%$)	Exposition modérée

VIII.2.5.3. LA GRAVITE 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.

La zone d'effet du risque de projection de glace représente une superficie totale d'environ 45,6 ha par éolienne.

Pour les terrains **aménagés mais peu fréquentés** (axes non structurant et chemins agricoles), la superficie concernée par le risque de projection de glace est le suivant :

- De 4 766 m² pour l'éoliennes E1, soit environ 0,48 ha ;
- De 1 202 m² pour l'éolienne E2 ; soit environ 0,12 ha ;
- De 5 382 m² pour l'éolienne E3, soit environ 0,54 ha ;
- De 5 567 m² pour l'éolienne E4, soit environ 0,56 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 faible, entre 0,012 et 0,56 personne estimée selon l'éolienne.

Pour le **réseau structurant**, le calcul doit prendre en compte 0,4 personne permanente par km exposée par tranche de 100 véhicules/jour. Ici le trafic moyen journalier de la RD928 mesuré par la DREAL Haut de France est de 3 177 véhicules par jour. Les linéaires de route structurante mesurés pour chaque éolienne du projet et l'équivalent en nombre de personnes sont les suivants :

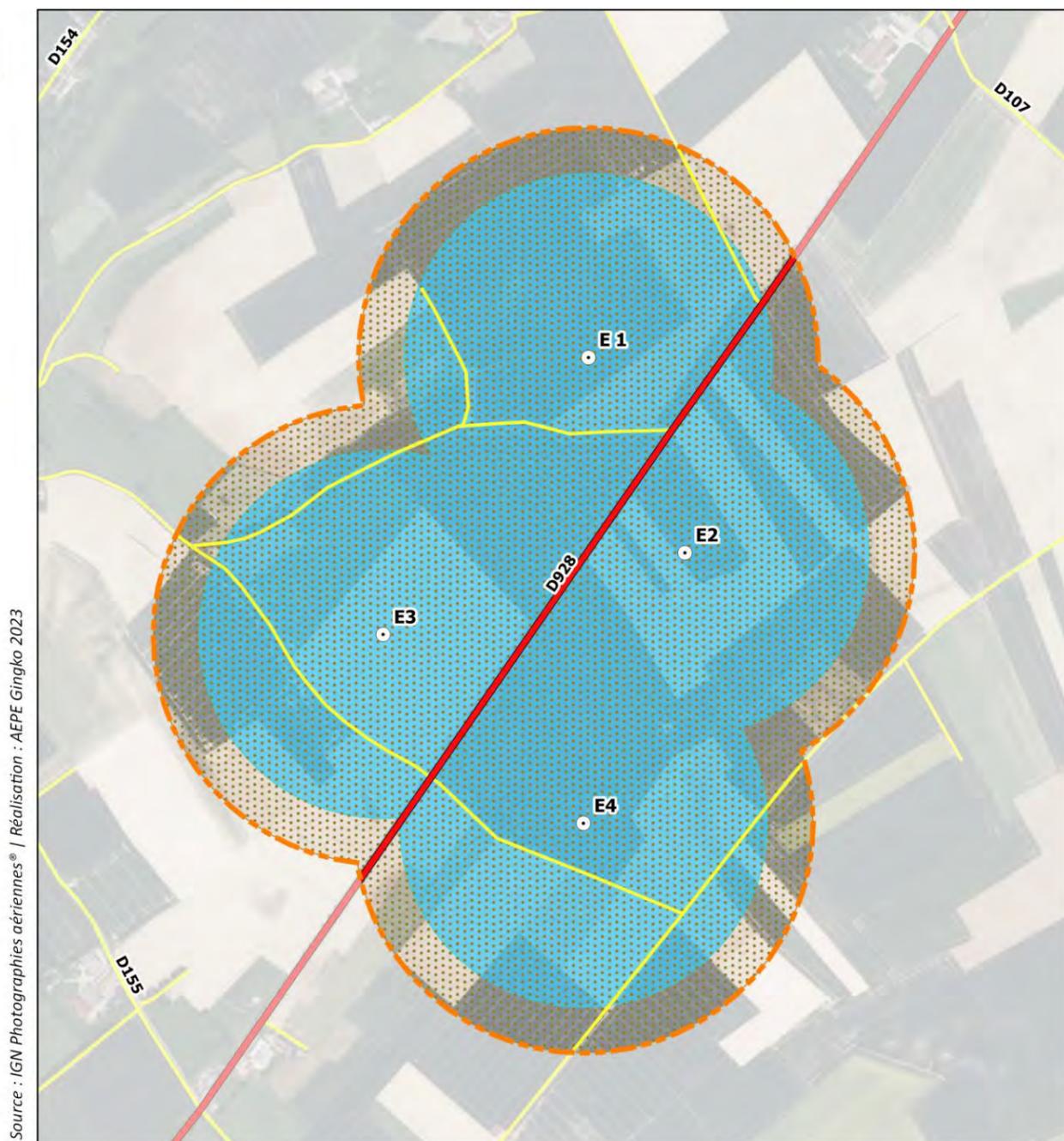
- 638 m pour l'éolienne E1, soit 8 équivalent personnes permanentes ;
- 718 m pour l'éolienne E2, soit 9 équivalent personnes permanentes ;
- 602 m pour l'éolienne E3, soit 8 équivalent personnes permanentes ;
- 455 m pour l'éolienne E4, soit 6 équivalent personnes permanentes.

