



PROJET EOLIEN PARTICIPATIF

Pièce n°02

Etude de danger
et son résumé non technique

Version Complétée Juillet 2024



opale

Commune de Nancray
Département du Doubs (25)

Projet éolien de Nancray

Commune de Nancray (25)

Etude de dangers



13 rue Jacques Peirotes · 67000 STRASBOURG
03 67 67 41 26 · contact@ora-environnement.com

SOMMAIRE

1	Préambule	4
1.1	Objectifs de l'étude de dangers	4
1.2	Contexte législatif et réglementaire	4
1.3	Nomenclature des installations classées	4
2	Résumé non technique de l'étude de dangers	5
2.1	Description	5
2.2	Démarche d'analyse des risques	5
2.3	Le projet éolien	6
2.3.1	Situation et description du projet éolien	6
2.3.2	Description de l'environnement au sein de l'aire d'étude	7
2.4	Evaluation des principaux risques liés au parc éolien	11
2.4.1	Identification des potentiels de dangers de l'installation	11
2.4.2	Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation	11
2.4.3	Analyse des retours d'expérience	11
2.4.4	Analyse préliminaire des risques	12
2.5	Principaux résultats de l'étude détaillée des risques	13
2.6	Mesures de maîtrise des risques	18
2.7	Conclusion	18
3	Informations générales concernant l'installation	19
3.1	Renseignements administratifs	19
3.2	Le projet de Nancray	19
3.3	Définition de l'aire d'étude	20
4	Description de l'environnement de l'installation	21
4.1	Environnement humain	21
4.1.1	Zones urbanisées	21
4.1.2	Etablissements recevant du public (ERP)	21
4.1.3	Installations classées pour la protection de l'environnement et installations nucléaires	21
4.1.4	Autres activités	21
4.2	Environnement naturel	22
4.2.1	Contexte climatique	22
4.2.2	Risques naturels	23
4.3	Environnement matériel	28
4.3.1	Voies de communication	28

4.3.2	Réseaux publics et privés	28
4.3.3	Autres ouvrages publics	28
4.4	Cartographie de synthèse	28
5	Description de l'installation	30
5.1	Caractéristiques de l'installation	30
5.1.1	Caractéristiques générales d'un parc éolien	30
5.1.2	Activité de l'installation	31
5.2	Fonctionnement de l'installation	32
5.2.1	Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur	32
5.2.2	Découpage fonctionnel de l'installation	32
5.2.3	Stockage et flux de produits dangereux	34
5.2.5	Opérations de maintenance de l'installation	35
5.3	Fonctionnement des réseaux de l'installation	38
5.3.1	Raccordement électrique	38
5.3.2	Autres réseaux	38
6	Identification des potentiels de dangers de l'installation	39
7	Analyse des retours d'expérience	41
7.1	Inventaire des accidents et incidents en France	41
7.2	Inventaire des accidents et incidents à l'international	42
7.3	Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience	42
7.3.1	Analyse de l'évolution des accidents en France	42
7.3.2	Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents	42
7.4	Limites d'utilisation de l'accidentologie	43
8	Analyse préliminaire des risques	44
8.1	Objectif de l'analyse préliminaire des risques	44
8.2	Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques	44
8.3	Recensement des agressions externes potentielles	44
8.3.1	Agressions externes liées aux activités humaines	44
8.3.2	Agressions externes liées aux phénomènes naturels	45
8.4	Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques	45
8.5	Effets dominos	47
8.6	Mise en place des mesures de sécurité	47
8.7	Conclusion de l'analyse préliminaire des risques	52
9	Etude détaillée des risques	53
9.1	Rappel des définitions	53

9.1.1	Cinétique	53
9.1.2	Intensité	53
9.1.3	Gravité	54
9.1.4	Probabilité	54
9.1.5	Rappel des caractéristiques des éoliennes du parc	54
9.2	Caractérisation des scénarios retenus	55
9.2.1	Effondrement de l'éolienne.....	55
9.2.2	Chute de glace	57
9.2.3	Chute d'éléments de l'éolienne.....	58
9.2.4	Projection de pales ou de fragments de pales	60
9.2.5	Projection de glace.....	62
9.3	Synthèse de l'étude détaillée des risques.....	63
9.3.1	Tableau de synthèse des scénarios étudiés	63
9.3.2	Synthèse de l'acceptabilité des risques	63
9.3.3	Cartographie des risques.....	64
10	Conclusion	69
11	Annexes	70
11.1	Annexe 1 – Solutions pour répondre à l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021.....	70
11.2	Annexe 2 – Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne.....	75
11.3	Annexe 3 – Tableau de l'accidentologie française	76
11.4	Annexe 4 – Scénarios génériques issues de l'analyse préliminaire des risques	80
11.5	Annexe 5 – Probabilité d'atteinte et Risque individuel	82
11.6	Annexe 6 –Glossaire	82
11.7	Annexe 7 – Bibliographie et références utilisées	84

1 PREAMBULE

1.1 OBJECTIFS DE L'ETUDE DE DANGERS

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par la société Nancréole (pour le compte de la société Opale Energies Naturelles) pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du parc éolien de Nancray, autant que technologiquement réalisable et économiquement acceptable, que leurs causes soient intrinsèques aux substances ou matières utilisées, liées aux procédés mis en œuvre ou dues à la proximité d'autres risques d'origine interne ou externe à l'installation. Cette étude est proportionnée aux risques présentés par les éoliennes du parc de Nancray. Le choix de la méthode d'analyse utilisée et la justification des mesures de prévention, de protection et d'intervention sont adaptés à la nature et la complexité des installations et de leurs risques. Elle précise l'ensemble des mesures de maîtrise des risques mises en œuvre sur le parc éolien de Nancray, qui réduisent le risque à l'intérieur et à l'extérieur des éoliennes à un niveau jugé acceptable par l'exploitant. Ainsi, cette étude permet une approche rationnelle et objective des risques encourus par les personnes ou l'environnement, en satisfaisant les principaux objectifs suivants :

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

1.2 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. Selon l'article L. 181-25 du code de l'environnement, l'étude de dangers expose les risques que peut présenter l'installation pour les intérêts visés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation.

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

Selon le principe de proportionnalité, le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte tenu de son environnement et de sa vulnérabilité. Ce contenu est défini, en des termes laconiques, par l'article L. 181-25 du Code de l'environnement :

- 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 ;
- 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 ;
- Les mesures propres à réduire la probabilité et les effets de ces accidents.

Il convient de préciser que l'article R. 512-9 du code de l'environnement qui définissait exhaustivement le contenu de l'étude de dangers et exigeait la fourniture d'un résumé non technique de l'étude de dangers a été abrogé par le Décret n°2017-81 en date du 26 janvier 2017 relatif à l'autorisation environnementale. Aucun article réglementaire du code de l'environnement n'a depuis repris cette exigence de production d'un résumé non technique de l'étude de dangers.

Par ailleurs, la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003 précise la méthodologie attendue pour la réalisation de l'étude de dangers.

1.3 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 :

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

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

Tableau 1 : Rubrique de la nomenclature ICPE

Le parc éolien de Nancray comprend au moins un aérogénérateur dont la hauteur du mât et de la nacelle au-dessus du sol est 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.

2 RESUME NON TECHNIQUE DE L'ETUDE DE DANGERS

2.1 DESCRIPTION

Le présent document est un résumé non technique de l'étude de dangers menée dans le cadre du développement du projet éolien de Nancray. Il est rédigé sur la base du Guide technique élaboré conjointement par l'INERIS et le Syndicat des Energies Renouvelables. Ce guide a été reconnu comme étant le document de référence pour la rédaction des études de dangers des parcs éoliens par le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie en juin 2012.

L'étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par la société Nancréole pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du parc éolien de Nancray, autant que technologiquement réalisable et économiquement acceptable.

Le présent résumé non technique s'attachera à décrire le projet et son environnement avant d'expliquer la méthode pour qualifier les risques et les résultats obtenus dans le cadre du projet éolien de Nancray.

L'exploitant du parc éolien de Nancray est la société Nancréole (pour le compte de la société Opale Energies Naturelles), immatriculée sous le numéro 952 937 936 au RCS de Besançon et domiciliée au 17 rue du Stade, 25660 FONTAIN.

Le rédacteur de la présente étude est Damien Geffroy, Chargé d'études au sein du bureau d'études Ora environnement, S.A.R.L. immatriculée sous le numéro 820 828 333 au R.C.S. de Strasbourg et domiciliée au 13 rue Jacques Peirotes, 67000 STRASBOURG.

2.2 DEMARCHE D'ANALYSE DES RISQUES

Cette partie rappelle les différentes étapes de la démarche d'analyse des risques qui doit être mise en œuvre dans le cadre de l'étude de dangers des parcs éoliens, conformément à la réglementation en vigueur et aux recommandations de l'inspection des installations classées :

1. Identifier les enjeux pour permettre une bonne caractérisation des conséquences des accidents (présence et vulnérabilité de maisons, infrastructures, etc.);
2. Connaître les équipements étudiés pour permettre une bonne compréhension des dangers qu'ils génèrent ;
3. Identifier les potentiels de danger ;
4. Connaître les accidents qui se sont produits sur le même type d'installation pour en tirer des enseignements (séquences des événements, possibilité de prévenir ces accidents, etc.);
5. Analyser les risques inhérents aux installations étudiées en vue d'identifier les scénarios d'accidents possibles (qui se sont produits et qui pourraient se produire) ;
6. Caractériser et classer les différents phénomènes et accidents en termes de probabilités, cinétique, intensité et gravité ;
7. Réduire le risque si nécessaire ;
8. Représenter le risque.

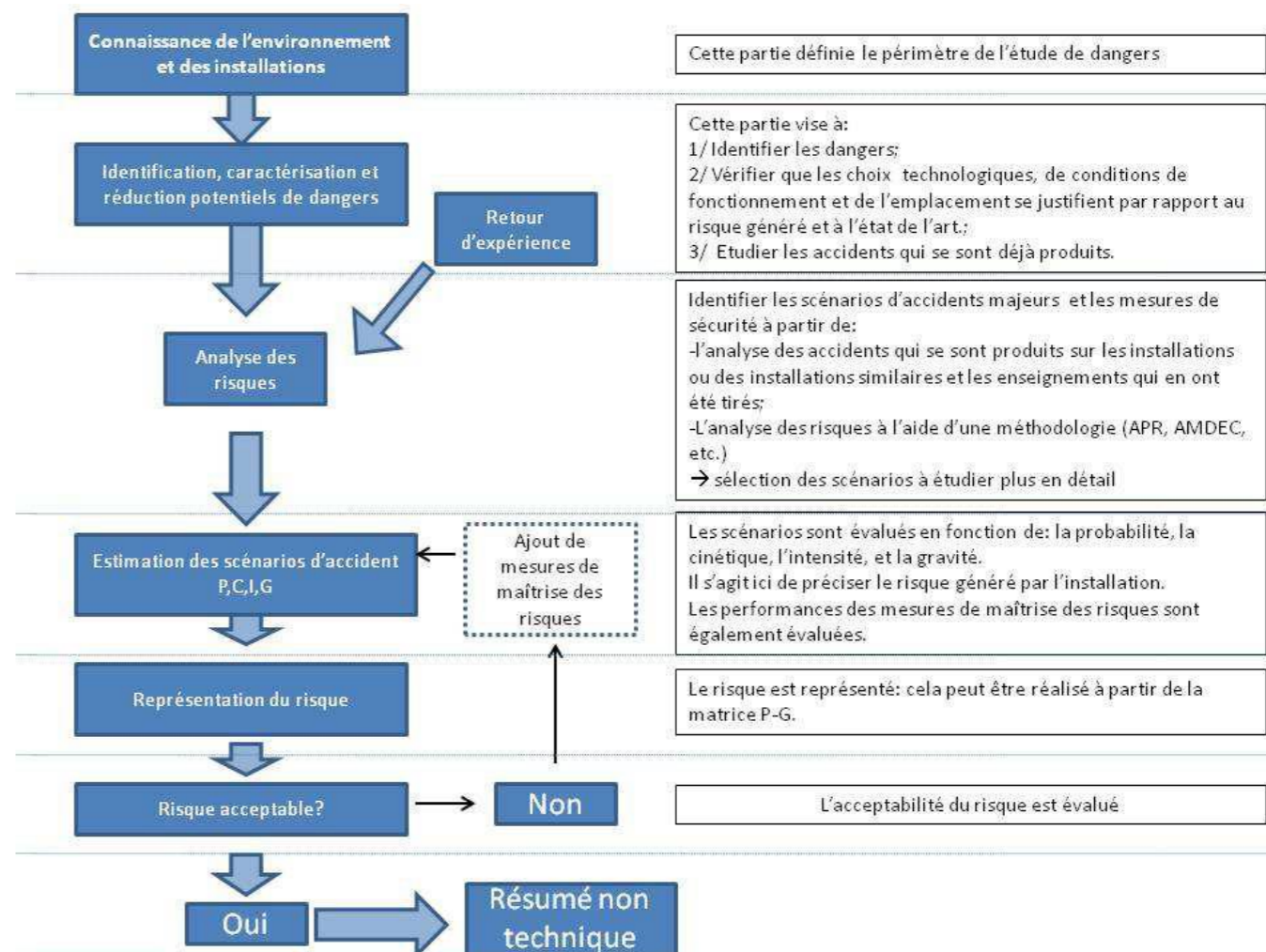


Figure 1: Etapes de la démarche d'analyse des risques

2.3 LE PROJET EOLIEN

2.3.1 Situation et description du projet éolien

Le projet éolien de Nancray est composé de trois éoliennes et d'un poste de livraison. Ces infrastructures sont localisées sur la commune de Nancray, dans le département du Doubs en région Bourgogne-Franche-Comté.

Les coordonnées du centre des éoliennes et du poste de livraison du projet sont rappelées dans le tableau suivant. Ces éléments sont localisés sur la carte ci-contre.

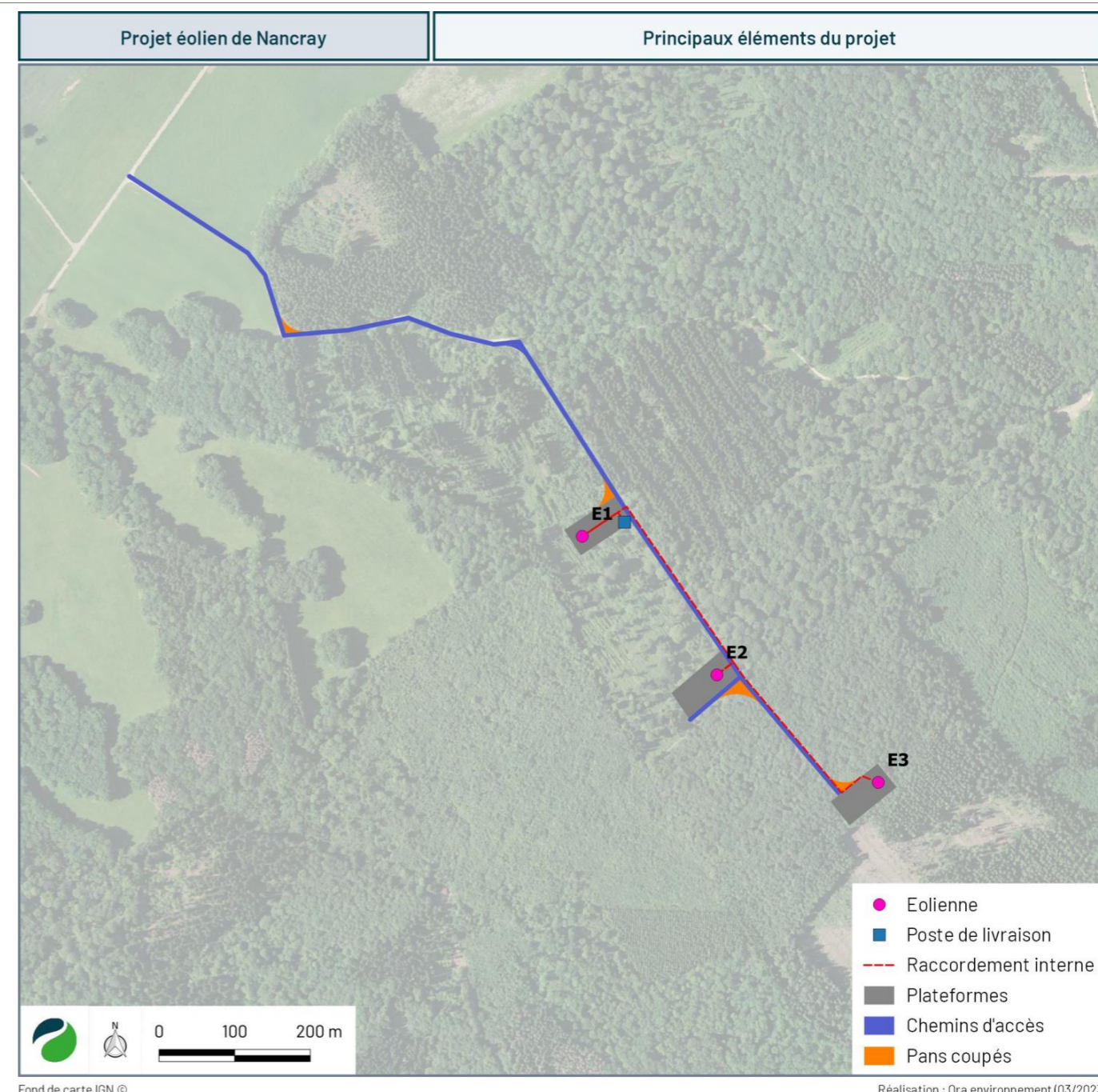
Eolienne	Coordonnées Lambert-93		Coordonnées WGS 84		Altitude (en m)
	X	Y	Latitude	Longitude	
E1	940 067	6 685 812	N 47°13'45.06"	E 6°10'25.15"	426,25
E2	940 245	6 685 629	N 47°13'38.90"	E 6°10'33.26"	457,80
E3	940 458	6 685 487	N 47°13'34.02"	E 6°10'43.12"	443,36
PD1	940 122	6 685 831	N 47°13'45.60"	E 6°10'27.80"	426,25

Tableau 2 : Coordonnées géographiques des éoliennes et du poste de livraison

La demande d'autorisation environnementale (DAE) repose sur un gabarit maximal permettant d'englober les caractéristiques techniques de nombreuses éoliennes disponibles sur le marché. En effet, à ce jour, la machine qui sera installée sur le site n'est pas encore connue. Les consultations des entreprises et le choix de la machine se feront une fois l'autorisation préfectorale obtenue. Le gabarit maximal utilisé dans le cadre de la DAE possède une hauteur maximale de 200 m et un diamètre de rotor maximal de 140 m. Dans le cadre de l'étude de dangers, le gabarit retenu est celui présentant les zones d'effets les plus importantes pour chaque scénario étudié afin d'être maximisant dans la prise en compte des risques. Le gabarit retenu pour cette étude maximise le diamètre du rotor à 140 m, soit une longueur de pale de 70 m. La hauteur du mât est de 130 m, ce qui porte la hauteur totale de l'éolienne à 200 m. Les dimensions suivantes sont donc utilisées pour les calculs des différents scénarios étudiés :

Caractéristiques	Gabarit retenu pour l'étude
Hauteur en bout de pale	200 m
Diamètre du rotor	140 m
Longueur des pales	70 m
Hauteur du mât	130 m
Garde au sol	60 m
Puissance unitaire	3,0 à 4,5 MW

Tableau 3 : Caractéristiques du gabarit des éoliennes retenu pour l'étude



Fond de carte IGN ©

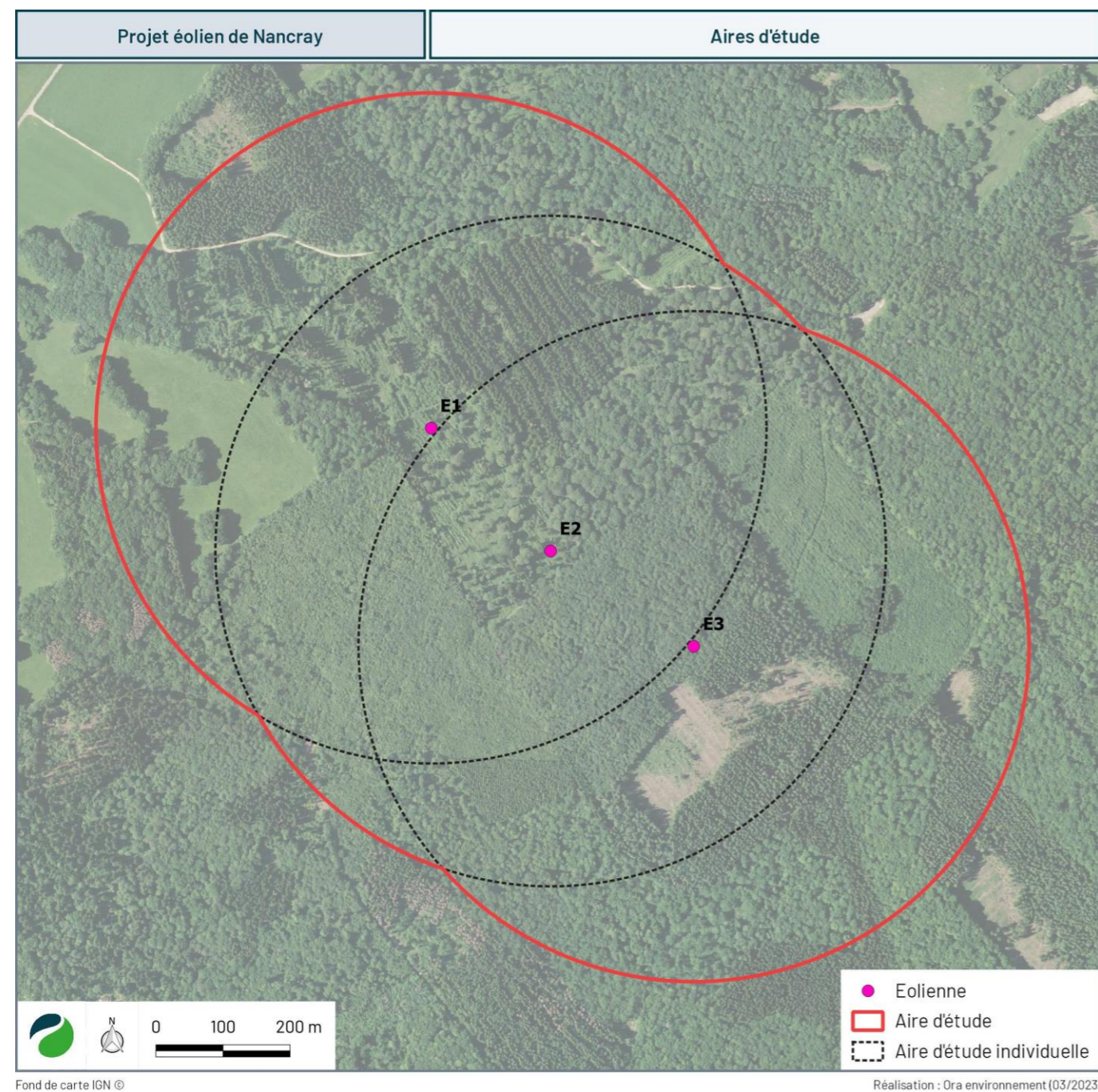
Réalisation : Ora environnement (03/2023)

Carte 1 : Localisation des principaux éléments du projet

2.3.2 Description de l'environnement au sein de l'aire d'étude

2.3.2.1 Définition de l'aire d'étude

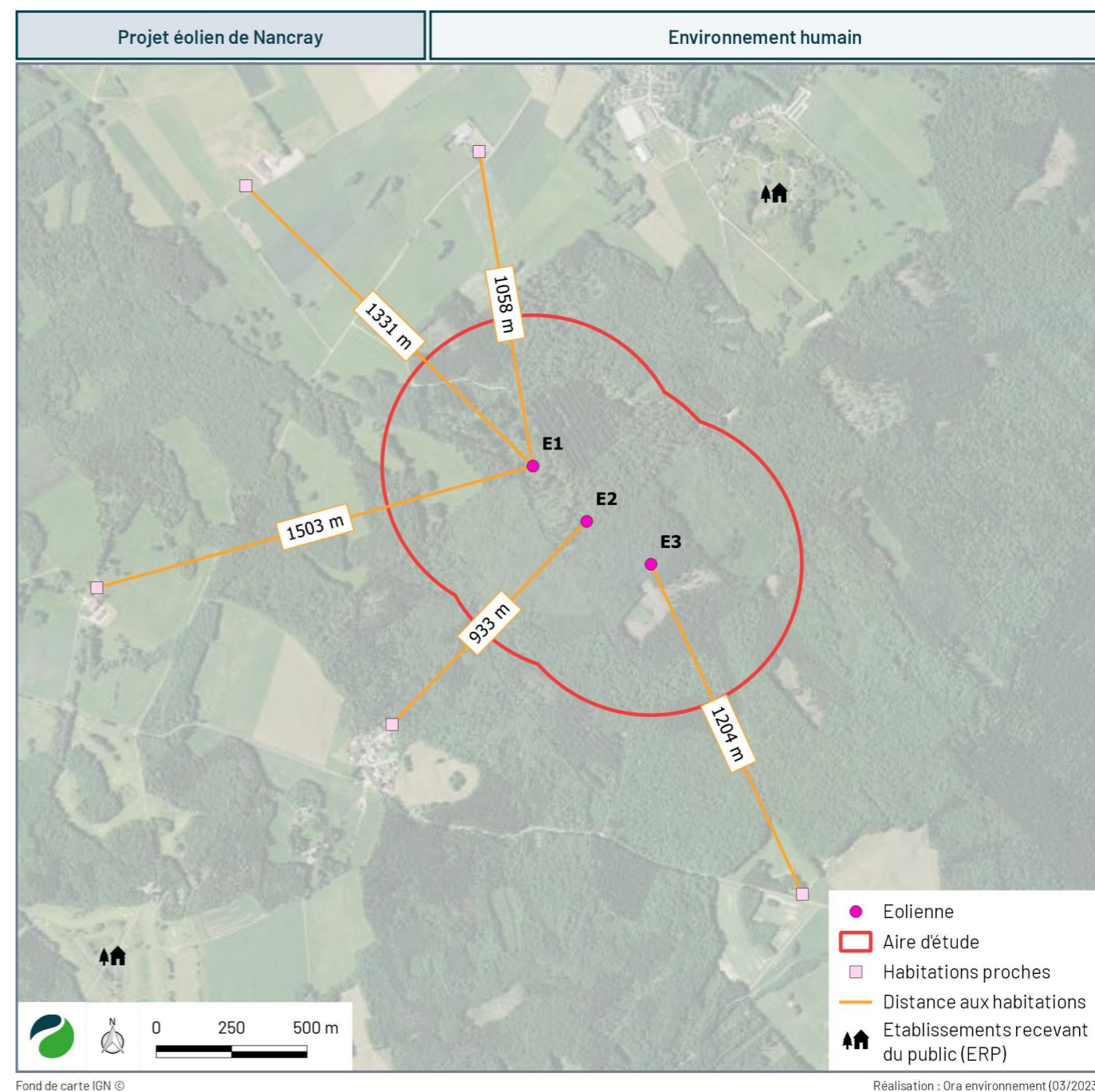
Le guide générique de l'étude de dangers élaboré par l'INERIS et le SER propose d'étudier l'ensemble des éléments situés à moins de 500 m des éoliennes du projet. Cette distance apparaît adaptée au regard de l'intensité et de la probabilité des phénomènes dangereux identifiés pour les parcs d'éoliennes mais aussi du retour d'expérience de la filière éolienne. L'aire d'étude du projet est donnée sur la carte suivante.



Carte 2 : Aire d'étude

2.3.2.2 L'environnement humain

Aucune habitation n'est présente au sein de l'aire d'étude. Conformément à l'arrêté du 10 décembre 2021 modifiant l'arrêté du 26 août 2011, les éoliennes sont en effet situées à plus de 500 m des zones habitées. Les distances séparant les éoliennes et les habitations les plus proches sont données sur la carte suivante.



Carte 3 : Distance du projet aux zones habitables

Aucun établissement recevant du public (ERP) ou installation classée pour la protection de l'environnement n'est présent dans l'aire d'étude. Aucun établissement nucléaire n'est recensé à moins de 125 km du parc éolien.

Les parcelles voisines aux éoliennes sont essentiellement des forêts destinées à la sylviculture.

Les risques naturels sont susceptibles d'impacter les éoliennes du projet et sont donc étudiés de manière à caractériser les enjeux au niveau de la zone d'étude.

Le contexte climatique

Le climat du Doubs se caractérise par une forte influence continentale, des neiges et fortes gelées l'hiver, des sécheresses et des chaleurs l'été ponctués par des pluies pouvant être orageuses. Les données présentées sont issues des normales climatiques de 1991-2000 de la station de Besançon (25), située à environ 10 km à l'ouest du projet.

Les températures fluctuent en fonction des saisons, la température moyenne la plus basse étant de 2,9°C en janvier et la plus haute de 20,2°C en juillet. L'amplitude thermique annuelle est relativement élevée (17,3°C), la température moyenne annuelle étant de 11,4°C.

En moyenne, on dénombre 57,8 jours de gel par an, où les températures peuvent être inférieures à 0 °C sur une période s'étendant d'octobre à mai.

Les précipitations moyennes annuelles sont d'environ 1157 mm par an. Les précipitations sont élevées et réparties tout au long de l'année.

Le nombre de jours de brouillard, où la visibilité sera par conséquent réduite, est en moyenne de 23,8 jours par an. Enfin, on dénombre en moyenne 29,9 jours d'orage par an.

Les vents dominants sur le site proviennent du sud-ouest avec une composante secondaire provenant du nord-est. On dénombre en moyenne 39,5 jours par an avec des rafales supérieures à 58 km/h et 0,8 jour avec des rafales supérieures à 100 km/h. La rafale maximale de vent à la station de Besançon a été enregistrée à environ 113 km/h en 2011.

D'après Global Wind Atlas, on observe au droit de l'aire d'étude à une hauteur de 100 m :

- Une vitesse moyenne de vent supérieure à 6,2 m/s ;
- Une densité de puissance supérieure à 343 W/m².

Les risques naturels au droit du projet

Le dossier départemental des risques majeurs (DDRM) liste les risques sur le territoire. Il a ainsi été consulté afin de recenser les risques au droit du projet sur la commune de Nancray et des communes les plus proches. **Les communes étudiées ne sont pas concernées par le risque d'inondation. Seule la commune de Saône est concernée par le risque mouvement de terrain.** Les catastrophes recensées sont principalement de type « inondations, coulées de boue » et « sécheresse ». **La commune du projet n'est pas concernée par un Atlas de Zones Inondables (AZI).**

L'aire d'étude est en partie concernée par des zones potentiellement sujettes aux inondations de cave. Toutefois les éoliennes n'y sont pas sujettes, tout comme aux débordements de nappe. Le risque est donc nul.

L'aléa retrait-gonflement des argiles est considéré comme moyen à l'extrémité nord de l'aire d'étude. Toutefois, il est nul au droit des éoliennes.

La commune du projet n'a pas fait l'objet d'éboulement ou d'affaissement de terrain d'après le DDRM. Aucun Plan de Prévention des Risques Mouvement de Terrain n'est adopté sur les communes étudiées.

La consultation de la base de données des cavités souterraines du BRGM n'a pas permis de mettre en évidence leur présence dans l'aire d'étude.

Toutes les communes étudiées sont en zone de sismicité 3 où **l'aléa sismique est qualifié de très modéré.**

Le projet étant principalement située en zone boisée, le risque lié aux feux de forêt n'est pas nul. Toutefois, les conditions climatiques rencontrées dans le Doubs font que le risque apparaît faible au droit de l'aire d'étude. Le DDRM ne liste pas les communes dont le territoire intersecte l'aire d'étude du projet comme étant à risque. Les communes étudiées ne sont pas non plus répertoriées dans les zones à risque feu de culture selon le DDRM. Du fait de la nature non cultivée de l'aire d'étude et des températures peu extrêmes, le risque n'est pas considéré comme majeur. Il est à noter que les mâts d'éoliennes sont composés de matériaux inertes (acier ou béton) peu sensibles aux incendies.

La densité de foudroiement dans le Doubs est de 2,6 impacts de foudre /km² /an. Le niveau kéraunique (Nk) est le second indice utilisé afin de définir le nombre de jours d'orage par an. Dans le Doubs, on dénombre au moins 35 jours d'orage chaque année, le département est donc dans une zone fortement orageuse de France.

Au regard du DDRM, le département du Doubs est soumis au risque de tempête (aléa climatique), cependant il ne constitue pas un risque majeur. **D'après les relevés climatiques de Météo France, la rafale maximale enregistrée à la station de Besançon a atteint les 113 km/h en 2011.**

2.3.2.4 L'environnement matériel

L'étude de dangers identifie l'ensemble des réseaux de communication présents dans les limites de la zone d'étude :

- Transport routier (routes, autoroutes, ouvrages d'art, etc.) ;
- Transport ferroviaire (voies de chemin de fer, gares, passages à niveau, etc.) ;
- Transport fluvial (cours d'eau navigables, canaux, écluses, etc.) ;
- Transport aérien (aéroports ou aérodromes, servitudes aéronautiques civiles et militaires, etc.).

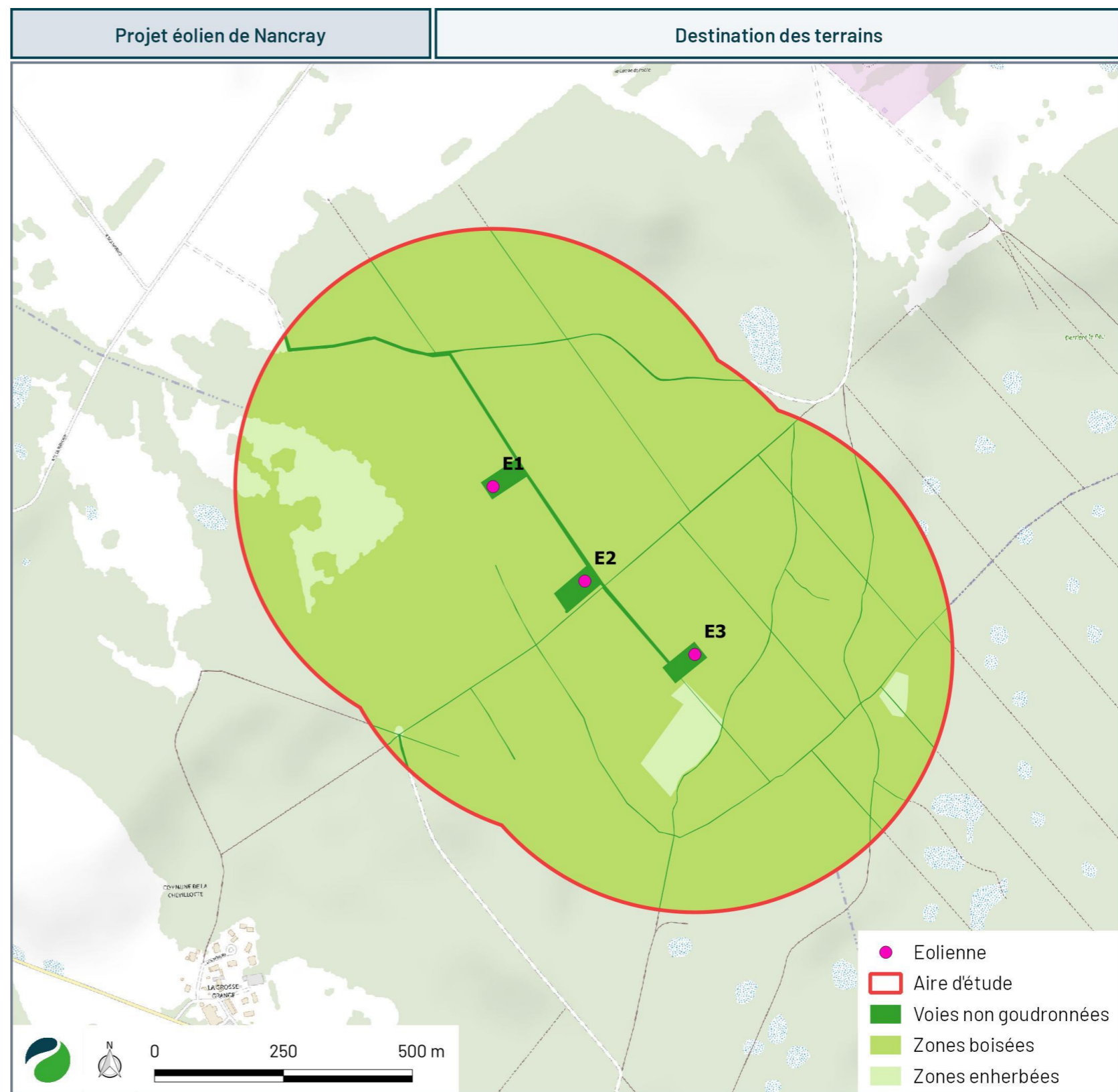
Pour chacune des voies de communication identifiées dans la zone d'étude, il est précisé la distance minimale par rapport à chaque éolienne, ainsi que sa caractérisation et le trafic journalier. Une distinction sera faite entre les routes structurantes (trafic supérieur à 2000 véhicules par jour) et les routes non structurantes.

