

# DOSSIER D'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE

## ETUDE DE DANGERS

### Projet éolien de Rumilly



COMMUNE DE RUMILLY  
DÉPARTEMENT DU PAS-DE-CALAIS (62)

Version modifiée – Juin 2025

NOTUS ENERGY  
92 rue de Rennes  
75006 Paris  
01.42.22.03.03  
contact@notus.fr  
www.notus.fr



IXSANE  
23, avenue de la Créativité  
59650 Villeneuve d'Ascq  
03.20.59.89.77  
contact@ixsane.com  
www.ixsane.com



## SOMMAIRE

<b>1. PREAMBULE</b> .....	<b>5</b>	4.3.5 Opérations de maintenance de l'installation .....	37
1.1 Objectifs de l'étude de dangers .....	6	4.3.6 Stockage et flux de produits dangereux .....	37
1.2 Contexte législatif et réglementaire .....	6	4.3.7 Fonctionnement des réseaux de l'installation .....	37
1.3 Nomenclature des installations classées .....	7	<b>5. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION</b> .....	<b>38</b>
<b>2. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION</b> .....	<b>8</b>	5.1 Préambule.....	39
2.1 Renseignements administratifs .....	9	5.2 Potentiels de dangers liés aux produits .....	39
2.2 Contexte de l'étude .....	9	5.3 Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation.....	40
2.3 Localisation du site .....	9	5.4 Réduction des potentiels de dangers à la source .....	40
2.4 Définition de l'aire d'étude .....	11	5.4.1 Principales actions préventives .....	40
<b>3. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION</b> .....	<b>13</b>	5.4.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles.....	40
3.1 Préambule.....	14	<b>6. ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE</b> .....	<b>41</b>
3.2 Environnement humain .....	14	6.1 Préambule.....	42
3.2.1 Zones urbanisées.....	14	6.2 Inventaire des accidents et incidents en France .....	42
3.2.2 Etablissements recevant du public.....	14	6.3 Inventaire des accidents et incidents à l'international.....	45
3.2.3 Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et installations nucléaires de base .....	14	6.4 Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience.....	46
3.2.4 Autres activités .....	14	6.4.1 Analyse des accidents majeurs sur les sites de l'exploitation .....	46
3.3 Environnement naturel.....	16	6.4.2 Analyse d'évolution des accidents en France .....	46
3.3.1 Contexte climatique.....	16	6.4.3 Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents .....	47
3.3.2 Risques naturels .....	17	6.4.4 Limites d'utilisation de l'accidentologie.....	47
3.3.3 Environnement matériel.....	21	<b>7. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES</b> .....	<b>48</b>
3.3.4 Cartographie de synthèse .....	22	7.1 Objectif de l'analyse préliminaire des risques .....	49
<b>4. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION</b> .....	<b>28</b>	7.2 Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques .....	49
4.1 Préambule.....	29	7.3 Recensement des agressions externes potentielles .....	49
4.2 Caractéristiques de l'installation.....	29	7.3.1 Agressions externes liées aux activités humaines .....	49
4.2.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien .....	29	7.3.2 Agressions externes liées aux phénomènes naturels.....	51
4.2.2 Activités de l'installation.....	31	7.4 Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques (APR) .....	51
4.2.3 Composition de l'installation .....	31	7.5 Effets dominos.....	55
4.3 Fonctionnement de l'installation.....	33	7.6 Mise en place des mesures de sécurité .....	55
4.3.1 Principes de fonctionnement d'un aérogénérateur .....	33	7.7 Conclusions de l'analyse préliminaire des risques .....	62
4.3.2 Sécurité de l'installation .....	34	<b>8. ETUDE DETAILLEE DES RISQUES</b> .....	<b>63</b>
4.3.3 Nature et organisation des secours .....	35	8.1 Préambule.....	64
4.3.4 Consignes et procédures de sécurité.....	36	8.2 Rappel des définitions .....	64
		8.2.1 Cinétique .....	64

8.2.2	Intensité.....	64
8.2.3	Gravité.....	65
8.2.4	Probabilité.....	65
8.2.5	Acceptabilité.....	66
8.3	Caractérisation des scénarios retenus.....	67
8.3.1	Effondrement de l'éolienne.....	67
8.3.2	Chute de glace.....	70
8.3.3	Chute d'éléments de l'éolienne.....	72
8.3.4	Projection de pales ou de fragments de pales.....	73
8.3.5	Projection de glace.....	75
8.4	Synthèse de l'étude détaillée.....	77
8.4.1	Tableaux de synthèse des scénarios étudiés.....	77
8.4.2	Synthèse de l'acceptabilité des risques.....	78
8.4.3	Cartographie des risques.....	78
9.	CONCLUSION.....	85
10.	ANNEXES.....	87
10.1	Annexe 1 : Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne.....	88
10.2	Annexe 2 : Tableau de l'accidentologie française.....	90
10.3	Annexe 3 : Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques.....	95
10.4	Annexe 4 : Probabilité d'atteinte et risque individuel.....	98
10.5	Annexe 5 : Glossaire.....	99
10.6	Annexe 6 : Bibliographie et références utilisées.....	101

## LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Présentation de l'installation retenue .....	10
Figure 2 : Situation de l'installation .....	12
Figure 3 : Distance aux habitations.....	15
Figure 4 : Types de climat en France.....	16
Figure 5 : Températures mensuelles moyennes, minimales et maximales sur la période 1981–2010... 16	
Figure 6 : Précipitations journalières et cumulées (1981–2010) Source : infoclimat .....	16
Figure 7 : Distribution des vents .....	17
Figure 8 : Zones sismiques en vigueur depuis le 1er mai 2011 .....	18
Figure 9 : Sensibilité à l'aléa retrait-gonflement des argiles de la zone d'étude.....	19
Figure 10 : Densité de foudroiement 2010–2019 .....	19
Figure 11 : Sensibilité de la zone d'étude à l'aléa remontée de nappe.....	20
Figure 12 : Fréquence des tornades en France.....	20
Figure 13 : Réseau de transports .....	21
Figure 14 : Réseau électrique principal .....	21
Figure 15 : Synthèse de l'exposition globale des populations .....	23
Figure 16 : Exposition de la population pour chaque éolienne .....	24
Figure 17 : Exposition de la population pour l'éolienne 1 .....	25
Figure 18 : Exposition de la population pour l'éolienne 2.....	26
Figure 19 : Exposition de la population pour l'éolienne 3.....	27
Figure 20 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur .....	29
Figure 21 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne .....	30
Figure 22 : Plan de l'installation .....	32
Figure 23 : Fiche de sécurité d'intervention des secours.....	35
Figure 24 : Raccordement électrique des installations .....	37
Figure 25 : Répartition des événements accidentels sur les parcs éoliens français entre 2000 et 2022 42	
Figure 26 : Répartition des accidents liés à des parcs éoliens dans le monde entre 2000 et 2015 .....	45
Figure 27 : Répartition des causes premières d'effondrement .....	46
Figure 28 : Répartition des causes premières de rupture de pale .....	46
Figure 29 : Répartition des causes premières d'incendie .....	46
Figure 30 : Evolution du nombre d'incidents annuels et nombre d'éoliennes installées.....	46
Figure 31 : Carte de synthèse des risques .....	79
Figure 32 : Synthèse du risque d'effondrement .....	80
Figure 33 : Synthèse du risque de chute de glace .....	81
Figure 34 : Synthèse du risque de chute d'éléments.....	82
Figure 35 : Carte de synthèse du risque projection de pale .....	83
Figure 36 : Carte de synthèse du risque projection de glace .....	84