Pour les terrains **non aménagés et très peu fréquentés** (parcelles agricoles), la zone d'effet est comprise entre 44,6 ha et 45,8 ha par éolienne :

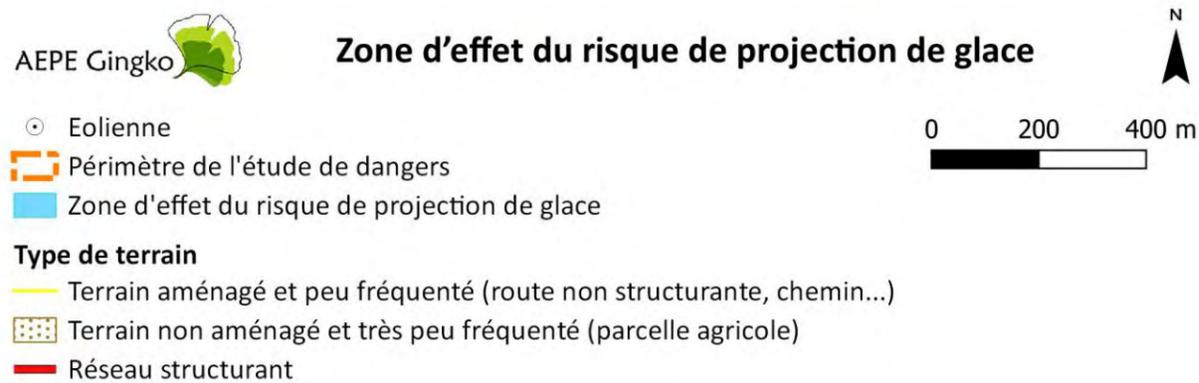
- 492 767 m² pour l'éolienne E1, soit environ 49,28 ha ;
- 495 531 m² pour l'éolienne E2, soit environ 49,55 ha ;
- 492 510 m² pour l'éolienne E3, soit environ 49,25 ha ;
- 493 796 m² pour l'éolienne E4, soit environ 49,38 ha

Ce chiffre est à mettre en relation avec l'estimation d'une personne pour 100 ha. La fréquentation par éolienne est donc estimée entre 0,493 et 0,496 personnes :

- 0,493 équivalent personnes permanentes pour E1 ;
- 0,496 équivalent personnes permanentes pour E2 ;
- 0,493 équivalent personnes permanentes pour E3 ;
- 0,494 équivalent personnes permanentes pour E4.



Source : IGN Photographies aériennes® | Réalisation : AEPE Gingko 2023



Carte 19 : Zone d'effet du risque de projection de glace

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

Tableau 46 : Nombre de personnes concernées par la zone d'effet de projection de glace

Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)						
Éolienne	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	Terrains aménagés mais peu fréquentés	Voies automobiles (réseau structurant)	Habitations (Garages, hangars)	Industries / activités	Total
E1	0,493	0,048	1(8 eq/pers)	0	0	8,54
E2	0,496	0,012	1(9 eq/pers)	0	0	9,51
E3	0,493	0,054	1(8 eq/pers)	0	0	8,55
E4	0,494	0,056	1(6 eq/pers)	0	0	6,55

Il est donc possible d'estimer que la présence humaine est « *Inférieure à 10 personnes* » autour de chaque éolienne du projet éolien de Fressin.

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 47 : Evaluation de la gravité du risque de projection de glace

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de RPG = 1,5 x (H+D) autour de l'éolienne)		
Éolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	8,54	Sérieuse
E2	9,51	Sérieuse
E3	8,55	Sérieuse
E4	6,55	Sérieuse

VIII.2.5.4. LA PROBABILITE 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 10 décembre 2021.
- le recensement d'aucun accident lié à une projection de glace.

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

VIII.2.5.5. L'ACCEPTABILITE DE LA PROJECTION DE GLACE

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

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

Tableau 48 : Acceptabilité du risque de projection de glace

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R _{PG} = 400,5 m)		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Sérieuse	Acceptable
E2	Sérieuse	Acceptable
E3	Sérieuse	Acceptable
E4	Sérieuse	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien du Fond de Barle, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes.

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

VIII.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 quatre éoliennes du parc éolien du Fond de Barle qui présentent un même profil de risque.

Tableau 49 : 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 189 m	E1, E3, E4	Rapide	Exposition modérée	D	Sérieuse
			E2				Importante
Chute de glace	Sc2	Zone de survol soit un rayon de 78 m	Toutes	Rapide	Exposition modérée	A	Modérée
Chute d'élément de l'éolienne	Sc3	Zone de survol soit un rayon de 78 m	Toutes	Rapide	Exposition modérée	C	Modérée
Projection de pales ou de fragments de pales	Sc4	Rayon de 500 m autour des éoliennes	Toutes	Rapide	Exposition modérée	D	Importante
Projection de glace	Sc5	Rayon de 400,5 m autour des éoliennes	Toutes	Rapide	Exposition modérée	B	Sérieuse

VIII.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.

Tableau 50 : Matrice d'acceptabilité des risques (Source : Guide technique – Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens – 2012)

		Classe de Probabilité Faible ↔ Forte				
		E	D	C	B	A
Classe de gravité Faible ↔ Forte	Désastreux					
	Catastrophique					
	Important		Sc1 (E2) & Sc4			
	Sérieux		Sc1		Sc5	
	Modéré			Sc3		Sc2

Légende de la matrice :