Type de transport	Distance minimale à l'installation	Caractérisation	Trafic journalier
Chemins d'accès aux éoliennes	20 m	Voie non goudronnée	Voie non structurante (<2 000 véhicules/jour)
Chemins forestiers	30 m	Voie non goudronnée	Voie non structurante (<2 000 véhicules/jour)

Tableau 4 : Distances minimales des éoliennes aux voies de communication

A l'exception des chemins d'accès aux éoliennes et aux nombreux chemins forestiers non goudronnés illustrés sur la carte ci-contre, aucune infrastructure de communication n'est recensée au sein de l'aire d'étude.

Aucune infrastructure spécifique (transport d'électricité, canalisation de transport, réseaux d'assainissement, réseaux d'alimentation en eau potable) ou ouvrage public n'est présente au sein de l'aire d'étude du projet éolien de Nancray.

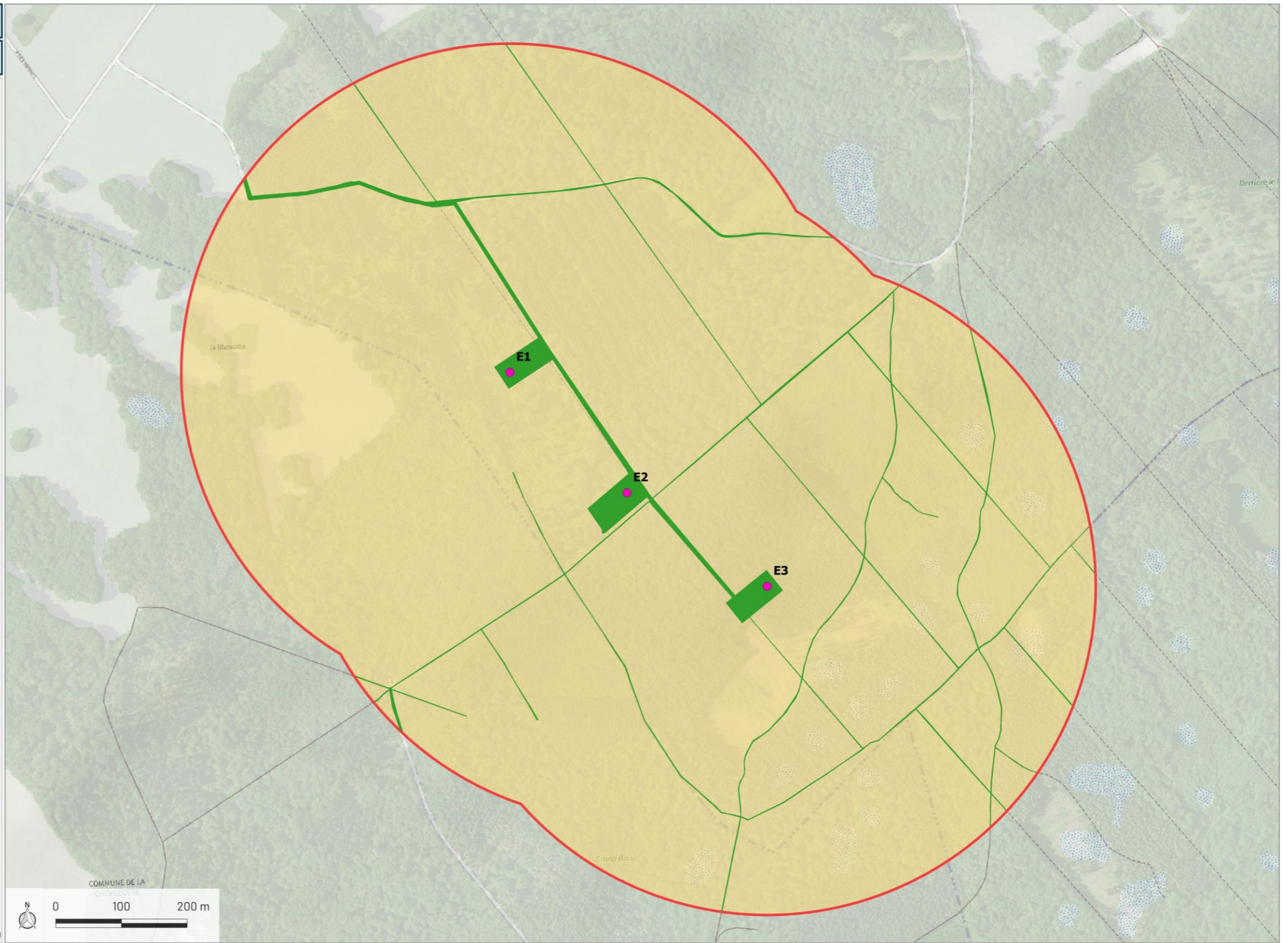


Fond de carte IGN ©

Réalisation : Ora environnement (03/2023)

Carte 4: Cartographie de synthèse

- Eolienne
- Aire d'étude
- Terrain aménagé peu fréquenté (1 pers/10 ha)
- Terrain non aménagé (1pers/100 ha)



Carte 5 : Classification des terrains dans l'aire d'étude

2.4 EVALUATION DES PRINCIPAUX RISQUES LIES AU PARC EOLIEN

2.4.1 Identification des potentiels de dangers de l'installation

Cette partie a pour objectif de mettre en évidence les éléments de l'installation pouvant constituer un danger, 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.

2.4.1.1 Potentiels de dangers liés aux produits

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

Les produits identifiés dans le cadre du parc éolien de Nancray 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...).

Aucun produit inflammable ou combustible n'est stocké dans les aérogénérateurs ou les postes de livraison.

Les risques associés aux différents produits concernant le site du parc éolien de Nancray sont :

- **L'incendie** : des produits combustibles sont présents 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.

2.4.2 Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

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

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

2.4.3 Analyse des retours d'expérience

A partir de l'ensemble des phénomènes dangereux qui ont été recensés, il est possible d'étudier leur évolution en fonction de la puissance raccordée.

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

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

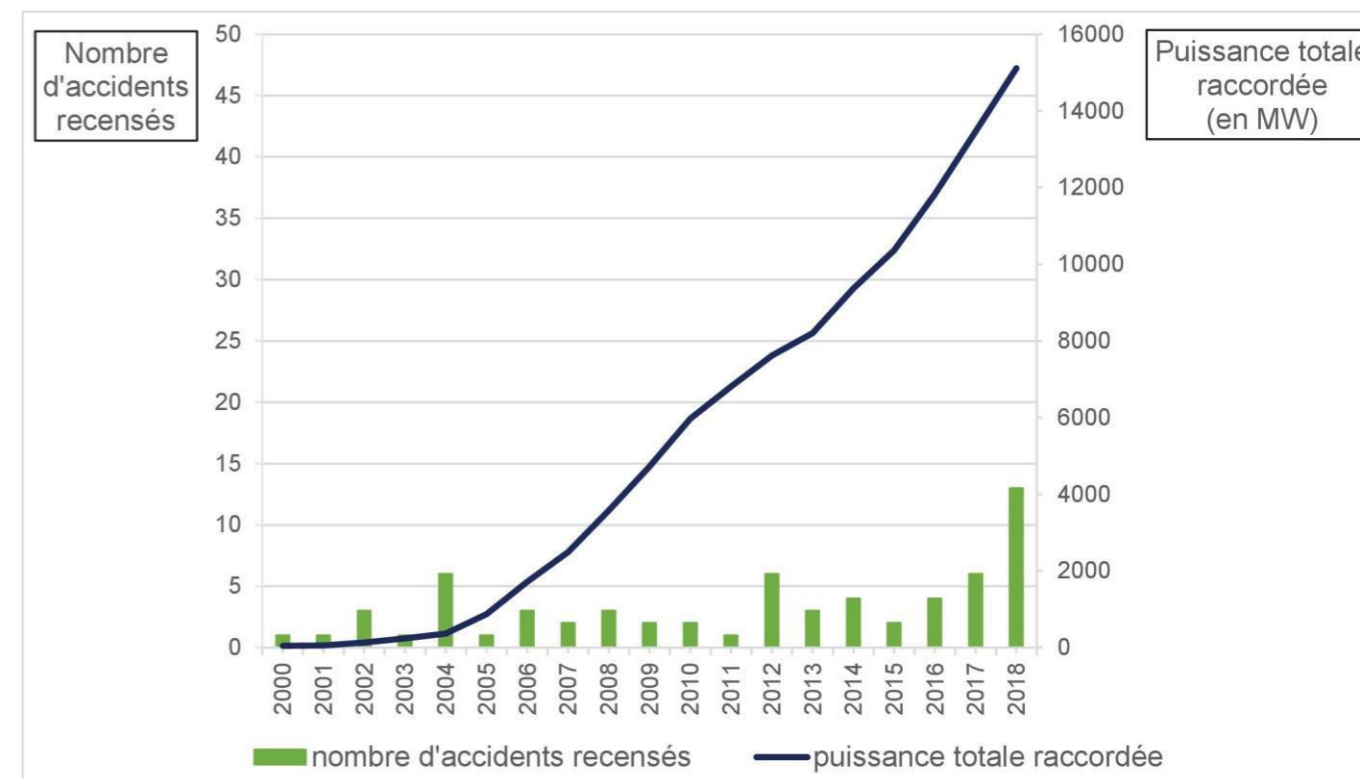
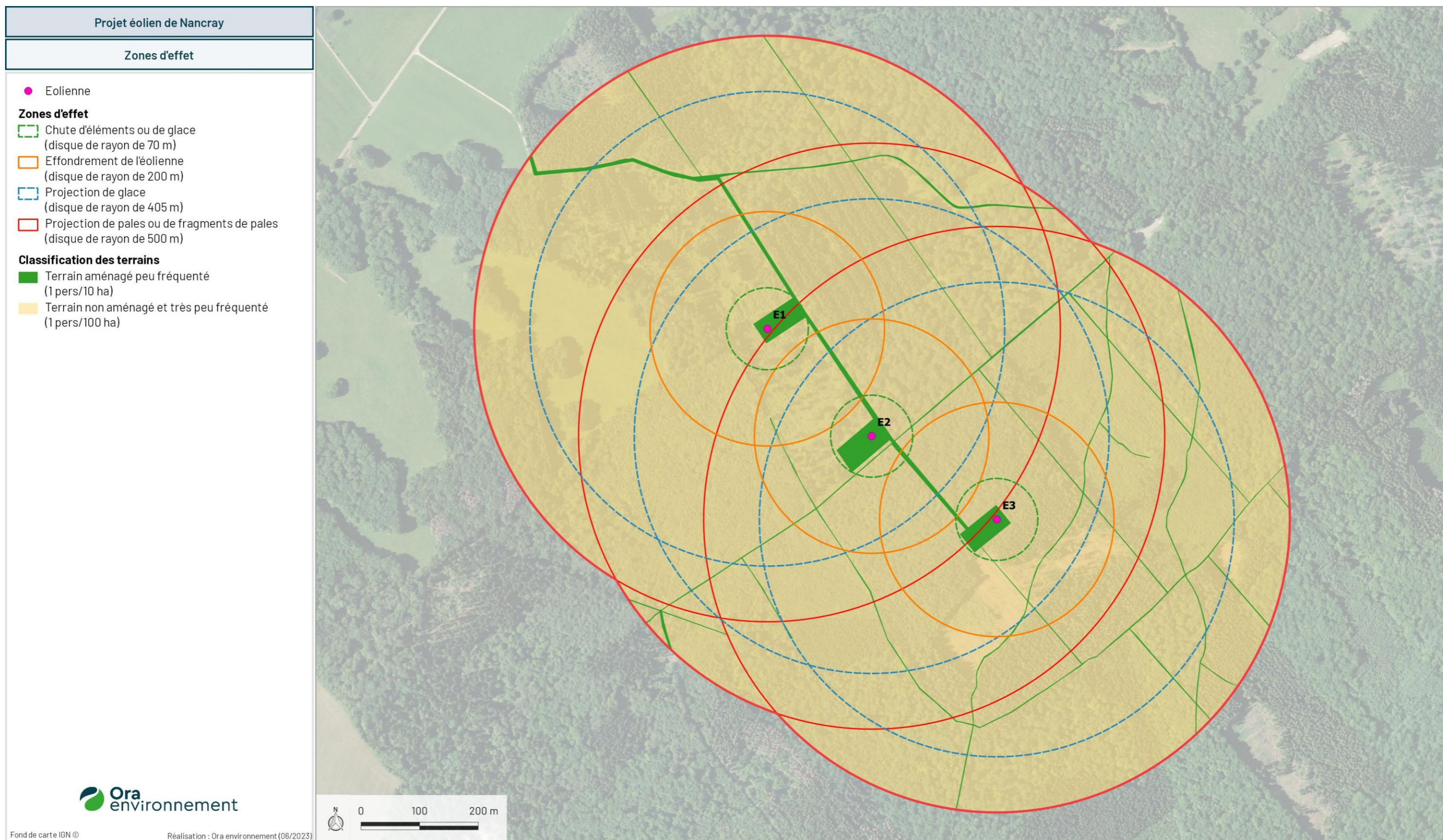


Figure 2 : Nombre d'incident en rapport avec la puissance éolienne installée en France

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

2.4.4 Analyse préliminaire des risques

L'analyse des risques a pour objectif principal d'identifier les scénarios d'accident majeurs et les mesures de sécurité qui empêchent ces scénarios de se produire ou en limitent les effets. Les scénarios d'accident sont ensuite hiérarchisés en fonction de leur intensité et de l'étendue possible de leurs conséquences. 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**. Les zones d'effets sont définies pour chaque événement accidentel comme la surface exposée à cet événement. La carte suivante illustre les différentes zones d'effet retenues.



Carte 6: Zones d'effet

2.5 PRINCIPAUX RESULTATS DE L'ETUDE DETAILLEES DES RISQUES

L'environnement du projet éolien est principalement composé de parcelles agricoles et boisées, ainsi que de voies de communication (routes goudronnées et chemins ruraux). Les terrains liés au stockage d'hydrocarbures sont peu fréquentés. Les risques concernent donc des personnes pouvant se trouver à proximité des éoliennes : agriculteur, marcheur, automobiliste, etc. De manière à caractériser les risques, deux critères sont utilisés : la probabilité et la gravité de chacun des événements redoutés.

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

Niveaux	Echelle qualitative	Echelle quantitative (probabilité annuelle)
A	Courant Se produit sur le site considéré et/ou peut se produire à plusieurs reprises pendant la durée de vie des installations, malgré d'éventuelles mesures correctives.	$P > 10^{-2}$ 1 événement tous les 100 ans
B	Probable S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations.	$10^{-3} < P \leq 10^{-2}$ 1 événement tous les 100 à 1 000 ans
C	Improbable Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité.	$10^{-4} < P \leq 10^{-3}$ 1 événement tous les 1 000 à 10 000 ans
D	Rare S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité.	$10^{-5} < P \leq 10^{-4}$ 1 événement tous les 10 000 à 100 000 ans
E	Extrêmement rare Possible mais non rencontré au niveau mondial. N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles.	$\leq 10^{-5}$ Moins d'un événement tous les 100 000 ans

Tableau 5 : Classe des probabilités des études de dangers

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, du retour d'expérience et 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).

Les seuils de gravité sont quant à eux déterminés en fonction du nombre équivalent de personnes permanentes dans chacune des zones d'effet identifiées. Cinq niveaux sont utilisés : « modéré », « sérieux », « important », « catastrophique » et « désastreux ».

Les risques sont un croisement de ces deux critères, permettant de définir trois niveaux :

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

L'évaluation détaillée est présentée dans le tableau suivant :

Scénario	Zone d'effet	Cinétique*	Intensité	Probabilité	Niveau de gravité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale (200 m)	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes)	Modéré pour toutes les éoliennes
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol des pales (70 m)	Rapide	Exposition modérée	C	Modéré pour toutes les éoliennes
Chute de glace	Zone de survol des pales (70 m)	Rapide	Exposition modérée	A sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Modéré pour toutes les éoliennes
Projection de pales	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes)	Modéré pour les éoliennes E1 et E3 Sérieux pour l'éolienne E2
Projection de glace	Disque dont le rayon est égal à $1,5 \times (H + 2R)$ (405 m)	Rapide	Exposition modérée	B sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Modéré pour toutes les éoliennes

*Il est supposé, de manière prudente, que tous les accidents considérés ont une cinétique rapide

Tableau 6 : Evaluation détaillée des risques

Le tableau suivant récapitule les niveaux de risques identifiés pour le parc éolien de Nancray.

Récapitulatif					
Niveau de gravité (Traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		FP2			
Modéré		FP1 FP3 EE1 EE2 EE3	CE1 CE2 CE3	PG1 PG2 PG3	CG1 CG2 CG3

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

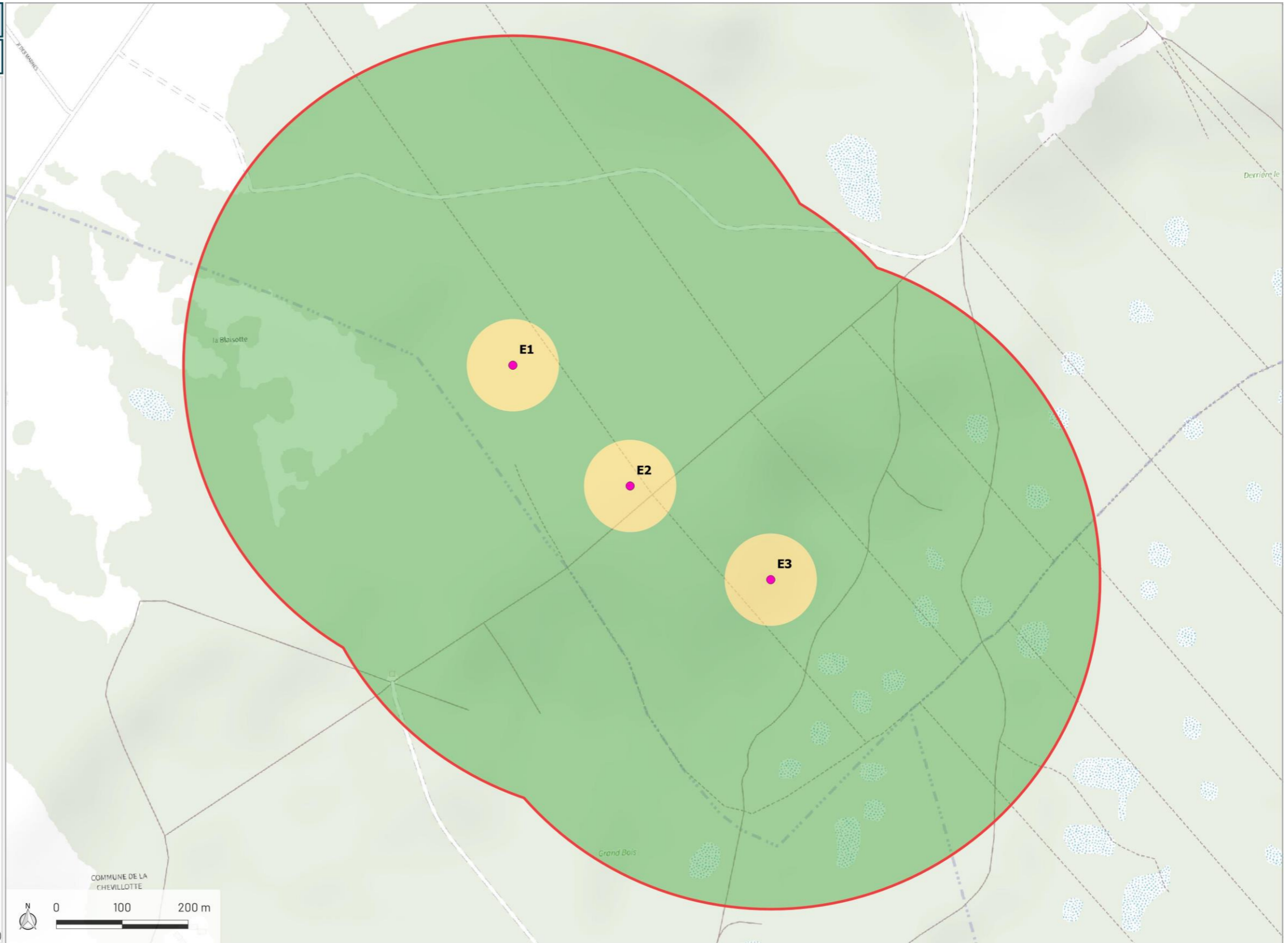
EE : effondrement de l'éolienne
CE : chute d'élément de l'éolienne
CG : chute de glace
PG : projection de glace
FP : projection de fragment de pale

Tableau 7 : Acceptabilité du niveau des risques

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

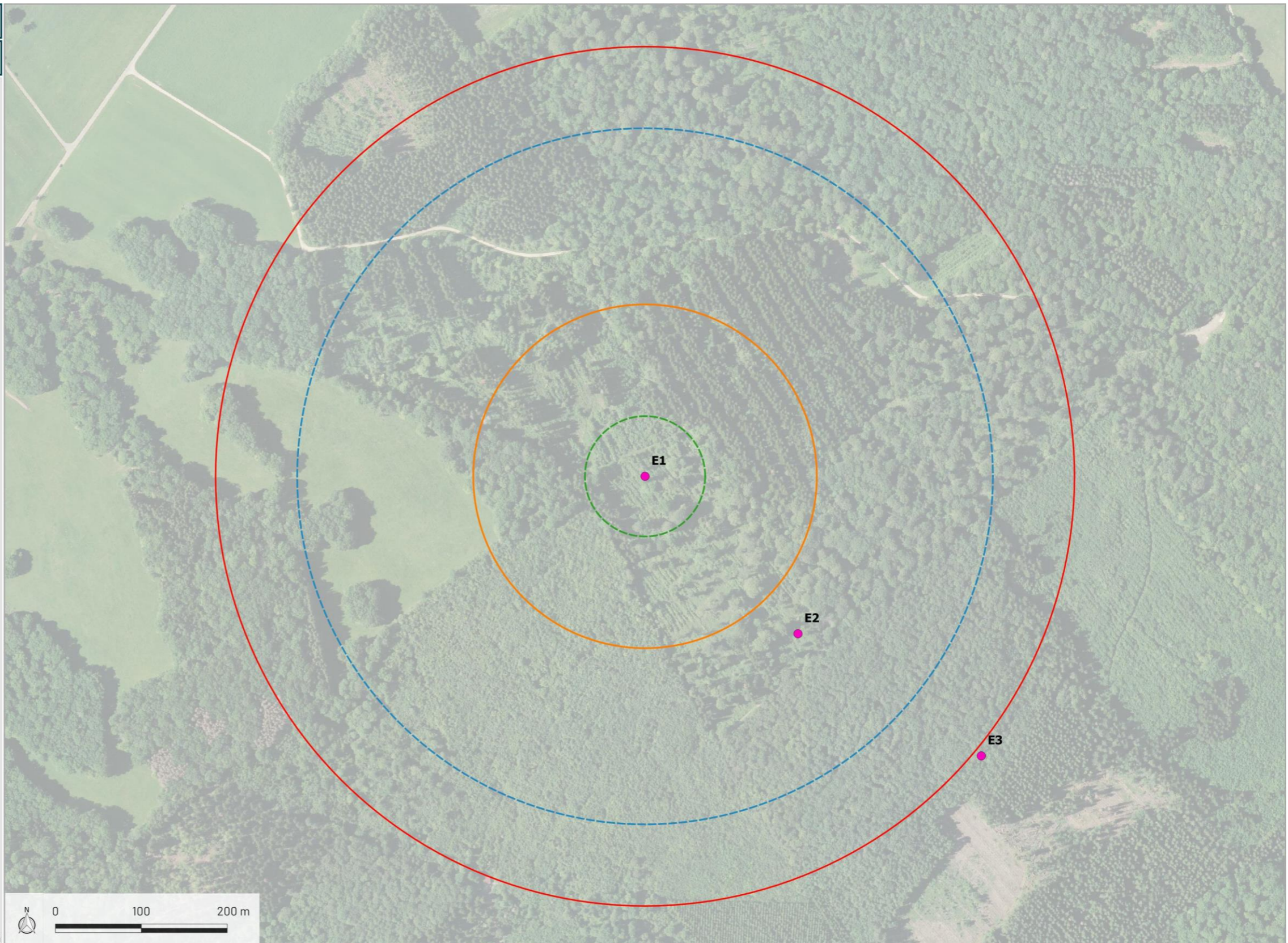
- Aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice.
- Certains accidents figurent en case jaune. Pour ces accidents, il convient de souligner que les fonctions de sécurité sont mises en place.

- Eolienne
- Aire d'étude
- Niveaux de risque**
- Risque faible
- Risque très faible



Carte 7 : Synthèse du niveau de risque

- Eolienne
- Zones d'effet**
- Chute de glace :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 70 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : A
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Faible
- Chute d'élément d'éolienne :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 70 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : C
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible
- Effondrement de l'éolienne :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 200 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : D
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible
- Projection de glace :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 405 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : B
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible
- Projection de pale ou de fragments de pale :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 500 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : D
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible



Fond de carte IGN © Réalisation : Ora environnement (06/2023)

Carte 8: Niveau de risque associés à l'éolienne E1

Niveaux de risque associés à l'éolienne E2

● Eolienne

Zones d'effet

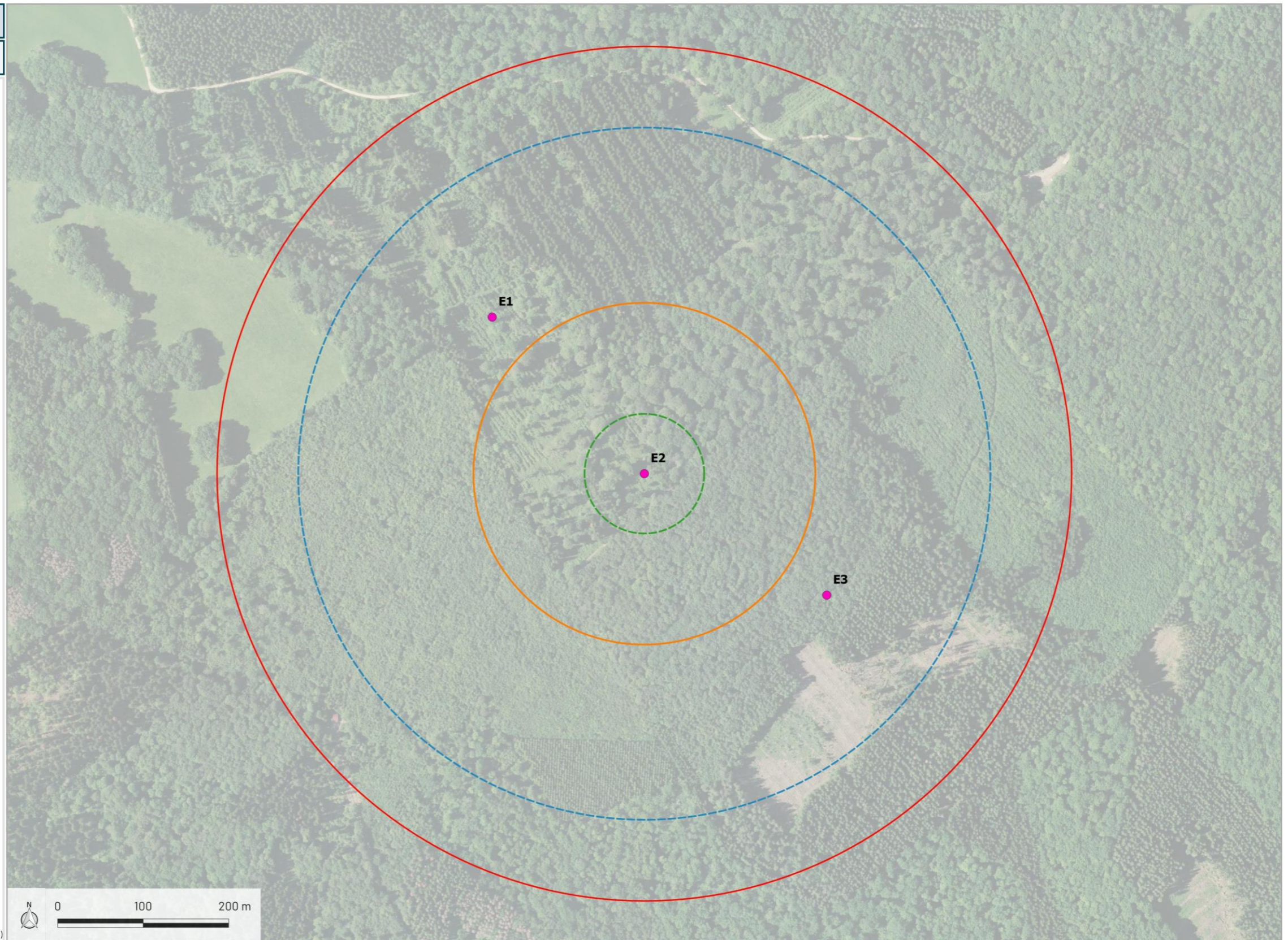
- Chute de glace :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 70 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : A
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Faible

- Chute d'élément d'éolienne :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 70 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : C
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible

- Effondrement de l'éolienne :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 200 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : D
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible

- Projection de glace :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 405 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : B
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible

- Projection de pale ou de fragments de pale :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 500 m
 - Nombre de personnes exposées : <10 pers
 - Probabilité : D
 - Niveau de gravité : Sérieux
 - Niveau de risque : Très faible



Carte 9: Niveau de risque associés à l'éolienne E2

● Eolienne

Zones d'effet

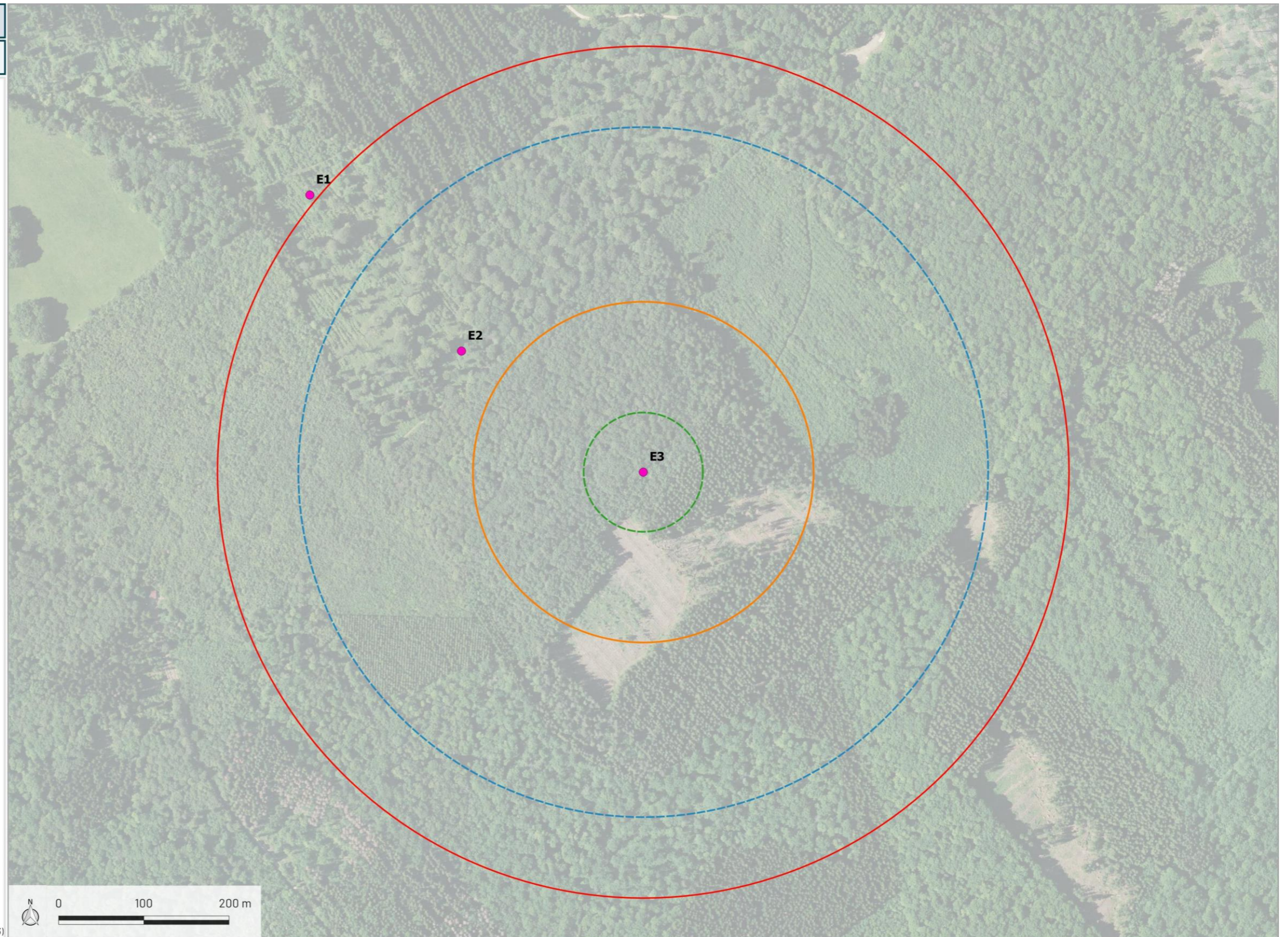
- Chute de glace :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 70 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : A
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Faible

- Chute d'élément d'éolienne :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 70 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : C
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible

- Effondrement de l'éolienne :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 200 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : D
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible

- Projection de glace :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 405 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : B
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible

- Projection de pale ou de fragments de pale :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 500 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : D
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible



Carte 10: Niveau de risque associés à l'éolienne E3

2.6 MESURES DE MAITRISE DES RISQUES

Malgré un risque acceptable pour l'ensemble des éoliennes du projet éolien de Nancray, différentes fonctions de sécurité sont présentes sur les machines pour réduire les probabilités d'occurrence d'un accident :

1. Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur entraînant la mise à l'arrêt de la machine ;
2. Panneautage en pied de machine du risque de chute de glace ;
3. Capteurs de température des pièces mécaniques détectant l'échauffement significatif des pièces mécaniques entraînant l'arrêt de la machine en cas de surchauffe ;
4. Détection de survitesse permettant d'empêcher l'emballement de l'éolienne par un système de freinage aérodynamique et/ou mécanique ;
5. Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique permettant de prévenir un court-circuit ;
6. Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur grâce à des parafoudres ;
7. Capteurs de températures et systèmes de détection d'incendie entraînant l'arrêt de l'éolienne et le déclenchement d'une alarme pour l'intervention des services de secours et de techniciens ;
8. Détecteurs de niveau d'huile, systèmes d'étanchéité et dispositifs de collecte et de récupération permettant d'éviter le risque de fuite de produits dans l'environnement ;
9. Surveillance des vibrations et contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblage pour prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage ;
10. Mise en place de procédures de maintenance pour prévenir des erreurs de maintenance ;
11. Choix du type de machine adapté aux conditions de vent sur le site et système de détection de vents forts entraînant l'arrêt automatique de la machine pour prévenir des risques de dégradation de l'éolienne ;
12. Détection des défaillances du réseau électrique, système de batteries et système d'alimentation sans coupure permettant d'empêcher la perte de contrôle de l'éolienne en cas de défaillance réseau.

2.7 CONCLUSION

Les mesures de maîtrise des risques mises en place par le constructeur et par l'exploitant du parc éolien permettent de prévenir et de limiter les risques pour la sécurité des personnes et des biens sur le territoire d'implantation du projet éolien de Nancray. De plus, le caractère très peu aménagé et peu fréquenté du site, ainsi que la distance par rapport aux premiers enjeux humains permettent de limiter la probabilité et la gravité des accidents majeurs, qui sont tous acceptables pour l'ensemble du parc éolien.