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Nomenclature des installations classées concernées par le projet.....	7
Tableau 2 : Informations administratives de la société d'exploitation.....	9
Tableau 3 : Généralités sur les communes de la zone d'étude .....	14
Tableau 4 : Récapitulatif des distances séparant les éoliennes du projet des habitations .....	14
Tableau 5 : Population active en 2019 Source : wwe.insee.fr (2023).....	14
Tableau 6 : Décomposition synthétique des surfaces considérées dans les zones autour de chaque éolienne.....	22
Tableau 7 : Exposition pour chaque éolienne (unité en nombre de personnes) .....	22
Tableau 8 : Caractéristiques des modèles d'éolienne pressentis .....	31
Tableau 9 : Coordonnées géographiques du parc .....	31
Tableau 10 : Présentation des différentes composantes de l'installation .....	33
Tableau 11 : Liste des dangers potentiels identifiés dans le cadre du fonctionnement d'un parc éolien 40	
Tableau 12 : Incidents recensés entre 2016 et 2022.....	45
Tableau 13 : Principales agressions externes liées aux activités humaines.....	50
Tableau 14 : Principales agressions externes liées aux phénomènes naturels .....	51
Tableau 15 : Scénarios d'accident pouvant potentiellement apparaître sur le parc .....	54
Tableau 16 : Mesures de prévention lors de la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace.....	56
Tableau 17 : Mesures de prévention contre l'atteinte des personnes par la chute de glace .....	56
Tableau 18 : Mesures de prévention contre l'échauffement significatif des pièces mécaniques .....	57
Tableau 19 : Mesures de prévention contre la survitesse .....	57
Tableau 20 : Mesures de prévention contre les courts-circuits.....	58
Tableau 21 : Mesures de prévention contre la foudre .....	58
Tableau 22 : Mesures de protection et d'intervention en cas d'incendie .....	59
Tableau 23 : Mesures de prévention et de rétention en cas de fuite .....	59
Tableau 24 : Mesures de prévention contre les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage.....	60
Tableau 25 : Mesures de prévention contre les erreurs de maintenance.....	60
Tableau 26 : Mesures de prévention contre les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort .....	61
Tableau 27 : Mesures de prévention pour empêcher la perte de contrôle de l'éolienne en cas de défaillance réseau .....	61
Tableau 28 : Catégories de scénarios exclus de l'étude de dangers.....	62
Tableau 29 : Matrice d'acceptabilité des risques .....	66
Tableau 30 : Caractéristiques du modèle d'éolienne pressenti.....	67

# 1. PREAMBULE

1.1	Objectifs de l'étude de dangers .....	6
1.2	Contexte législatif et réglementaire .....	6
1.3	Nomenclature des installations classées .....	7

## 1.1 Objectifs de l'étude de dangers

Le projet éolien de Rumilly est porté par NOTUS Energie France Services via la société d'exploitation SPV MONTARNASSE.

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par la SPV MONTARNASSE pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques des éoliennes du parc éolien de Rumilly sur la commune de Rumilly.

Cette étude est proportionnée aux risques présentés par les éoliennes en question.

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 Rumilly 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 sur site 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 législatif et réglementaire

L'article L. 181-1 du Code de l'environnement précise que le régime de l'autorisation environnementale instauré par l'ordonnance n° 2017-80 et les décrets n°s 2017-81 et 2017-82 du 26 janvier 2017 est applicable aux installations classées pour la protection de l'environnement.

Aux termes de l'article L. 515-44 du Code de l'environnement, les parcs éoliens dont l'une des éoliennes au moins, dispose d'un mât d'une hauteur supérieure à 50 mètres, sont soumis à autorisation au titre des installations classées pour la protection de l'environnement et l'article D. 181-15-2, 10° du même Code précise que lorsque l'autorisation environnementale concerne une installation classée pour la protection de l'environnement, le dossier de demande est complété par une étude de dangers.

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 du même Code en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation. Les impacts de l'installation sur ces intérêts en fonctionnement normal sont traités dans l'étude d'impact sur l'environnement.

### **Article L. 181-25 du Code de l'environnement :**

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

*Le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation.*

*En tant que de besoin, cette étude donne lieu à une analyse de risques qui prend en compte la probabilité d'occurrence, la cinétique et la gravité des accidents potentiels selon une méthodologie qu'elle explicite.*

*Elle définit et justifie les mesures propres à réduire la probabilité et les effets de ces accidents.*

Les intérêts visés à l'article L. 511-1 du Code de l'environnement sont la commodité du voisinage, la santé, la sécurité, la salubrité publique, l'agriculture, la protection de la nature, de l'environnement et des paysages, l'utilisation rationnelle de l'énergie, la conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique. Cependant, il convient de noter que 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 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 s'intéressera prioritairement aux dommages sur les personnes. Pour les parcs éoliens, les atteintes à l'environnement (notamment au paysage), 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 donc 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 par l'article D. 181-15-2, III du Code de l'environnement.

**Article D. 181-15-2 du Code de l'environnement :**

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

Le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte tenu de son environnement et de la vulnérabilité des intérêts mentionnés aux articles L. 181-3.

Cette étude précise, notamment, la nature et l'organisation des moyens de secours dont le pétitionnaire dispose ou dont il s'est assuré le concours en vue de combattre les effets d'un éventuel sinistre. Dans le cas des installations figurant sur la liste prévue à l'article L. 515-81, le demandeur doit fournir les éléments indispensables pour l'élaboration par les autorités publiques d'un plan particulier d'intervention.