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

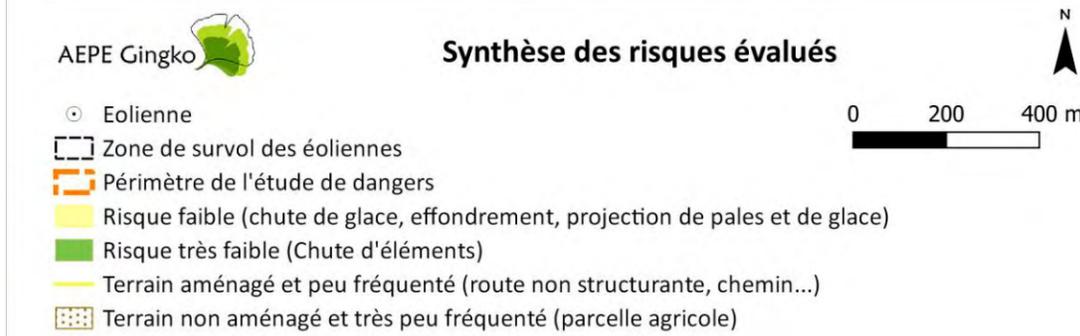
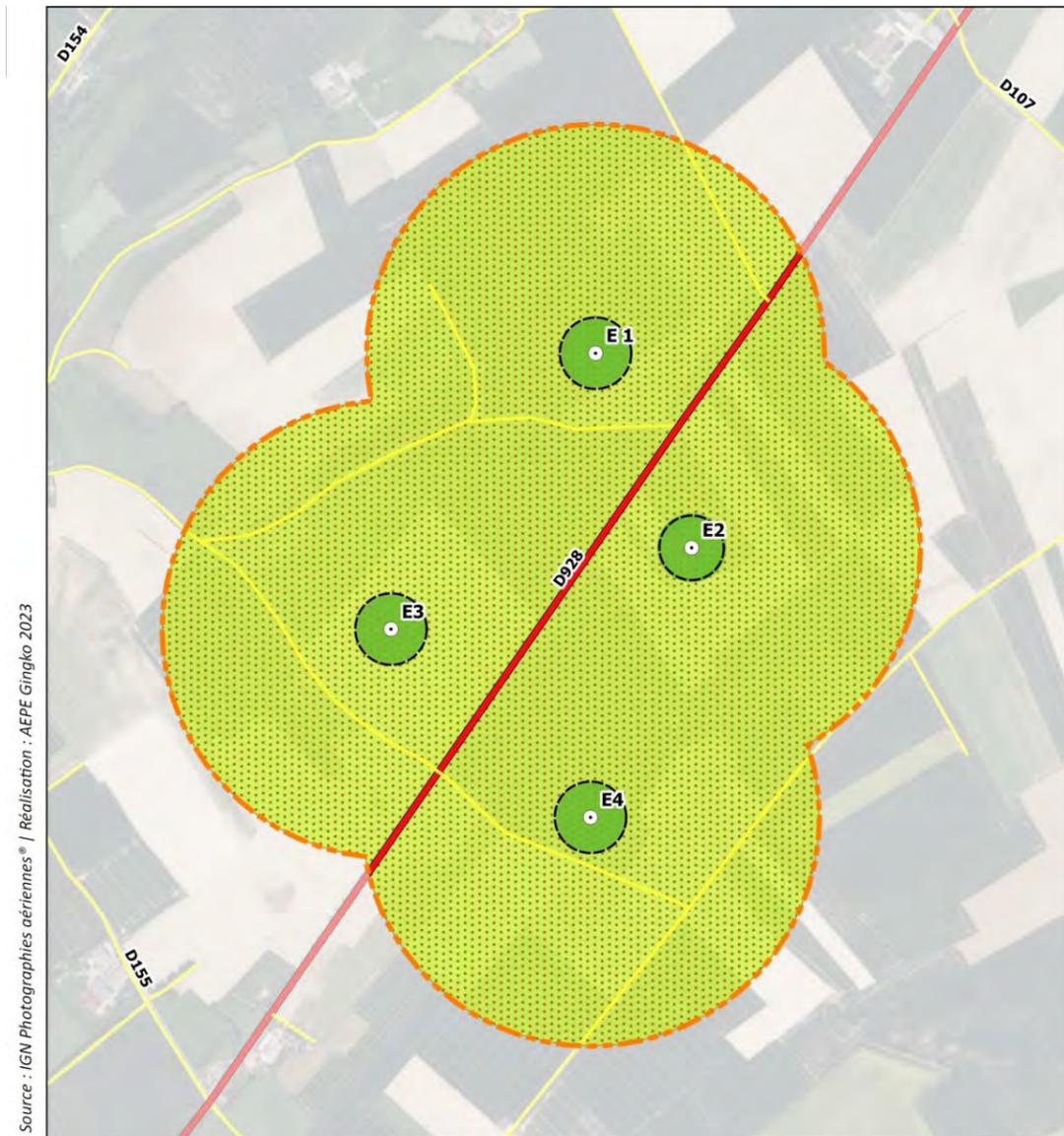
Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée qu'aucun scénario d'accident n'est jugé inacceptable.

- Deux scénarios d'accident sont concernés par des risques très faibles (cases vertes) : il s'agit des risques d'effondrement de l'éolienne (pour 3 éoliennes sur 4) et de chute d'élément de l'éolienne et de projection de pales ou fragments de pales et de projection de glace. Ils ne nécessitent pas de mesures de maîtrise des risques.
- Quatre scénarios d'accident induisent un risque faible (case jaune). Il s'agit des risques d'effondrement (pour l'éolienne E2), de chute de glace, de projection de pales ou fragments de pales et de projection de glace.

Tous les scénarios d'accident liés aux installations du projet éolien de Fressin engendrent un risque jugé acceptable. Pour les scénarios présentant un niveau de risque très faible, aucune mesure n'est nécessaire. Pour les scénarios de chute de glace, d'effondrement pour l'éolienne E2, de projection de pales ou de fragments de pales et de projection de glace, présentant un niveau de risque faible, des mesures de maîtrise des risques seront mises en place.