Un seul évènements présentent un risque faible d'atteindre des personnes :

- **La chute de glace.** Ce cas concerne une personne non abritée située sous une éolienne, soit un rayon de 70 m autour du mât. Ce risque correspond à un degré d'exposition « modéré » (petits fragments de glace) et donc à un niveau de gravité « modéré », avec une probabilité d'occurrence de l'évènement supérieure à 10^{-2} par éolienne et par an. Il faut noter que ces zones de survol des pales sont très peu fréquentées (moins d'une personne équivalente). De plus, conformément à l'annexe I, alinéa 3.8 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021, un panneautage préventif informant des risques de chute de glace au pied des éoliennes sera mis en place afin de limiter les risques pour le public.

L'ensemble des autres évènements présentent des niveaux de risque très faible.

Les accidents majeurs susceptibles de se produire sur le parc éolien de Nancray présentent tous des niveaux de risque acceptables au vu de l'analyse menée dans la présente étude de dangers.

3 INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

3.1 RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

L'exploitant du parc éolien de Nancray est la société Nancr'éole (pour le compte de la société Opale Energies Naturelles), immatriculée sous le numéro 952 937 936 au RCS de Besançon et domiciliée au 17 rue du Stade, 25660 FONTAIN.

Le rédacteur de la présente étude est Damien Geffroy, Chargé d'études au sein du bureau d'études Ora environnement, S.A.R.L. immatriculée sous le numéro 820 828 333 au R.C.S. de Strasbourg et domiciliée au 13 rue Jacques Peirotes, 67000 STRASBOURG.

3.2 LE PROJET DE NANCRAI

Le projet éolien de Nancray est composé de trois éoliennes et d'un poste de livraison. Ces infrastructures sont localisées sur la commune de Nancray, dans le département du Doubs en région Bourgogne-Franche-Comté.

Les coordonnées du centre des éoliennes et du poste de livraison du projet sont rappelées dans le tableau suivant. Ces éléments sont localisés sur la carte ci-contre.

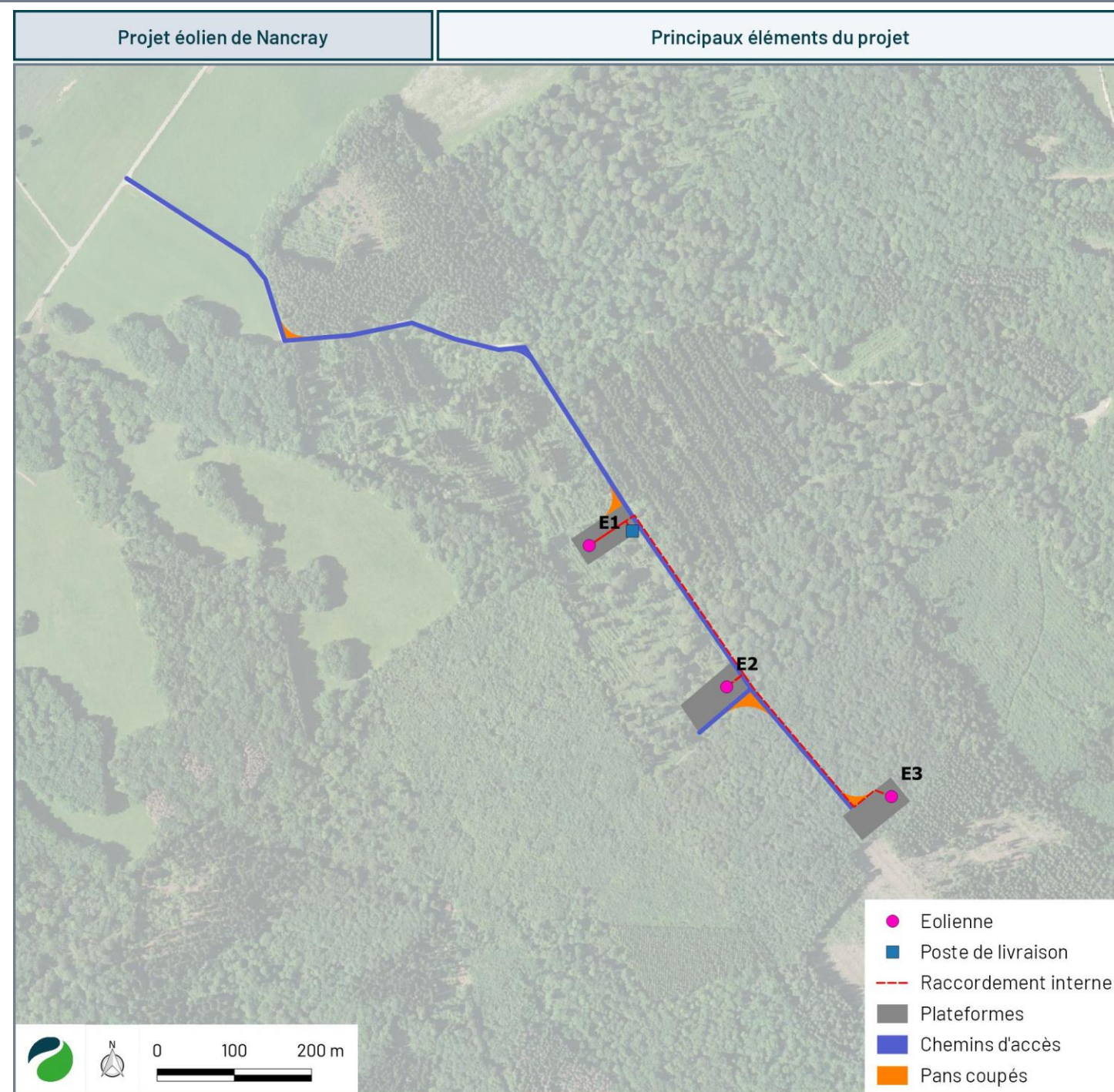
Eolienne	Coordonnées Lambert-93		Coordonnées WGS 84		Altitude (en m)
	X	Y	Latitude	Longitude	
E1	940 067	6 685 812	N 47°13'45.06"	E 6°10'25.15"	426,25
E2	940 245	6 685 629	N 47°13'38.90"	E 6°10'33.26"	457,80
E3	940 458	6 685 487	N 47°13'34.02"	E 6°10'43.12"	443,36
PD1	940 122	6 685 831	N 47°13'45.60"	E 6°10'27.80"	426,25

Tableau 8 : Coordonnées géographiques des éoliennes et du poste de livraison

La demande d'autorisation environnementale (DAE) repose sur un gabarit maximal permettant d'englober les caractéristiques techniques de nombreuses éoliennes disponibles sur le marché. En effet, à ce jour, la machine qui sera installée sur le site n'est pas encore connue. Les consultations des entreprises et le choix de la machine se feront une fois l'autorisation préfectorale obtenue. Le gabarit maximal utilisé dans le cadre de la DAE possède une hauteur maximale de 200 m et un diamètre de rotor maximal de 140 m. Dans le cadre de l'étude de dangers, le gabarit retenu est celui présentant les zones d'effets les plus importantes pour chaque scénario étudié afin d'être maximisant dans la prise en compte des risques. Le gabarit retenu pour cette étude maximise le diamètre du rotor à 140 m, soit une longueur de pale de 70 m. La hauteur du mât est de 130 m, ce qui porte la hauteur totale de l'éolienne à 200 m. Les dimensions suivantes sont donc utilisées pour les calculs des différents scénarios étudiés :

Caractéristiques	Gabarit retenu pour l'étude
Hauteur en bout de pale	200 m
Diamètre du rotor	140 m
Longueur des pales	70 m
Hauteur du mât	130 m
Garde au sol	60 m
Puissance unitaire	3,0 à 4,5 MW

Tableau 9 : Caractéristiques du gabarit des éoliennes retenu pour l'étude



Fond de carte IGN ©

Réalisation : Ora environnement (03/2023)

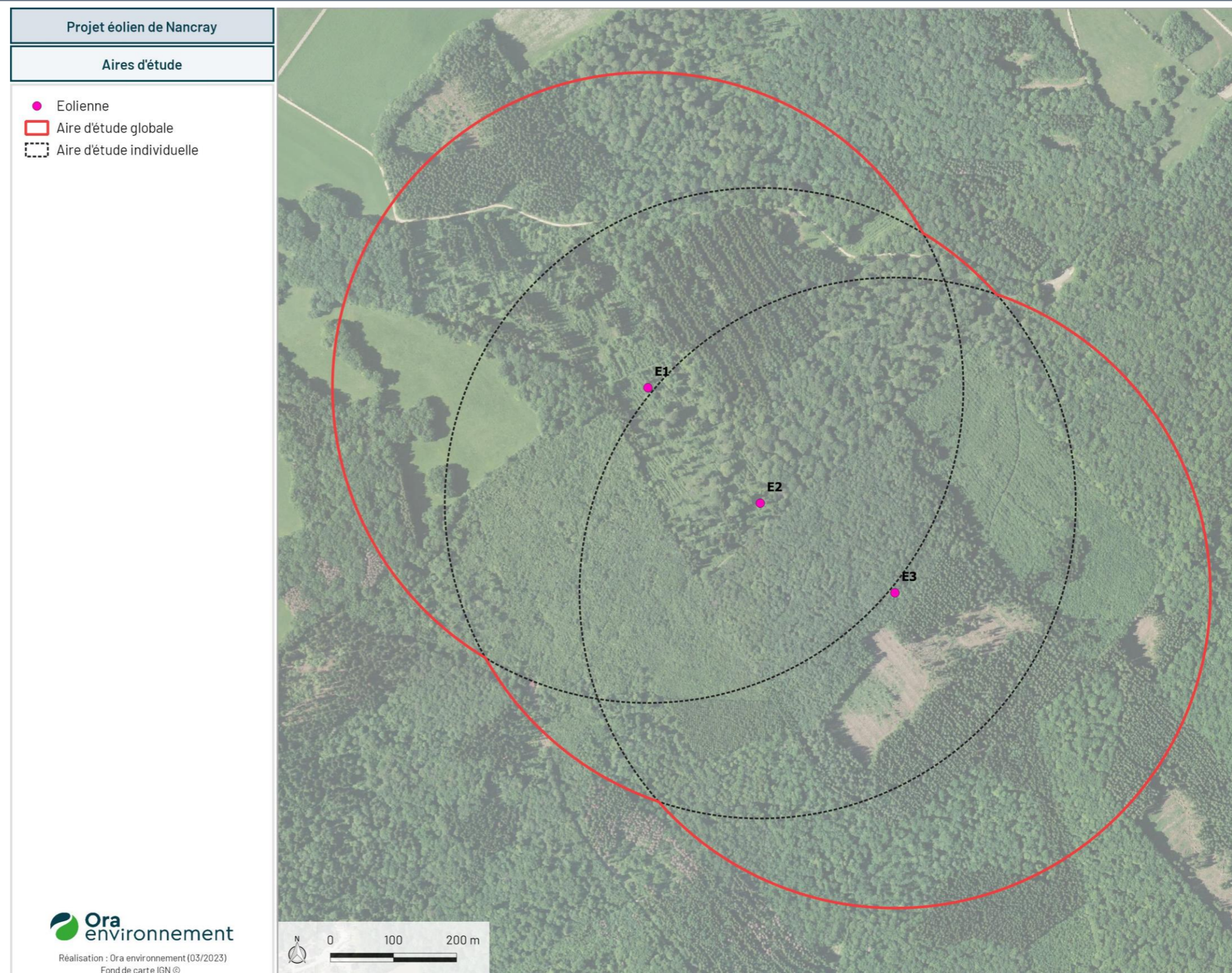
Carte 11 : Localisation des principaux éléments du projet

3.3 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, telle que définie au paragraphe 9.2.4.

La zone d'étude n'intègre pas de tampon de 500 m autour du poste de livraison. Les expertises réalisées dans le cadre de la présente étude ont en effet montré l'absence d'effet à l'extérieur du poste de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter.



Carte 12 : Aire d'étude

4 DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

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

4.1 ENVIRONNEMENT HUMAIN

4.1.1 Zones urbanisées

Les habitations les plus proches sont à plus de 900 m des éoliennes du projet.

Lieu	Commune	Distance à l'éolienne la plus proche
Grange de la Forêt	La Chevillotte	1 204 m (E3)
La Grosse Grange	La Chevillotte	933 m (E2)
La Vieille Chevillotte	La Chevillotte	1 503 m (E1)
Rue des Marnes	Nancray	1 331 m (E1)
Route de la Chevillotte	Nancray	1 058 m (E1)

Tableau 10 : Distance aux zones habitées les plus proches

4.1.2 Etablissements recevant du public (ERP)

Aucun établissement recevant du public (ERP) n'est présent dans l'aire d'étude. Selon la préfecture du Doubs, un ERP de catégorie 4 (accueillant 300 personnes et au-dessous) se trouve à un peu plus de 1 000 m des éoliennes. Il s'agit du musée des Maisons Comtoises situé sur le territoire communal de Nancray. Les autres ERP sont situés dans les villages alentours au projet, à plus de 1,5 km des éoliennes.

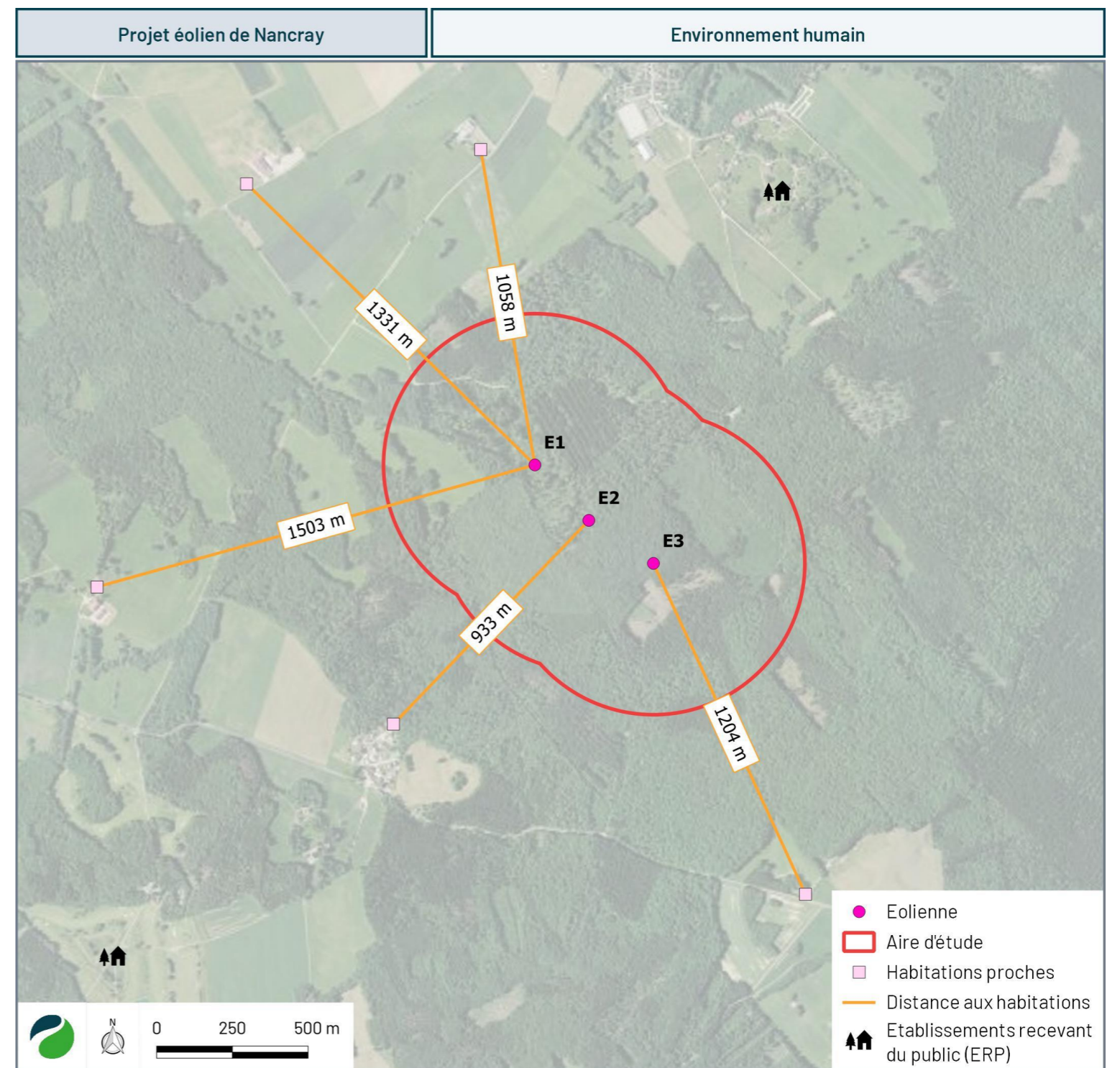
4.1.3 Installations classées pour la protection de l'environnement et installations nucléaires

Aucune installation classée pour la protection de l'environnement n'est présente au sein de l'aire d'étude. La plus proche se trouve à plus de 1,7 km au sud du projet. Il s'agit d'une coopérative agricole. De même, aucune éolienne en exploitation n'est présente au sein ou à proximité immédiate de l'aire d'étude. Les plus proches se trouvent à plus de 15 km du projet.

Aucun établissement nucléaire n'est recensé à moins de 125 km.

4.1.4 Autres activités

Les parcelles voisines aux éoliennes sont essentiellement des forêts destinées à la sylviculture.



Fond de carte IGN ©

Réalisation : Ora environnement (03/2023)

Carte 13 : Environnement humain

4.2 ENVIRONNEMENT NATUREL

4.2.1 Contexte climatique

4.2.1.1 Normales climatiques

Le climat du Doubs se caractérise par une forte influence continentale, des neiges et fortes gelées l'hiver, des sécheresses et des chaleurs l'été ponctués par des pluies pouvant être orageuses. Les données présentées sont issues des normales climatiques de 1991-2020 de la station de Besançon (25), située à environ 10 km à l'ouest du projet. Les températures fluctuent en fonction des saisons, la température moyenne la plus basse étant de 2,9°C en janvier et la plus haute de 20,2°C en juillet. L'amplitude thermique annuelle est relativement élevée (17,3°C), la température moyenne annuelle étant de 11,4°C.

Température moyenne (°C)												
Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy.
2.9	3.9	7.5	10.8	14.6	19.2	20.2	20.0	16.0	11.9	6.7	3.7	11.4

Tableau 11 : Températures moyennes (Source : Météo France)

En moyenne, on dénombre 57,8 jours de gel par an, où les températures peuvent être inférieures à 0°C sur une période s'étendant d'octobre à mai.

Nombre de jours avec des températures inférieures ou égales à 0°C												
Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
15.6	13.1	6.6	1.6	0.1	-	-	-	-	0.9	6.0	13.8	57.8

Tableau 12 : Nombre de jours potentiels de gel (Source : Météo France)

Les précipitations moyennes annuelles sont d'environ 1157 mm par an. Les précipitations sont élevées et réparties tout au long de l'année.

Hauteur moyenne des précipitations (en mm)												
Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
89.7	81.2	85.0	86.6	107.9	97.5	88.8	96.1	100.7	111.7	106.5	105.3	1157

Tableau 13 : Hauteurs moyennes des précipitations (Source : Météo France)

Les données relatives au brouillard et aux orages ne sont pas disponibles pour la station de Besançon pour la période 1991-2020. Elles sont donc issues de la période 1971-2000. Le nombre de jours de brouillard, où la visibilité sera par conséquent réduite, est en moyenne de 23,8 jours par an. Enfin, on dénombre en moyenne 29,9 jours d'orage par an.

Nombre de jours de brouillard et d'orage													
	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Brouillard	3.6	2.7	0.8	0.9	0.6	0.6	0.5	1.1	1.8	3.3	3.8	4.3	23.8
Orage	0.3	0.4	0.8	2.0	4.7	5.4	6.0	5.2	3.0	1.1	0.3	0.6	29.9

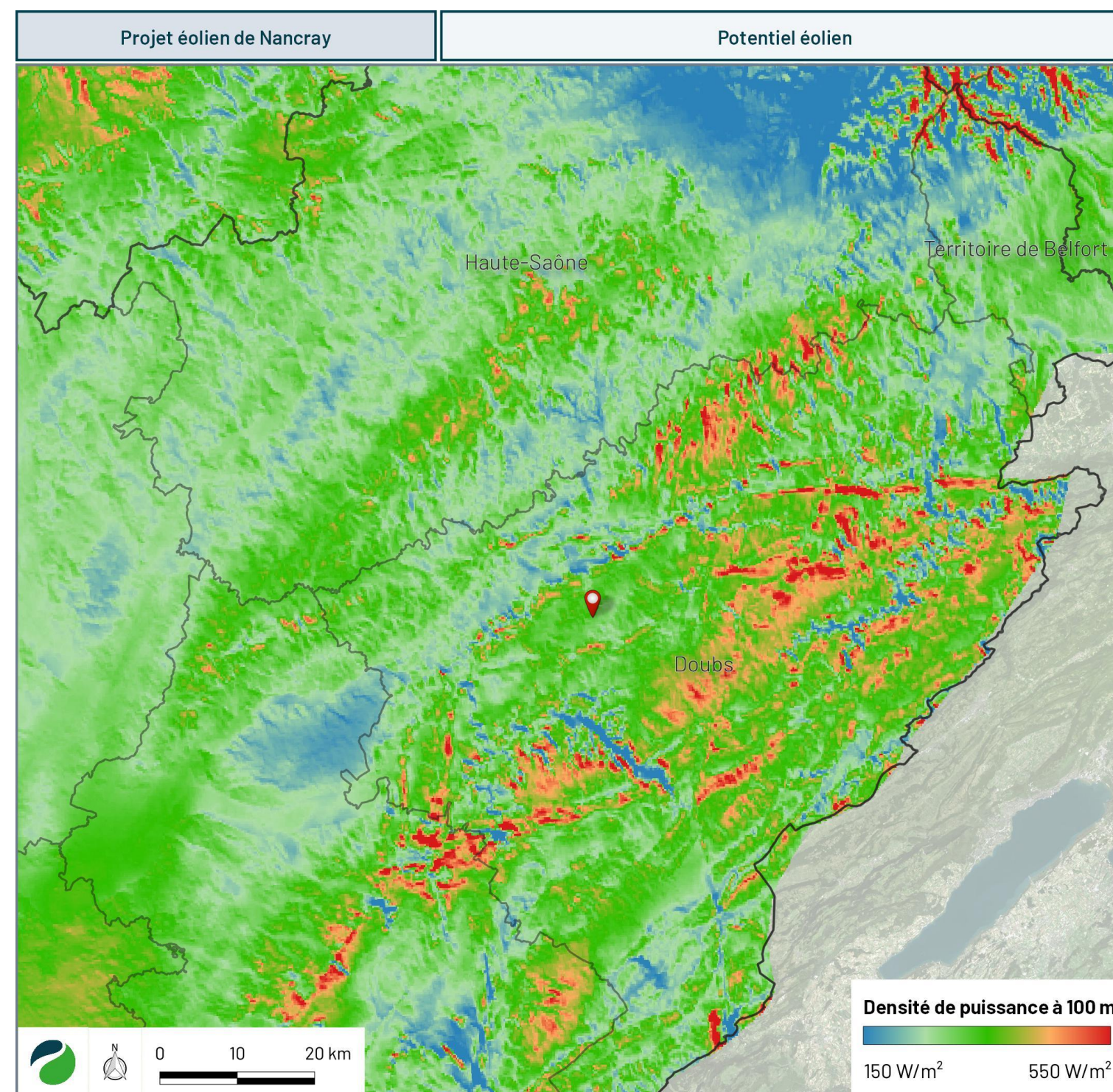
Tableau 14 : Nombre de jours de brouillard et d'orage (Source : Météo France)

Les vents dominants sur le site proviennent du sud-ouest avec une composante secondaire provenant du nord-est. On dénombre en moyenne 39,5 jours par an avec des rafales supérieures à 58 km/h et 0,8 jour avec des rafales supérieures à 100 km/h. La rafale maximale de vent à la station de Besançon a été enregistrée à environ 113 km/h en 2011.

4.2.1.2 Potentiel éolien sur le site

D'après Global Wind Atlas, on observe au droit de l'aire d'étude à une hauteur de 100 m :

- Une vitesse moyenne de vent supérieure à 6,2 m/s ;
- Une densité de puissance supérieure à 343 W/m².



Fond de carte IGN ©

Réalisation : Ora environnement (03/2023)

Carte 14 : Densité de puissance à 100 m d'altitude (Données : Global Wind Atlas)

4.2.2 Risques naturels

4.2.2.1 Dossier départemental des risques majeurs

L'objectif du dossier départemental des risques majeurs (DDRM) est d'informer et de sensibiliser les élus locaux et les citoyens sur les risques auxquels ils sont exposés afin de développer une véritable culture des risques et l'appropriation des mesures pertinentes pour les prévenir et s'en protéger (R. 125-11 du code de l'environnement).

Le tableau ci-dessous liste l'exposition aux risques majeurs de la commune du projet et des communes les plus proches. Il est à noter qu'aucune de ces communes n'est soumise à un plan de prévention des risques (PPR).

Commune	Inondation	Mouvement de terrain	Séisme	Aléas climatiques (dont tempête)
Nancray	-	-	Zone 3	Oui
La Chevillotte	-	-	Zone 3	Oui
Mamirolle	-	-	Zone 3	Oui
Saône	-	Oui	Zone 3	Oui
Gennes	-	-	Zone 3	Oui
Bouclans	-	-	Zone 3	Oui
Naisey-les-Granges	-	-	Zone 3	Oui

Tableau 15 : Liste des risques identifiés par commune (Source : DDRM 52)

4.2.2.2 Arrêtés de catastrophes naturelles

Dans le tableau ci-dessous sont dénombrées les catastrophes naturelles ayant affecté les communes étudiées. Les catastrophes recensées sont principalement de type « inondations, coulées de boue » et « sécheresse ».

Commune	Inondations et coulées de boue	Inondations par remontée de nappe	Mouvement de terrain	Sécheresse
Nancray	2	-	-	1
La Chevillotte	-	-	-	-
Mamirolle	-	-	-	-
Saône	4	1	1	-
Gennes	-	-	-	1
Bouclans	-	-	-	1
Naisey-les-Granges	-	-	-	-

Tableau 16 : Liste des arrêtés portant reconnaissance de l'état de catastrophe naturelle (Données : <http://www.georisques.gouv.fr/>)

4.2.2.3 Inondations

D'après le site Géorisques, ce risque est directement lié aux précipitations et conditions météo-marines :

- Orages d'été qui provoquent des pluies violentes et localisées ;
- Perturbations orageuses d'automne, notamment sur la façade méditerranéenne, mais dont les effets peuvent se faire ressentir dans toute la moitié sud du pays ;
- Pluies océaniques qui occasionnent des crues en hiver et au printemps, surtout dans le nord et l'ouest de la France ;
- Fonte brutale des neiges au rôle parfois amplificateur, en particulier si des pluies prolongées et intenses interviennent alors ;
- Pluviométrie importante durant plusieurs mois voire plusieurs années successives ;
- Basses pressions atmosphériques et fort vent d'afflux.

Les bassins versants et cellules hydrosédimentaires, selon leur taille, peuvent y répondre par des crues, des ruissellements, des remontées de nappe ou des submersions de divers types en fonction de l'intensité, de la durée et de la répartition de ces précipitations.

Le risque peut être amplifié selon la pente du bassin versant et sa couverture végétale qui accélèrent ou ralentissent les écoulements, selon les capacités d'absorption et d'infiltration des sols (ce qui par ailleurs alimente les nappes souterraines) et surtout selon l'action de l'homme qui modifie les conditions d'écoulement en s'installant sur des zones particulièrement vulnérables. Des phénomènes particuliers, souvent difficilement prévisibles, peuvent aussi aggraver très fortement localement le niveau de risque, qu'ils soient naturels (débâcle glaciaire par exemple) ou anthropiques (rupture de digues, etc.).

Inondations de plaine

La rivière sort de son lit lentement et occupe son lit moyen et éventuellement son lit majeur. La plaine peut être inondée pendant une période relativement longue car la faible pente ralentit l'évacuation de l'eau.

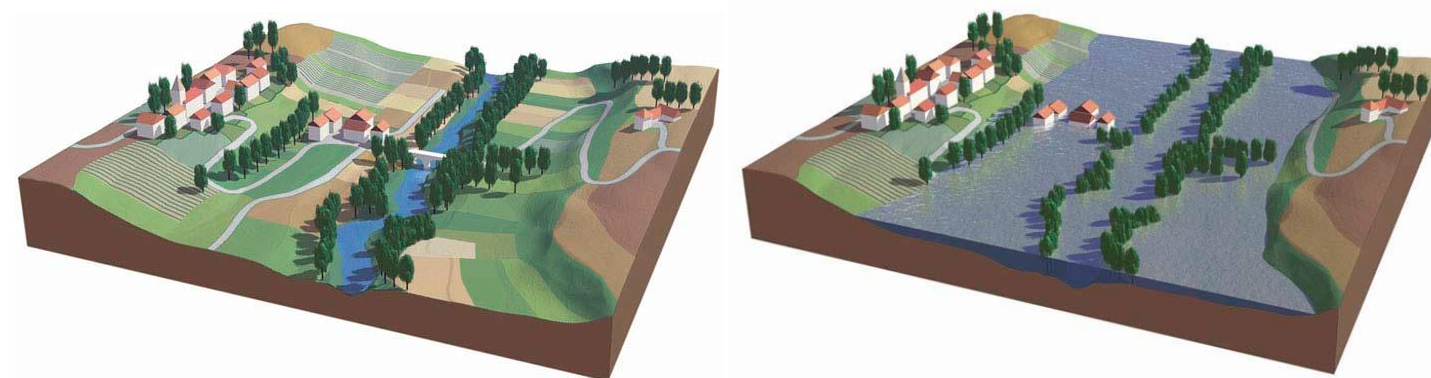


Figure 3 : Risque inondation de plaine (Source : Géorisques)

La sécurité des riverains est souvent compromise, en grande partie pour le non-respect des consignes ou par méconnaissance du risque. En parallèle, les conséquences économiques des zones inondées sont hautement significatives, puisque la durée des inondations peut dépasser les semaines, ce qui entraîne des dégâts matériels considérables pour les personnes, ainsi que des désordres sanitaires et publics coûteux pour la ville.

La commune du projet n'est pas concernée par un Atlas de Zones Inondables (AZI).

Inondation par remontée de nappe en domaine sédimentaire

Les nappes phréatiques sont dites « libres » lorsqu'aucune couche imperméable ne les sépare du sol. Elles sont alimentées par la pluie, dont une partie s'infiltré dans le sol et rejoint la nappe.

Lorsque l'eau de pluie atteint le sol, une partie est évaporée. Une seconde partie s'infiltré et est reprise plus ou moins vite par l'évaporation et par les plantes, une troisième s'infiltré plus profondément dans la nappe. Après avoir traversé les terrains contenant à la fois de l'eau et de l'air, qui constituent la zone non saturée (ZNS), elle atteint la nappe où les vides de roche ne contiennent plus que de l'eau, et qui constitue la zone saturée. On dit que la pluie recharge la nappe.

C'est durant la période hivernale que la recharge survient car les précipitations sont les plus importantes, la température et l'évaporation sont faibles et la végétation est peu active et ne prélève pratiquement pas d'eau dans le sol.

A l'inverse durant l'été la recharge est faible ou nulle. Ainsi on observe que le niveau des nappes s'élève rapidement en automne et en hiver, jusqu'au milieu du printemps. Il décroît ensuite en été pour atteindre son minimum au début de l'automne. On appelle « battement de la nappe » la variation de son niveau au cours de l'année.

Si des éléments pluvieux exceptionnels surviennent et engendrent une recharge exceptionnelle, le niveau de la nappe peut atteindre la surface du sol. La zone non saturée est alors totalement envahie par l'eau lors de la montée du niveau de la nappe : c'est l'inondation par remontée de nappe.

On conçoit que plus la zone non saturée est mince, plus l'apparition d'un tel phénomène est probable.

On appelle zone « sensible aux remontées de nappes » un secteur dont les caractéristiques d'épaisseur de la Zone Non Saturée, et de l'amplitude du battement de la nappe superficielle, sont telles qu'elles peuvent déterminer une émergence de la nappe au niveau du sol, ou une inondation des sous-sols à quelques mètres sous la surface du sol.

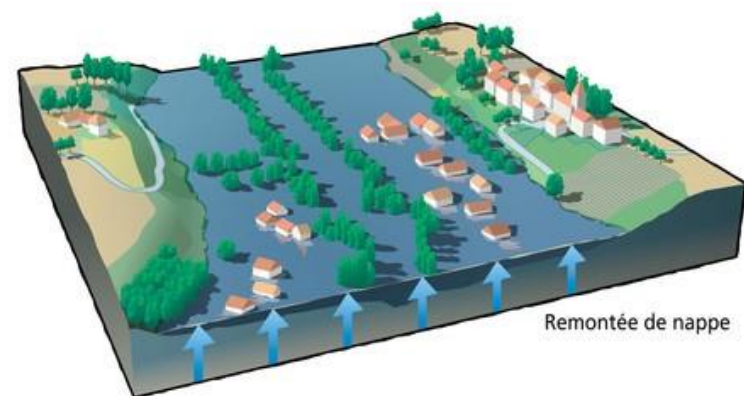
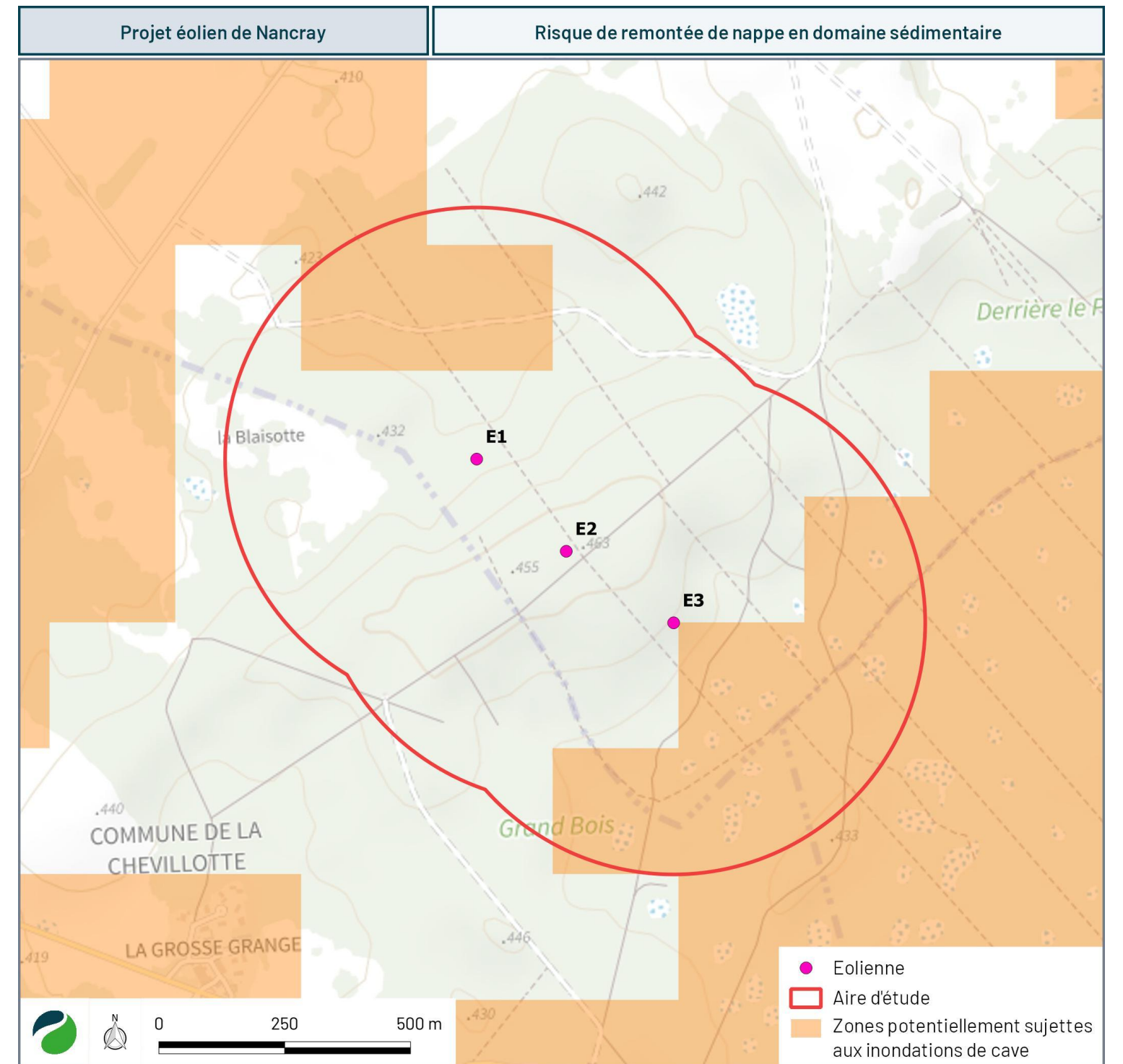


Figure 4 : Risque de remontée de nappe (Source : Géorisques)

L'aire d'étude est en partie concernée par des zones potentiellement sujettes aux inondations de cave. Toutefois les éoliennes n'y sont pas sujettes, tout comme aux débordements de nappe. Le risque est donc nul.