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

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

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

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 (NOR : DEVPO540371A) fixe la détermination des seuils réglementaires pour apprécier l'intensité des effets physiques de ces phénomènes, la gravité des accidents et les classes de probabilité de ces phénomènes.

Enfin 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 (NOR : DEVPI013761C) énonce des règles de méthodologie applicables pour l'élaboration des études de dangers.

<sup>11</sup> Les installations soumises à la rubrique 2980 de la nomenclature des installations classées (parcs éoliens) ne font pas partie de cette liste.

### 1.3 Nomenclature des installations classées

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

A - Nomenclature des installations classées			
N°	Désignation de la rubrique	A, E, D, S, C (1)	Rayon (2)
2980	Installation terrestre de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs :		
	1. Comprenant au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m.....	A	6
	2. Comprenant uniquement des aérogénérateurs dont le mât a une hauteur inférieure à 50 m et au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur maximale supérieure ou égale à 12 m et pour une puissance totale installée :		
	a) Supérieure ou égale à 20 MW.....	A	6
	b) Inférieure à 20 MW .....	D	
(1) A : autorisation, E : enregistrement, D : déclaration, S : servitude d'utilité publique, C : soumis au contrôle périodique prévu par l'article L.512-11 du code de l'environnement			
(2) Rayon d'affichage en kilomètres			

**Tableau 1 : Nomenclature des installations classées concernées par le projet**

Les éoliennes du parc éolien de Rumilly présentent au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m : cette installation est donc soumise à autorisation (A) au titre des installations classées pour la protection de l'environnement et doit présenter une étude de dangers au sein de sa demande d'autorisation d'exploiter.

L'étude de danger est une des pièces constitutives du Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale.

## 2. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

2.1 Renseignements administratifs .....	9
2.2 Contexte de l'étude .....	9
2.3 Localisation du site .....	9
2.4 Définition de l'aire d'étude .....	11

## 2.1 Renseignements administratifs

La société d'exploitation SPV MONTARNASSE exploitera le parc éolien de Rumilly.

Raison sociale	SPV MONTARNASSE
Forme juridique	Société par actions simplifiée
Numéro SIRET	91377242200014
Adresse du siège social	92 rue de Rennes 75006 Paris 6
Code NAF	Production d'électricité (3511Z)

*Tableau 2 : Informations administratives de la société d'exploitation*

Cette étude a été réalisée par M. GUALTIERI Romain, chargé d'études au sein du bureau d'études IXSANE, et Mme DELFORGE Audrey, chargée d'études au sein du bureau d'études IXSANE, basé à Villeneuve-d'Ascq, sous la responsabilité de Mme HARDY Delphine, Responsable du service TERE du bureau d'étude IXSANE.

## 2.2 Contexte de l'étude

Le projet consiste en l'élaboration d'un parc éolien situé sur la commune de Rumilly.

Cette commune fait partie de la Communauté de Communes du Haut Pays du Montreuillois dans le département du Pas-de-Calais.

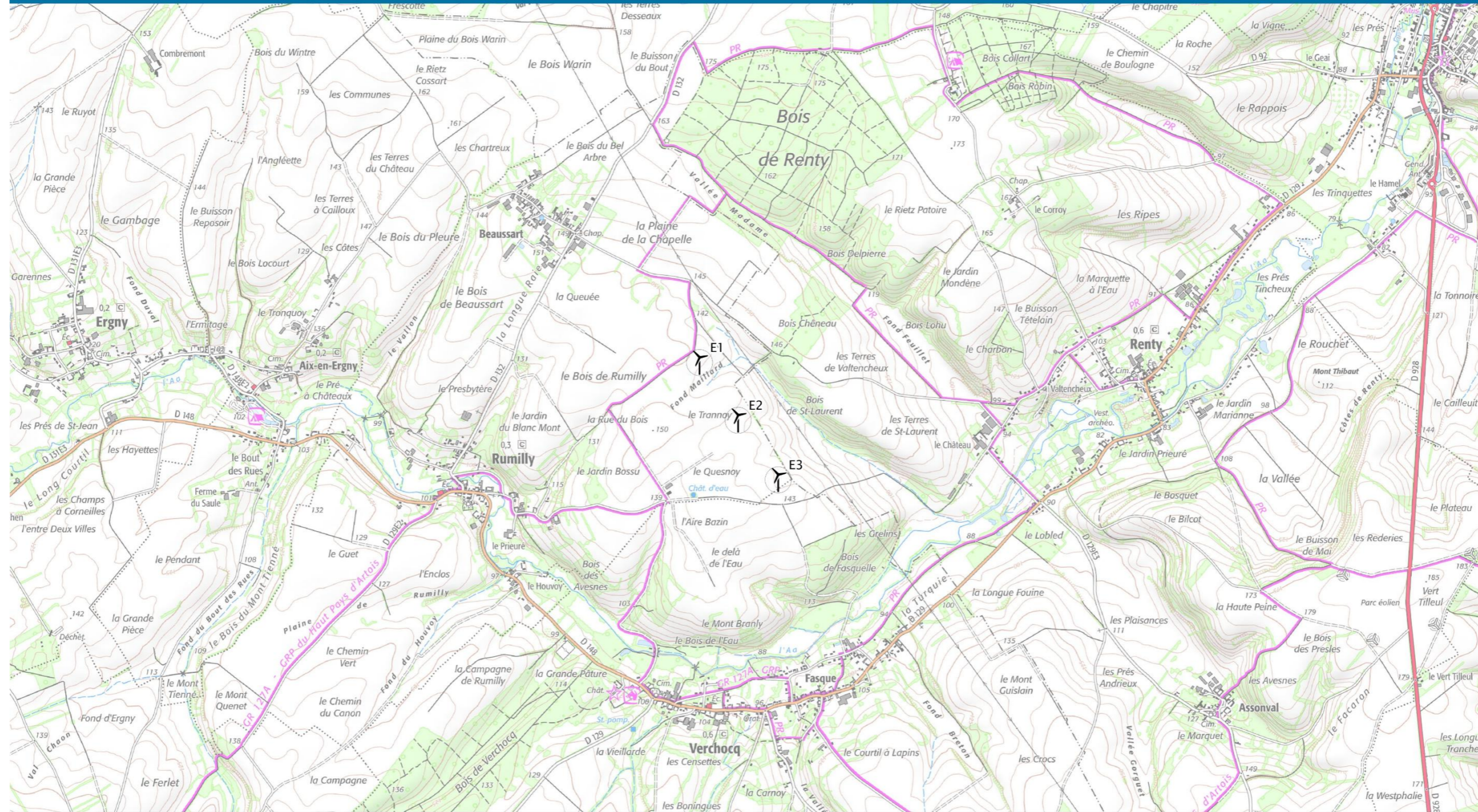
Le parc éolien est composé de 3 aérogénérateurs.