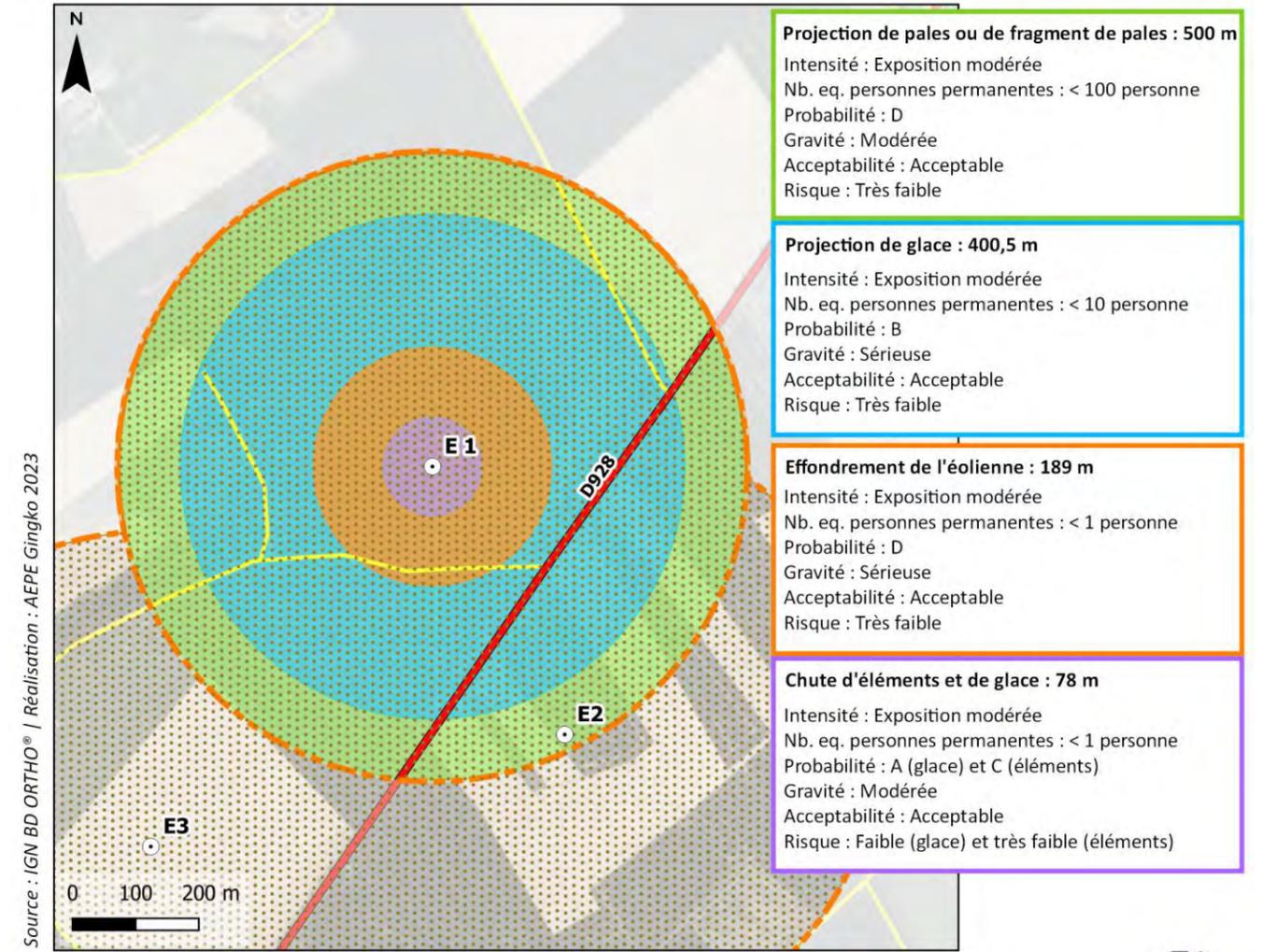
VIII.3.3. LA CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE DES RISQUES

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 20 : Synthèse des risques évalués

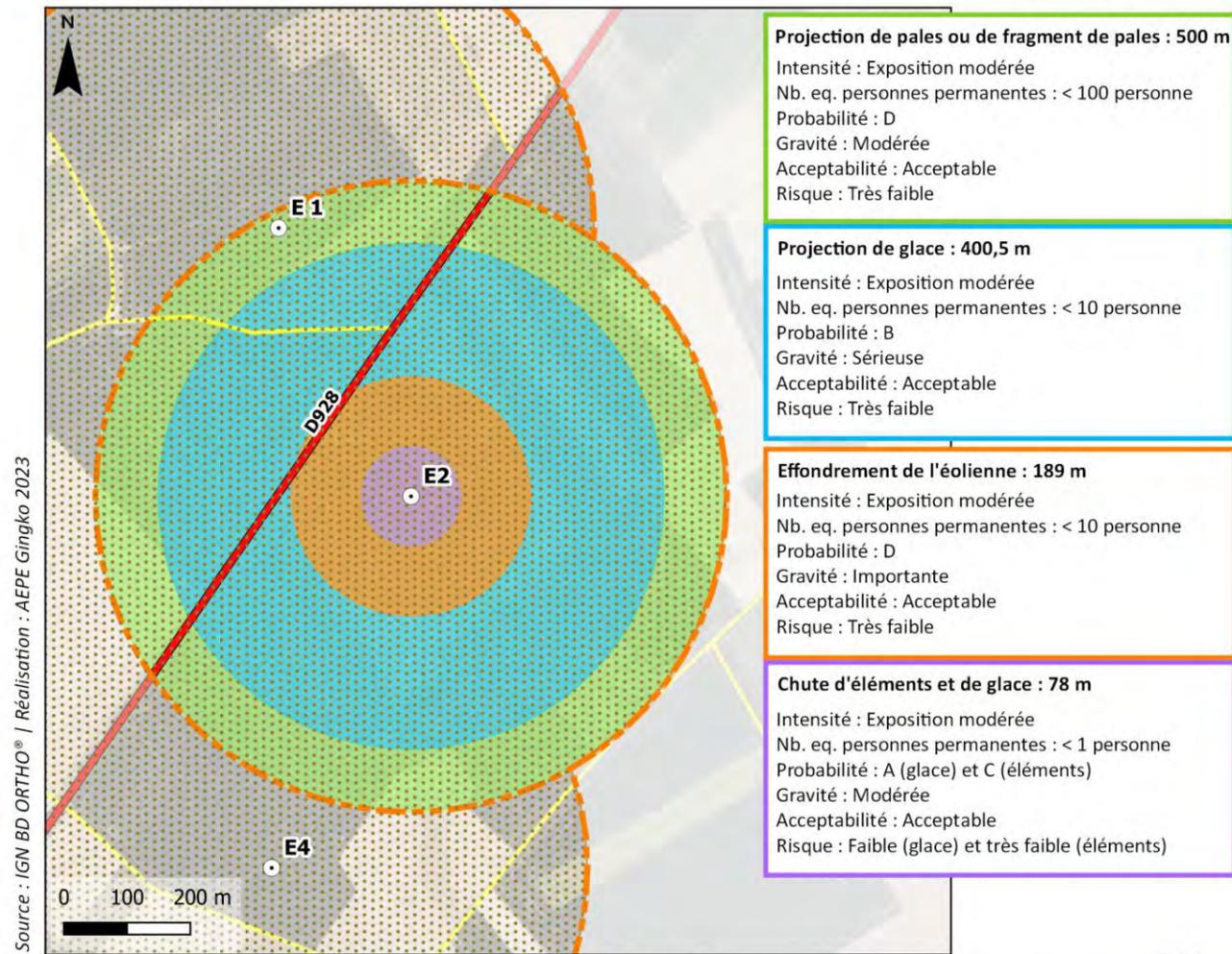
Les cartes ci-après permettent de visualiser plus précisément les zones d'effets et les risques liés aux différents scénarios de risques envisagés pour chaque éolienne du projet éolien de Fressin.