Fond de carte IGN ©

Réalisation : Ora environnement (03/2023)

Carte 15: Carte de remontée des nappes (Données : BRGM)

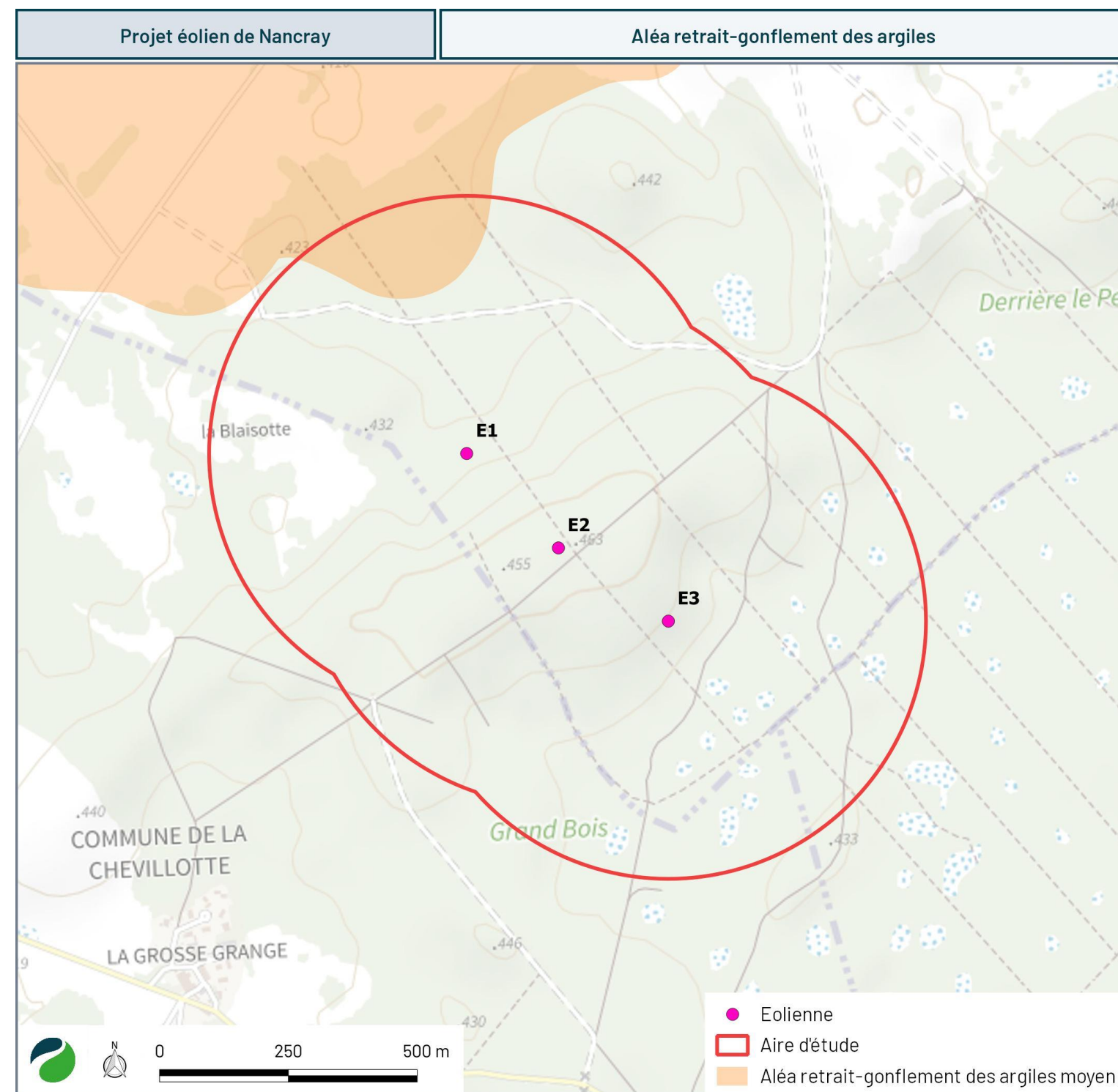
4.2.2.4 Mouvements de terrain

Un mouvement de terrain est un phénomène qui se caractérise par un déplacement, plus ou moins brutal, du sol ou du sous-sol sous l'effet d'influences naturelles (agent d'érosion, pesanteur...) ou anthropiques (exploitation de matériaux, déboisement, terrassement...). Il se manifeste de diverses manières, lentes ou rapides, en fonction des mécanismes initiateurs, des matériaux considérés et de leur structure. Les mouvements lents et continus concernent les tassements et les affaissements de sols, le retrait-gonflement des argiles et les glissements de terrain le long d'une pente. Les mouvements rapides et discontinus concernent quant à eux les effondrements de cavités souterraines naturelles ou artificielles (carrières et ouvrages souterrains), écroulements et les chutes de blocs, coulées boueuses et torrentielles, ainsi que l'érosion de berges.

L'aléa retrait-gonflement des argiles est considéré comme moyen à l'extrémité nord de l'aire d'étude. Toutefois, il est nul au droit des éoliennes.

La commune du projet n'a pas fait l'objet d'éboulement ou d'affaissement de terrain d'après le DDRM. Aucun Plan de Prévention des Risques Mouvement de Terrain n'est adopté sur les communes étudiées.

La consultation de la base de données des cavités souterraines du BRGM n'a pas permis de mettre en évidence leur présence dans l'aire d'étude.



Carte 16 : Carte du risque de retrait-gonflement des argiles (Données : BRGM)

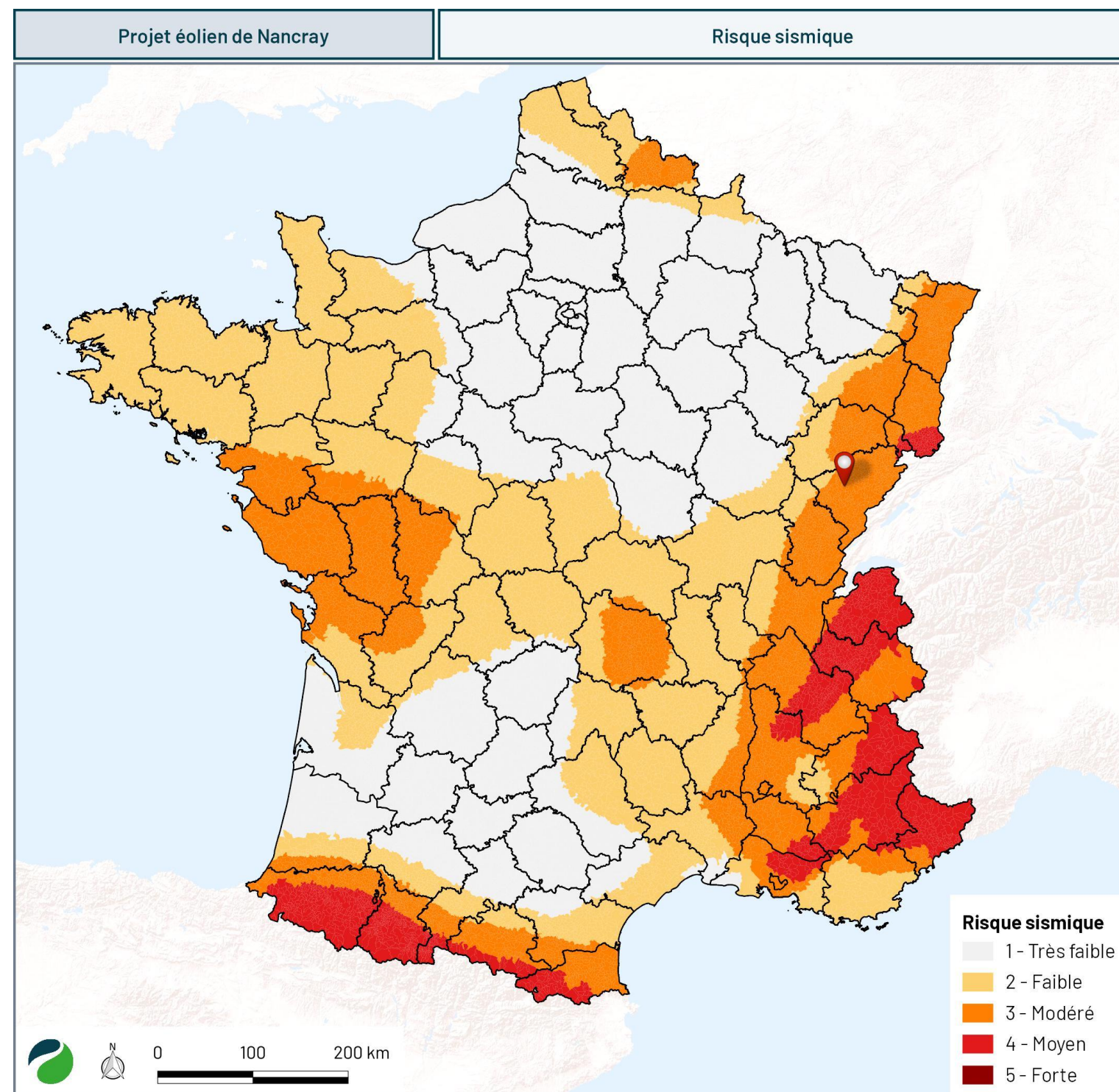
4.2.2.5 Sismicité

Un séisme ou tremblement de terre correspond à une fracturation des roches en profondeur, le long d'une faille généralement préexistante. Cette rupture s'accompagne d'une libération soudaine d'une grande quantité d'énergie. Différents types d'ondes sismiques rayonnent à partir du foyer, point où débute la fracturation. Elles se traduisent en surface par des vibrations du sol. L'intensité, observée en surface, dépendra étroitement de ces deux paramètres (profondeur et magnitude) et de la distance à l'épicentre.

La France dispose d'un zonage sismique divisant le territoire national en cinq zones de sismicité :

- Une zone de sismicité 1 (très faible) où il n'y a pas de prescription parasismique particulière pour les ouvrages « à risque normal » ;
- Quatre zones de sismicité 2 à 5, où les règles de construction parasismique sont applicables aux bâtiments.

Comme la carte ci-contre le démontre, la commune d'implantation du projet se trouve en zone de sismicité 3. **Le risque sismique est donc qualifié de modéré.**



Fond de carte IGN ©

Réalisation : Ora environnement (03/2023)

Carte 17 : Zonage sismique de la France

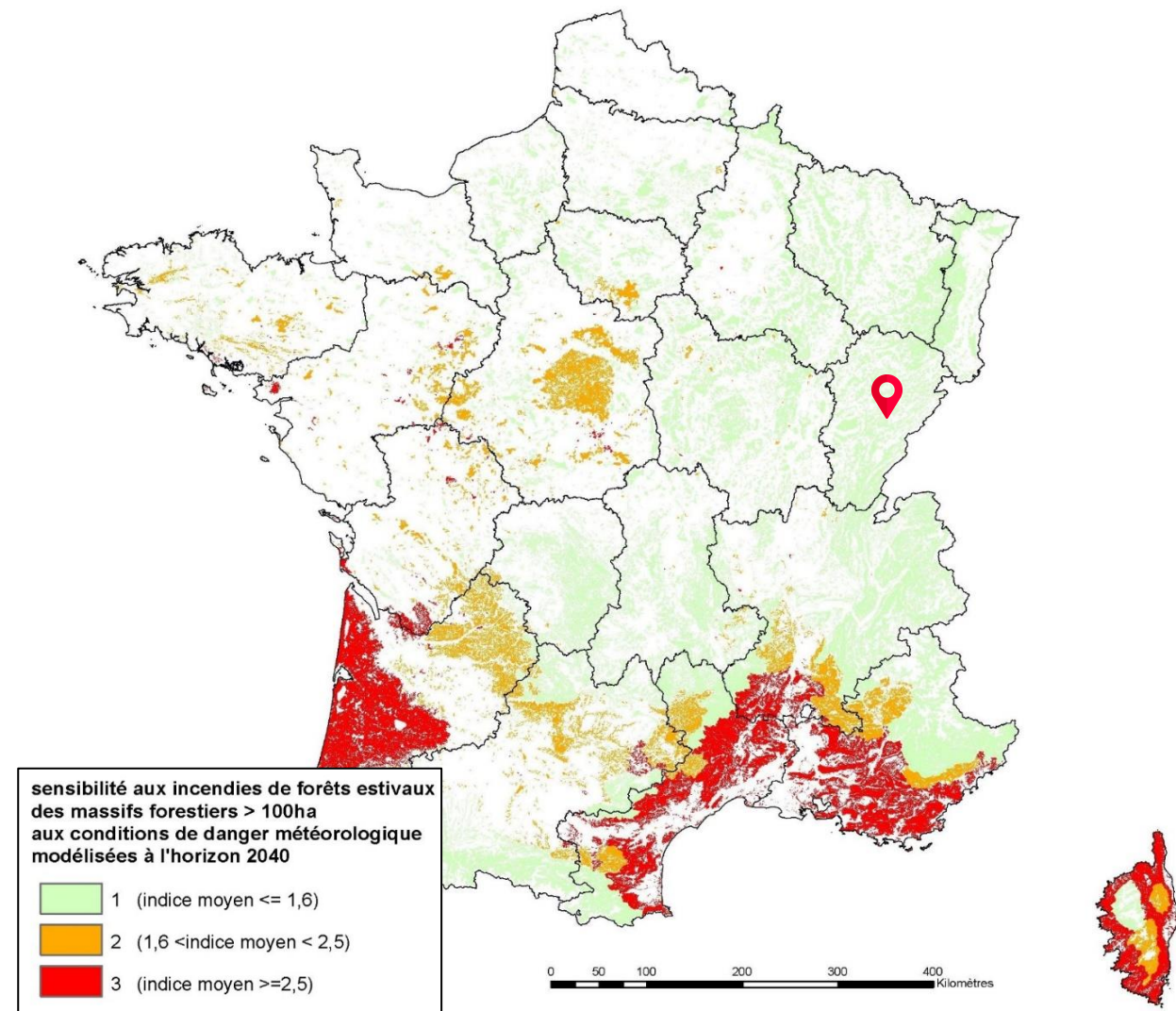
4.2.2.6 Feux de forêt ou de culture

On définit le feu de forêt comme un incendie qui a atteint une formation forestière ou sub-forestière (friches - landes) dont la surface, d'un seul tenant, est supérieure à 1 hectare. Le projet étant principalement située en zone boisée, ce risque n'est pas nul. Toutefois, les conditions climatiques rencontrées dans le Doubs font **que le risque apparaît faible au droit de l'aire d'étude. Le DDRM ne liste pas les communes dont le territoire intersecte l'aire d'étude du projet comme étant à risque.**

Un incendie de culture est un incendie qui peut se déclencher dans les parcelles agricoles plantées de cultures facilement inflammables telles que les céréales à paille (blé, orge ...). Ces feux de champs se déclenchent en été. Ils peuvent se produire lorsque que :

- La culture est sur pieds,
- La culture a été moissonnée et qu'elle est en attente de pressage,
- La paille est pressée ou que la culture est à l'état de chaume.

Les communes étudiées ne sont pas répertoriées dans les zones à risque feu de culture selon le DDRM. Du fait de la nature non cultivée de l'aire d'étude et des températures peu extrêmes, le risque n'est pas considéré comme majeur. Il est à noter que les mâts d'éoliennes sont composés de matériaux inertes (acier ou béton) peu sensibles aux incendies.



source des données : Inventaire Forestier National, Institut Géographique National, Agence Européenne de l'Environnement, Météo-France

Carte 18 : Carte de sensibilité aux incendies de forêt estivaux (Source : Météo France & ONF)

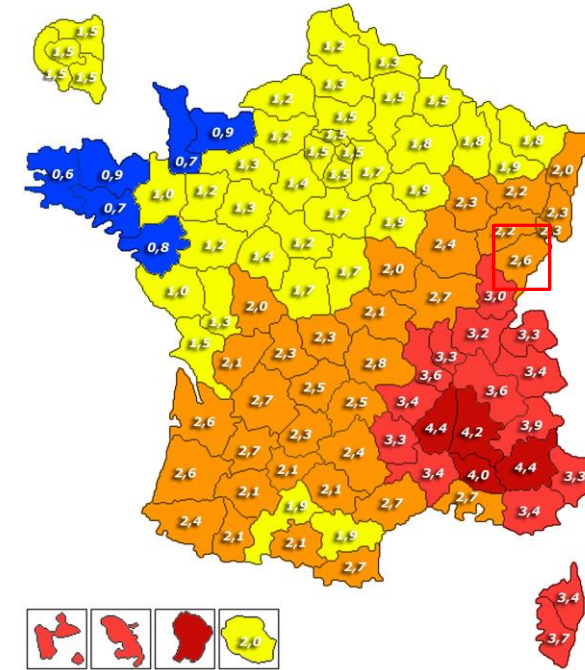
4.2.2.7 Aléas climatiques

Foudroiement

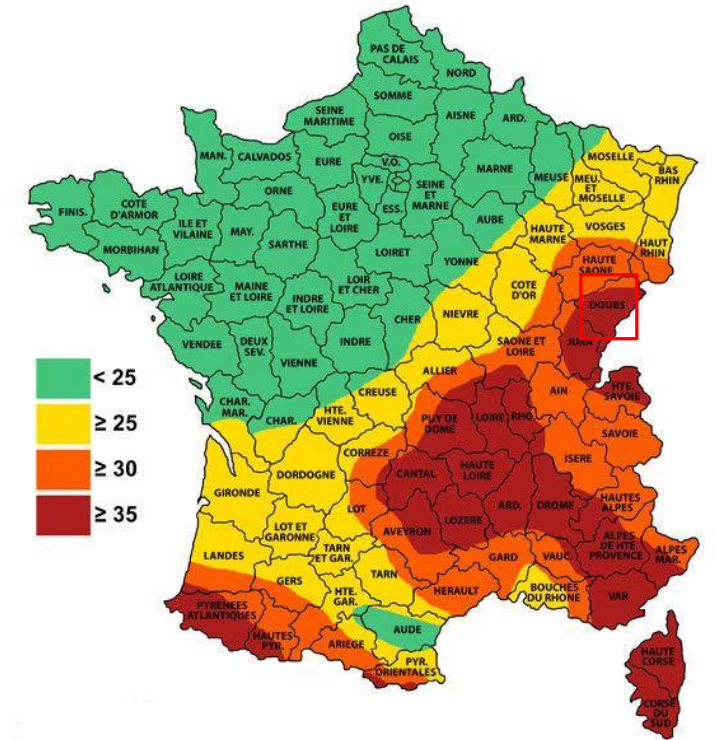
Afin de mesurer l'impact de la foudre, l'indice utilisé au niveau français est celui de la densité de foudroiement (Ng). Ce chiffre présente un nombre de coups de foudre par kilomètre carré et par an. Le département du Doubs a une densité de foudroiement Ng 2,6 (2,6 impact/km²/an), supérieure à la moyenne nationale (2 Ng).

Le niveau kéraunique (Nk), nombre de jours d'orage où le tonnerre est entendu dans une zone donnée, est également utilisé. Dans le Doubs, on dénombre au moins 35 jours d'orage chaque année, le département est donc dans une zone fortement orageuse de France.

La densité de foudroiement en France



Le niveau kéraunique en France



Carte 19 : Densité de foudroiement et niveau kéraunique en France

Tempêtes et vents violents

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. On parle de tempête lorsque les vents dépassent 89 km/h (soit 48 nœuds, degré 10 de l'échelle de Beaufort). Les tornades sont considérées comme un type particulier de manifestation des tempêtes, singularisé notamment par une durée de vie limitée et par une aire géographique touchée minimale par rapport aux tempêtes classiques. Ces phénomènes localisés peuvent toutefois avoir des effets dévastateurs, compte tenu en particulier de la force des vents induits (vitesse maximale de l'ordre de 450 km/h).

Au regard du DDRM, le département du Doubs est soumis au risque de tempête (aléa climatique), cependant il ne constitue pas un risque majeur. **D'après les relevés climatiques de Météo France, la rafale maximale enregistrée à la station de Besançon a atteint les 113 km/h en 2011.**

4.3 ENVIRONNEMENT MATERIEL

4.3.1 Voies de communication

L'étude de dangers identifie l'ensemble des réseaux de communication présents dans les limites de la zone d'étude :

- Transport routier (routes, autoroutes, ouvrages d'art, etc.) ;
- Transport ferroviaire (voies de chemin de fer, gares, passages à niveau, etc.) ;
- Transport fluvial (cours d'eau navigables, canaux, écluses, etc.) ;
- Transport aérien (aéroports ou aérodromes, servitudes aéronautiques civiles et militaires, etc.).

Pour chacune des voies de communication identifiées dans la zone d'étude, il est précisé la distance minimale par rapport à chaque éolienne, ainsi que sa caractérisation et le trafic journalier. Une distinction sera faite entre les routes structurantes (trafic supérieur à 2000 véhicules par jour) et les routes non structurantes.

Type de transport	Distance minimale à l'installation	Caractérisation	Trafic journalier
Chemins d'accès aux éoliennes	20 m	Voie non goudronnée	Voie non structurante (<2 000 véhicules/jour)
Chemins forestiers	30 m	Voie non goudronnée	Voie non structurante (<2 000 véhicules/jour)

Tableau 17 : Distances minimales des éoliennes aux voies de communication

A l'exception des chemins d'accès aux éoliennes et aux nombreux chemins forestiers non goudronnés illustrés sur la carte ci-contre, aucune infrastructure de communication n'est recensée au sein de l'aire d'étude.

4.3.2 Réseaux publics et privés

L'étude de dangers recense les principales installations publiques **non enterrées** présentes dans les limites de la zone d'étude :

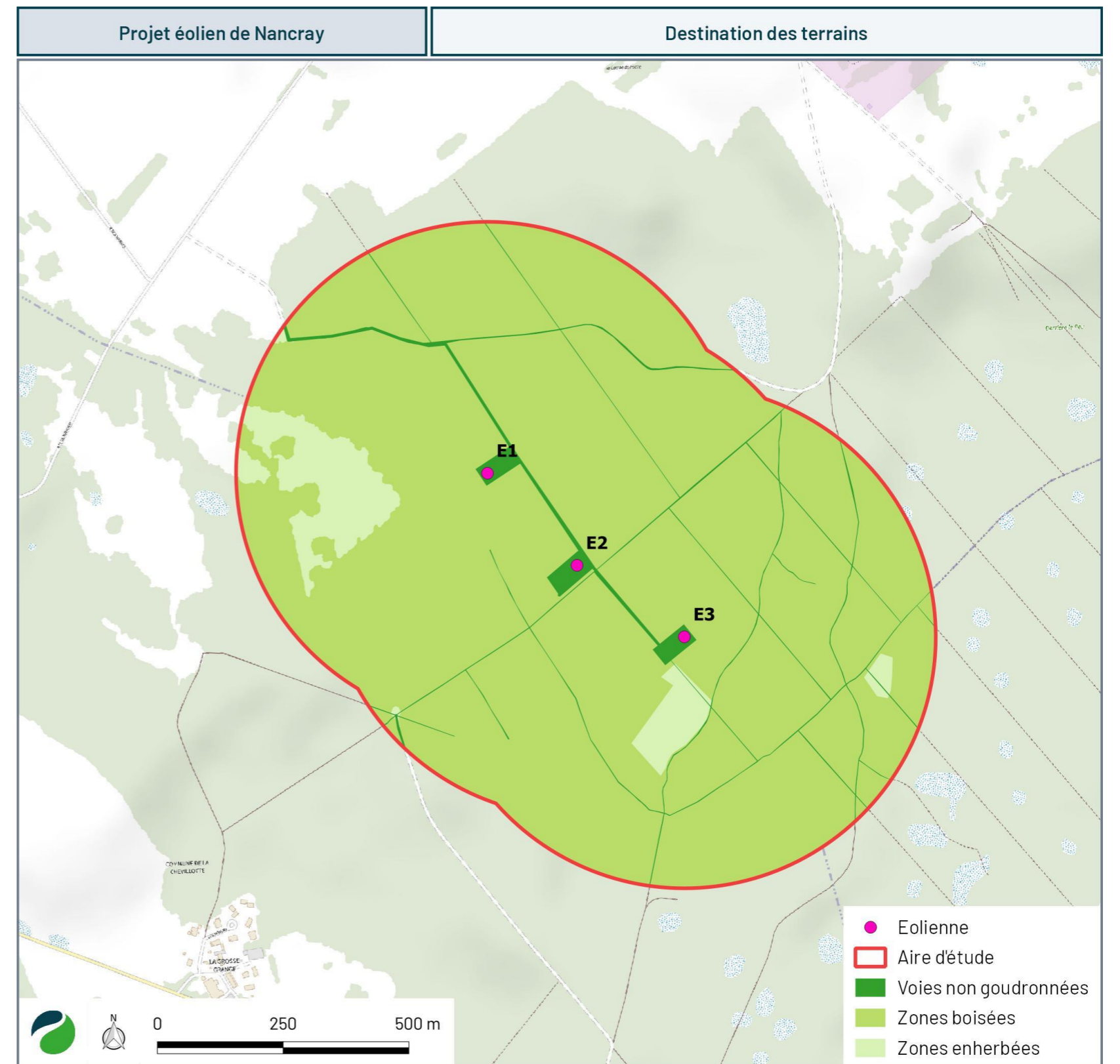
- Transport d'électricité (lignes électriques haute et très haute tension, postes électriques) ;
- Canalisations de transport (gaz combustibles, hydrocarbures liquides ou liquéfiés et produits chimiques) ;
- Réseaux d'assainissement (stations d'épuration) ;
- Réseaux d'alimentation en eau potable (captages AEP, zones de protection des captages).

Aucune des infrastructures mentionnées n'est présente au sein de l'aire d'étude du projet éolien de Nancray.

4.3.3 Autres ouvrages publics

Aucun ouvrage public n'est recensé au sein de l'aire d'étude du projet éolien de Nancray.

4.4 CARTOGRAPHIE DE SYNTHÈSE



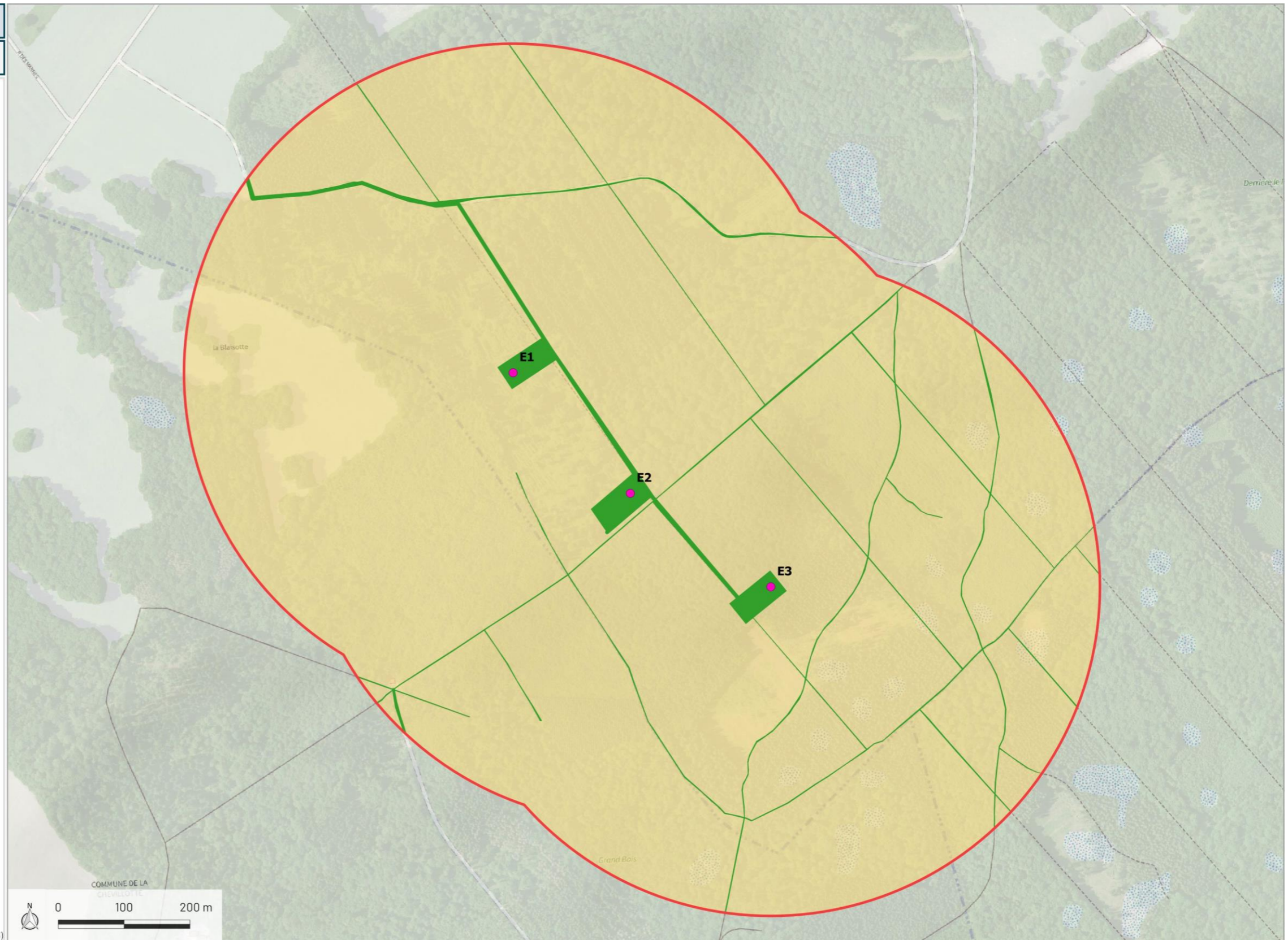
Fond de carte IGN ©

Réalisation : Ora environnement (03/2023)

Carte 20: Cartographie de synthèse

Projet éolien de Nancray
Classification des terrains

- Eolienne
- Aire d'étude
- Terrain aménagé peu fréquenté (1 pers/10 ha)
- Terrain non aménagé (1pers/100 ha)



Fond de carte IGN © Réalisation : Ora environnement (03/2023)

Carte 21 : Classification des terrains dans l'aire d'étude

5 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 (chapitre 5), au regard notamment de la sensibilité de l'environnement décrit précédemment.

5.1 CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION

5.1.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien

Un parc éolien est une centrale de production d'électricité à partir de l'énergie du vent. Il est composé de plusieurs aérogénérateurs et de leurs annexes (cf. schéma du raccordement électrique au paragraphe 5.3.1) :

- 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 les postes de livraison électriques (appelé « réseau inter-éolien ») ;
- Plusieurs postes de livraison électriques, 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 aux postes 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.

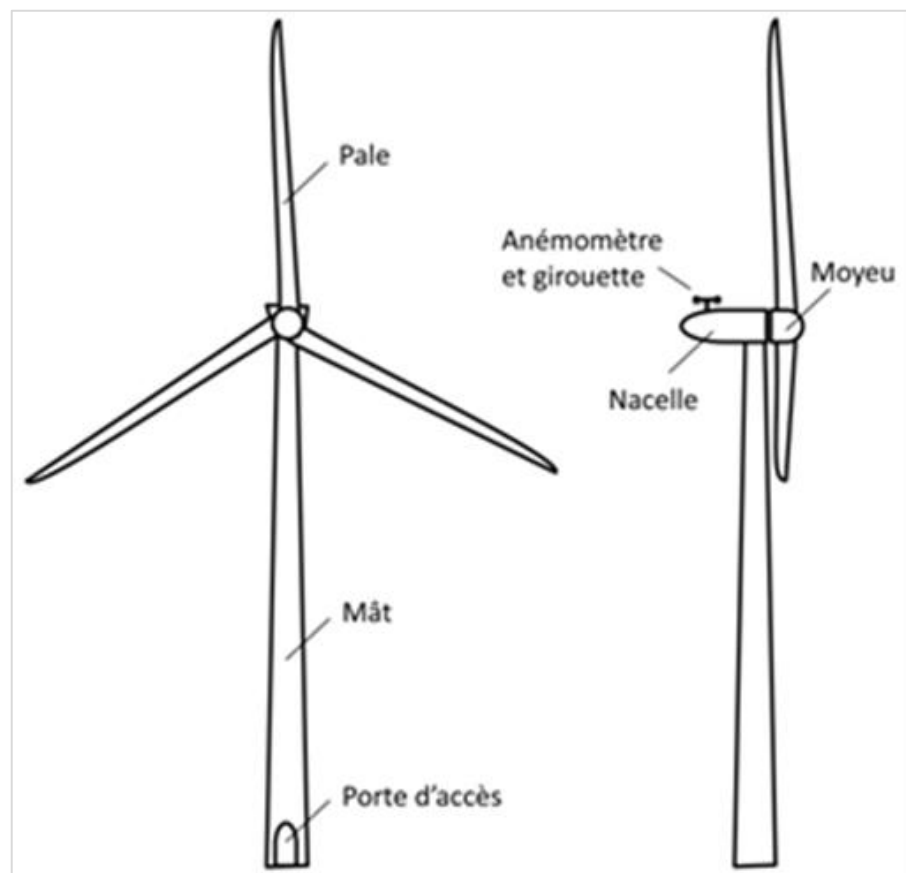


Figure 5 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

5.1.1.1 Eléments constitutifs d'un aérogénérateur

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

Le rotor

Le rotor de l'éolienne est composé de trois pales construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu. Il se prolonge dans la nacelle pour constituer l'arbre lent.

Le mât

Le mât est composé de plusieurs tronçons en acier ou de plusieurs anneaux de béton surmontés d'un ou plusieurs tronçons en acier.

La nacelle

La nacelle abrite plusieurs éléments fonctionnels :

- Le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique ;
- Le multiplicateur ;
- 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 (anémomètres) ;
- Le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique ;
- Le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique.