## 2.3 Localisation du site

Le présent dossier concerne donc les 3 aérogénérateurs du parc éolien de Rumilly dans le département du Pas-de-Calais (62).

Les cartes de cette étude de dangers sont susceptibles de posséder quelques imprécisions dans la mesure où les fonds de cartes présentent une précision affichée de l'ordre de la dizaine de mètres (pixellisation de l'image, précision du géoréférencement...).

**Plan de situation du parc éolien**



			<p><b>Légende</b></p> <p> Implantation retenue des éoliennes</p>	<p align="center"><b>PAS-DE-CALAIS</b></p>
<p>Source : Scan Topo / Auteur : A. Delforge</p>				
Format	Version	Date	Référence projet	
A3	01	24/03/2025	254465	

**Figure 1 : Présentation de l'installation retenue**

## 2.4 Définition de l'aire d'étude

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

Chaque aire d'étude correspond à l'ensemble des points situés à une distance inférieure ou égale à 500 m à partir de l'emprise du mât de l'aérogénérateur. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection, telle que définie au paragraphe 8.2.4.

La zone d'étude n'intègre pas les environs des postes 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.

Les communes de la zone d'étude sont : Rumilly, Renty et Verchocq.

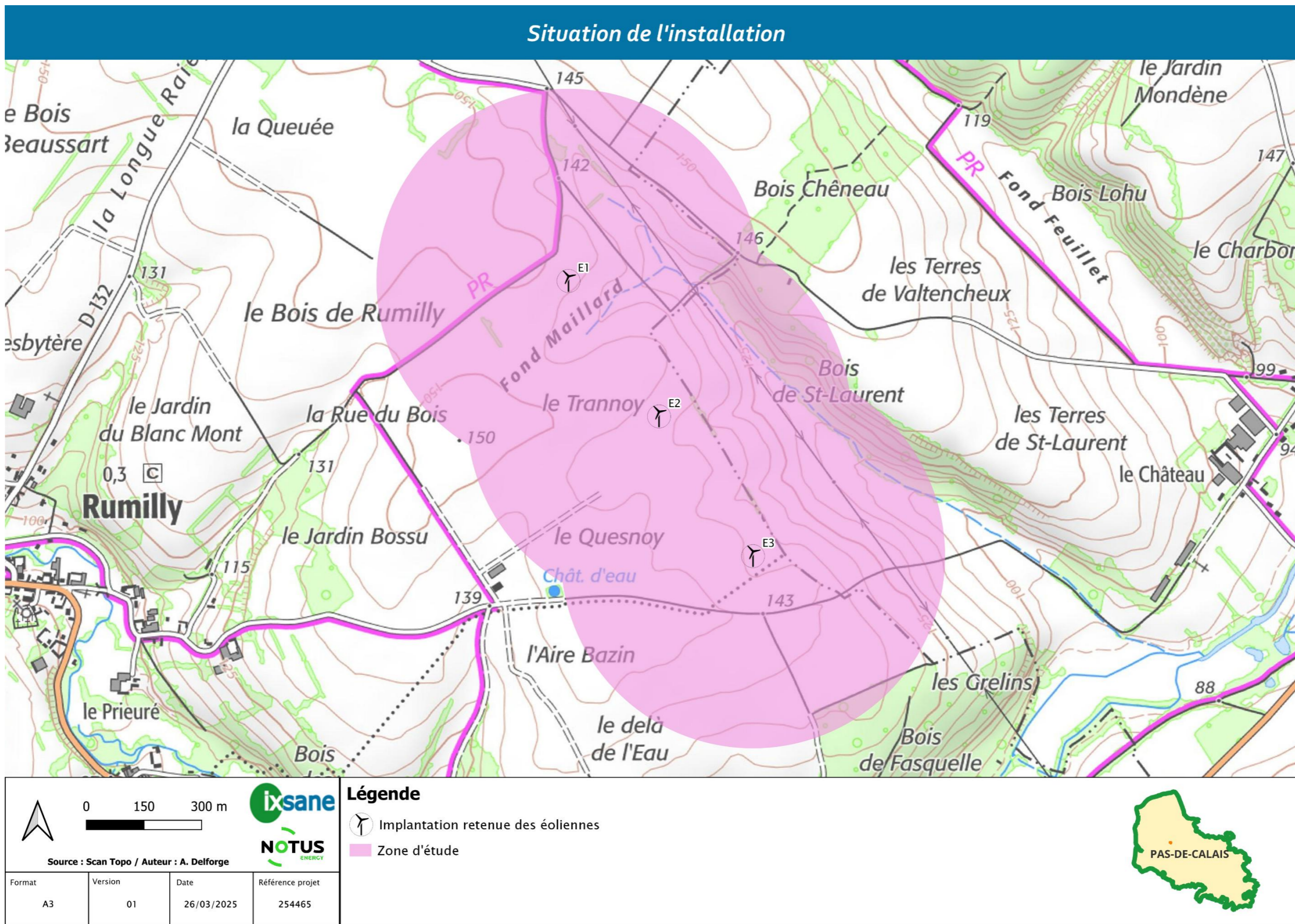


Figure 2 : Situation de l'installation

## 3. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

3.1	Préambule.....	14
3.2	Environnement humain .....	14
3.3	Environnement naturel.....	16

### 3.1 Préambule

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

### 3.2 Environnement humain

#### 3.2.1 Zones urbanisées

L'étude de la démographie a été réalisée dans la zone d'étude :

Commune	Code INSEE	Code postal	Nb hab (2019)	Superficie (km²)	Densité (hab/km²)
Rumilly	62729	62650	250	7,04	35,5
Renty	62704	62560	598	15,67	38,2
Verchocq	62844	62560	634	15,56	40,7

Tableau 3 : Généralités sur les communes de la zone d'étude

La figure 3 expose les zones urbanisées ainsi que les habitations à proximité de la zone d'étude. Aucune habitation et aucune zone à destination d'habitation définie dans les documents et projets d'urbanisme des communes autour du projet ne se situe à moins de 500 mètres de l'installation. Les distances minimales de chaque éolienne vis-à-vis des habitations les plus proches sont données dans le tableau ci-dessous :

Eolienne	Commune de l'habitation	Direction de l'habitation	Distance à l'éolienne la plus proche
E1	Rumilly	Sud-Ouest	1 034 m
E2	Renty	Est	1 220 m
E3	Verchocq	Sud	631 m

Tableau 4 : Récapitulatif des distances séparant les éoliennes du projet des habitations

Ainsi, aucune habitation ne se situe à moins de 500 mètres d'une éolienne.