Zones d'effets des risques étudiés pour l'éolienne E1



Carte 21 : Zones d'effets des risques étudiés pour l'éolienne E1



Projection de pales ou de fragment de pales : 500 m
 Intensité : Exposition modérée
 Nb. eq. personnes permanentes : < 100 personne
 Probabilité : D
 Gravité : Modérée
 Acceptabilité : Acceptable
 Risque : Très faible

Projection de glace : 400,5 m
 Intensité : Exposition modérée
 Nb. eq. personnes permanentes : < 10 personne
 Probabilité : B
 Gravité : Sérieuse
 Acceptabilité : Acceptable
 Risque : Très faible

Effondrement de l'éolienne : 189 m
 Intensité : Exposition modérée
 Nb. eq. personnes permanentes : < 10 personne
 Probabilité : D
 Gravité : Importante
 Acceptabilité : Acceptable
 Risque : Très faible

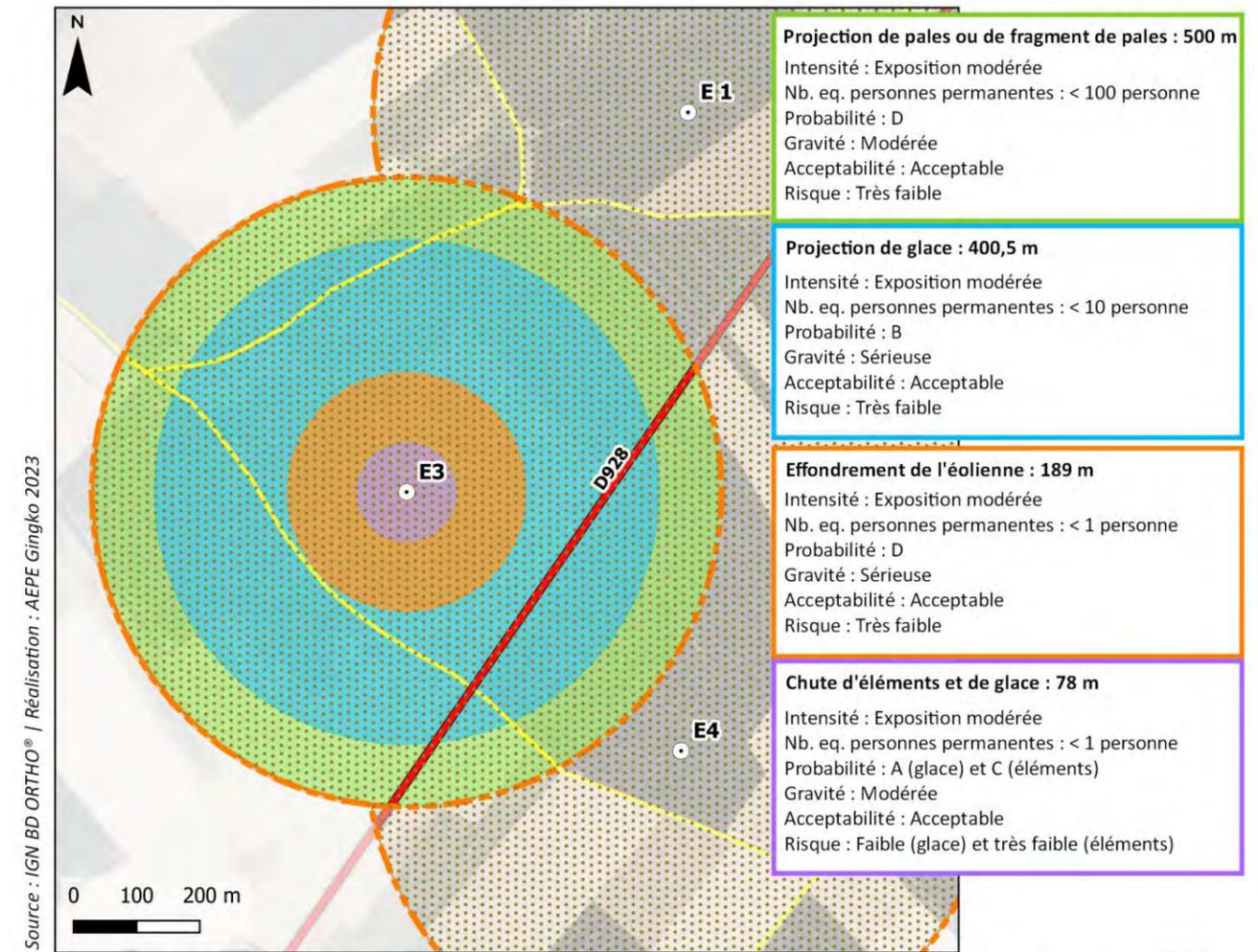
Chute d'éléments et de glace : 78 m
 Intensité : Exposition modérée
 Nb. eq. personnes permanentes : < 1 personne
 Probabilité : A (glace) et C (éléments)
 Gravité : Modérée
 Acceptabilité : Acceptable
 Risque : Faible (glace) et très faible (éléments)