5.1.1.2 Emprise au sol

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

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

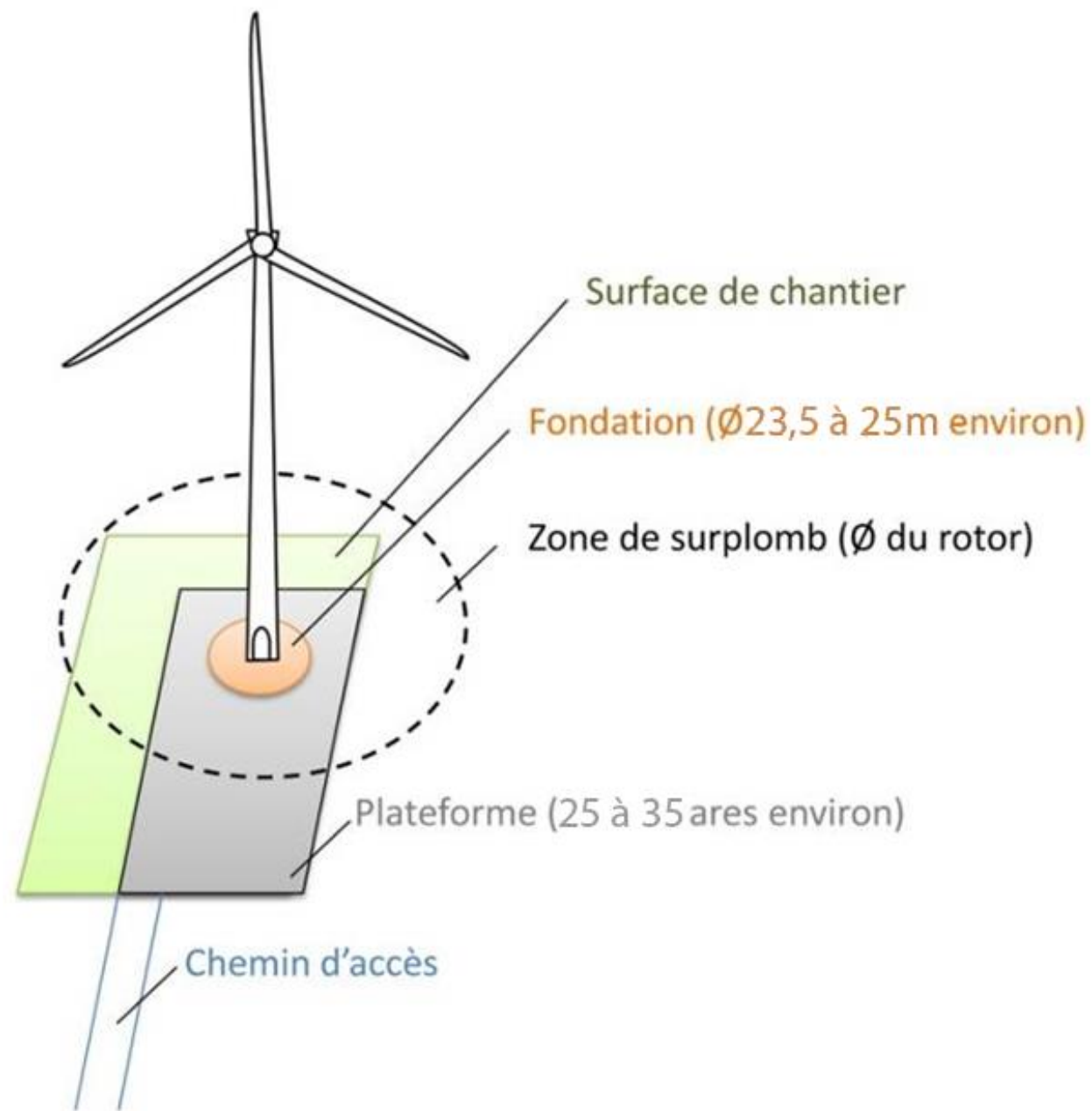


Figure 6 : Schéma de l'emprise au sol d'une éolienne (Source : Vestas)

5.1.1.3 Chemins d'accès

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

- L'aménagement de ces accès concerne principalement les chemins forestiers existants ;
- Si nécessaire, de nouveaux chemins sont créés au sein des parcelles forestières.

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

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

5.1.2 Activité de l'installation

L'activité principale du parc éolien de Nancray est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur (mât + nacelle) supérieure à 50 m. Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

5.2 FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

5.2.1 Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur

Les instruments de mesure de vent placés au-dessus de la nacelle conditionnent le fonctionnement de l'éolienne. Grâce aux informations transmises par l'**anémomètre** qui détermine la vitesse et 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 2 m/s, et c'est seulement à partir de 3 m/s que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor et l'arbre dit « lent » transmettent alors l'énergie mécanique à basse vitesse (entre 5 et 14 tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit « rapide » tourne environ 100 -120 fois plus vite que l'arbre lent. 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 la vitesse minimale nécessaire à la production maximale, à savoir 11,5 m/s, l'éolienne fournit sa puissance nominale.

L'électricité produite par la génératrice est convertie en courant alternatif de fréquence 50 Hz avec une tension d'environ 750 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, dépasse la vitesse maximale de fonctionnement, 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. Ce frein mécanique n'est activé que par un arrêt d'urgence.

Le fonctionnement de l'éolienne est présenté ci-dessous sous forme d'un découpage fonctionnel.

5.2.2 Découpage fonctionnel de l'installation

5.2.2.1 Fondation

La fonction de la fondation est d'ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol.

Le massif de fondation est composé de béton armé et conçu pour répondre aux prescriptions de l'Eurocode 2. Les fondations ont entre 3 et 5 m d'épaisseur pour un diamètre de l'ordre d'une vingtaine de mètres. Ceci représente une masse de béton d'environ 1 000 tonnes. Un insert métallique disposé au centre du massif sert de fixation pour la base de la tour. Il répond aux prescriptions de l'Eurocode 3.

Cette structure doit répondre aux calculs de dimensionnement des massifs qui prennent en compte les caractéristiques suivantes :

- Le type d'éolienne ;
- La nature des sols ;
- Les conditions météorologiques extrêmes ;
- Les conditions de fatigue.

5.2.2.2 Tour/mât

La fonction de la tour est de supporter la nacelle et le rotor.

La tour a avant tout une fonction de support de la nacelle mais elle permet également le cheminement des câbles électriques de puissance et de contrôle et abrite :

- Une échelle d'accès à la nacelle ;
- Un élévateur de personnes ;
- Une armoire de contrôle et des armoires de batteries d'accumulateurs (en point bas) ;
- Les cellules de protection électriques.

La tension dans les câbles présents dans la tour atteint 20 000 V.

5.2.2.3 Nacelle

Les fonctions de la nacelle sont de supporter le rotor et d'abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité.

La nacelle se situe au sommet de la tour et abrite les composants mécaniques, hydrauliques, électriques et électroniques, nécessaires au fonctionnement de l'éolienne. Elle est constituée d'une structure métallique habillée de panneaux en fibre de verre, et est équipée de fenêtres de toit permettant d'accéder à l'extérieur.

Le système de refroidissement assure le refroidissement des principaux éléments de l'éolienne et sert également de support pour les balisages lumineux et les capteurs de vent (voir la photo ci-après). Ces capteurs à ultrasons mesurent en permanence la vitesse et la direction du vent. Une sonde de température extérieure est placée sous la nacelle et reliée au contrôle commande.

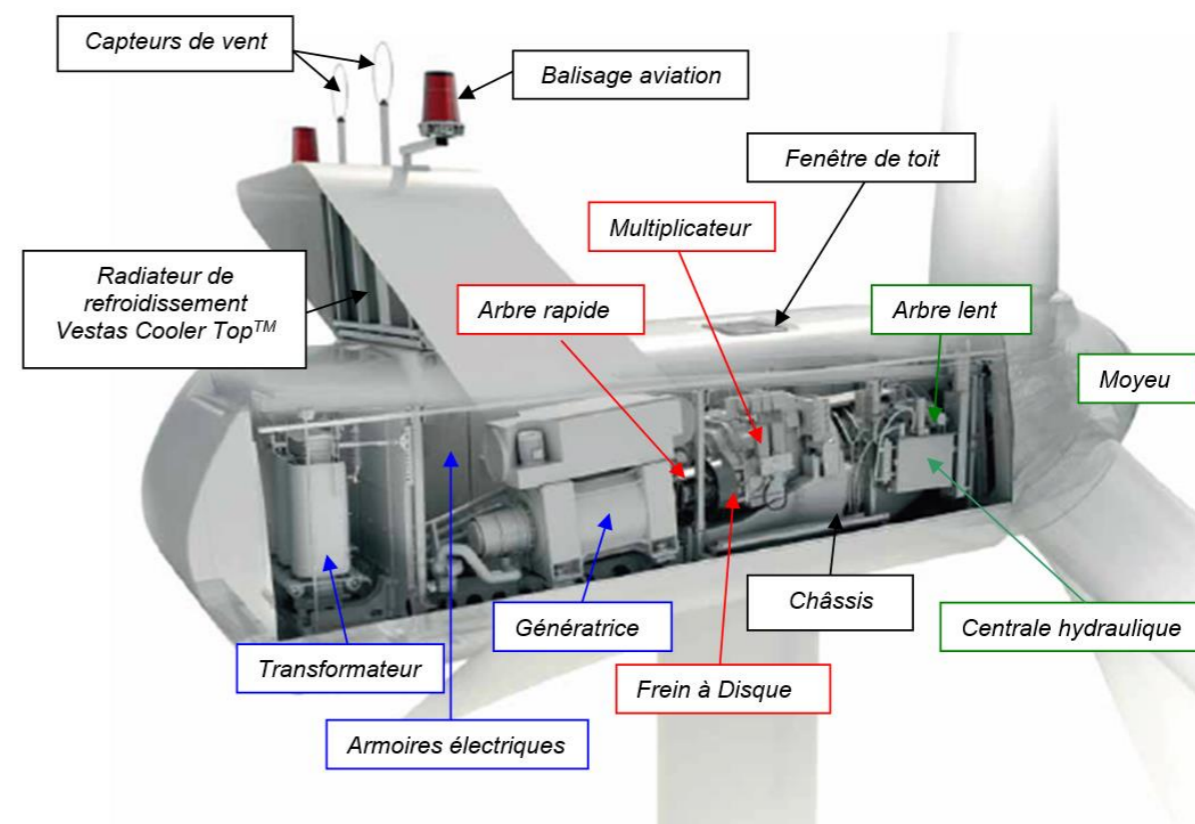


Figure 7 : Exemple de schéma illustrant les composants de la nacelle (Source : Vestas)

La nacelle n'est pas fixée de façon rigide à la tour. La partie intermédiaire entre la tour et la nacelle constitue le système d'orientation, appelé « yaw system », permettant à la nacelle de s'orienter face au vent, c'est-à-dire de positionner le rotor dans la direction du vent (l'orientation du rotor est forcée).

Le système d'orientation est constitué de plusieurs dispositifs motoréducteurs solidaires de la nacelle, dont les arbres de sortie comportent un pignon s'engrenant sur une couronne dentée solidaire de la tour. Ces dispositifs permettent la rotation de la nacelle et son maintien en position face au vent. La vitesse maximum d'orientation de la nacelle est de moins de 0,45 degrés par seconde soit environ une vingtaine de minutes pour faire un tour complet.

Afin d'éviter une torsion excessive des câbles électriques reliant la génératrice au réseau public, il existe un dispositif de contrôle de rotation de la nacelle. Celle-ci peut faire 3 à 5 tours de part et d'autre d'une position moyenne. Au-delà, un dispositif automatique provoque l'arrêt de l'éolienne, le retour de la nacelle à sa position dite « zéro », puis la turbine redémarre.

La tension dans les armoires électriques est comprise entre 0 et 1 200 V.

5.2.2.4 Rotor

La fonction du rotor est de capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice.

Les rotors sont composés de trois pales fixées au moyeu via des couronnes à deux rangées de billes et double contact radial. La rotation du rotor permet de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Elle est transmise à la génératrice via le multiplicateur.

Les pales peuvent pivoter d'environ 90 degrés sur leur axe grâce à des vérins hydrauliques montés dans le moyeu. La position des pales est alors ajustée par un système d'inclinaison. Ainsi, les variations de vitesse de vents sont constamment compensées par l'ajustement de l'angle d'inclinaison des pales. Le système d'inclinaison est conçu pour optimiser au maximum la production de l'éolienne.

Dans le cas où la vitesse de vent devient trop importante, risquant d'amener une usure prématurée des divers composants ou de conduire à un emballement du rotor, le « Pitch System » ramène les pales dans une position où elles offrent le moins de prise au vent, dite « en drapeau », conduisant à l'arrêt du rotor (freinage aérodynamique). Ce système comprend également la présence d'accumulateurs hydropneumatiques disposés au plus près des vérins. Ces accumulateurs permettent, même en cas de perte du système de contrôle, de perte d'alimentation électrique ou de défaillance du système hydraulique, de ramener les pales en drapeau.

Chaque pale est indépendante et équipée de son propre pitch system afin de garantir un calage continu même en cas de dysfonctionnement du contrôle commande.

Plusieurs notions caractérisent les pales :

- La longueur, fonction de la puissance désirée ;
- La corde (largeur maximale), fonction du couple nécessaire au démarrage et de celui désiré en fonctionnement ;
- Les matériaux, fonction de la résistance souhaitée.

La géométrie de la pale est légèrement vrillée autour de son axe longitudinal pour un meilleur rendement.

5.2.2.5 Multiplicateur (Gearbox)

La fonction du multiplicateur est de multiplier la vitesse de rotation issue de l'arbre lent.

Le rotor est directement relié à un arbre de transmission appelé « arbre lent ». Cet arbre, qui tourne à la vitesse du rotor est connecté au multiplicateur. Le multiplicateur (Gearbox) permet de multiplier la vitesse de rotation d'un facteur compris entre 100 et 120 selon les modèles, de telle sorte que la vitesse de sortie (« arbre rapide ») est d'environ 1450-1550 tours par minute.

Le dispositif de transmission entre l'arbre rapide et la génératrice (coupling) est un dispositif flexible, réalisé en matériau composite afin de compenser les défauts d'alignement mais surtout afin de constituer une zone de moindre résistance et de pouvoir rompre en cas de blocage d'un des deux équipements.

Sur l'arbre rapide du multiplicateur est monté un disque de frein, à commande hydraulique, utilisé pour l'arrêt de la turbine en cas d'urgence.

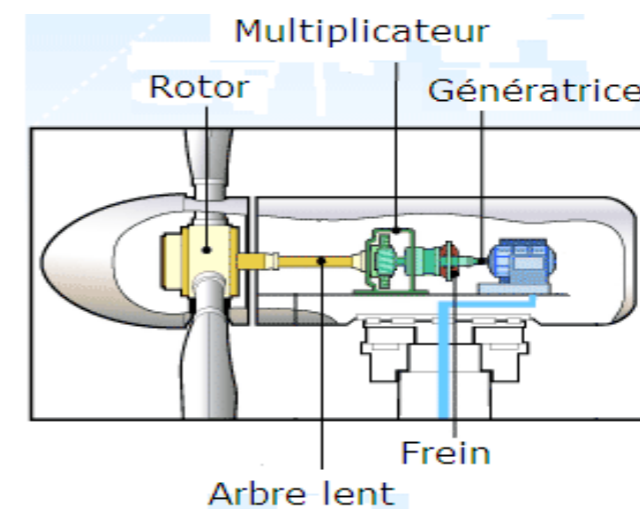


Figure 8 : Schéma simplifié de la chaîne cinématique (Source : Vestas)

5.2.2.6 Générateur et transformateur

Leurs fonctions sont de produire de l'énergie électrique à partir d'énergie mécanique et d'élever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau.

Les éoliennes sont équipées d'un système générateur/transformateur fonctionnant à vitesse variable (et donc à puissance mécanique fluctuante).

Le générateur est ici de type synchrone délivrant un courant alternatif sous 750 V ou 800 V à vitesse nominale. Un système de conversion appelé « Grid Streamer™ converter » permet d'assurer la régulation du fonctionnement du générateur et la qualité du courant produit. Il permet d'alimenter le transformateur élévateur de tension en courant alternatif.

Cette tension est élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur sec, puis régulée par des dispositifs électroniques de façon à pouvoir être compatible avec le réseau public. Le transformateur est localisé dans une pièce fermée à l'arrière de la nacelle.

Un câble relie ensuite la nacelle et les cellules de protection du réseau, disposées dans une armoire en partie basse de la tour. Il s'agit de cellules à isolation gazeuse (SF₆) qui permettent une séparation électrique de l'éolienne par rapport aux autres machines du champ éolien en cas d'anomalie (court-circuit, surtension, défaut d'isolement, ...).

Le refroidissement du générateur et du dispositif de conversion est effectué par une boucle d'eau.

5.2.2.7 Connexion au réseau électrique public

Le but de cette connexion est d'adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public.

Les éoliennes d'un même champ éolien sont ensuite raccordées au réseau électrique de distribution (ENEDIS ou régies) ou de transport (RTE) via un ou plusieurs postes de livraison. Ces postes font ainsi l'interface entre les installations et le réseau électrique.

Chaque poste est équipé d'appareils de comptage d'énergie indiquant l'énergie soutirée au réseau mais également celle injectée. Il comporte aussi la protection générale dont le but est de protéger les éoliennes et le réseau inter-éolien en cas de défaut sur le réseau électrique amont.

Les liaisons électriques entre éoliennes et postes de livraison sont assurées par des câbles souterrains, dont la tension est de 20 000 V. La tension est la même dans les postes de livraison.

5.2.3 Stockage et flux de produits dangereux

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021, aucun matériel inflammable ou combustible ne sera stocké dans les éoliennes du parc éolien de Nancray.

5.2.4 Sécurité de l'installation

La description des différents systèmes de sécurité de l'installation sera effectuée au stade de l'analyse préliminaire des risques, dans la partie 8.6 de l'étude de dangers.

5.2.4.1 Respect de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021

Voir l'annexe 1, qui détaille les solutions proposées par le constructeur pour répondre à l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021 relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées relatives à la sécurité de l'installation.

5.2.4.2 Respect des principales normes applicables à l'installation

La liste des codes et standards appliqués pour la construction des éoliennes, présentée ci-après, n'est pas exhaustive (il y a en effet des centaines de standards applicables). Seuls les principaux standards sont présentés ci-dessous.

- La norme IEC61400-1 intitulée « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi, la nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard : IEC61400-1. Les pales respectent le standard IEC61400-1 ; 12 ; 23.
- La génératrice est construite suivant le standard IEC60034.
- La conception du multiplicateur répond aux règles fixées par la norme ISO81400-4.
- La protection foudre de l'éolienne répond au standard IEC61400-24 et aux standards non spécifiques aux éoliennes comme IEC62305-1, IEC62305-3 et IEC62305-4.
- Les éoliennes répondent aux réglementations qui concernent les ondes électromagnétiques, notamment la Directive 2004/108/EC du 15 décembre 2004.
- Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air. Le traitement anticorrosion des éoliennes répond à la norme ISO 12944.

	Partie extérieure	Partie intérieure
Nacelle	C5-M	Minimum C3
Moyeu	C5-M	C3
Tour	C5-I	C3

Tableau 18 : Traitement anticorrosion prévu selon le composant de la machine et la partie traités (Source: Vestas)

Les divers types de éoliennes font l'objet d'évaluations de conformité (tant lors de la conception que lors de la construction), de certifications de type (certifications CE) par un organisme agréé et de déclarations de conformité aux standards et directives applicables.

5.2.5 Opérations de maintenance de l'installation

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

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

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

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

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

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

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

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

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

5.2.5.1 Formation des personnels

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

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

5.2.5.2 Contrôles réglementaires périodiques

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

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

5.2.5.3 Maintenance curative

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

5.2.5.4 Prise en compte du retour d'expérience

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

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

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

5.2.5.5 Entretien préventif du matériel

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

Composants	Opérations
Etat général	Vérification de la propreté de l'intérieur de l'éolienne Vérification qu'aucun matériau combustible ou inflammable n'est entreposé dans l'éolienne
Moyeu	Inspection visuelle du moyeu Vérification des boulons entre le moyeu et les supports de pale* Vérification des boulons maintenant la coque du moyeu
Pales	Vérification des roulements et du jeu Vérification des joints d'étanchéité Inspection visuelle des pales, de l'extérieur et de l'intérieur Vérification des boulons de chaque pale* Vérification des bruits anormaux Vérification des bandes paratonnerres
Système de transfert de courant foudre Moyeu / nacelle	Vérification des boulons et de l'absence d'impacts de foudre.
Arbre principal	Vérification des boulons fixant l'arbre principal et le moyeu* Inspection visuelle des joints d'étanchéité Vérification des bruits anormaux et des vibrations Vérification du fonctionnement du système de lubrification Vérification des dommages au niveau des boulons de blocage du rotor
Système d'orientation de la nacelle (Yaw system)	Vérification des boulons fixant le haut du palier d'orientation et la tour* Vérification des bruits anormaux Vérification du système de lubrification
Tour	Vérification de l'état du béton à l'intérieur et à l'extérieur de la tour Vérification des boulons entre la partie fondation et la tour, entre les sections de la tour et sur l'échelle* Vérification des brides et des cordons de soudure Vérification des plateformes Vérification du câble principal
Bras de couple	Vérification boulons Vérification et serrage de la connexion à la terre
Système d'inclinaison des pales (Pitch System)	Vérification des boulons du cylindre principal et du bras de manivelle Vérification des boulons de l'arbre terminal et des roulements

Composants	Opérations
Multiplicateur	Changement d'huile et nettoyage du multiplicateur si nécessaire Vérification du niveau sonore lors du fonctionnement du multiplicateur Vérification des joints, de l'absence de fuite, etc... Vérification d'absence de fuites au niveau des points de lubrification Vérification des capteurs de débris
Huile du multiplicateur	Vérification du niveau d'huile Vérification des composants du bloc hydraulique et des pompes
Système de freinage	Vérification des étriers, des disques et des plaquettes de freins Inspection des entrées et des sorties de tuyaux
Générateur	Vérification des câbles électriques dans le générateur Vérification des fuites de liquides de refroidissement et de graisse Lubrification des roulements
Système de refroidissement par eau	Vérification du fonctionnement des pompes à eau Vérifications des tubes et des tuyaux Vérification du niveau de liquide de refroidissement
Cooler Top™	Vérification boulons
Système hydraulique	Vérification d'absence de fuites dans la nacelle, l'arbre principal et les pompes
Onduleur	Vérification du fonctionnement de l'onduleur.
Capteur de vent et balisage aérien	Vérification du bon fonctionnement du balisage aérien et inspection visuelle du capteur de vitesse de vent.
Nacelle	Vérification boulons Vérification d'absence de fissures autour des raccords Vérification des points d'ancrage et des fissures autour de ceux-ci
Extérieur	Vérification de la protection de surface Nettoyage des têtes de boulons et d'écrous, des raccords, etc.
Transformateur	Inspection mécanique et électrique du transformateur
Sécurité générale	Inspection des câbles électriques Inspection du système de mise à la terre

Tableau 19 : Principaux contrôles effectués (Source : Vestas)

(*Ces vérifications sont effectuées au bout de trois mois, puis d'un an de fonctionnement, puis tous les trois ans, conformément à l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021)

Ces opérations de maintenance courante seront répétées lors de l'inspection après la première année de fonctionnement, puis régulièrement selon le calendrier de maintenance.

Les opérations de maintenance supplémentaires sont présentées ci-après.

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

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

Tableau 20 : Opérations de maintenance supplémentaires (Source : Vestas)

5.3 FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE L'INSTALLATION

5.3.1 Raccordement électrique

A ce stade des études, l'option de raccordement privilégiée est un raccordement HTA, c'est-à-dire entre des postes de livraison sur le site du projet et un poste source existant.

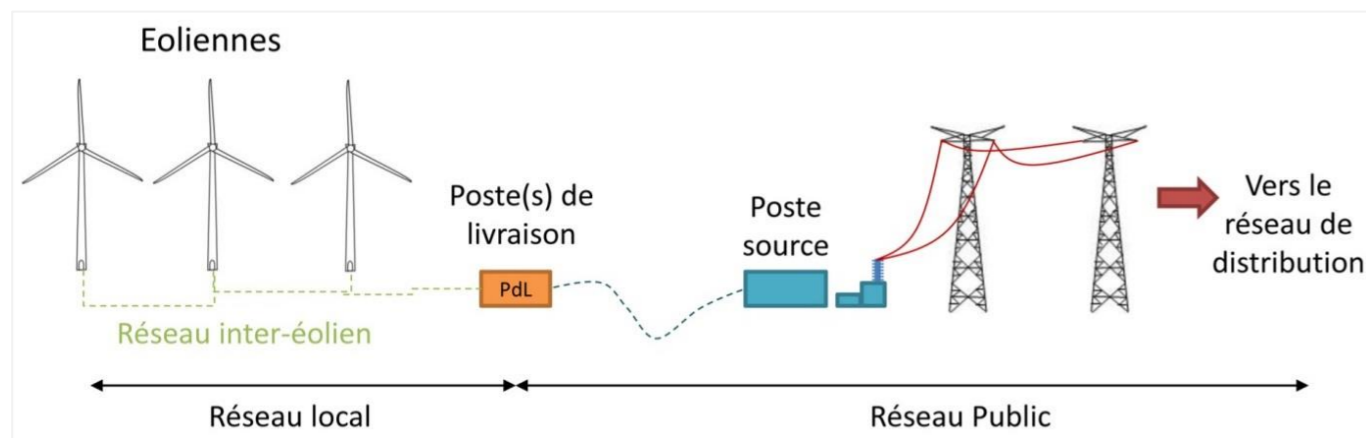


Figure 9 : Raccordement électrique des installations avec l'option HTA

5.3.1.1 Réseau inter-éolien

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur au point de raccordement avec le réseau public. Ce réseau comporte également une liaison de télécommunication qui relie chaque éolienne au terminal de télésurveillance. Ces câbles constituent le réseau interne de la centrale éolienne, ils sont tous enfouis à une profondeur minimale de 80 cm.

5.3.1.2 Poste de livraison

Dans le cas d'un raccordement HTA, 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 (option HTB), qui assure la liaison avec le réseau de transport d'électricité (lignes haute tension).

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

5.3.1.3 Réseau électrique externe

Dans le cas d'un raccordement HTA, 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. Il est lui aussi entièrement enterré.

5.3.2 Autres réseaux

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

6 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, que ce soit au niveau des éléments constitutifs des éoliennes, des produits contenus dans l'installation, des modes de fonctionnement, etc. Il est réalisé notamment sur la base des Fiches de Données de Sécurité (FDS) des produits, de la nature et des caractéristiques techniques des éoliennes, et des procédures d'exploitation. A l'issue de cette étape, les événements redoutés liés à chaque installation ou équipement d'exploitation peuvent être mis en évidence et les dangers localisés au sein des parcs éoliens. L'ensemble des causes externes à l'installation pouvant entraîner un phénomène dangereux, qu'elles soient de nature environnementale, humaine ou matérielle, seront traitées dans l'analyse de risques.

6.1 POTENTIELS DE DANGERS LIES AUX PRODUITS ET DECHETS

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

Les produits identifiés dans le cadre du parc éolien de Nancray 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 modifié par arrêté du 10 décembre 2021 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, aucun produit inflammable ou combustible n'est stocké dans les aérogénérateurs ou les postes de livraison.

6.1.1 Inventaire des produits

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

- L'huile hydraulique (circuit haute pression) dont la quantité présente est de l'ordre de 250 litres est l'huile Texaco Rando WM 32 ;
- L'huile de lubrification du multiplicateur dont la quantité présente est de l'ordre de 400 litres est l'huile Mobil Gear SHC XMP 320 ;
- L'eau glycolée (mélange d'eau et d'éthylène glycol), qui est utilisée comme liquide de refroidissement, dont le volume total de la boucle est d'environ 400 litres ;
- Les graisses pour les roulements et systèmes d'entraînements ;
- L'hexafluorure de soufre (SF₆), qui est le gaz utilisé comme milieu isolant pour les cellules de protection électrique. La quantité présente varie entre 1,5 kg et 2,2 kg suivant le nombre de caissons composant la cellule.

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

6.1.2 Dangers des produits

6.1.2.1 Inflammabilité et comportement vis à vis de l'incendie

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

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

Le SF₆ est pour sa part ininflammable.

6.1.2.2 Toxicité pour l'homme

Ces divers produits ne présentent pas de caractère de toxicité pour l'homme. Ils ne sont pas non plus considérés comme corrosifs (à causticité marquée).

6.1.2.3 Dangérosité pour l'environnement

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

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

En conclusion, il ressort que les produits ne présentent pas de réel danger, si ce n'est lorsqu'ils sont soumis à un incendie, où ils vont entretenir cet incendie, ou s'ils sont déversés dans l'environnement générant un risque de pollution des sols ou des eaux. Il ne s'agit pas d'une source potentielle de danger retenue dans le cadre du projet éolien.

6.2 POTENTIELS DE DANGERS LIÉS AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

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

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

Ces dangers sont recensés dans le tableau suivant :

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

Tableau 21 : Dangers liés au fonctionnement de l'installation

6.3 REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS A LA SOURCE

6.3.1 Principales actions préventives

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

6.3.1.1 Choix de l'emplacement des installations

Les éoliennes ont été éloignées au maximum des habitations et infrastructures alentours (cf.4.1 et 4.3).

6.3.1.2 Substitution des produits par des produits moins dangereux et réduction des quantités

Les produits présents sur chaque éolienne (huile, fluide de refroidissement) sont des produits classiques utilisés dans ce type d'activité. Ils ne présentent pas de caractère dangereux marqué et les quantités mises en œuvre sont adaptées aux volumes des équipements. Le SF₆ est un très bon isolant et ne dispose pas à ce jour de produit de substitution présentant des qualités équivalentes. De plus, malgré son caractère de gaz à effet de serre, il ne présente pas de danger pour l'homme (inflammable et non toxique). Il n'est donc pas prévu de solution de substitution. Il faut rappeler que ce gaz est contenu dans les cellules d'isolement disposées en pied d'éolienne (cellules étanches) qui sont des matériels du commerce, et ne sont pas fabriqués par les constructeurs d'éoliennes.

6.3.1.3 Substitution des équipements

Les dangers des équipements sont principalement dus au caractère mobile de ceux-ci (pièces en rotation) et à leur situation (à plusieurs dizaines de mètres au-dessus du sol). Ceci peut entraîner des chutes ou projections de pièces au sol. Un autre danger est lié à la présence d'installations électriques avec des tensions élevées (jusqu'à 20 000 volts), dont le dysfonctionnement peut être à l'origine d'incendies. Les équipements qui constituent à ce jour l'éolienne sont tous indispensables à son fonctionnement. Il n'est donc pas possible a priori de les substituer. Depuis les débuts du développement de l'éolien, des évolutions technologiques ont permis de mettre en place des équipements plus performants en termes d'optimisation des rendements et de diminution des risques :

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

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

6.3.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles

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

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

7 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'accidentologie à jour est présentée en totalité en annexe 2 page 76.

L'analyse des retours d'expérience vise donc ici à faire émerger des typologies d'accident rencontrés tant au niveau national qu'international. Ces typologies apportent un éclairage sur les scénarios les plus rencontrés. D'autres informations sont également utilisées dans la partie 9 pour l'analyse détaillée des risques.

7.1 INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS EN FRANCE

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

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

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

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

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

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

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et 2019. Cette synthèse exclut les accidents du travail (maintenance, chantier de construction, etc.) et les événements qui n'ont pas conduit à des effets sur les zones autour des aérogénérateurs.

Dans ce graphique sont présentés :

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

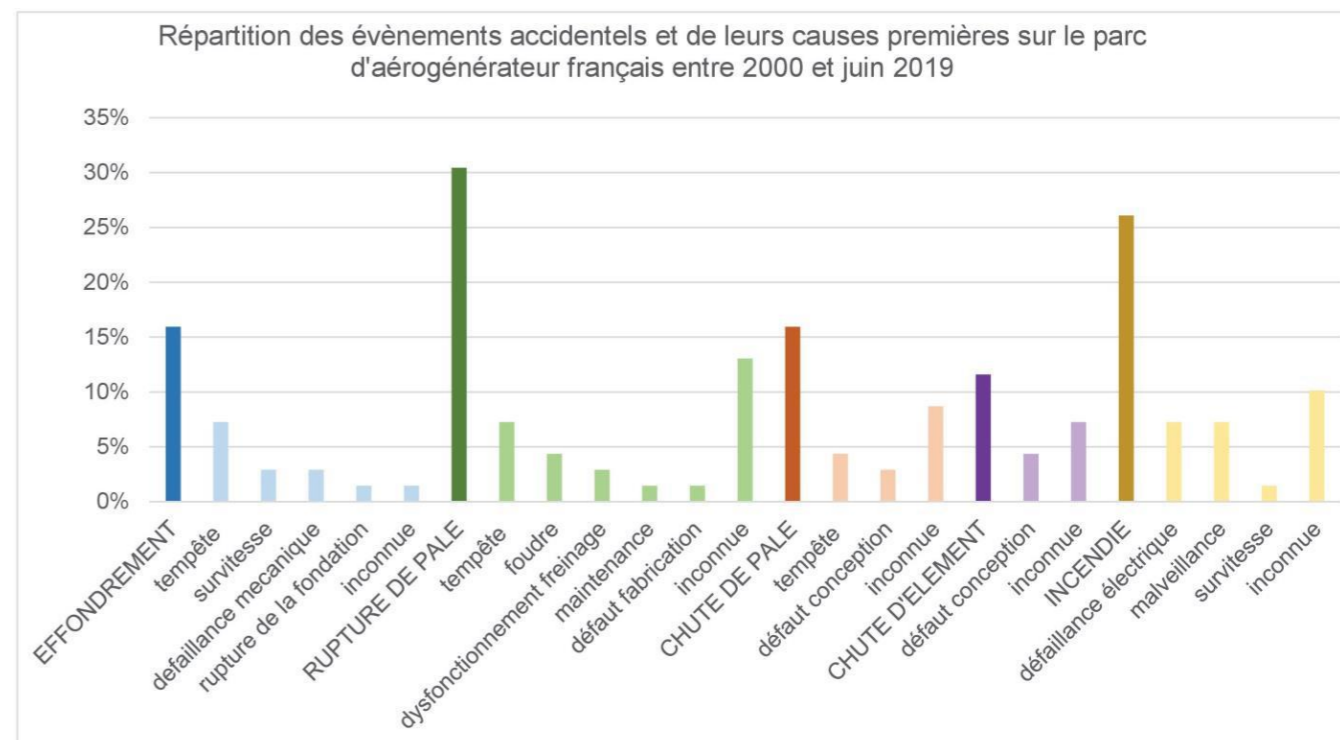


Figure 10 : Répartition des événements accidentels entre 2000 et 2019

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. La principale cause de ces accidents est les tempêtes.

7.2 INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS A L'INTERNATIONAL

Un inventaire des incidents et accidents à l'international a également été réalisé. Il se base lui aussi sur le retour d'expérience de la filière éolienne fin 2010.

La synthèse ci-dessous provient 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 par le groupe de travail précédemment mentionné, seuls 236 sont considérés comme des « accidents majeurs ». Les autres concernant plutôt des accidents du travail, des presque-accidents, des incidents, etc. et ne sont donc pas pris en compte dans l'analyse suivante.

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

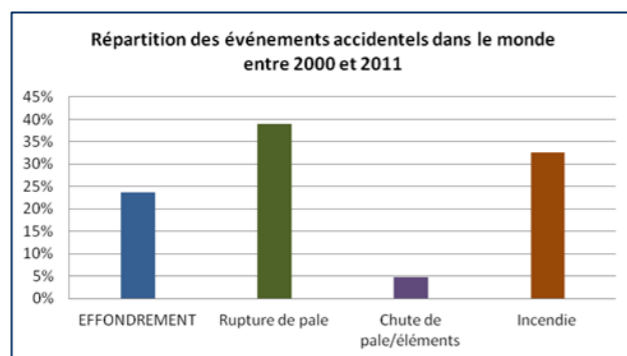


Figure 11 : Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2011

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

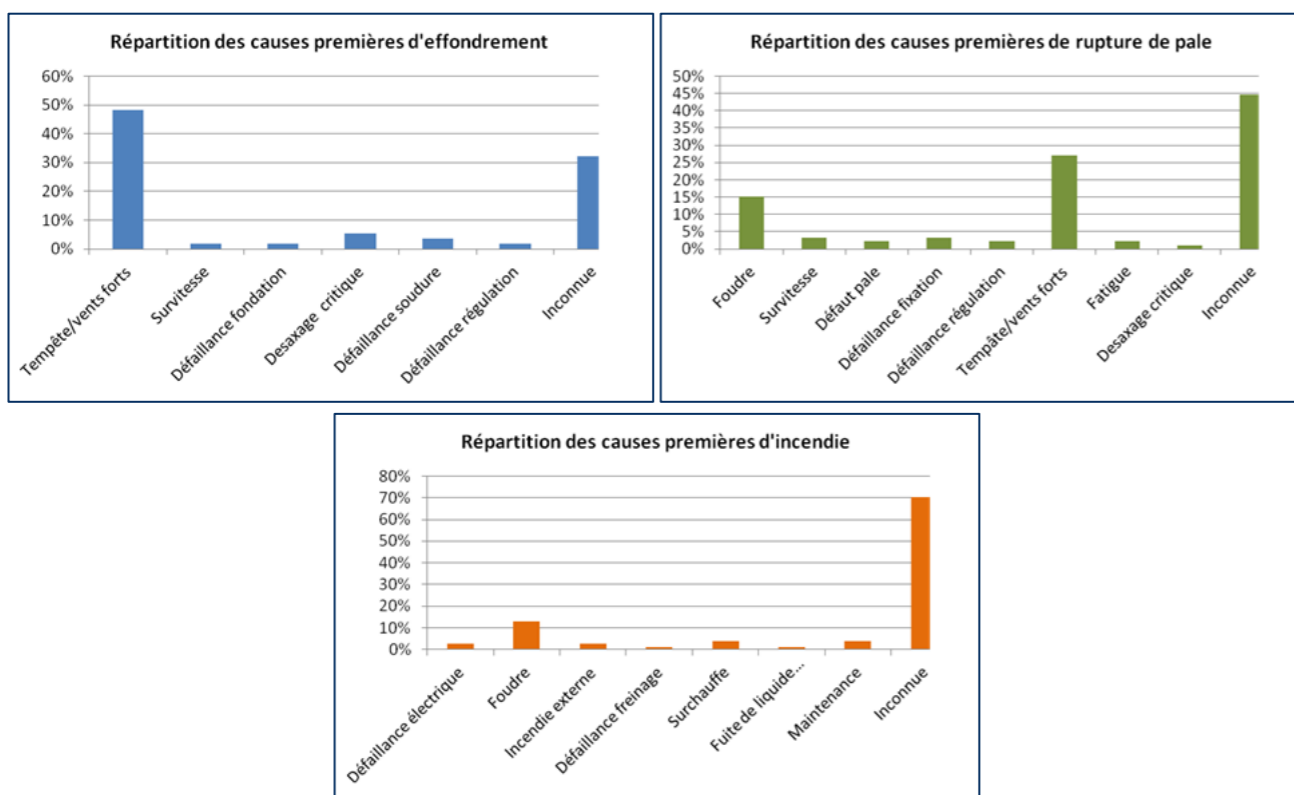


Figure 12 : Répartition des causes premières d'effondrement, de rupture de pale, et d'incendie

Tout comme pour le retour d'expérience français, ce retour d'expérience montre l'importance des causes « tempêtes et vents forts » dans les accidents. Il souligne également le rôle de la foudre dans les accidents.