#### 3.2.2 Etablissements recevant du public

Dans les limites de la zone d'étude, aucun établissement recevant du public (ERP) n'est recensé. Les plus proches (de type écoles, mairies ou magasins) se situent au sein des villages alentour, localisés à plus de 1 km des éoliennes.

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

Une installation classée est définie comme étant « Toute exploitation industrielle ou agricole susceptible de créer des risques ou de provoquer des pollutions ou nuisances, notamment pour la sécurité et la santé des riverains [...] ». La législation permet à l'Etat d'agir directement sur les activités de l'installation. Il peut donner une autorisation ou un refus d'activité sur le site, il peut imposer une réglementation, un contrôle voire une sanction. Parmi ces ICPE soumises à autorisation, celles où la quantité de produits dangereux dépasse les seuils fixés dans la directive européenne Seveso, sont soumises à une réglementation plus stricte et doivent répondre à des exigences. Pour ces ICPE dites de type « Seveso », l'Etat élabore différents documents : d'une part des Plans de Prévention des Risques Technologiques (PPRT) et d'autre part des Plans Particuliers d'Intervention (PPI).

L'EARL de la HUBERDERIE, classé en enregistrement, se situe à 575 m au sud-ouest de l'éolienne E2. Aucune installation nucléaire de base n'est recensée dans la zone d'étude.

#### 3.2.4 Autres activités

La répartition secteurs d'activité sur le territoire des communes appartenant à la zone d'étude n'est pas disponible sur les données de l'INSEE.

En revanche, la répartition des actifs/inactifs se présente comme suit :

	Actifs ayant un emploi en 2019, en %	Chômeurs en 2019, en %	Elèves, étudiants et stagiaires non rémunérés en 2019, en %	Retraités ou préretraités en 2019, en %	Autres inactifs en 2019, en %
Rumilly	59,7	14,4	6,5	11,5	7,9
Renty	66,2	5,7	11,3	6,1	10,7
Verchocq	68,4	7,3	8,2	9,4	6,7

Tableau 5 : Population active en 2019  
Source : [www.insee.fr](http://www.insee.fr) (2023)

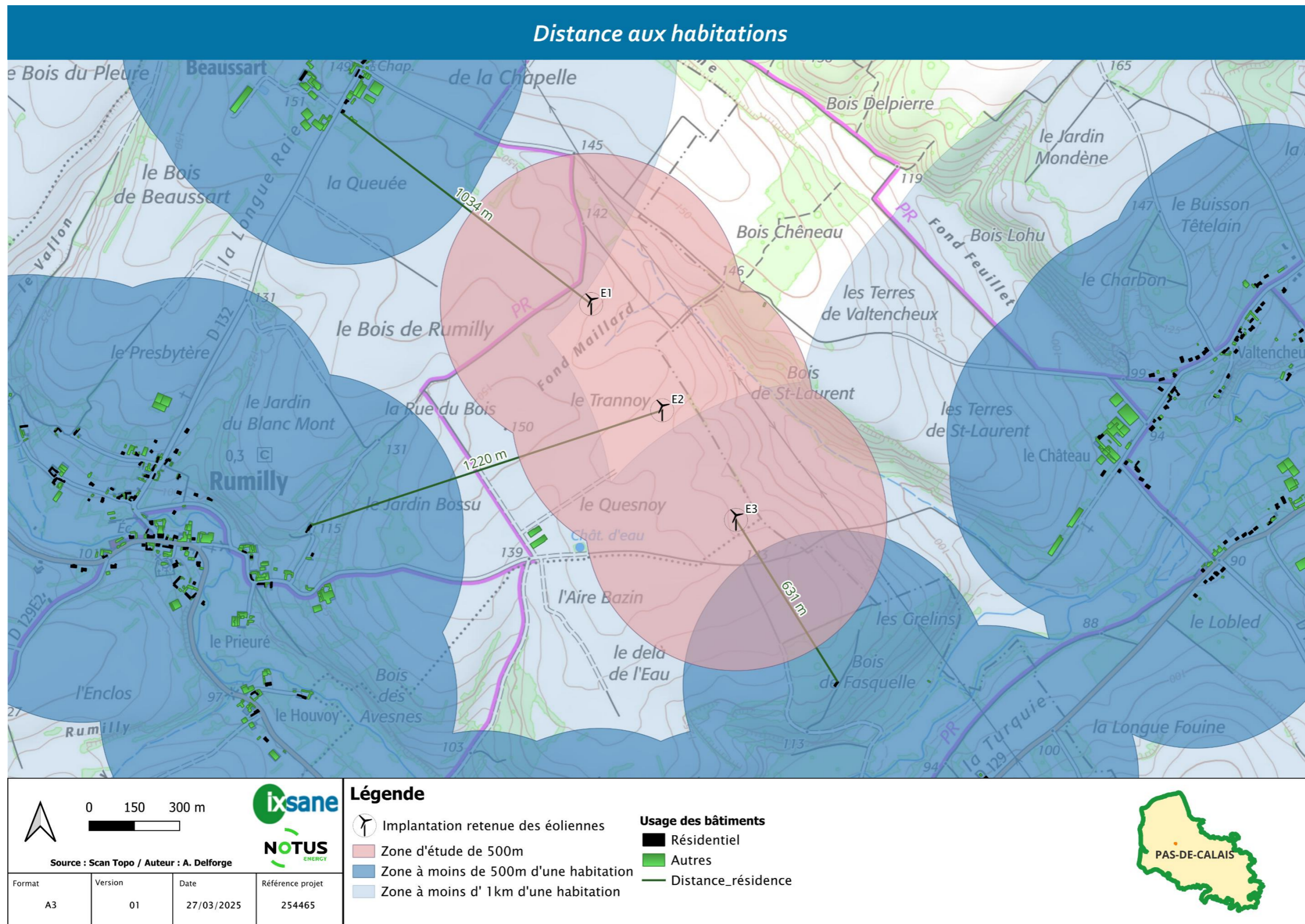


Figure 3 : Distance aux habitations

### 3.3 Environnement naturel

#### 3.3.1 Contexte climatique

La zone d'étude est sous l'influence d'un climat océanique (cf figure suivante). Les amplitudes thermiques sont faibles, les hivers sont doux, les étés sont tempérés grâce à la brise marine et les précipitations sont régulières.