Zones d'effets des risques étudiés pour l'éolienne E2



- ⊙ Eolienne
 - ⬡ Périmètre de l'étude de dangers
 - Terrain aménagé et peu fréquenté (route non structurante, chemin...)
 - Réseau structurant
 - ⬢ Terrain non aménagé et très peu fréquenté (parcelle agricole)
- Zone d'effet**
- ⬢ Zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne
 - ⬢ Zone d'effet du risque de chute d'éléments ou de glace
 - ⬢ Zone d'effet du risque de projection de glace
 - ⬢ Zone d'effet du risque de projection de pales ou de fragments de pales

Carte 22 : Zones d'effets des risques étudiés pour l'éolienne E2



Projection de pales ou de fragment de pales : 500 m
 Intensité : Exposition modérée
 Nb. eq. personnes permanentes : < 100 personne
 Probabilité : D
 Gravité : Modérée
 Acceptabilité : Acceptable
 Risque : Très faible

Projection de glace : 400,5 m
 Intensité : Exposition modérée
 Nb. eq. personnes permanentes : < 10 personne
 Probabilité : B
 Gravité : Sérieuse
 Acceptabilité : Acceptable
 Risque : Très faible

Effondrement de l'éolienne : 189 m
 Intensité : Exposition modérée
 Nb. eq. personnes permanentes : < 1 personne
 Probabilité : D
 Gravité : Sérieuse
 Acceptabilité : Acceptable
 Risque : Très faible

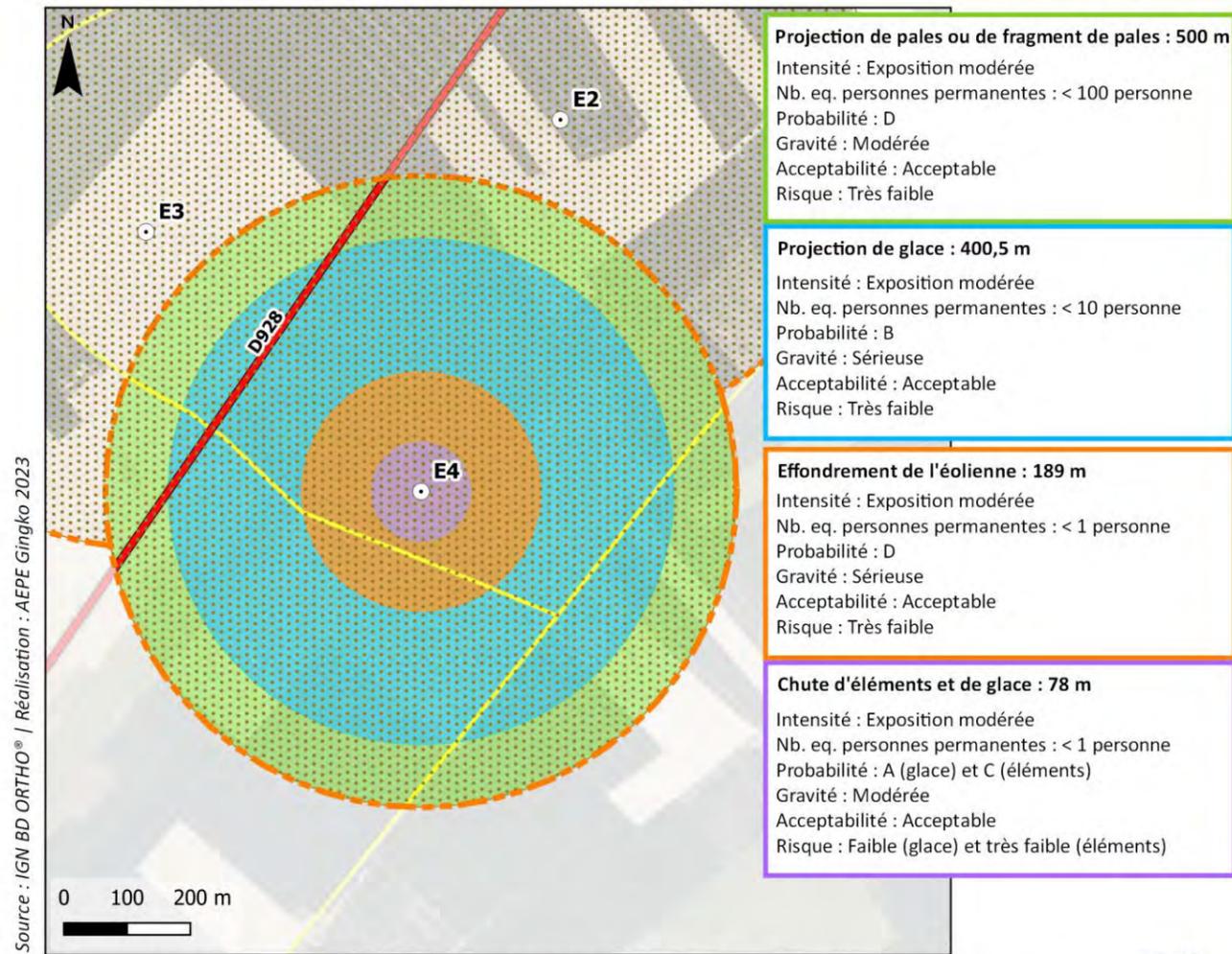
Chute d'éléments et de glace : 78 m
 Intensité : Exposition modérée
 Nb. eq. personnes permanentes : < 1 personne
 Probabilité : A (glace) et C (éléments)
 Gravité : Modérée
 Acceptabilité : Acceptable
 Risque : Faible (glace) et très faible (éléments)