7.3 SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTÉS ISSUS DU RETOUR D'EXPERIENCE

7.3.1 Analyse de l'évolution des accidents en France

A partir de l'ensemble des phénomènes dangereux qui ont été recensés, il est possible d'étudier leur évolution en fonction de la puissance raccordée.

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

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

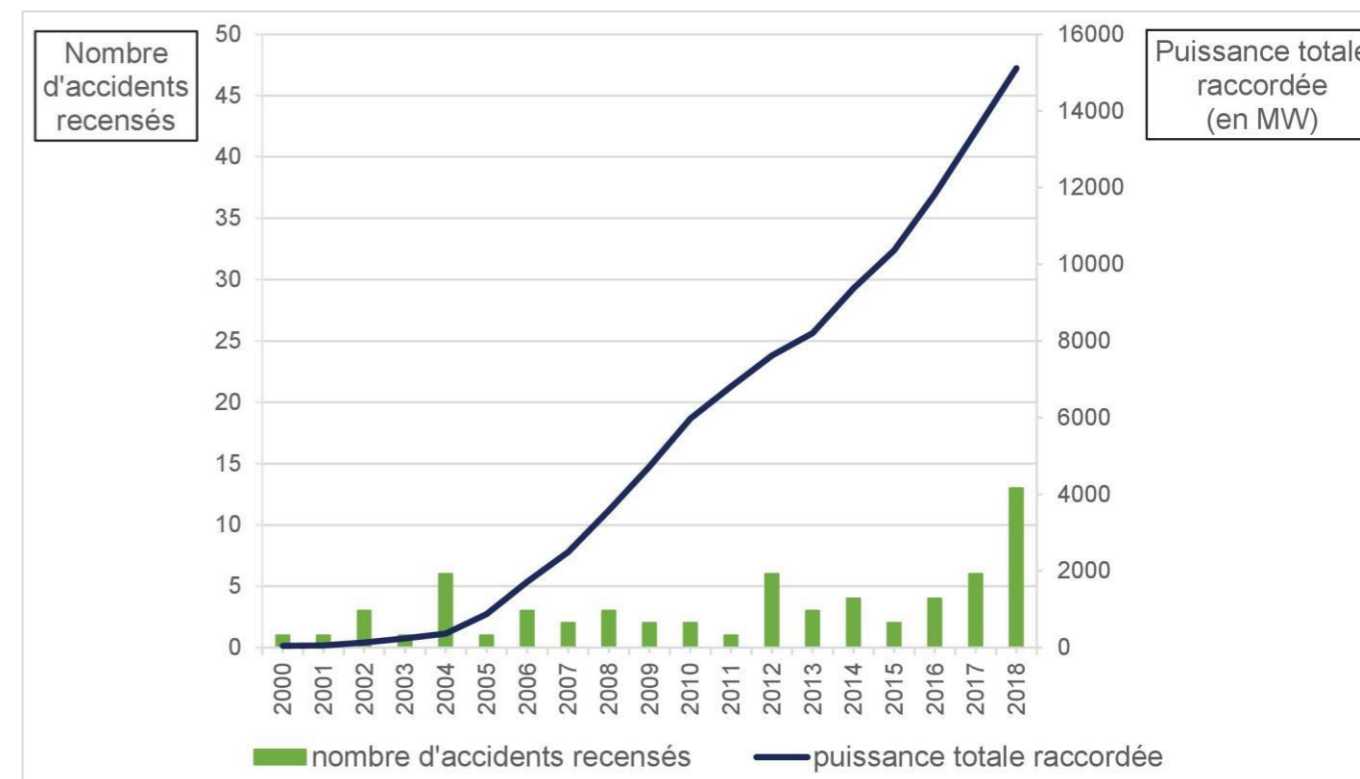


Figure 13 : Nombre d'accidents recensés et puissance raccordée

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

7.3.2 Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

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

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

7.4 LIMITES D'UTILISATION DE L'ACCIDENTOLOGIE

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

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

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

8 ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

8.1 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'accident potentiels pour une installation (ainsi que des mesures de sécurité) basée sur un questionnement systématique des causes et conséquences possibles des événements accidentels, ainsi que sur le retour d'expérience disponible.

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

8.2 RECENSEMENT DES EVENEMENTS INITIATEURS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES

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

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

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

- Inondations ;
- Séismes d'amplitude suffisante pour 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.

8.3 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 par le groupe de travail à l'origine du présent guide. Les porteurs de projet sont invités à indiquer si leurs aérogénérateurs sont soumis à ces agressions potentielles en complétant les tableaux ci-dessous.

8.3.1 Agressions externes liées aux activités humaines

Sont synthétisées ici les principales agressions externes liées aux activités humaines. **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 et des autres aérogénérateurs qui seront reportés dans un rayon de 500 m.

Infrastructure	Fonction	Événement redouté	Danger	Périmètre	Distance par rapport au mât des éoliennes		
					E1	E2	E3
Voies de circulation	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	>200 m		
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2 000 m	>2 000 m		
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	>200 m		
Autre éolienne	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	>500 m		

Tableau 22 : Agressions externes liées aux activités humaines

Aucune voie de circulation n'est présente au sein de l'aire d'étude du projet éolien de Nancray. Toutefois, en considérant l'éloignement des éoliennes aux chemins non goudronnés, les éoliennes se trouvent à 65 m (E1), à 30 m (E2), et à 50 m (E3) des premiers chemins. **Il s'agit de chemins forestiers ou d'accès aux éoliennes et sont donc très peu fréquentés.**

Aucun aérodrome ne se situe à moins de 2 km du projet et aucune éolienne construite n'est présente à moins de 500 m du projet. En effet, le projet se trouve à plus de 6 km de l'aérodrome le plus proche et à 15 km de l'éolienne en exploitation la plus proche.

8.3.2 Agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

Agression externe	Intensité
Vents et tempête	D'après les relevés climatiques de Météo France, la rafale maximale enregistrée à la station de Besançon a atteint les 113 km/h en 2011.
Foudre	Les éoliennes sont équipées de système de protection contre la foudre respectant la norme IEC 61 400-24 (juin 2010) ou EN 62 305 - 3 (décembre 2006).
Risque de remontée des nappes	Aucun risque de remontée de nappes en domaine sédimentaire est noté au droit des éoliennes.

Tableau 23: Agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

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

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

8.4 SCENARIOS ETUDIES DANS L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

Le tableau suivant présente une proposition d'analyse générique des risques. Il est construit de la manière suivante :

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

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

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

Les différents 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 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).

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
G01	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales, le mât et la nacelle	Chute de glace lorsque les éoliennes sont arrêtées	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace (N°2)	Impact de glace sur les enjeux	1
G02	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	Projection de glace lorsque les éoliennes sont en mouvement	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de la glace (N°1)	Impact de glace sur les enjeux	2
I01	Humidité / Gel	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I02	Dysfonctionnement électrique	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I03	Survitesse	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

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
I05	Conditions climatiques humides	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I06	Rongeur	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I07	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2
F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur Fuite transformateur	Ecoulement hors de la nacelle et le long du mât, puis sur le sol avec infiltration	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Ecoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
C01	Défaut de fixation	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	1
C02	Défaillance fixation anémomètre	Chute anémomètre	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation)(N°9)	Impact sur cible	1
C3	Défaut fixation nacelle - pivot central - mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation)(N°9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop importante sur les pales	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Impact sur cible	2
P03	Serrage inapproprié Erreur maintenance - desserrage	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation)(N°9)	Impact sur cible	2

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

8.5 EFFETS DOMINOS

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

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

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

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

Dans le cadre des études de dangers éoliennes, il est 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. Les effets dominos ne seront donc pas étudiés dans le cadre de cette étude.

8.6 MISE EN PLACE DES MESURES DE SECURITE

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

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

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.

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1-a
Mesures de sécurité	Système de déduction de la formation de glace.		
Description	Ce système déduit la formation de glace sur les pales à partir des données de température et de rendement de l'éolienne (l'accumulation de glace alourdit les pales et diminue le rendement de la turbine). Une configuration du système SCADA permet d'alerter les opérateurs par un message type « Ice Climate ». Une mise à l'arrêt est ensuite effectuée de manière automatique ou manuelle, selon le type de contrat. Les procédures de redémarrage sont définies par l'exploitant.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Mise à l'arrêt de la turbine < 1 min		
Efficacité	100 %		
Tests	NA		
Maintenance	Surveillance via la maintenance prédictive		

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1-b
Mesures de sécurité	Système de détection de glace sur la nacelle.		
Description	Ce système est composé d'une sonde vibratoire, permettant d'alerter les opérateurs dès que l'accumulation de glace dépasse un certain niveau. Ce dispositif détecte la formation de glace sur les pales. Le système est basé sur la fréquence d'oscillation de la pale pour détecter la présence de glace. La mesure est prise en compte quand la température ambiante est inférieure à 3°C. Lorsqu'il y a détection, la mise à l'arrêt de la turbine est automatique ou manuelle, après vérification de la glace formée, selon le type de configuration demandé. Le redémarrage automatique de la machine après disparition de la glace est activé.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min		
Efficacité	100%		
Tests	NA		
Maintenance	Le système de détection est supervisé par les contrôleurs de la machine. Un warning est envoyé via le SCADA en cas de défaut => maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement		

Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité	2-b
Mesures de sécurité	Signalisation du risque en pied de machine Eloignement des zones habitées et fréquentées		
Description	Mise en place de panneaux de signalisation en pied de machine informant du risque de chute de glace (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par 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	Sondes de température sur pièces mécaniques Suivant les niveaux d'alarme et les capteurs, la machine peut être bridée ou mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement. Le redémarrage peut être effectué à distance, si les seuils de température sont au-dessous des seuils d'alarme.		
Description	Des sondes de température sont mises en place sur les équipements ayant de fortes variations de température au cours de leur fonctionnement (paliers et roulements des machines tournantes, enroulements du générateur et du transformateur). Ces sondes ont des seuils hauts qui, une fois dépassés, conduisent à une alarme et à une mise à l'arrêt du rotor.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min		
Efficacité	100 %		
Tests	Surveillance via la maintenance prédictive, avec détection de la déviation de températures de chaque capteur.		
Maintenance	Surveillance via la maintenance prédictive, avec détection de la déviation de température de chaque capteur (comparaison avec les données des autres éoliennes du parc). Remplacement de la sonde de température en cas de dysfonctionnement de l'équipement. Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021.		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4-a
Mesures de sécurité	Détection de vent fort et freinage aérodynamique par le système de contrôle.		
Description	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale de 22.5 m/s. Cet arrêt est réalisé par le frein aérodynamique de l'éolienne avec mise en drapeau des pales (le freinage est effectué en tournant ensemble les 3 pales à un angle de 85 à 90°, afin de positionner celles-ci en position où elles offrent peu de prise au vent). Cette mise en drapeau est effectuée par le système d'inclinaison des pales « Pitch System ».		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min 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 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 modifié par arrêté du 10 décembre 2021. Tests à chaque maintenance préventive.		
Maintenance	Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4-b
Mesures de sécurité	Détection de survitesse du générateur		
Description	Les vitesses de rotation du générateur et de l'arbre lent sont mesurées et analysées en permanence par le système de contrôle. Cette mesure redondante permet de limiter les défaillances liées à un seul capteur. En cas de discordance des mesures, l'éolienne est mise à l'arrêt. Si la vitesse de rotation est supérieure à la vitesse d'alarme, l'éolienne est considérée comme étant en survitesse et est donc mise à l'arrêt.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min 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 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 modifié par arrêté du 10 décembre 2021. Tests à chaque maintenance préventive (tous les ans).		
Maintenance	Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4-c
Mesures de sécurité	Overspeed Guard		
Description	En complément aux capteurs de mesure de vitesse, un système instrumenté de sécurité est présent (automate totalement indépendant de l'automate de conduite utilisé pour la fonction 4-b), et dispose d'un capteur de vitesse de rotation disposé sur l'arbre lent. Le dépassement d'une vitesse de 17 tours par minute sur l'arbre lent conduit à la mise à l'arrêt de la machine par mise en drapeau des pales (cette mise en drapeau est assurée par le circuit hydraulique avec l'assistance complémentaire des accumulateurs disposés sur les vérins). En cas d'arrêt par survitesse (déclenchement du système, l'éolienne ne peut pas être redémarrée à distance. Il est nécessaire de venir acquitter localement le défaut et d'effectuer un contrôle de la machine avant de relancer l'éolienne.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection < 1 min Le couplage du système de détection de survitesse au système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant. L'exploitant sera ainsi en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément à l'article 23 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021.		
Efficacité	100 %		
Tests	Lors de la mise en service de l'aérogénérateur, une série de tests (arrêts simples, d'urgence et de survitesse) est réalisée afin de s'assurer du fonctionnement et de la sécurité de l'éolienne conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021.		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les ans suivant les manuels de maintenance. Ces vérifications sont consignées dans le document IRF. Maintenance conforme aux dispositions des articles 15 et 18 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021.		

Fonction de sécurité	Prévenir les courts-circuits	N° de la fonction de sécurité	5
Mesures de sécurité	Détecteur d'arc avec coupure électrique (salle transformateur et armoires électriques).		
Description	Outre les protections traditionnelles contre les surintensités et les surtensions, les armoires électriques disposées dans les nacelles (qui abritent les divers jeux de barres), sont équipées de détecteurs d'arc électrique. Ce système de capteurs photosensibles a pour objectif de détecter toute formation d'un arc électrique (caractéristique d'un début d'amorçage) qui pourrait conduire à des phénomènes de fusion de conducteurs et de début d'incendie. Le fonctionnement de ces détecteurs commande le déclenchement de la cellule HT située en pied de mât, conduisant ainsi à la mise hors tension de la machine. La remise sous tension puis le recouplage de la machine ne peuvent être faits qu'après inspection visuelle des éléments HT de la nacelle, puis du réarmement du détecteur d'arc et de l'acquiescement manuel du défaut.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	50 millisecondes Le couplage du système de détection d'arc électrique avec le système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant.		
Efficacité	100 %		
Tests	Test des détecteurs d'arc à la mise en service puis tous les ans.		
Maintenance	Les installations électriques font l'objet d'un contrôle avant la mise en service industrielle du parc éolien, puis annuellement conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021. Ce contrôle donne lieu à un rapport, dit rapport de vérification annuel, réalisé par un organisme agréé. Des vérifications de tous les équipements électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrés dans le manuel de maintenance préventive.		

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Système de protection contre la foudre conçue pour répondre à la classe de protection I de la norme internationale IEC 61400.		
Description	Compte tenu de leur situation et des matériaux de construction, les pales sont les éléments les plus sensibles à la foudre. Des pastilles métalliques en acier inoxydable permettant de capter les courants de foudre sont disposées à intervalles réguliers sur les deux faces des pales. Elles sont reliées entre elles par une tresse en cuivre, interne à la pale. Le pied de pale est muni d'une plaque métallique en acier inoxydable, sur une partie de son pourtour, raccordée à la tresse de cuivre. Un dispositif métallique flexible (nommé LCTU - Lightning Current Transfer Unit) assure la continuité électrique entre la pale et le châssis métallique de la nacelle (il s'agit d'un système de contact glissant comportant deux points de contact par pale). Ce châssis est relié électriquement à la tour, elle-même reliée au réseau de terre disposé en fond de fouille. En cas de coup de foudre sur une pale, le courant de foudre est ainsi évacué vers la terre via la fondation et des prises profondes.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat, dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	Avant la première mise en route de l'éolienne, une mesure de mise à la terre est effectuée.		
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 arrêté du 10 décembre 2021.		

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	<p>1. Sondes de température sur pièces mécaniques. Suivant les niveaux d'alarme et les capteurs, la machine peut être bridée ou mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement. Le redémarrage peut être effectué à distance, si les seuils de température sont au-dessous des seuils d'alarme.</p> <p>2. Système de détection incendie</p>		
Description	<p>1. Des sondes de température sont mises en place sur les équipements ayant de fortes variations de température au cours de leur fonctionnement (paliers et roulements des machines tournantes, enroulements du générateur et du transformateur). Ces sondes ont des seuils hauts qui, une fois dépassés, conduisent à une alarme et à une mise à l'arrêt du rotor.</p> <p>2. Les éoliennes sont équipées par défaut d'un système autonome de détection composé de plusieurs capteurs de fumée et de chaleur disposés aux possibles points d'échauffements tels que :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La chambre du transformateur - Le générateur - La cellule haute tension - Le convertisseur - Les armoires électriques principales - Le système de freinage. <p>En cas de détection, une sirène est déclenchée, l'éolienne est mise à l'arrêt en « emergency stop » et isolement électrique par ouverture de la cellule en pied de mât. De façon concomitante, un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance via le système de contrôle commande.</p> <p>Le système de détection incendie est alimenté par le réseau secours (UPS).</p> <p>Vis-à-vis de la protection incendie, deux extincteurs sont présents dans la nacelle et un extincteur est disponible en pied de tour (utilisables par le personnel sur un départ de feu).</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	<p>Temps de détection de l'ordre de la seconde</p> <p>Le couplage des éléments de détection de fumée au système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant.</p> <p>L'exploitant sera ainsi en mesure de transmettre l'alerte aux services d'Urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément à l'article 23 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021.</p>		
Efficacité	100%		
Tests	Test des détecteurs de fumée à la mise en service puis tous les ans.		
Maintenance	<p>Contrôle tous les ans du système de détection incendie pour être conforme à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2012</p> <p>Le matériel incendie (extincteurs) est contrôlé périodiquement par un organisme spécialisé.</p> <p>Maintenance prédictive sur les capteurs de température.</p>		

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	<p>1. Détecteurs de niveau d'huile et capteurs de pression</p> <p>2. Capteur de niveau du circuit de refroidissement (niveau bas alarmé avec arrêt après temporisation)</p> <p>3. Procédure d'urgence</p> <p>4. Kit antipollution</p> <p>5. Bacs de rétention</p>		
Description	<p>1. Le circuit hydraulique est équipé de capteurs de pression (une mesure de pression dans le bloc hydraulique de chaque pale) permettant de s'assurer de son bon fonctionnement. Toute baisse de pression au-dessous d'un seuil préalablement déterminé, conduit au déclenchement de l'arrêt du rotor (mise en drapeau des pales). Afin de pouvoir assurer la manœuvre des pales en cas de perte du groupe de mise en pression ou en cas de fuite sur le circuit, chaque bloc hydraulique (situé au plus près du vérin de pale) est équipé d'un accumulateur hydropneumatique (pressurisé à l'azote) qui permet la mise en drapeau de la pale.</p> <p>La pression du circuit de lubrification du multiplicateur fait également l'objet d'un contrôle, asservissant le fonctionnement de l'éolienne.</p> <p>Les niveaux d'huile sont surveillés d'une part au niveau du multiplicateur et d'autre part au niveau du groupe hydraulique. L'atteinte du niveau bas sur le multiplicateur ou sur le groupe hydraulique, déclenche une alarme et conduit à la mise à l'arrêt du rotor.</p> <p>2. Le circuit de refroidissement (eau glycolée) est équipé d'un capteur de niveau bas, qui en cas de déclenchement conduit à l'arrêt de l'éolienne.</p> <p>3. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange.</p> <p>Une procédure en cas de pollution accidentelle du sol est communiquée au personnel intervenant dans les aérogénérateurs.</p> <p>4. En cas de fuite, les véhicules de maintenance sont équipés de kits de dépollution composés de grandes feuilles absorbantes. Ces kits d'intervention d'urgence permettent :</p> <ul style="list-style-type: none"> - De contenir et arrêter la propagation de la pollution ; - 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, le constructeur se charge de faire intervenir une société spécialisée qui récupérera et traitera la terre souillée via les filières adéquates.</p> <p>5. Des bacs de rétention empêchent l'huile ou la graisse de couler le long du mât et de s'infiltrer dans le sol. Les principaux bacs de rétention sont équipés de capteurs de niveau d'huile afin d'informer les équipes de maintenance via les alertes cas de fuite importante. De plus, la plateforme supérieure de la tour a les bords relevés et a les jointures étanches entre plaques d'acier. Cette plateforme fait office de bac de rétention de secours en cas de fuite importante dans la nacelle.</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	<p>Temps de détection de l'ordre de la seconde</p> <p>Mise en pause de la turbine < 1 min</p>		
Efficacité	100%		
Tests	Tests des systèmes hydrauliques à la mise en service, au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les ans suivant les manuels de maintenance. Ces vérifications sont consignées dans le document IRF. Dépendant du débit de fuite.		
Maintenance	<p>Les vérifications d'absence de fuites sont effectuées à chaque service planifié.</p> <p>Surveillance des niveaux d'huile via des outils d'analyses instantanées ou hebdomadaires. Inspection et maintenance curative en fonction du type de déclenchement d'alarme.</p>		

Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	N° de la fonction de sécurité	9
Mesures de sécurité	Contrôles réguliers des fondations et des différents assemblages de structure (ex : brides, joints, etc.) Procédures et contrôle qualité		
Description	La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Le constructeur remet à chacun de ses clients, un document « Type certificate » qui atteste de la conformité de l'éolienne fournie au standard IEC 61400-1 (édition 2005). Ainsi la nacelle, le moyeu, les fondations et la tour répondent aux standards IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400 -1 ; 12 ; 23. De plus, des organismes compétents externes, mandatés par l'exploitant du parc, produisent des rapports attestant de la conformité de nos turbines à la fin de la phase d'installation. L'article R111-38 du code de la construction et de l'habitation fait référence au contrôle technique de construction. Il est obligatoire, à la charge de l'exploitant et réalisé par des organismes agréés par l'État. Ce contrôle assure la solidité des ouvrages ainsi que la sécurité des biens et des personnes. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100%		
Tests	NA		
Maintenance	Le plan de maintenance prévoit le contrôle des brides de fixation, des brides de mât, des fixations des pales et le contrôle visuel du mât trois mois puis un an après la mise en service industrielle puis tous les trois ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021.		

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

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'état des équipements	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	1. Procédure de contrôle des équipements lors des maintenances planifiées. 2. Suivi de données mesurées par les capteurs et sondes présentes dans les éoliennes. 3. CMS		
Description	1. Ce point est détaillé dans le chapitre dédié aux maintenances planifiées. 2. L'intégralité des données mesurées par les capteurs et sondes présentes dans les éoliennes est suivie et enregistrée dans une base de données unique. Ces données sont traitées par des algorithmes en permanence afin de détecter, au plus tôt, les dégradations des équipements. Lorsqu'elle est nécessaire, une inspection de l'équipement soupçonné de se dégrader est planifiée. Les algorithmes de détection et de génération d'alarmes sont en amélioration continue. 3. Présence d'un Condition Monitoring System (CMS) qui permet de suivre par une analyse vibratoire continue, l'état des éléments roulants de la chaîne cinématique du rotor, de l'arbre lent, du multiplicateur, de la génératrice et de leur environnement.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Entre 12 heures et 6 mois selon le type de dégradation		
Efficacité	NA		
Tests	Traçabilité : rapport de service		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	12
Mesures de sécurité	1. Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents 2. Mise à l'arrêt sur détection de vent fort et freinage aérodynamique par le système de contrôle 3. Option « Yaw backup System »		
Description	1. En France, la classification de vents des éoliennes fait référence à la norme « IEC 61400-1 ». Les éoliennes sont dimensionnées pour chacune de ces classes. Il est donc important de faire correspondre la classe du site avec la classe de la turbine 2. Les éoliennes sont mises à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale de 25 m/s pour la V112 / V117 3.45 MW et V117/V136 4 MW, au-delà de 22.5 m/s pour la V126/V136 3.45 MW et V150 4 MW. Cet arrêt est réalisé par le frein aérodynamique de l'éolienne avec mise en drapeau des pales. Cette mise en drapeau est effectuée par le système d'orientation des pales « Pitch System ». 3. En fonction de l'intensité attendue des vents, il est possible d'ajouter en option le « Yaw backup System ». Ce système maintient la turbine face au vent même en cas de coupure du réseau électrique. Préciser si l'option a été choisie pour les éoliennes de ce parc.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde. Mise drapeau des pales < 1 min		
Efficacité	100%		
Tests	Pitch system testé tous les ans lors des maintenances préventives.		
Maintenance	Tous les ans.		

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

8.7 CONCLUSION DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

A 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. Ne sont retenus que les séquences accidentelles dont l'intensité est telle que l'accident peut avoir des effets significatifs sur la vie humaine.

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

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 m de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m ² n'est pas atteinte. Dans le cas d'un incendie au niveau du mât, les effets sont également mineurs et l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021 encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques. Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.
Incendie du poste de livraison ou du transformateur	En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021 [9] et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200)
Infiltration d'huile dans le sol	En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs. Ce scénario peut ne pas être détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques sauf en cas d'implantation dans un périmètre de protection rapprochée d'une nappe phréatique.

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.

9 ETUDE DETAILLEE DES RISQUES

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

9.1 RAPPEL DES DEFINITIONS

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.

9.1.1 Cinétique

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

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

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

9.1.2 Intensité

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

On constate que les 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 %

Tableau 24 : Degré d'exposition

9.1.3 Gravité

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

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

Tableau 25 : Niveaux de gravité

9.1.4 Probabilité

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

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

Tableau 26 : Classes de probabilité

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.

9.1.5 Rappel des caractéristiques des éoliennes du parc

Conformément au guide de l'INERIS, des dimensions standardisées sont retenues dans le cadre des calculs pour les différents scénarios étudiés. Il est ainsi considéré qu'une longueur de pale est égale à un demi-diamètre rotor, et que la hauteur totale de l'éolienne correspond à la longueur d'une pale additionnée de la hauteur du mât de l'éolienne. Plusieurs modèles d'éoliennes sont envisagés dans le cadre du projet. Le gabarit retenu pour l'étude détaillée des risques est celui présentant les zones d'effets les plus importantes pour chaque scénario étudié afin d'être maximisant dans la prise en compte des risques. Le gabarit retenu possède un diamètre de rotor de 140 m, soit une longueur de pale considérée de 70 m. La hauteur du mat est de 130 m, portant la hauteur totale de l'éolienne à 200 m. Les dimensions suivantes sont donc utilisées pour les calculs des différents scénarios étudiés :

Caractéristiques	Gabarit
Diamètre du rotor D	140 m
Longueur d'une pale R	70 m
Hauteur du mât H	130 m
Largeur à la base du mât L	6,1 m
Largeur maximale à la base de pale LB	4 m

Tableau 27 : Rappel des caractéristiques des éoliennes considérées pour l'étude de dangers

9.2 CARACTERISATION DES SCENARIOS RETENUS

9.2.1 Effondrement de l'éolienne

9.2.1.1 Zone d'effet

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 200 m. Cette méthodologie se rapproche de celles utilisées dans la bibliographie (références [5] et [6]). Les risques d'atteinte d'une personne ou d'un bien en dehors de cette zone d'effet sont négligeables et ils n'ont jamais été relevés dans l'accidentologie ou la littérature spécialisée.

9.2.1.2 Intensité

Pour le phénomène d'effondrement de l'éolienne, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface totale balayée par le rotor et la surface du mât non balayée par le rotor, d'une part, et la superficie de la zone d'effet du phénomène, d'autre part. Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Nancray. R est la longueur de pale, H la hauteur du mât, L la largeur du mât et LB la largeur de la base de la pale.

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)				
Eolienne	Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_I = (H) \times L + 3 \times R \times LB / 2$	$Z_E = \pi \times (H+R)^2$	$Z_I / Z_E \times 100$	
Gabarit	1213,00	125663,71	0,97%	Exposition modérée

Tableau 28 : Intensité retenue pour le phénomène d'effondrement de l'éolienne

Le degré d'exposition est inférieur à 1%, l'exposition est donc considérée comme « modérée ».

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

9.2.1.3 Gravité

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

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

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

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)				
Eolienne	Superficie concernée par la zone d'effet		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Niveau de gravité
	Terrains non aménagés en ha (1 pers./100ha)	Terrains aménagés peu fréquentés en ha (1 pers./10ha)		
E1	11,99	0,57	0,177	Modéré
E2	11,78	0,79	0,197	Modéré
E3	11,99	0,58	0,178	Modéré

Tableau 29 : Gravité retenue pour le phénomène d'effondrement de l'éolienne

Pour chacune des éoliennes, le nombre de personnes exposées sera donc inférieur à 1. Le niveau de gravité sera donc considéré comme « modéré ».

9.2.1.4 Probabilité

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

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

Tableau 30 : Probabilités issues de la littérature

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

Le retour d'expérience français montre 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 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.

Dans le retour d'expérience français, aucun effondrement n'a eu lieu sur les éoliennes mises en service après 2005.

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

9.2.1.5 Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/non acceptable) :

Niveau de gravité (Traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)	Récapitulatif				
	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux					
Modéré		EE1 EE2 EE3			

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

EE : effondrement de l'éolienne

Tableau 31 : Acceptabilité du niveau de risque calculé pour le phénomène d'effondrement de l'éolienne

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

9.2.2 Chute de glace

9.2.2.1 Considérations générales

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

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

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

9.2.2.2 Zone d'effet

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne. Pour le parc éolien de Nancray, la zone d'effet a donc un rayon de 70 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.

9.2.2.3 Intensité

Pour le phénomène de chute de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace et la superficie de la zone d'effet du phénomène (zone de survol). Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace dans le cas du parc éolien de Nancray. Z_I est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, R est la longueur de pale, SG est la surface du morceau de glace majorant ($SG=1\text{ m}^2$).

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal au survol des pales)			
Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = SG$	$Z_E = \pi \times R^2$	$Z_I / Z_E \times 100$	
1,00	15393,80	0,006%	Exposition modérée

Tableau 32 : Intensité retenue pour le phénomène de chute de glace

Le degré d'exposition est inférieur à 1%, l'exposition est donc considérée comme « modérée ».

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

9.2.2.4 Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe 9.1.3), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute de glace, dans la zone de survol de l'éolienne :

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

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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal au survol des pales)				
Eolienne	Superficie concernée par la zone d'effet		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Niveau de gravité
	Terrains non aménagés en ha (1 pers./100ha)	Terrains aménagés peu fréquentés en ha (1 pers./10ha)		
E1	1,20	0,34	0,046	Modéré
E2	1,03	0,51	0,061	Modéré
E3	1,20	0,34	0,046	Modéré

Tableau 33 : Gravité retenue pour le phénomène de chute de glace

Pour chacune des éoliennes, le nombre de personnes exposées sera donc inférieur à 1. Le niveau de gravité sera donc considéré comme « modéré ».

9.2.2.5 Probabilité

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

9.2.2.6 Acceptabilité

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

Dans le cas contraire, l'exploitant devra démontrer que des mesures de sécurité supplémentaires sont mises en place afin d'améliorer l'acceptabilité de ce risque.

Le tableau suivant rappelle la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/non acceptable) :

Récapitulatif					
Niveau de gravité (Traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux					
Modéré					CG1 CG2 CG3

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

CG : chute de glace

Tableau 34 : Acceptabilité du niveau de risque calculé pour le phénomène de chute de glace

Ainsi, pour le parc éolien de Nancray, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un niveau de 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 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.

9.2.3 Chute d'éléments de l'éolienne

9.2.3.1 Zone d'effet

La chute d'éléments comprend la chute de tous les équipements situés en hauteur : trappes, boulons, morceaux de pales ou pales entières. Le cas majorant est ici le cas de la chute de pale. Il est retenu dans l'étude détaillée des risques pour représenter toutes les chutes d'éléments. Le risque de chute d'élément est cantonné à la zone de survol des pales, c'est-à-dire une zone d'effet correspondant à un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne en projection verticale. Pour le parc éolien de Nancray, la zone d'effet a donc un rayon de 70 m.

9.2.3.2 Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Nancray. Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R la longueur de pale et LB la largeur de la base de la pale.

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal au survol des pales)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = R \cdot LB / 2$	$Z_E = \pi \times R^2$	$Z_I / Z_E \times 100$	
140,00	15393,80	0,91%	Exposition modérée

Tableau 35 : Intensité retenue pour le phénomène de chute d'élément d'éolienne

Le degré d'exposition est inférieur à 1%, l'exposition est donc considérée comme « modérée ».

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

9.2.3.3 Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe 9.1.3), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute d'élément de l'éolienne, dans la zone de survol de l'éolienne :

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

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

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal au survol des pales)				
Eolienne	Superficie concernée par la zone d'effet		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Niveau de gravité
	Terrains non aménagés en ha (1 pers./100ha)	Terrains aménagés peu fréquentés en ha (1 pers./10ha)		
E1	1,20	0,34	0,046	Modéré
E2	1,03	0,51	0,061	Modéré
E3	1,20	0,34	0,046	Modéré

Tableau 36 : Gravité retenue pour le phénomène de chute d'élément de l'éolienne

Pour chacune des éoliennes, le nombre de personnes exposées sera donc inférieur à 1. Le niveau de gravité sera donc considérée comme « modéré ».

9.2.3.4 Probabilité

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

Le retour d'expérience connu en France montre que ces événements ont une classe de probabilité « C » (2 chutes et 5 incendies pour 15 667 années d'expérience, soit 4.47×10^{-4} événement par éolienne et par an). Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 Septembre 2005 d'une probabilité « C » : « Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité ».

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

9.2.3.5 Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/non acceptable) :

Récapitulatif					
Niveau de gravité (Traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux					
Modéré			CE1 CE2 CE3		

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

CE : chute d'élément de l'éolienne

Tableau 37 : Acceptabilité du niveau de risque calculé pour le phénomène de chute d'élément de l'éolienne

Ainsi, pour le parc éolien de Nancray, le phénomène de chute d'élément des éoliennes constitue un niveau de risque acceptable pour les personnes.

9.2.4 Projection de pales ou de fragments de pales

9.2.4.1 Zone d'effet

Dans l'accidentologie française rappelée en annexe, la distance maximale relevée et vérifiée par le groupe de travail précédemment mentionné pour une projection de fragment de pale est de 380 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]. L'analyse de ce recueil d'accidents indique une distance maximale de projection de l'ordre de 500 m à deux exceptions près :

- 1300 m rapporté pour un accident à Hundhammerfjellet en Norvège le 20/01/2006 ;
- 1000 m rapporté pour un accident à Burgos en Espagne le 09/12/2000.

Toutefois, pour ces deux accidents, les sources citées ont été vérifiées par le SER-FEE et aucune distance de projection n'y était mentionnée. Les distances ont ensuite été vérifiées auprès des constructeurs concernés et dans les deux cas elles n'excédaient pas 300 m.

Ensuite, pour l'ensemble des accidents pour lesquels une distance supérieure à 400 m était indiquée, les sources mentionnées dans le recueil ont été vérifiées de manière exhaustive (articles de journal par exemple), mais aucune d'elles ne mentionnait ces mêmes distances de projection. Quand une distance était écrite dans la source, il pouvait s'agir par exemple de la distance entre la maison la plus proche et l'éolienne, ou du périmètre de sécurité mis en place par les forces de l'ordre après l'accident, mais en aucun cas de la distance de projection réelle.

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.

9.2.4.2 Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Nancray. Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R la longueur de pale, LB la largeur de la base de la pale et R_p le rayon de Projection de pale.

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_I = R \cdot LB / 2$	$Z_E = \pi \times R_p^2$	$Z_I / Z_E \times 100$	
140,00	785 398	0,02%	Exposition modérée

Tableau 38 : Intensité retenue pour le phénomène de projection de pale ou fragment de pale

Le degré d'exposition est inférieur à 1%, l'exposition est donc considérée comme « modérée ».