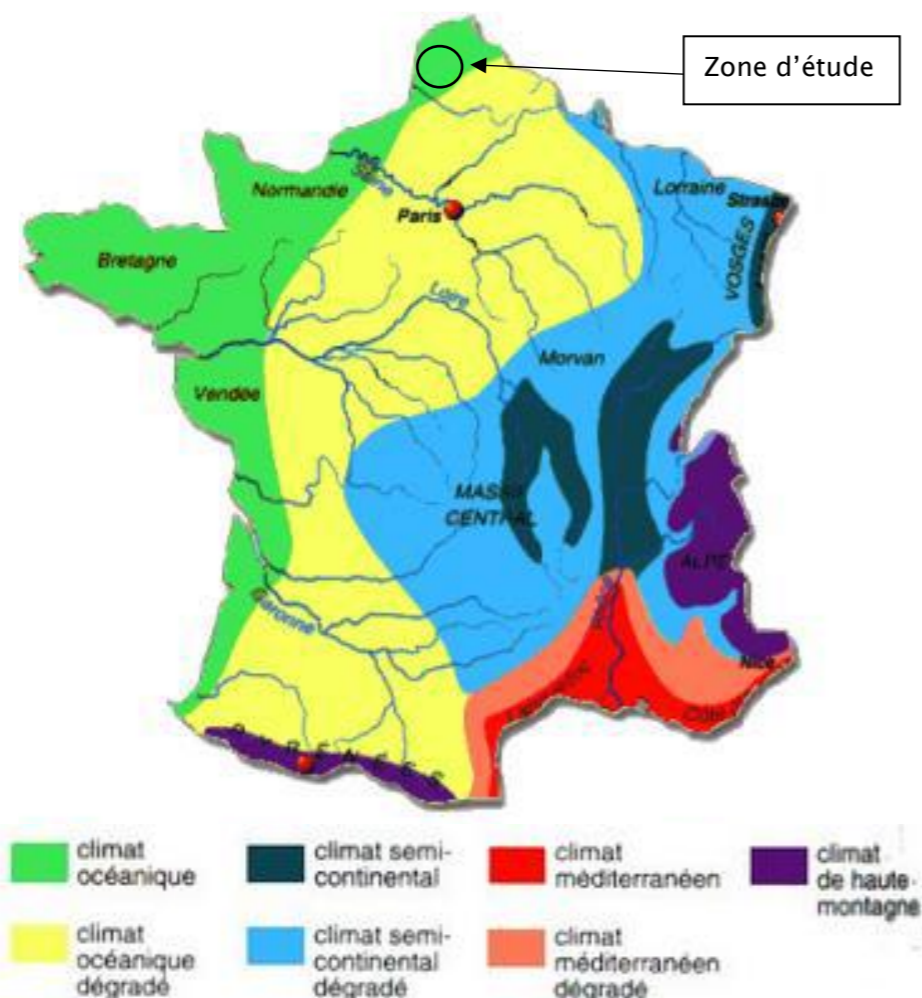


Figure 4 : Types de climat en France

La station de mesure Météo France utilisée en référence est celle de Radinghem située à un peu plus de 20 km au sud-ouest de la Zone d'Implantation Potentielle.

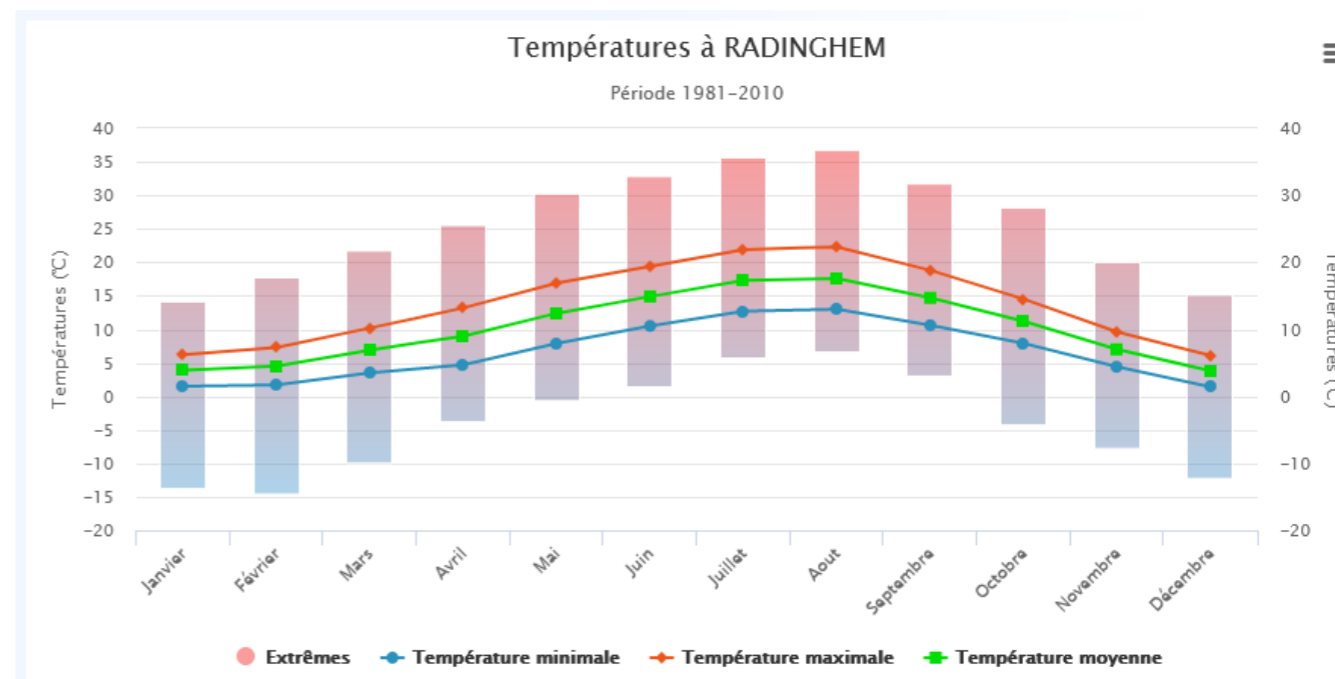


Figure 5 : Températures mensuelles moyennes, minimales et maximales sur la période 1981-2010  
Source : Infoclimat