Zones d'effets des risques étudiés pour l'éolienne E3



- ⊙ Eolienne
 - ⬡ Périmètre de l'étude de dangers
 - Terrain aménagé et peu fréquenté (route non structurante, chemin...)
 - Réseau structurant
 - ⬢ Terrain non aménagé et très peu fréquenté (parcelle agricole)
- Zone d'effet**
- ⬢ Zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne
 - ⬢ Zone d'effet du risque de chute d'éléments ou de glace
 - ⬢ Zone d'effet du risque de projection de glace
 - ⬢ Zone d'effet du risque de projection de pales ou de fragments de pales

Carte 23 : Zones d'effets des risques étudiés pour l'éolienne E3

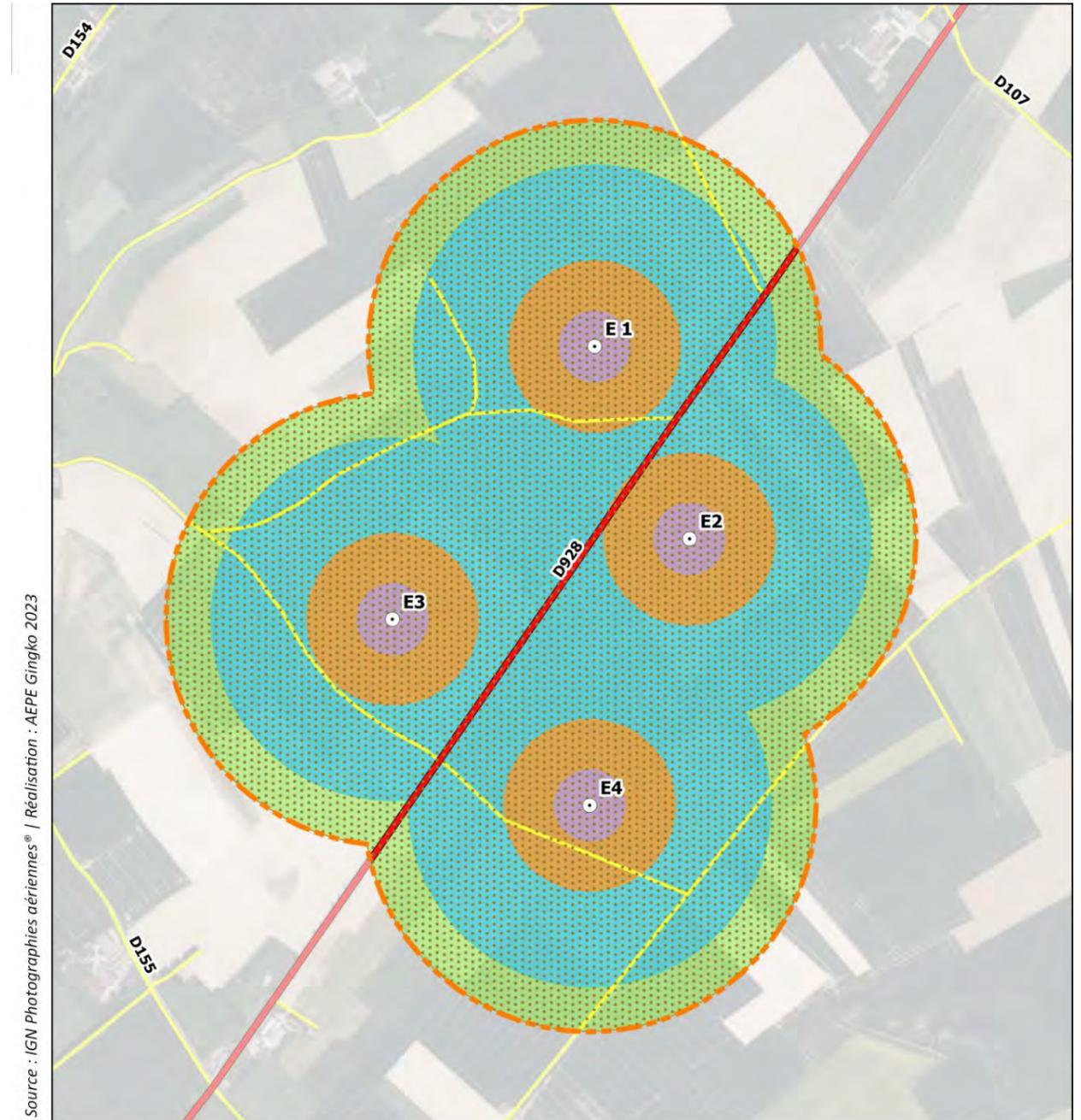


Zones d'effets des risques étudiés pour l'éolienne E4



- Eolienne
 - ▭ Périmètre de l'étude de dangers
 - Terrain aménagé et peu fréquenté (route non structurante, chemin...)
 - Réseau structurant
 - ▭ Terrain non aménagé et très peu fréquenté (parcelle agricole)
- Zone d'effet**
- ▭ Zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne
 - ▭ Zone d'effet du risque de chute d'éléments ou de glace
 - ▭ Zone d'effet du risque de projection de glace
 - ▭ Zone d'effet du risque de projection de pales ou de fragments de pales

Carte 24 : Zones d'effets des risques étudiés pour l'éolienne E4



Synthèse des zones d'effet des risques étudiés

- Eolienne
 - ▭ Périmètre de l'étude de dangers
 - Terrain aménagé et peu fréquenté (route non structurante, chemin...)
 - Réseau structurant
 - ▭ Terrain non aménagé et très peu fréquenté (parcelle agricole)
- Zone d'effet**
- ▭ Zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne
 - ▭ Zone d'effet du risque de chute d'éléments ou de glace
 - ▭ Zone d'effet du risque de projection de glace
 - ▭ Zone d'effet du risque de projection de pales ou de fragments de pales

Carte 25 : Synthèse des zones d'effet des risques étudiés

VIII.4. LES MESURES DE MAITRISE 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 le risque d'effondrement pour l'éolienne E2, de chute de glace, de projection de pales ou de fragments de pales et de projection de glace.