9.2.4.3 Gravité

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

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

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

Eolienne	Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			Niveau de gravité
	Superficie concernée par la zone d'effet		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	
	Terrains non aménagés en ha (1 pers./100ha)	Terrains aménagés peu fréquentés en ha (1 pers./10ha)		
E1	76,42	2,12	0,977	Modéré
E2	76,09	2,45	1,006	Sérieux
E3	76,24	2,30	0,992	Modéré

Tableau 39 : Gravité retenue pour le phénomène de projection de pale ou de fragment de pale

Pour le parc éolien du Nancray, le nombre de personnes exposées sera inférieur à 1 pour les éoliennes E1 et E3 et inférieur à 10 personnes pour l'éolienne E2. Le niveau de gravité sera donc considéré comme « modéré » pour les éoliennes E1 et E3 et comme « sérieux » pour l'éolienne E2.

9.2.4.4 Probabilité

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

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

Tableau 40 : Probabilités issues de la littérature

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 26 août 2011 modifié par 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 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 ».

9.2.4.5 Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/non acceptable) :

Récapitulatif					
Niveau de gravité (Traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		FP2			
Modéré		FP1 FP3			

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

FP : projection de fragment de pale

Tableau 41 : Acceptabilité du niveau de risque calculé pour le phénomène de projection de pale ou de fragment de pale

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

9.2.5 Projection de glace

9.2.5.1 Zone d'effet

L'accidentologie rapporte quelques cas de projection de glace. Ce phénomène est connu et possible, mais reste difficilement observable et n'a jamais occasionné de dommage sur les personnes ou les biens. En ce qui concerne la distance maximale atteinte par ce type de projectiles, il n'existe pas d'information dans l'accidentologie. La référence [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 = $1,5 \times (\text{hauteur de moyeu} + \text{diamètre de rotor})$, soit 405 m pour le parc éolien de Nancray.

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

9.2.5.2 Intensité

Pour le phénomène de projection de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace (cas majorant de 1 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 de Nancray. Z_i la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, D le diamètre du rotor, H la hauteur au moyeu et SG la surface majorante d'un morceau de glace.

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $RPG = 1,5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)			
Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_i = SG$	$Z_E = \pi \times (1,5 \times (H+2R))^2$	$Z_i / Z_E \times 100$	
1	515299,74	0,0002%	Exposition modérée

Tableau 42 : Intensité retenue pour le phénomène de projection de morceaux de glace

Le degré d'exposition est inférieur à 1%, l'exposition est donc considérée comme « modérée ».

9.2.5.3 Gravité

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

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

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

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

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $RPG = 1,5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)				
Eolienne	Superficie concernée par la zone d'effet		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Niveau de gravité
	Terrains non aménagés en ha (1 pers./100ha)	Terrains aménagés peu fréquentés en ha (1 pers./10ha)		
E1	49,84	1,69	0,668	Modéré
E2	49,61	1,92	0,688	Modéré
E3	49,69	1,83	0,680	Modéré

Tableau 43 : Gravité retenue pour le phénomène de projection de morceaux de glace

Pour chacune des éoliennes, le nombre de personnes exposées sera donc inférieur à 1. Le niveau de gravité sera donc considéré comme « modéré ».

9.2.5.4 Probabilité

Au regard de la difficulté d'établir un retour d'expérience sur cet événement et considérant les mesures de prévention de projection de glace imposées par l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021 et le recensement d'aucun accident lié à une projection de glace, une probabilité forfaitaire « B – événement probable » est proposée.

9.2.5.5 Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/non acceptable) :

Niveau de gravité (Traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)	Récapitulatif				
	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux					
Modéré				PG1 PG2 PG3	

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

PG : projection de glace

Tableau 44 : Acceptabilité du niveau de risque calculé pour le phénomène de projection de morceaux de glace

Ainsi, pour le parc éolien de Nancray, le phénomène de projection de glace constitue un niveau de risque acceptable.

9.3 SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

9.3.1 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. Les tableaux regrouperont les éoliennes qui ont le même profil de risque.

Il est important de noter que l'agrégation des éoliennes au sein d'un même profil de risque ne débouche pas sur une agrégation de leur niveau de probabilité ni du nombre de personnes exposées car les zones d'effet sont différentes.

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Niveau de gravité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale (200 m)	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes) ²	Modéré pour toutes les éoliennes
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol des pales (70 m)	Rapide	Exposition modérée	C	Modéré pour toutes les éoliennes
Chute de glace	Zone de survol des pales (70 m)	Rapide	Exposition modérée	A sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Modéré pour toutes les éoliennes
Projection de pales	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes) ³	Modéré pour les éoliennes E1 et E3 Sérieux pour l'éolienne E2
Projection de glace	Disque dont le rayon est égal à $1,5 \times (H + 2R)$ (405 m)	Rapide	Exposition modérée	B sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Modéré pour toutes les éoliennes

Tableau 45 : Synthèse des scénarios étudiés

9.3.2 Synthèse de l'acceptabilité des risques

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

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

Niveau de gravité (Traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)	Récapitulatif				
	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Déastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		FP2			
Modéré		FP1 FP3 EE1 EE2 EE3	CE1 CE2 CE3	PG1 PG2 PG3	CG1 CG2 CG3

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

EE : effondrement de l'éolienne
CE : chute d'élément de l'éolienne
CG : chute de glace
PG : projection de glace
FP : projection de fragment de pale

Tableau 46 : Acceptabilité du niveau des risques

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

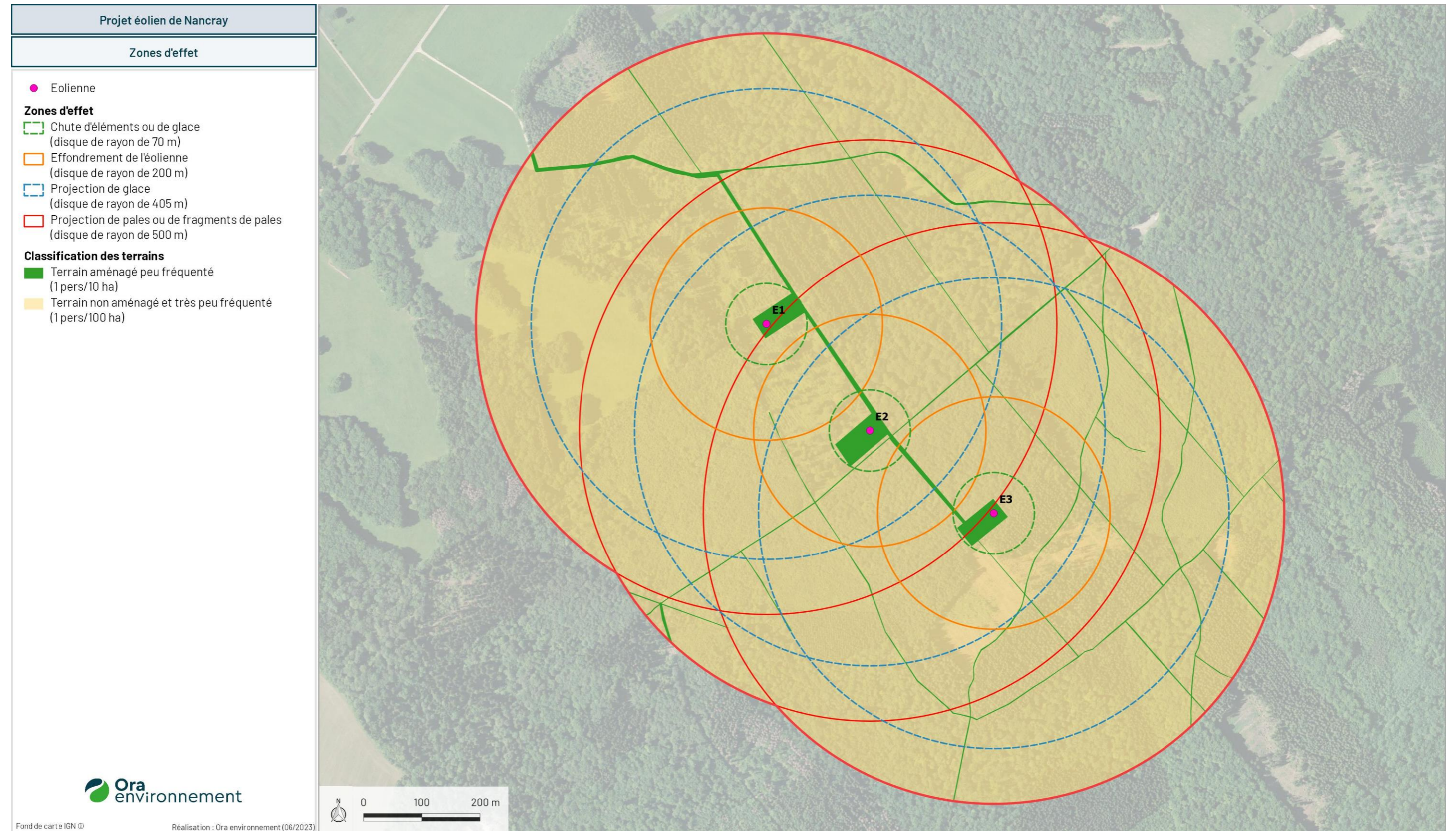
- Aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice ;
- Certains accidents figurent en case jaune. Pour ces accidents, il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 8.6 sont mises en place.

² Voir paragraphe 9.2.1

³ Voir paragraphe 9.2.4

9.3.3 Cartographie des risques

Les zones d'effets sont définies pour chaque événement accidentel comme la surface exposée à cet événement. La carte suivante illustre les différentes zones d'effet retenues.



Carte 22 : Zones d'effet

Niveaux de risque associés à l'éolienne E1

● Eolienne

Zones d'effet

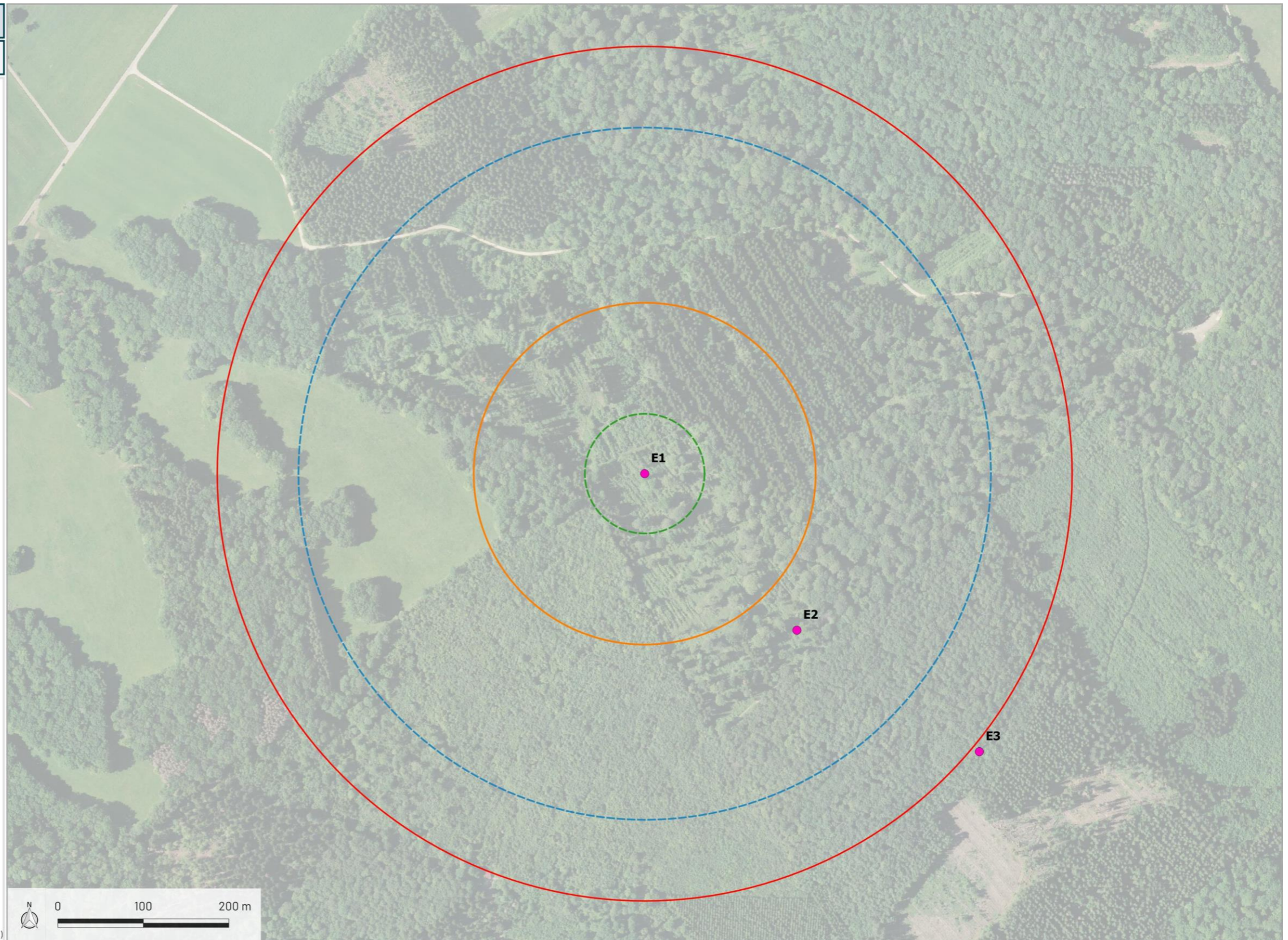
- Chute de glace :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 70 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : A
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Faible

- Chute d'élément d'éolienne :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 70 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : C
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible

- Effondrement de l'éolienne :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 200 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : D
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible

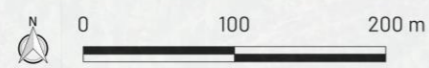
- Projection de glace :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 405 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : B
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible

- Projection de pale ou de fragments de pale :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 500 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : D
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible



Fond de carte IGN ©

Réalisation : Ora environnement (06/2023)



Carte 23: Niveau de risque associés à l'éolienne E1

Niveaux de risque associés à l'éolienne E2

● Eolienne

Zones d'effet

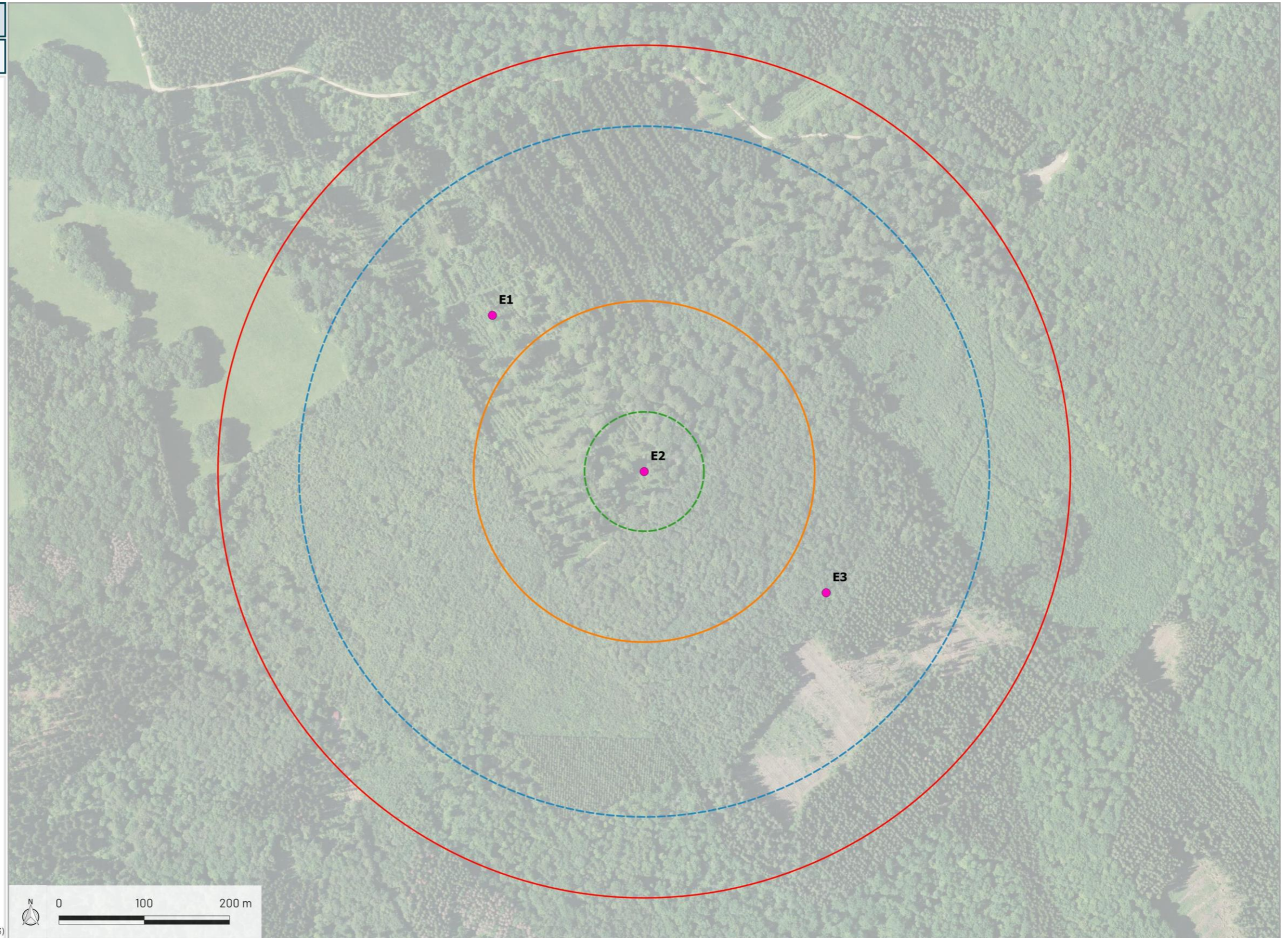
- Chute de glace :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 70 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : A
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Faible

- Chute d'élément d'éolienne :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 70 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : C
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible

- Effondrement de l'éolienne :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 200 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : D
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible

- Projection de glace :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 405 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : B
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible

- Projection de pale ou de fragments de pale :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 500 m
 - Nombre de personnes exposées : <10 pers
 - Probabilité : D
 - Niveau de gravité : Sérieux
 - Niveau de risque : Très faible



Carte 24: Niveau de risque associés à l'éolienne E2

Niveaux de risque associés à l'éolienne E3

● Eolienne

Zones d'effet

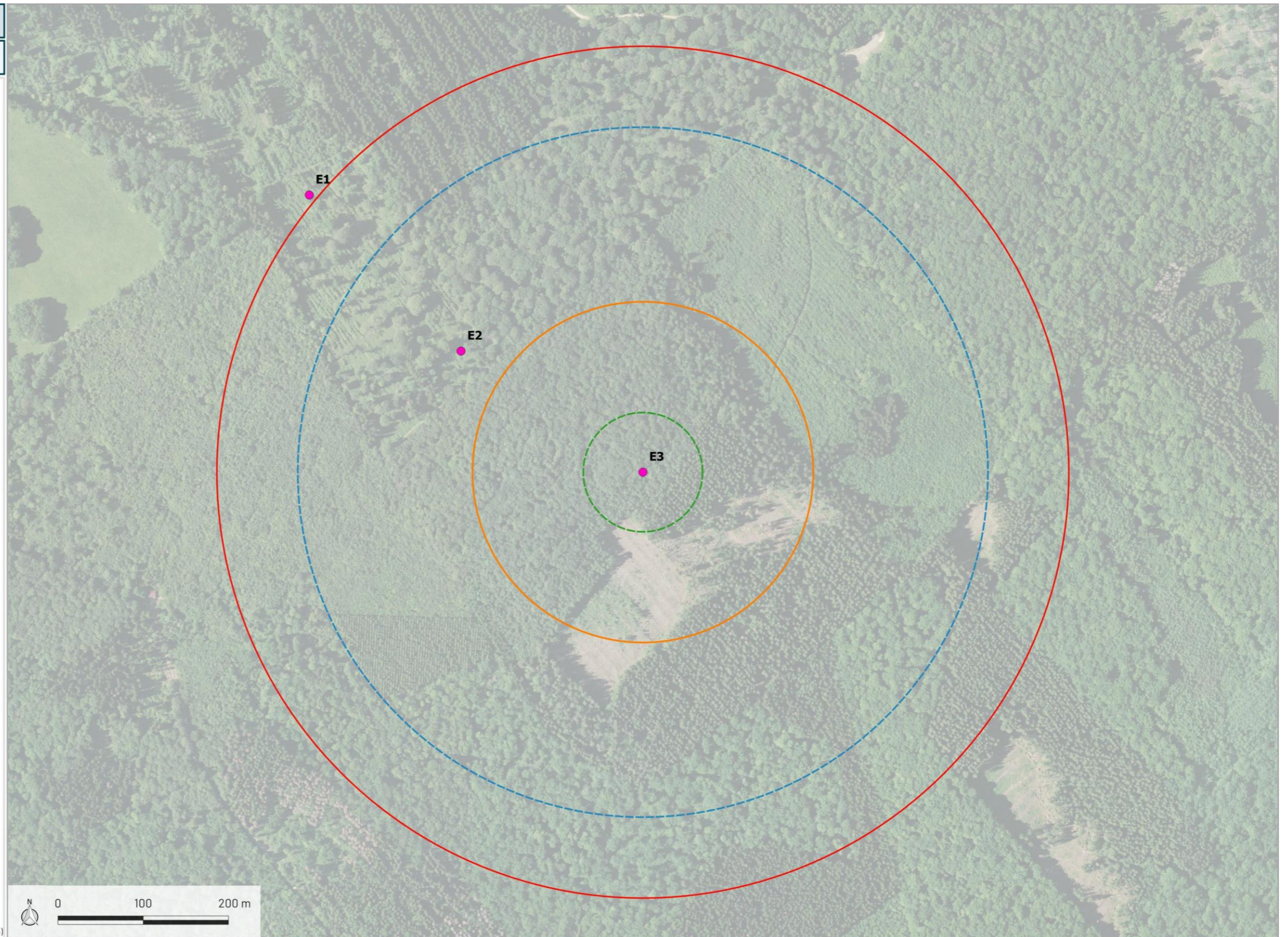
- Chute de glace :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 70 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : A
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Faible

- Chute d'élément d'éolienne :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 70 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : C
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible

- Effondrement de l'éolienne :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 200 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : D
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible

- Projection de glace :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 405 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : B
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible

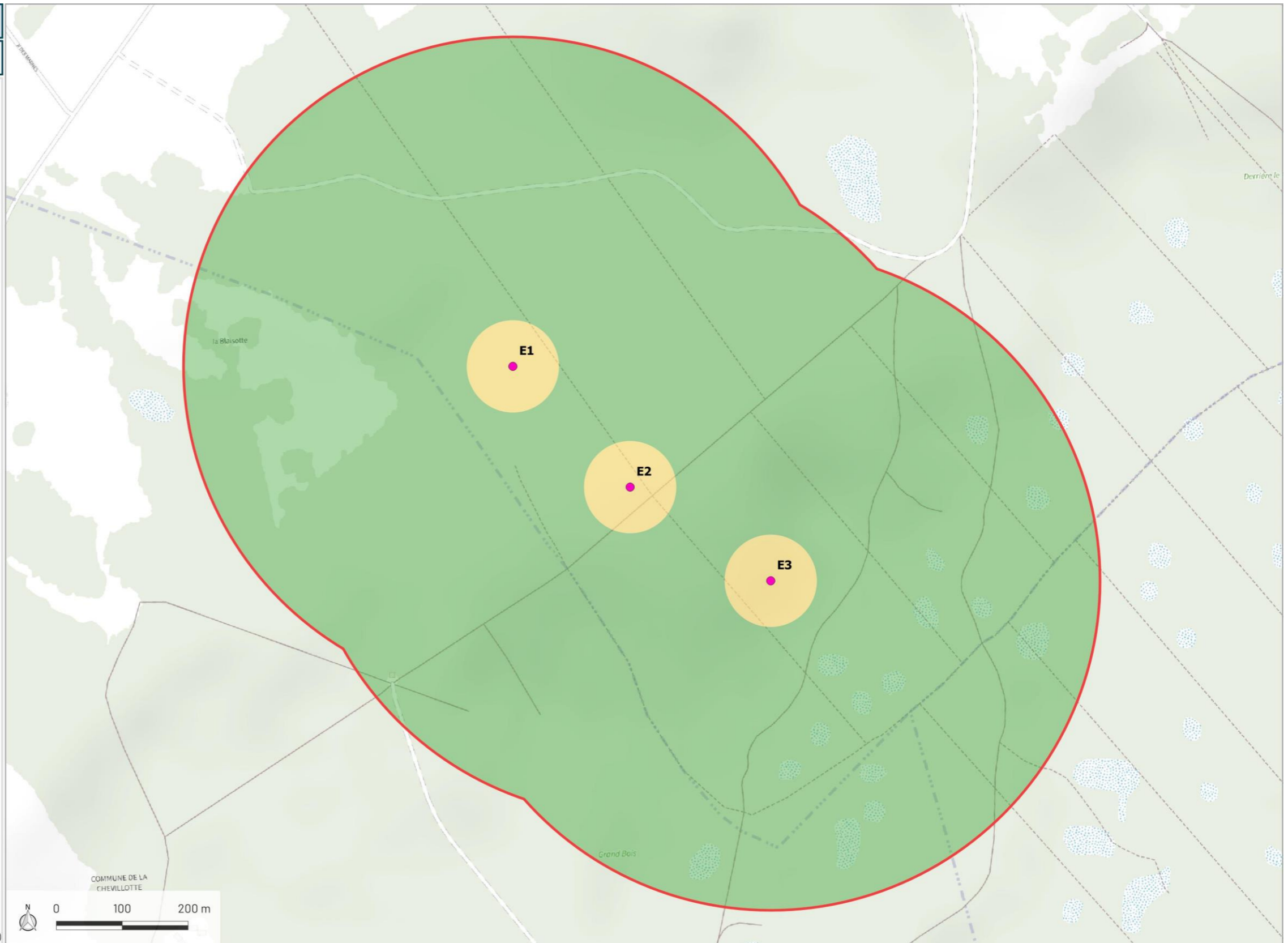
- Projection de pale ou de fragments de pale :
 - Zone d'effet : disque de rayon de 500 m
 - Nombre de personnes exposées : <1 pers
 - Probabilité : D
 - Niveau de gravité : Modéré
 - Niveau de risque : Très faible



Carte 25: Niveau de risque associés à l'éolienne E3

Projet éolien de Nancray
Synthèse des niveaux de risque

- Eolienne
- Aire d'étude
- Niveaux de risque**
- Risque faible
- Risque très faible



Carte 26: Synthèse des risques

10 CONCLUSION

Les mesures de maîtrise des risques mises en place par le constructeur et par l'exploitant du parc éolien permettent de prévenir et de limiter les risques pour la sécurité des personnes et des biens sur le territoire d'implantation du projet éolien de Nancray. De plus, le caractère très peu aménagé et peu fréquenté du site, ainsi que la distance par rapport aux premiers enjeux humains permettent de limiter la probabilité et la gravité des accidents majeurs, qui sont tous acceptables pour l'ensemble du parc éolien.

Un seul évènements présentent un risque faible d'atteindre des personnes :

- **La chute de glace.** Ce cas concerne une personne non abritée située sous une éolienne, soit un rayon de 70 m autour du mât. Ce risque correspond à un degré d'exposition « modéré » (petits fragments de glace) et donc à un niveau de gravité « modéré », avec une probabilité d'occurrence de l'évènement supérieure à 10^{-2} par éolienne et par an. Il faut noter que ces zones de survol des pales sont très peu fréquentées (moins d'une personne équivalente). De plus, conformément à l'annexe I, alinéa 3.8 de l'arrêté du 26 août 2011 modifié par arrêté du 10 décembre 2021, un panneau d'information préventif informant des risques de chute de glace au pied des éoliennes sera mis en place afin de limiter les risques pour le public.

L'ensemble des autres évènements présentent des niveaux de risque très faible.

Les accidents majeurs susceptibles de se produire sur le parc éolien de Nancray présentent tous des niveaux de risque acceptables au vu de l'analyse menée dans la présente étude de dangers.

11.1.1 Section 2 : Implantation

Art. 4 – L'installation est implantée 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. (...)

Le constructeur travaille actuellement sur une technologie qui a pour but de limiter l'impact des éoliennes sur les radars.

Art. 6 – L'installation est implantée de telle sorte que les habitations ne sont pas exposées à un champ magnétique émanant des aérogénérateurs supérieurs à 100 microteslas à 50-60 Hz.

L'exposition des travailleurs aux champs électromagnétiques est un enjeu sur lequel le constructeur travaille depuis plusieurs années. Une étude a été réalisée en juin 2010 par la CRAM et les membres du CHSCT afin d'estimer cette exposition. Les résultats montrent que les valeurs d'exposition sont très inférieures aux « valeurs déclenchant l'action » (VDA).

De nouvelles mesures ont été réalisées afin d'évaluer la valeur du champ électromagnétique émis par un parc d'éoliennes de 2 MW en fonctionnement. L'induction magnétique maximale mesurée était de 1,049 μ T, soit 100 fois inférieure à la valeur limite (Source EMITECH). Les mesures sur les éoliennes ayant une puissance de 3,45 MW n'ont pas été réalisées à ce jour.

11.1.2 Section 3 : Dispositions constructives

Art. 7 – Le site dispose en permanence d'une voie d'accès carrossable au moins pour permettre l'intervention des services d'incendie et de secours. Cet accès est entretenu. Les abords de l'installation placés sous le contrôle de l'exploitant sont maintenus en bon état de propreté.

Le constructeur assure à travers ses contrats de maintenance, l'entretien et le maintien en bon état des voies d'accès. Les contrats de fourniture proposés par le constructeur prévoient systématiquement la mise en place d'une voie d'accès carrossable permettant l'intervention des services d'incendie et de secours.

Art. 8 – L'aérogénérateur est conforme aux dispositions de la norme NF EN 61 400-1 dans sa version de juin 2006 ou CEI 61 400-1 dans sa version de 2005 ou toute norme équivalente en vigueur dans l'Union européenne, à l'exception des dispositions contraires aux prescriptions du présent arrêté.

L'exploitant tient à disposition de l'inspection des installations classées les rapports des organismes compétents attestant de la conformité des aérogénérateurs à la norme précitée.

En outre l'exploitant tient à disposition de l'inspection des installations classées les justificatifs démontrant que chaque aérogénérateur de l'installation est conforme aux dispositions de l'article R.111-38 du code de la construction et de l'habitation.

Le constructeur remet à chacun de ses clients un document « Type certificate » qui atteste de la conformité de l'éolienne fournie au standard IEC 61400-1 (édition 2005).

De plus, des organismes compétents externes, mandatés par l'exploitant du parc, produisent des rapports attestant de la conformité de nos turbines à la fin de la phase d'installation.

L'article R111-38 du code de la construction et de l'habitation fait référence au contrôle technique de construction. Il est obligatoire, à la charge de l'exploitant et réalisé par des organismes agréés par l'État. Ce contrôle assure la solidité des ouvrages ainsi que la sécurité des biens et des personnes.

Art. 9 – L'installation est mise à la terre. Les aérogénérateurs respectent les dispositions de la norme IEC 61 400-24 (version de juin 2010). L'exploitant tient à disposition de l'inspection des installations classées les rapports des organismes compétents attestant de la conformité des aérogénérateurs à la norme précitée. Les opérations de maintenance incluent un contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre.

L'ensemble des éoliennes respectent le standard IEC 61400-24.

Le contrôle visuel des pales est inclus dans nos opérations de maintenance annuelles (visite planifiée Inspection Record Form - IRF).

Art. 10 – Les installations électriques à l'intérieur de l'aérogénérateur respectent 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 certificat de conformité « *Declaration of Conformity* », remis avec chaque machine, atteste du respect de la Directive européenne dite « machine » du 17 mai 2006.

Les installations électriques font l'objet d'un contrôle avant la mise en service industrielle du parc éolien, puis annuellement, ce contrôle donnant lieu à un rapport, dit rapport de vérification annuel, réalisé par un organisme agréé.

Le constructeur propose à ses clients des contrôles électriques supplémentaires dans le cadre des maintenances annuelles.

Art. 11 – Le balisage de l'installation est conforme aux dispositions prises en application des articles L. 6351-6 et L. 6352-1 du code des transports et des articles R. 243-1 et R. 244-1 du code de l'aviation civile.

Le constructeur propose un balisage conforme aux dispositions citées dans cet article.

11.1.3 Section 4 : Exploitation

Art. 12 – Au moins une fois au cours des trois premières années de fonctionnement de l'installation puis une fois tous les dix ans, l'exploitant met en place un suivi environnemental permettant notamment d'estimer la mortalité de l'avifaune et des chiroptères due à la présence des aérogénérateurs.

Lorsqu'un protocole de suivi environnemental est reconnu par le ministre chargé des installations classées, le suivi mis en place par l'exploitant est conforme à ce protocole.

Ce suivi est tenu à disposition de l'inspection des installations classées.

Le suivi environnemental est mandaté par l'exploitant, il peut être réalisé par des organismes externes qui produisent un protocole de suivi, mis à disposition de l'inspection des installations classées.

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

Afin d'empêcher l'accès de toute personne non autorisée à l'intérieur de nos turbines, les portes des aérogénérateurs fournies par le constructeur sont équipées de verrous. Les postes de raccordement et de livraison sont également maintenus fermés à clef.

A la demande du client, le constructeur est en mesure d'équiper ses machines de dispositifs d'alerte pour détecter toute ouverture de portes, en installant des capteurs et en paramétrant le système SCADA afin que celui-ci relaie l'information en temps réel.

Art. 14 – Les prescriptions à observer par les tiers sont affichées soit en caractères lisibles, soit au moyen de pictogrammes sur un panneau sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, sur le poste de livraison et, le cas échéant, sur le poste de raccordement. Elles concernent notamment :

- Les consignes de sécurité à suivre en cas de situation anormale ;
- L'interdiction de pénétrer dans l'aérogénérateur ;
- La mise en garde face aux risques d'électrocution ;
- La mise en garde, le cas échéant, face au risque de chute de glace.

L'installation de panneaux est à la charge de l'exploitant. Le constructeur est en mesure de fournir les pictogrammes respectant les dispositions de cet article.

Art. 15 – Avant la mise en service industrielle d'un aérogénérateur, l'exploitant réalise des essais permettant de s'assurer du fonctionnement correct de l'ensemble des équipements. Ces essais comprennent :

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

Suivant une périodicité qui ne peut excéder 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.

Lors de la mise en service d'une éolienne, une série de tests est réalisée afin de s'assurer du fonctionnement et de la sécurité de l'éolienne. Parmi ces tests, les arrêts simples, d'urgence et de survitesse sont effectués.

Les essais des différents arrêts sont ensuite effectués tous les ans suivant les manuels de maintenance et sont reportés sur les documents IRF attestant la réalisation de l'ensemble des opérations de maintenance. La mise à l'arrêt de la turbine est testée lors de la mise en service de la turbine puis à chaque intervention.

Art. 16 – L'intérieur de l'aérogénérateur est maintenu propre. L'entreposage à l'intérieur de l'aérogénérateur de matériaux combustibles ou inflammables est interdit.

Le maintien de la propreté des équipements fait partie intégrante des prestations réalisées par les équipes du constructeur dans le cadre des contrats de maintenance. Afin d'assurer un suivi précis, un rapport de service, intégrant des photos de l'intérieur des turbines, est réalisé après les maintenances planifiées.

Aucun matériau combustible ou inflammable n'est entreposé dans les éoliennes.

Art. 17 – Le fonctionnement de l'installation est assuré par un personnel compétent disposant d'une formation portant sur les risques présentés par l'installation, ainsi que sur les moyens mis en œuvre pour les éviter.

Il connaît les procédures à suivre en cas d'urgence et procède à des exercices d'entraînement, le cas échéant, en lien avec les services de secours.

La formation BST (Basic Safety Training) forme tous les techniciens et ses sous-traitants aux risques et à la conduite à tenir en cas de problème. Les techniciens disposent également de formations leur permettant de travailler en toute sécurité. Parmi ces formations : utilisation des extincteurs, habilitation au travail en hauteur, habilitations électriques ou encore formation Sauveteur Secouriste du Travail (SST).