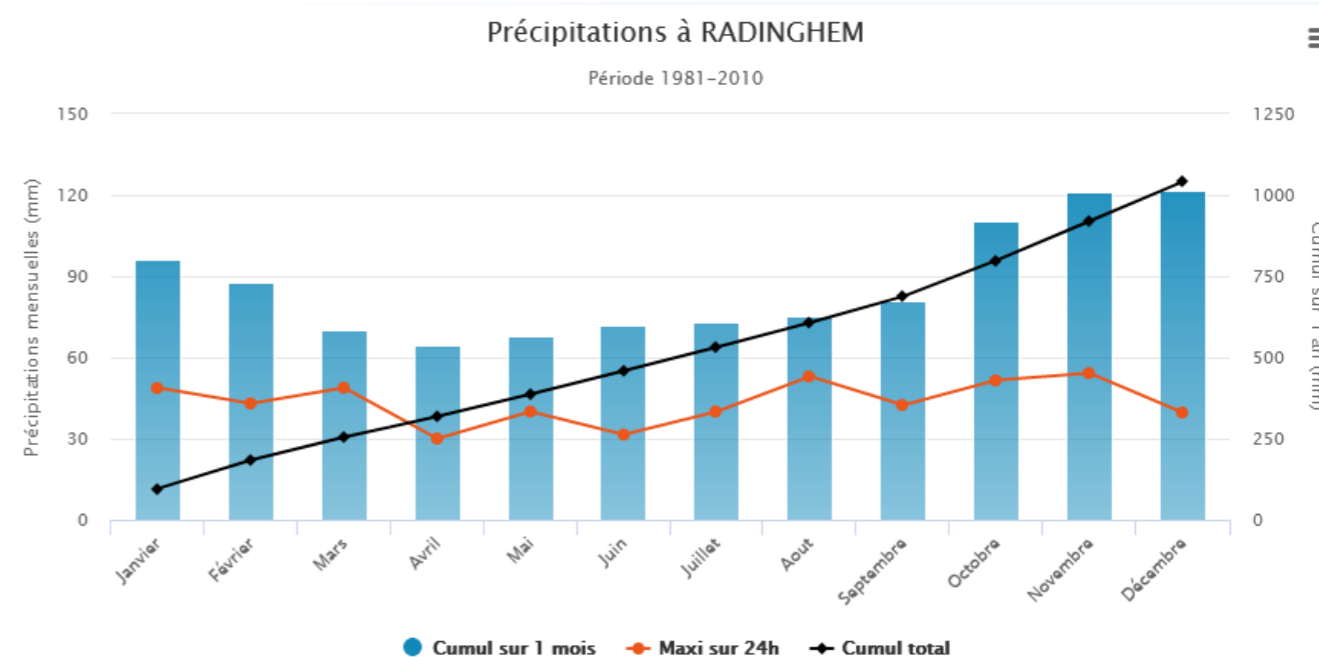


Figure 6 : Précipitations journalières et cumulées (1981-2010)  
Source : infoclimat

La température moyenne minimale est de 6,7°C et de 13,9°C pour les maximales dans le secteur de l'étude. Les hauteurs de précipitation sont de 1041 mm/an.

La figure suivante présente la distribution des vents au niveau du site de Rumilly.

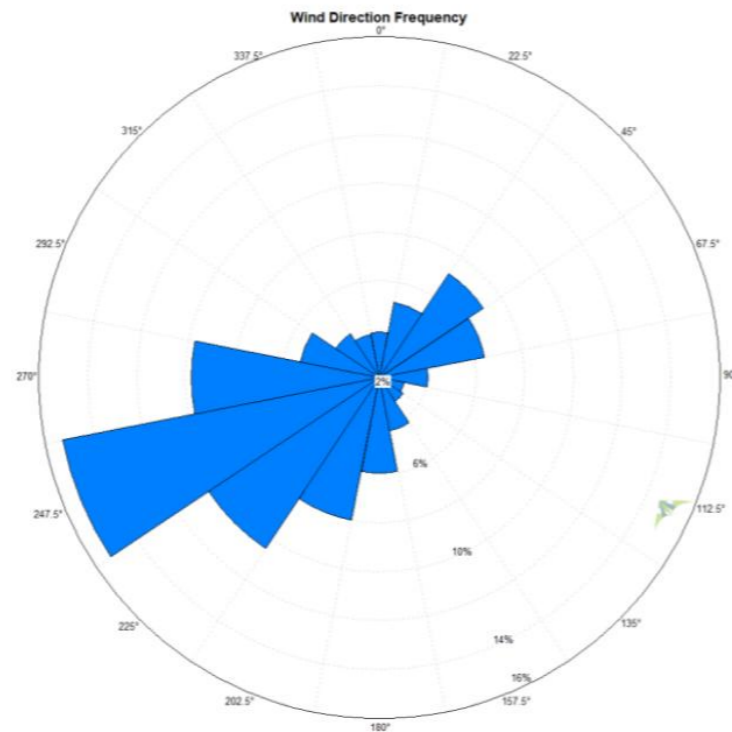


Figure 7 : Distribution des vents

Les vents dominants et avec les vitesses les plus importantes proviennent du sud-ouest. Il n'y a que peu de vent provenant de l'est.

### 3.3.2 Risques naturels

#### 3.3.2.1 Risques sismiques

Les avancées scientifiques et l'arrivée du nouveau code européen de construction parasismique - l'Eurocode 8 (EC8) - ont rendu nécessaire la révision du zonage sismique de 1991 donnant une nouvelle cartographie de la France.

Le contexte a conduit à déduire le zonage sismique de la France non plus d'une approche déterministe, mais d'un calcul probabiliste (calcul de la probabilité d'un mouvement sismique donné se produise au moins une fois en un endroit et une période donnée), la période de retour préconisé par les EC8 étant de 475 ans.

Le zonage sismique français entré en vigueur le 1<sup>er</sup> mai 2011 est défini dans les décrets n°2010-1254 et 2010-1255 du 22 octobre 2010, codifiés dans les articles R.563-1 à 8 et D.563-8-1 du Code de l'Environnement.

Ce zonage, reposant sur une analyse probabiliste de l'aléa, divise la France en 5 zones de sismicité :

- Zone de sismicité 1 (très faible) ;
- Zone de sismicité 2 (faible) ;
- Zone de sismicité 3 (modéré) ;
- Zone de sismicité 4 (moyenne) ;
- Zone de sismicité 5 (forte).