Les mesures suivantes sont proposées :

VIII.4.1. LA MAITRISE DU RISQUE D'EFFONDREMENT

Pour le risque d'effondrement pour l'éolienne E2, les fonctions de sécurité 9, 10, 11, 12 et 13 présentées au chapitre « VII.6 La mise en place des mesures de sécurité » sont mises en œuvre.

VIII.4.2. LA MAITRISE 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 51 : 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



Figure 17 : Exemple de panneau de prévention des risques sur un parc éolien

VIII.4.3. LA MAITRISE DU RISQUE DE PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES

Les mesures de maîtrise des risques listées ci-dessous seront prises dans le cadre de l'exploitation du parc éolien du Fond de Barle afin de limiter le risque de projection de pales ou de fragments de pales.

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

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

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

L'emballage de l'éolienne constitue un facteur aggravant en cas de projection de tout ou partie d'une pale. Trois scénarios favorisant ce risque sont identifiés :

- 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.
- Les contraintes exercées sur les pales, qu'elles soient mécaniques (vents violents, variation de la répartition de la masse due à la formation de givre...) ou 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.
- 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.

Ainsi, un contrôle régulier du système d'arrêt automatique sera effectué. D'une manière générale, la maintenance préventive (inspections régulières des pales, réparations si nécessaire) permettra de se prémunir de ce risque.

VIII.4.4. LA MAITRISE DU RISQUE DE PROJECTION DE GLACE

Pour le risque de projection de glace, les fonctions de sécurité 1 et 2 présentées au chapitre « VII.6 La mise en place des mesures de sécurité » en page 51 sont mises en œuvre.

Les mesures de maîtrise de risque mises en œuvre permettront de limiter les risques d'accidents liés aux phénomènes d'effondrement, de chute de glace, de projection de pales ou de fragments de pales et de projection de glace. Rappelons que ces risques sont jugés acceptables au regard de l'étude détaillée menée pour les installations du projet.

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

VIII.5.1. LES MOYENS INTERNES

Des panneaux de signalisation rappelant les consignes de sécurité ainsi que les coordonnées des secours seront placées sur les voies d'accès au site ainsi qu'à l'entrée des différents équipements (mâts des éoliennes et postes 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'aux postes de livraison. Le personnel sera formé à l'utilisation des extincteurs.

Des protocoles sont établis avec le SDIS. Ce dernier va se prononcer lors de l'instruction. Le développeur du projet s'engage à respecter les prescriptions du SDIS qui seront émises au cours de l'instruction.

VIII.5.2. LES MOYENS EXTERNES

Les installations du parc éolien sont situées à environ 8 km du centre d'incendie et de secours situé sur la commune de Fruges. Le temps de route est estimé à 7 mn.

Centre d'Incendie et de Secours

Rue Hesdin

62 310 Fruges

03 21 47 79 90

VIII.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 10 décembre 2021, 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.

IX. LA CONCLUSION DE L'ÉTUDE DE DANGERS

L'analyse préalable des enjeux a permis de démontrer que la majorité du périmètre de l'étude de dangers concerne des « terrains non aménagés et très peu fréquentés » sous la forme de champs et prairies. Les axes non structurants tels les liaisons locales et les chemins agricoles et ruraux ont été considérés comme des « terrains aménagés et peu fréquentés ».

Aucun bâtiment à usage d'habitation n'est présent au sein du périmètre de l'étude de dangers.

Afin d'évaluer les risques induits par le parc éolien du Fond de Barle, plusieurs scénarios d'accidents ont été envisagés. Ils concernent tous les trois éoliennes constituant le parc éolien. Sur ces scénarios, deux présentent un risque très faible (acceptable) :

- L'effondrement de l'éolienne (pour les éoliennes E1, E3 et E4) ;
- La chute d'éléments de l'éolienne ;

Quatre scénarios présentent un risque faible (acceptable) :

- L'effondrement de l'éolienne pour E2 ;
- La chute de glace ;
- La projection de glace ;
- La projection d'une pale ou d'un fragment de pale.

Ces scénarios feront l'objet de mesures de maîtrise afin d'en limiter le risque.

Tous les scénarios d'accidents liés aux installations du projet de parc éolien du Fond de Barle sont finalement jugés acceptables.

X. LES ANNEXES

ANNEXE 1 - LA METHODE DE COMPTAGE DES PERSONNES POUR LA DETERMINATION DE LA GRAVITE POTENTIELLE D'UN ACCIDENT A PROXIMITE D'UNE EOLIENNE (EDD)	79
ANNEXE 2 - LES SCENARIOS GENERIQUES D'ACCIDENTS POSSIBLES	80
ANNEXE 3 - LA PROBABILITE D'ATTEINTE ET RISQUE INDIVIDUEL.....	82
ANNEXE 4 - LE GLOSSAIRE DES MOTS UTILISES DANS L'ETUDE DE DANGERS.....	82
ANNEXE 5 - LA BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES UTILISEES.....	84

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

	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 ou plusieurs conditions seraient réunies (Ex : Foudre + défaillance du système parafoudre = Incendie).

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

Dans l'analyse préliminaire des risques seulement quelques exemples vous sont fournis. La méthodologie suivante pourra aider à déterminer l'ensemble des scénarii 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: Evaluation des barrières techniques de sécurité, INERIS, 2005
- [9] Arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement
- [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 Güttsch : 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., Leteurtois 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