Art. 18 – Trois mois, puis un an après la mise en service industrielle, puis suivant une périodicité qui ne peut excéder trois ans, l'exploitant procède à un contrôle de l'aérogénérateur consistant en un contrôle des brides de fixations, des brides de mât, de la fixation des pales et un contrôle visuel du mât.

Selon une périodicité qui ne peut excéder un an, l'exploitant procède à un contrôle des systèmes instrumentés de sécurité. Ces contrôles font l'objet d'un rapport tenu à la disposition de l'inspection des installations classées.

Tous ces contrôles sont effectués par le constructeur.

Art. 19 – L'exploitant dispose d'un manuel d'entretien de l'installation dans lequel sont précisées la nature et les fréquences des opérations d'entretien afin d'assurer le bon fonctionnement de l'installation. L'exploitant tient à jour pour chaque installation un registre dans lequel sont consignées les opérations de maintenance ou d'entretien et leur nature, les défaillances constatées et les opérations correctives engagées.

Le manuel de maintenance remis à l'exploitant fait état de la nature et de la fréquence des entretiens et opérations de maintenance. L'exploitant pourra tenir à jour un registre dans lequel sont consignées toutes les opérations de maintenance.

Toutes les opérations sont sanctionnées par des Rapports de Service, reprenant l'ensemble des informations nécessaires, qui sont communiqués à l'exploitant au travers d'un Customer Portal.

Art. 20 – L'exploitant élimine ou fait éliminer les déchets produits dans des conditions propres à garantir les intérêts mentionnés à l'article L. 511-1 du code de l'environnement. Il s'assure que les installations utilisées pour cette élimination sont régulièrement autorisées à cet effet. Le brûlage des déchets à l'air libre est interdit.

Le constructeur a mis en place en 2011 le système d'Eol'tainer, dans le but d'améliorer la gestion de nos déchets et de respecter les objectifs environnementaux fixés à l'article L. 511-1 du code de l'environnement. Ces containers sont mis à disposition des techniciens directement sur site pendant les phases de maintenances programmées.

Durant les maintenances correctives, le tri est effectué au centre de maintenance.

A l'issue du service, l'Eol'tainer est récupéré par le prestataire qui assure le traitement des déchets en centre agréé, et qui nous fournit ensuite un suivi sur chaque parc.

Le contrôle et la traçabilité des déchets jusqu'à leur élimination finale sont assurés grâce l'édition d'un BSD (Bordereau de Suivi des Déchets), qui est une obligation réglementaire. Ces BSD sont ensuite mis à disposition de de l'exploitant via le Customer Portal.

Art. 21 – Les déchets non dangereux (par exemple bois, papier, verre, textile, plastique, caoutchouc) et non souillés par des produits toxiques ou polluants sont récupérés, valorisés ou éliminés dans des installations autorisées. Les seuls modes d'élimination autorisés pour les déchets d'emballage sont la valorisation par réemploi, recyclage ou toute autre action visant à obtenir des matériaux utilisables ou de l'énergie. Cette disposition n'est pas applicable aux détenteurs de déchets d'emballage qui en produisent un volume hebdomadaire inférieur à 1 100 litres et qui les remettent au service de collecte et de traitement des collectivités.

Les déchets non dangereux sont triés au centre de maintenance dans des contenants adaptés. Leur collecte et leur élimination sont assurées par des sociétés spécialisées.

Art. 22 – Des consignes de sécurité sont établies et portées à la connaissance du personnel en charge de l'exploitation et de la maintenance. Ces consignes indiquent :

- Les procédures d'arrêt d'urgence et de mise en sécurité de l'installation ;
- Les limites de sécurité de fonctionnement et d'arrêt ;
- Les précautions à prendre avec l'emploi et le stockage de produits incompatibles ;
- Les procédures d'alertes avec les numéros de téléphone du responsable d'intervention de l'établissement, des services d'incendie et de secours.

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

Les consignes de sécurité et procédures mentionnées dans cet article se retrouvent dans les deux documents :

- 1 Le manuel SST répertorie l'ensemble des directives générales de santé et de sécurité au travail, ainsi que les conduites à tenir et les procédures à suivre en cas de fonctionnement anormal.
- 2 Le document « Safety Regulations for operators and technicians » regroupe les règles de sécurité pour le travail à l'intérieur des turbines.

Les éoliennes ne sont pas concernées par les situations suivantes : haubans rompus ou relâchés et fixations détendues.

Art. 23 – Chaque aérogénérateur est doté d'un système de détection qui permet d'alerter, à tout moment, l'exploitant ou un opérateur qu'il aura désigné, en cas d'incendie ou d'entrée en survitesse de l'aérogénérateur.

L'exploitant ou un opérateur qu'il aura désigné est en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de quinze minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur. L'exploitant dresse la liste de ces détecteurs avec leur fonctionnalité et détermine les opérations d'entretien destinées à maintenir leur efficacité dans le temps.

Les détecteurs de fumée font partie des équipements de série sur les turbines.

Le couplage des éléments de détection de fumée au système SCADA permet l'envoi en temps réel d'alertes par SMS et par courriel, selon les instructions de l'exploitant.

La détection de survitesse est également en série sur les turbines, et testée lors des opérations de maintenance annuelles.

Art. 24 – Chaque aérogénérateur est doté de moyens de lutte contre l'incendie appropriés aux risques et conformes aux normes en vigueur, notamment :

- D'un système d'alarme qui peut être couplé avec le dispositif mentionné à l'article 23 et qui informe l'exploitant à tout moment d'un fonctionnement anormal. Ce dernier est en mesure de mettre en œuvre les procédures d'arrêt d'urgence mentionnées à l'article 22 dans un délai de soixante minutes ;
- D'au moins deux extincteurs situés à l'intérieur de l'aérogénérateur, au sommet et au pied de celui-ci. Ils sont positionnés de façons bien visibles et facilement accessibles. Les agents d'extinction sont appropriés aux risques à combattre. Cette disposition ne s'applique pas aux aérogénérateurs ne disposant pas d'accès à l'intérieur du mât.

Le système d'alarme contre les incendies est celui décrit précédemment. Par ailleurs, toutes les éoliennes sont équipées d'extincteurs en pied de tour et dans la nacelle. Les techniciens sont formés à leur utilisation.

Art. 25 – Chaque aérogénérateur est équipé d'un système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur.

En cas de formation importante de glace, l'aérogénérateur est mis à l'arrêt dans un délai maximal de soixante minutes. L'exploitant définit une procédure de redémarrage de l'aérogénérateur en cas d'arrêt automatique lié à la présence de glace sur les pales. Cette procédure figure parmi les consignes de sécurité mentionnées à l'article 22.

Lorsqu'un référentiel technique permettant de déterminer l'importance de glace formée nécessitant l'arrêt de l'aérogénérateur est reconnu par le ministre des installations classées, l'exploitant respecte les règles prévues par ce référentiel. Cet article n'est pas applicable aux installations implantées dans les départements où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C.

Le constructeur propose trois systèmes de détection de formation du givre :

- 3 Le paramétrage SCADA permettant de déduire la formation de givre à partir des données de puissance et température, lorsque la turbine est en fonctionnement. Un message d'alerte type « Ice climate » est transmis aux opérateurs. La mise à l'arrêt se fait ensuite manuellement ou automatiquement. Le redémarrage est à définir par l'exploitant (manuellement après estimation de la quantité de givre par exemple).
- 4 Un détecteur fixe de glace installé sur la nacelle permettant de détecter la formation de glace. L'arrêt se fait également automatiquement ou manuellement sur décision des opérateurs. Le redémarrage est à définir par l'exploitant (manuellement après estimation de la quantité de givre par exemple).
- 5 Un système de détection de formation de givre sur les pales proposé par un fabricant spécialisé, qui pourra être couplé avec un paramétrage SCADA afin de permettre un arrêt automatique en cas de givre sur les pales et un redémarrage automatique suivant les données reçues par le détecteur.

11.1.4 Section 6 : Bruit

Art. 26 – L’installation est construite, équipée et exploitée de façon telle que son fonctionnement ne puisse être à l’origine de bruits transmis par voie aérienne ou solide susceptibles de compromettre la santé ou la sécurité du voisinage.

Les émissions sonores émises par l’installation ne sont pas à l’origine, dans les zones à émergence réglementée, d’une émergence supérieure aux valeurs admissibles définies dans le tableau suivant :

NIVEAU DE BRUIT AMBIANT EXISTANT dans les zones à émergence réglementée incluant le bruit de l’installation	ÉMERGENCE ADMISSIBLE POUR LA PÉRIODE allant de 7 heures à 22 heures	ÉMERGENCE ADMISSIBLE POUR LA PÉRIODE allant de 22 heures à 7 heures
Sup à 35 dB (A)	5 dB (A)	3 dB (A)

Tableau 47 : Emergences sonores admissibles

Les valeurs d’émergence mentionnées ci-dessus peuvent être augmentées d’un terme correctif en dB (A), fonction de la durée cumulée d’apparition du bruit de l’installation égal à :

- Trois pour une durée supérieure à vingt minutes et inférieure ou égale à deux heures ;
- Deux pour une durée supérieure à deux heures et inférieure ou égale à quatre heures ;
- Un pour une durée supérieure à quatre heures et inférieure à huit heures ;
- Zéro pour une durée supérieure à huit heures.

En outre, le niveau de bruit maximal est fixé à 70 dB (A) pour la période jour et de 60 dB (A) pour la période nuit. Ce niveau de bruit est mesuré en n’importe quel point du périmètre de mesure du bruit défini à l’article 2. Lorsqu’une zone à émergence réglementée se situe à l’intérieur du périmètre de mesure du bruit, le niveau de bruit maximal est alors contrôlé pour chaque aérogénérateur de l’installation à la distance R définie à l’article 2. Cette disposition n’est pas applicable si le bruit résiduel pour la période considérée est supérieur à cette limite.

Dans le cas où le bruit particulier de l’établissement est à tonalité marquée au sens du point 1.9 de l’annexe à l’arrêté du 23 janvier 1997 susvisé, de manière établie ou cyclique, sa durée d’apparition ne peut excéder 30 % de la durée de fonctionnement de l’établissement dans chacune des périodes diurne ou nocturne définies dans le tableau ci-dessus.

Lorsque plusieurs installations classées, soumises à autorisation au titre de rubriques différentes, sont exploitées par un même exploitant sur un même site, le niveau de bruit global émis par ces installations respecte les valeurs limites ci-dessus.

Le constructeur met à la disposition de l’exploitant :

- 6 Les courbes acoustiques garanties par vitesse de vent de chaque modèle d’aérogénérateur (reprises dans les Spécifications Générales de chaque modèle)
- 7 Des rapports de mesure incluant les données acoustiques par bandes d’octave

Le bruit à tonalité marquée : Il s’agit d’un bruit émettant une fréquence émergente pouvant être considérée comme gênante. Ce bruit dépend du type d’éolienne, des technologies choisies, mais également de l’emplacement et du nombre de machines. Cette mesure doit donc être effectuée sur site. Le constructeur se tient à disposition pour préciser les solutions adéquates à mettre en place au cas par cas.

Art. 27 – Les véhicules de transport, les matériels de manutention et les engins de chantier utilisés à l’intérieur de l’installation sont conformes aux dispositions en vigueur en matière de limitation de leurs émissions sonores. En particulier, les engins de chantier sont conformes à un type homologué.

L’usage de tous appareils de communication par voie acoustique (par exemple sirènes, avertisseurs, haut-parleurs), gênant pour le voisinage, est interdit, sauf si leur emploi est exceptionnel et réservé à la prévention et au signalement d’incidents graves ou d’accidents.

Le constructeur respecte les normes en vigueur lors des phases d’installation, et dans l’exécution de ses contrats de maintenance. Ces normes concernent les véhicules, matériels, engins et appareils de communication.

11.2 ANNEXE 2 – METHODE DE COMPTAGE DES PERSONNES POUR LA DETERMINATION DE LA GRAVITE POTENTIELLE D'UN ACCIDENT A PROXIMITE D'UNE EOLIENNE

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).

11.2.1 Terrains non bâtis

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

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

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

11.2.2 Voies de circulation

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

11.2.2.1 Voies de circulation automobiles

Dans le cas général, on comptera 0,4 personne permanente par kilomètre exposé par tranche de 100 véhicules/jour. Exemple : 20 000 véhicules/jour sur une zone de 500 m = $0,4 \times 0,5 \times 20\ 000/100 = 40$ personnes.

Nombre de personnes exposées sur voies de communication structurantes en fonction du linéaire et du trafic											
		Linéaire de route compris dans la zone d'effet (en m)									
		100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000
Trafic (en véhicules/jour)	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	

Tableau 48 : Nombre de personnes exposées sur voies de communication structurantes en fonction du linéaire et du trafic

11.2.2.2 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.

11.2.2.3 Voies navigables

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

11.2.2.4 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.

11.2.3 Logements

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

11.2.4 Etablissements recevant du public (ERP)

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

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

- 8 Compter 10 personnes par magasin de détail de proximité (boulangerie et autre alimentation, presse et coiffeur) ;
- 9 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.

11.2.5 Zones d'activité

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

11.3 ANNEXE 3 – TABLEAU DE L'ACCIDENTOLOGIE FRANÇAISE

Le tableau ci-dessous a été établi par France Energie Eolienne et le Syndicat des énergies renouvelables. Il recense l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne depuis l'année 2000.

Type d'évènement	Date de l'évènement	Description	Localisation
Effondrement	01/11/2000	Le mât d'une éolienne s'est plié lors de la perte d'une pale	Port-la-Nouvelle, Aude, Occitanie
Rupture de pale(s)	01/01/2001	Bris de pales en bois (avec inserts)	Sallèles-Cabardès, Aude, Occitanie
Chute de pale entière	02/02/2001	Chute de pale d'éolienne	Montjoyer, Drôme, Auvergne-Rhône-Alpes
Effondrement	01/02/2002	Bris d'hélice et mât plié	Wormhout, Nord, Hauts-de-France
Rupture de pale(s)	25/02/2002	Bris de pale en bois (avec inserts) sur une éolienne bipale	Sallèles-Cabardès, Aude, Occitanie
Effondrement	28/12/2002	Effondrement d'une éolienne	Névian, Aude, Occitanie
Rupture de pale(s)	05/11/2003	Bris de pale en bois (avec inserts) sur trois éoliennes	Sallèles-Cabardès, Aude, Occitanie
Chute de pale entière	15/11/2003	Chute de pales d'une éolienne	Sallèles-Cabardès, Aude, Occitanie
Rupture de pale(s)	01/01/2004	Bris de trois pales	Escales, Aude, Occitanie
Effondrement	01/01/2004	Effondrement d'une éolienne	Le Portel, Pas-de-Calais, Hauts-de-France
Effondrement	20/03/2004	Chute d'éolienne en raison de fort vents	Loon-Plage, Nord, Hauts-de-France
Chute de pale entière	22/06/2004	Chute de pale d'éolienne	Pleyber-Christ, Finistère, Bretagne
Rupture de pale(s)	08/07/2004	Chute de morceaux d'éolienne	Pleyber-Christ, Finistère, Bretagne
Rupture de pale(s)	22/12/2004	Incendie sur des éoliennes	Montjoyer, Drôme, Auvergne-Rhône-Alpes
Rupture de pale(s)	01/01/2005	Bris de pale	Wormhout, Nord, Hauts-de-France
Chute de pale entière	07/10/2006	Chute de pale	Pleyber-Christ, Finistère, Bretagne
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	18/11/2006	Malveillance sur une éolienne	Roquetaillade, Aude, Occitanie
Effondrement	03/12/2006	Chute d'éolienne	Bondues, Nord, Hauts-de-France
Accident de levage	31/12/2006	Chute d'une pale	Ally, Haute Loire, Auvergne-Rhône-Alpes
Rupture de pale(s)	02/03/2007	Pale d'éolienne brisée	Clitourps, Manche, Normandie
Chute d'élément(s)	11/10/2007	Chute de 70 m de trappe d'éolienne	Plouvien, Finistère, Bretagne
Autres (à préciser)	10/03/2008	Perte de contrôle d'une éolienne	Dinéault, Finistère, Bretagne
Collision aéronef / éolienne	04/04/2008	Eolienne heurtée par un bimoteur de tourisme	Plouguin, Finistère, Bretagne
Rupture de pale(s)	19/07/2008	Pale brisée par la foudre sur une éolienne	Erize-la-Brûlée, Meuse, Grand Est
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	21/08/2008	Feu d'éolienne	Vauvillers, Somme, Hauts-de-France
Chute de pale entière	26/12/2008	Chute de pale	Raival, Meuse, Grand Est
Rupture de pale(s)	08/06/2009	Bout de pale d'une éolienne ouvert	Bollène, Vaucluse, Provence-Alpes-Côte d'Azur
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	21/10/2009	Eolienne endommagée par un incendie	Froidfond, Vendée, Pays de la Loire
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	30/10/2009	Feu d'éolienne	Freyssenet, Ardèche, Auvergne-Rhône-Alpes
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	19/09/2010	Feu d'éolienne	Rochefort-en-Valdaine, Drôme, Auvergne-Rhône-Alpes
Autres (à préciser)	14/12/2011	Pale endommagée par la foudre	Bouin, Vendée, Pays de la Loire
Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	03/01/2012	Départ de feu en pied de tour	Aisne, Hauts-de-France
Rupture de pale(s)	04/01/2012	Bris d'une pale d'éolienne par une tempête	Widehem, Pas-de-Calais, Hauts-de-France
Rupture de pale(s)	11/04/2012	Chute d'une pale d'éolienne	Sigean, Aude, Occitanie
Chute de pale entière	18/05/2012	Chute d'une pale d'éolienne	Fresnay l'Evêque, Eure-et-Loir, Centre Val de Loire
Effondrement	30/05/2012	Chute d'éolienne	Port-la-Nouvelle, Aude, Occitanie
Chute d'élément(s)	01/11/2012	Chute d'un élément d'une pale d'éolienne	Vieillespesse, Cantal, Auvergne-Rhône-Alpes

Type d'évènement	Date de l'évènement	Description	Localisation
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	05/11/2012	Feu d'éolienne	Sigean, Aude, Occitanie
Rupture de pale(s)	06/03/2013	Rupture d'une pale d'éolienne	Roquetaillade, Aude, Occitanie
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	17/03/2013	Feu d'éolienne	Euvy, Marne, Grand Est
Rupture de pale(s)	20/06/2013	Eolienne touchée par la foudre	Labastide-sur-Bésorgues, Ardèche, Auvergne-Rhône-Alpes
Effondrement	02/07/2013	Chute d'une éolienne	Petit-Canal, Guadeloupe, Guadeloupe
Fuite / Déversement d'huile	03/08/2013	Déversement d'huile hydraulique dans un parc éolien	Moréac, Morbihan, Bretagne
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	09/01/2014	Feu d'éolienne	Antheny, Ardennes, Grand Est
Chute de pale entière	20/01/2014	Arrêt automatique d'éolienne et chute de pale	Sigean, Aude, Occitanie
Chute de pale entière	14/11/2014	Chute d'une pale d'éolienne	Saint-Cirgues-en-Montagne, Ardèche, Auvergne-Rhône-Alpes
Rupture de pale(s)	05/12/2014	Chute d'une pale d'éolienne	Fitou, Aude, Occitanie
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	29/01/2015	Feu d'éolienne	Remigny, Aisne, Hauts-de-France
Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	06/02/2015	Feu d'éolienne	Lusseray, Deux-Sèvres, Nouvelle-Aquitaine
Rupture de pale(s)	02/04/2015	Chute de morceaux de pale	Ersa, Haute Corse, Corse
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	24/08/2015	Feu d'éolienne	Santilly, Eure-et-Loir, Centre - Val de Loire
Chute de pale entière	10/11/2015	Chute des pales et du rotor d'une éolienne	Ménil-la-Horgne, Meuse, Grand Est
Chute d'élément(s) de pale (ex : aérofrein, vortex generator, gurney flap)	07/02/2016	Rupture de l'aérofrein d'une pale d'éolienne	Conilhac-Corbières, Aude, Occitanie
Rupture de pale(s)	08/02/2016	Le vent endommage une éolienne	Dinéault, Finistère, Bretagne
Chute de pale entière	07/03/2016	Chute d'une pale d'éolienne	Calanhel, Côtes d'Armor, Bretagne
Fuite / Déversement d'huile	28/05/2016	Fuite d'huile dans une éolienne	Janville, Eure-et-Loir, Centre - Val de Loire
Feu / Incendie affectant d'autres équipements que les éoliennes	28/07/2016	Feu dans le local Scada	Sauveterre, Tarn, Occitanie
Feu / Incendie affectant d'autres équipements que les éoliennes	09/08/2016	Feu dans le poste de livraison	Sauveterre, Tarn, Occitanie
Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	10/08/2016	Feu dans une éolienne	Hescamps, Somme, Hauts-de-France
Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	18/08/2016	Feu dans une éolienne	Dargies, Oise, Hauts-de-France
Rupture de pale(s)	11/01/2017	Fissure sur une pale d'éolienne	Le Quesnoy, Nord, Hauts-de-France
Rupture de pale(s)	12/01/2017	Rupture des pales d'une éolienne	Tuchan, Aude, Occitanie
Rupture de pale(s)	18/01/2017	Chute d'une pale d'éolienne	Nurlu, Somme, Hauts-de-France
Rupture de pale(s)	27/02/2017	Rupture d'une pale d'éolienne	Lavallée, Meuse, Grand Est
Rupture de pale(s)	27/02/2017	Chute d'un élément d'une pale d'éolienne	Trayes, Deux-Sèvres, Nouvelle-Aquitaine
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	06/06/2017	Feu dans la nacelle d'une éolienne	Allonnes, Eure-et-Loir, Centre - Val de Loire
Rupture de pale(s)	08/06/2017	Chute de pale d'éolienne due à la foudre	Aussac-Vadalle, Charente, Nouvelle-Aquitaine
Chute de pale entière	24/06/2017	Chute d'une pale d'éolienne	Conchy-sur-Canche, Pas-de-Calais, Hauts-de-France
Chute d'élément(s)	02/07/2017	Chute du toit de la nacelle	Fitou, Aude, Occitanie
Chute d'élément(s) de pale (ex : aérofrein, vortex generator, gurney flap)	17/07/2017	Chute d'un aérofrein d'une éolienne	Fécamp, Seine-Maritime, Normandie
Fuite / Déversement d'huile	24/07/2017	Fuite d'huile sur une éolienne	Mauron, Morbihan, Bretagne
Rupture de pale(s)	05/08/2017	Bris d'une pale d'éolienne	Priez, Aisne, Hauts-de-France
Chute d'élément(s)	08/11/2017	Chute du carénage d'une éolienne	Roman, Eure, Normandie
Effondrement	01/01/2018	Chute d'une éolienne lors d'une tempête	Bouin, Vendée, Pays de la Loire
Rupture de pale(s)	04/01/2018	Chute d'une pale d'éolienne	Nixéville-Blercourt, Meuse, Grand Est
Chute d'élément(s) de pale (ex : aérofrein, vortex generator, gurney flap)	06/02/2018	Chute de l'aérofrein d'une pale d'éolienne	Conilhac-Corbières, Aude, Occitanie
Autres (à préciser)	08/03/2018	Défaillance mécanique d'une éolienne	Villers-Grélot, Doubs, Bourgogne-Franche-Comté

Type d'évènement	Date de l'évènement	Description	Localisation
Rupture de pale(s)	03/05/2018		Dio-et-Valquières, Hérault, Occitanie
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	01/06/2018	Incendies criminels dans un parc éolien	Marsanne, Drôme, Auvergne-Rhône-Alpes
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	05/06/2018	Incendie d'éolienne	Aumelas, Hérault, Occitanie
Rupture de pale(s)	04/07/2018	Chute des extrémités de 2 pales d'une éolienne	Port-la-Nouvelle, Aude, Occitanie
Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	02/08/2018	Feu dans une éolienne	Izenave, Ain, Auvergne-Rhône-Alpes
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	28/09/2018	Incendie d'éolienne propagé à la végétation	Sauveterre, Tarn, Occitanie
Fuite / Déversement d'huile	17/10/2018	Fuite d'huile hydraulique sur une éolienne	Flers-sur-Noye, Somme, Hauts-de-France
Effondrement	06/11/2018	Effondrement d'une éolienne	Guigneville, Loiret, Centre - Val de Loire
Chute d'élément(s) de pale (ex : aérofrein, vortex generator, gurney flap)	18/11/2018	Chute de 3 aérofreins dans un parc éolien	Conilhac-Corbières, Aude, Occitanie
Rupture de pale(s)	19/11/2018	Chute d'une pale d'éolienne	Sommette-Eaucourt, Aisne, Hauts-de-France
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	03/01/2019	Incendie sur une éolienne	La Limouzinière, Loire-Atlantique, Pays de la Loire
Chute d'élément(s) de pale (ex : aérofrein, vortex generator, gurney flap)	16/01/2019		Fitou, Aude, Occitanie
Rupture de pale(s)	17/01/2019	Chute d'une pale d'éolienne	Bambiderstroff, Moselle, Grand Est
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	20/01/2019	Incendies criminels dans un parc éolien	Roussas, Drôme, Auvergne-Rhône-Alpes
Effondrement	23/01/2019	Rupture du mât d'une éolienne	Boutavent, Oise, Hauts-de-France
Chute de pale entière	30/01/2019	Chute d'une pale d'éolienne	Roquetaillade / Conilhac-de-la-Montagne, Aude, Occitanie
Autres (à préciser)	12/02/2019	Fissurations sur des roulements de pales d'éoliennes	Autechaux, Doubs, Bourgogne-Franche-Comté
Feu / Incendie affectant d'autres équipements que les éoliennes	12/03/2019		Salles-Curan, Aveyron, Occitanie
Fuite / Déversement d'huile	23/03/2019	Fuite d'huile sur une éolienne	Argentonnay, Deux-Sèvres, Nouvelle-Aquitaine
Autres (à préciser)	02/04/2019	Eolienne touchée par la foudre	Equancourt, Somme, Hauts-de-France
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	25/06/2019		Ambon, Morbihan, Bretagne
Chute de pale entière	27/06/2019		Charly-sur-Marne, Aisne, Hauts-de-France
Rupture de pale(s)	09/12/2019	Bris de pale	Charente, Nouvelle Aquitaine
Chute d'élément(s)	22/01/2020	Chute d'un joint de pale d'une éolienne	Saint-Seine-l'Abbaye, Côte-d'Or, Bourgogne-Franche-Comté
Autres (à préciser)	09/02/2020	Endommagement d'une nacelle	Wancourt, Pas-de-Calais, Hauts-de-France
Rupture de pale(s)	09/02/2020	Rupture d'une pale d'éolienne	Beaurevoir, Aisne, Hauts-de-France
Rupture de pale(s)	26/02/2020	Bris de pale	Charente, Nouvelle Aquitaine
Rupture de pale(s)	26/02/2020	Bris de pale	La Forêt-de-Tesse, Charente, Nouvelle-Aquitaine
Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	29/02/2020	Incendie sur une éolienne	Boisbergues, Somme, Hauts-de-France
Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	24/03/2020	Incendie d'une nacelle d'éolienne	Flavin, Aveyron, Occitanie
Autres (à préciser)	31/03/2020	Fissures sur une pale d'éolienne	Lehaucourt, Aisne, Hauts-de-France
Fuite / Déversement d'huile	10/04/2020	Ecoulement d'huile hydraulique le long d'une éolienne	Ruffiac, Morbihan, Bretagne
Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	20/04/2020	Incendie d'une éolienne au sol pour démantèlement	Le Vauclin, Martinique
Rupture de pale(s)	30/04/2020	Endommagement d'une pale	Plouarzel, Finistère, Bretagne
Fuite / Déversement d'huile	07/06/2020	Fuite d'huile hydraulique sur une éolienne	Lehaucourt, Aisne, Hauts-de-France
Chute de pale entière	27/06/2020	Chute au sol d'une pale complète d'éolienne	Plemet, Côtes d'Armor, Bretagne
Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	01/08/2020	Dégagement de fumée en nacelle d'une éolienne	Issanlas, Ardèche, Auvergne-Rhône-Alpes
Fuite / Déversement d'huile	01/09/2020	Fuite d'huile sur une éolienne	Bouchy-Saint-Genest, Marne, Grand Est
Fuite / Déversement d'huile	08/11/2020	Déversement accidentel d'huile	Deux-Sèvres, Nouvelle Aquitaine
Fuite / Déversement d'huile	11/12/2020	Fuite d'huile sur une éolienne	Charmont-en-Beauceil, Loiret, Centre Val de Loire

Type d'évènement	Date de l'évènement	Description	Localisation
Chute de pale entière	12/01/2021	Chute d'une pale d'éolienne	Saint-Georges-sur-Arnon, Indre, Centre Val de Loire
Rupture de pale(s)	12/02/2021	Casse d'une pale d'une éolienne	Priez, Aisne, Hauts-de-France
Rupture de pale(s)	13/02/2021	Chute de morceaux de pale d'une éolienne	Patay, Loiret, Centre Val de Loire
Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	17/02/2021	Incendie dans le local base vie d'un parc éolien	Sainte-Rose, La Réunion
Chute d'élément(s)	08/05/2021	Chute des accumulateurs hydrauliques depuis le hub	Aisne, Hauts-de-France
Fuite / Déversement d'huile	30/08/2021	Déversement accidentel d'huile	Morbihan, Bretagne
Chute d'élément(s) de pale (ex : aérofrein, vortex generator, gurney flap)	20/10/2021	Chute de serrations de pales	Haute-Vienne, Nouvelle Aquitaine
Rupture de pale(s)	20/10/2021	Accident bris de pale 1380443E01	Vendée, Pays de la Loire
Chute d'élément(s)	20/10/2021	Chute d'une partie en fibre du Nose Cone	Marne, Grant-Est
Rupture de pale(s)	26/10/2021	Bris de bout de pale	Aisne, Hauts-de-France
Chute d'élément(s)	30/11/2021	Chute d'un carter de protection en fibre de verre du roulement principal de rotor	Côtes-d'Armor, Bretagne
Rupture de pale(s)	03/12/2021	Casse d'une pale d'une éolienne	Creuse, Nouvelle Aquitaine
Chute d'élément(s) de pale (ex : aérofrein, vortex generator, gurney flap)	24/12/2021	Chute d'un aérofrein	Seine-Maritime, Normandie
Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	28/12/2021	Incendie électrique câble	Aude, Occitanie
Fuite / Déversement d'huile	11/02/2022	Déversement d'huile	Somme, Hauts-de-France
Autres (à préciser)	09/03/2022	Perte de liaison satellitaire	Aude, Occitanie
Fuite / Déversement d'huile	24/03/2022	Fuite d'huile hydraulique	Aisne, Hauts-de-France
Rupture de pale(s)	02/04/2022	Eclatement d'une pale	Haute-Garonne, Occitanie
Chute d'élément(s)	03/04/2022	Chute d'une pièce métallique depuis le hub	Aisne, Hauts-de-France
Chute d'élément(s)	08/04/2022	Chute plaque métallique depuis le moyeu	Maine-et-Loire, Pays de la Loire
Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	20/04/2022	Incendie en nacelle	Ardennes, Grant-Est
Chute de pale entière	30/04/2022	Chute de pale	Aude, Occitanie
Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	24/06/2022	Incendie d'origine électrique en pied de machine	Finistère, Bretagne
Chute d'élément(s)	11/07/2022	Chute d'une trappe d'accès au hub	Côtes-d'Armor, Bretagne
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	05/08/2022	Incendie Eolienne	Côtes-d'Armor, Bretagne
Fuite / Déversement d'huile	10/08/2022	Fuite d'huile	Yonne, Bourgogne-Franche-Comté
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	22/08/2022	Incendie Eolienne	Marne, Grant-Est
Fuite / Déversement d'huile	14/09/2022	Fuite d'huile	Yonne, Bourgogne-Franche-Comté
Fuite / Déversement d'huile	19/09/2022	Fuite d'huile	Loire-Atlantique, Pays de la Loire
Fuite / Déversement d'huile	04/10/2022	Fuite d'huile	Charente-Maritime, Nouvelle Aquitaine
Fuite / Déversement d'huile	17/11/2022	Fuite / Déversement d'huile Eolienne G90	Ardennes, Grant-Est
Rupture de pale(s)	25/11/2022	Bris d'une pale à la suite d'un impact foudre	Ille-et-Vilaine, Bretagne
Feu / Incendie entraînant des dommages limités sur une ou plusieurs éoliennes	09/01/2023	Incendie câbles électriques en machine	Seine-Maritime, Normandie
Chute d'élément(s) de pale (ex : aérofrein, vortex generator, gurney flap)	23/02/2023	Bris de pale	Nord, Hauts-de-France
Incendie avec perte totale ou partielle d'une ou plusieurs éoliennes	09/03/2023	Incendie éolienne	Vendée, Pays de la Loire

Tableau 49 : Ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne (Source : Base de donnée IRIS de France Energie Eolienne)

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).

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

11.4.1.1 Scénario G01

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

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

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

11.4.1.2 Scénario G02

La projection de glace depuis une éolienne en mouvement interviendra lors d'éventuels redémarrage de la machine encore « glacée », ou en cas de formation de glace sur le rotor en mouvement simultanément à une défaillance des systèmes de détection de givre et de balourd. Aux faibles vitesses de vents (vitesse de démarrage ou « cut in »), les projections resteront limitées au surplomb de l'éolienne. A vitesse de rotation nominale, les éventuelles projections seront susceptibles d'atteindre des distances supérieures au surplomb de la machine.

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

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

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

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

- 13 Découper l'installation en plusieurs parties : rotor, nacelle, mât, fondation et poste de livraison ;
- 14 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 :

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

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

- 18 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, ...)
- 19 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 :

- 20 Déclenchement au niveau du rotor du code de freinage d'urgence, entraînant l'arrêt des éoliennes ;
- 21 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 :

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

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

11.4.3 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, ...).

11.4.3.1 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 :

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

Deux événements peuvent être aggravants :

- 27 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.
- 28 Présence d'une forte pluie qui dispersa rapidement les produits dans le sol.

11.4.3.2 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 :

- 29 Kits anti-pollution associés à une procédure de gestion des situations d'urgence
- 30 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.

11.4.4 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.

11.4.5 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 :

- 31 Défaut de conception et de fabrication
- 32 Non-respect des instructions de montage et/ou de maintenance
- 33 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).

11.4.5.1 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.

11.4.5.2 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

11.4.5.3 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.

11.4.6 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 :

- 34 Erreur de dimensionnement de la fondation : Contrôle qualité, respect des spécifications techniques du constructeur de l'éolienne, étude de sol, contrôle technique de construction ;
- 35 Non-respect des instructions de montage et/ou de maintenance : Formation du personnel intervenant
- 36 Causes externes dues à l'environnement : séisme, ...

11.5 ANNEXE 5 – PROBABILITE D'ATTEINTE ET RISQUE INDIVIDUEL

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

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

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

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.

Evènement redouté central	Borne supérieure de la classe de probabilité de l'ERC (pour les éoliennes récentes)	Degré d'exposition	Probabilité d'atteinte
Effondrement	10^{-4}	10^{-2}	10^{-6} (E)
Chute de glace	1	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$ (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)

Tableau 50 : Probabilité d'accident

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.

11.6 ANNEXE 6 – GLOSSAIRE

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

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

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

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

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

Evènement initiateur : Evènement, 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.

Evènement redouté central : Evènement 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 évènement 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 :

- 37 les mesures (ou barrières) de prévention : mesures visant à éviter ou limiter la probabilité d'un événement indésirable, en amont du phénomène dangereux
- 38 les mesures (ou barrières) de limitation : mesures visant à limiter l'intensité des effets d'un phénomène dangereux
- 39 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 :

- 40 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 ;
- 41 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 :

- 42 Réduction de la probabilité : par amélioration de la prévention, par exemple par ajout ou fiabilisation des mesures de sécurité
- 43 Réduction de l'intensité :
 - o 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.
 - o Réduction des dangers : la réduction de l'intensité peut également être accomplie par des mesures de limitation
- 44 La réduction de la probabilité et/ou de l'intensité correspond à une réduction du risque « à la source ».
- 45 Réduction de la vulnérabilité : par éloignement ou protection des éléments vulnérables (par exemple par la maîtrise de l'urbanisation, ou par des plans d'urgence).

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

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

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

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

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

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

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

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

SER : Syndicat des Energies Renouvelables

FEE : France Energie Eolienne (branche éolienne du SER)

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

EDD : Etude de dangers

APR : Analyse Préliminaire des Risques

ERP : Etablissement Recevant du Public

11.7 ANNEXE 7 – BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES UTILISEES

- [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