La zone d'étude présente un risque de sismicité faible.

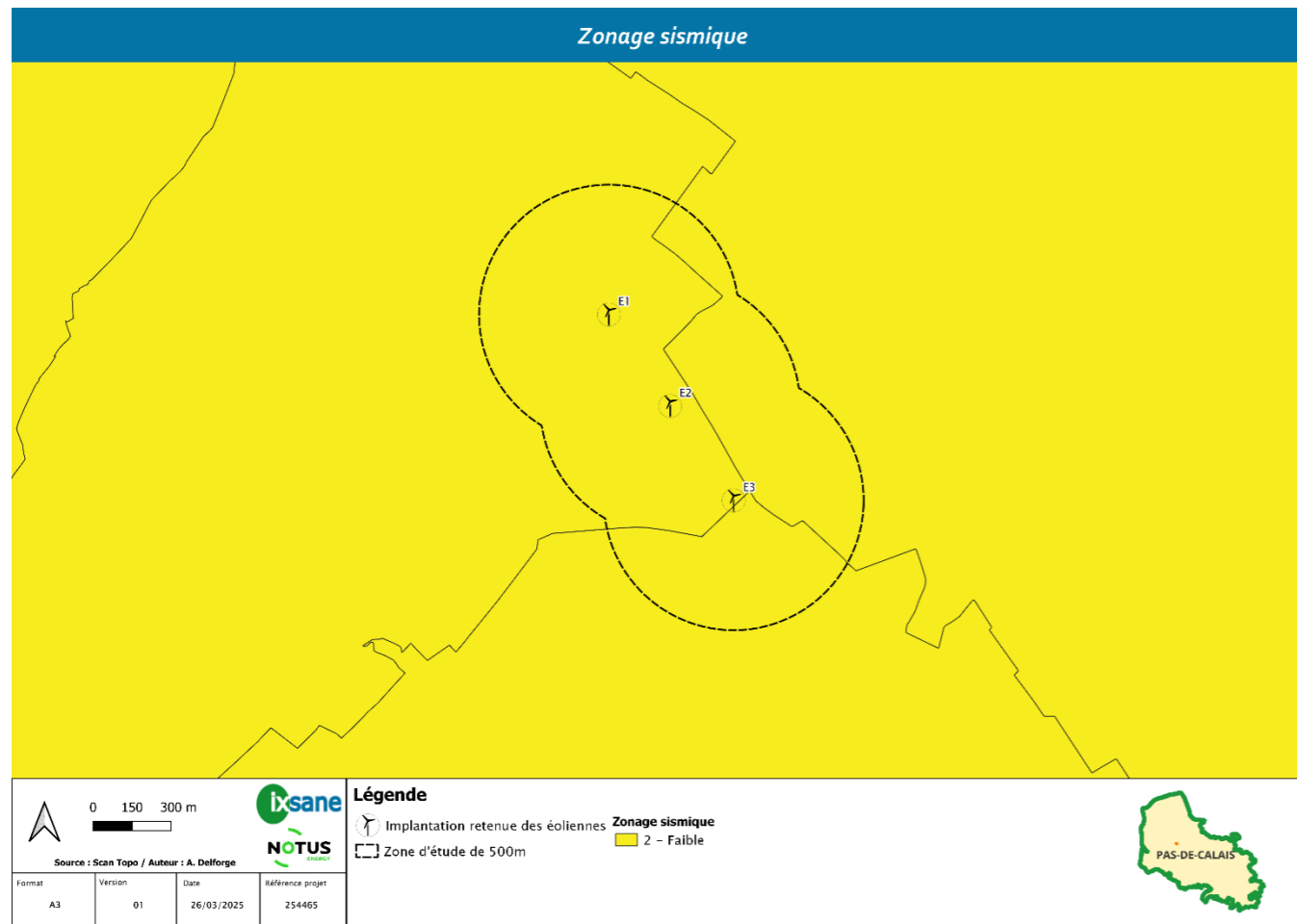


Figure 8 : Zones sismiques en vigueur depuis le 1er mai 2011

### 3.3.2.2 Mouvement de terrain

Un mouvement de terrain est un déplacement plus ou moins brutal du sol ou du sous-sol, il est fonction de la nature et de la disposition des couches géologiques. Il s'inscrit dans le cadre des processus généraux d'érosion mais peut-être favorisé, voire provoqué, par certaines activités anthropiques.

La base BDMVT (Base de Données Nationale des Mouvements de Terrain) recense les phénomènes avérés de types glissements de terrain, éboulements, effondrements, coulées de boue et érosions de berges sur le territoire français (métropole et DOM) dans le cadre de la prévention des risques naturels mise en place depuis 1981. Elle permet principalement le recueil, l'analyse et la restitution des informations de base nécessaires à l'étude des phénomènes dans leur ensemble ainsi qu'à la cartographie des aléas qui leur sont liés.

**Le territoire de la zone d'étude n'est pas concerné par les mouvements de terrain.**

### 3.3.2.3 Risque d'effondrement

Qu'elles soient d'origine naturelle (creusées par l'eau en milieu soluble), ou anthropique (marnières, tunnels...), les cavités souterraines peuvent affecter la stabilité des sols. L'une des spécificités majeures de cette problématique, caractéristique des mouvements de terrains, relève de la dimension « cachée » de l'aléa souterrain, souvent invisible pour les populations et oublié de tous surtout lorsque les cavités sont anciennes.

**Aucune cavité n'est recensée dans la zone d'étude.**

### 3.3.2.4 Aléa retrait-gonflement des argiles

Sous l'effet de certaines conditions météorologiques (précipitations insuffisantes, températures et ensoleillement supérieurs à la normale), les horizons superficiels du sous-sol peuvent se dessécher plus ou moins profondément. Sur les formations argileuses, cette dessiccation se traduit par un phénomène de retrait, avec un réseau de fissures parfois très profondes. L'argile perd son eau et se rétracte, ce phénomène peut être accentué par la présence d'arbres à proximité. Lorsque ce phénomène se développe sous le niveau de fondations, la perte de volume du sol support génère des tassements différentiels pouvant entraîner des fissurations au niveau du bâti.

Sont particulièrement concernées les formations argileuses qui contiennent des minéraux argileux gonflants du groupe des smectites. Il a ainsi été réalisé une cartographie départementale de l'aléa retrait-gonflement, selon une méthodologie mise au point par le BRGM.

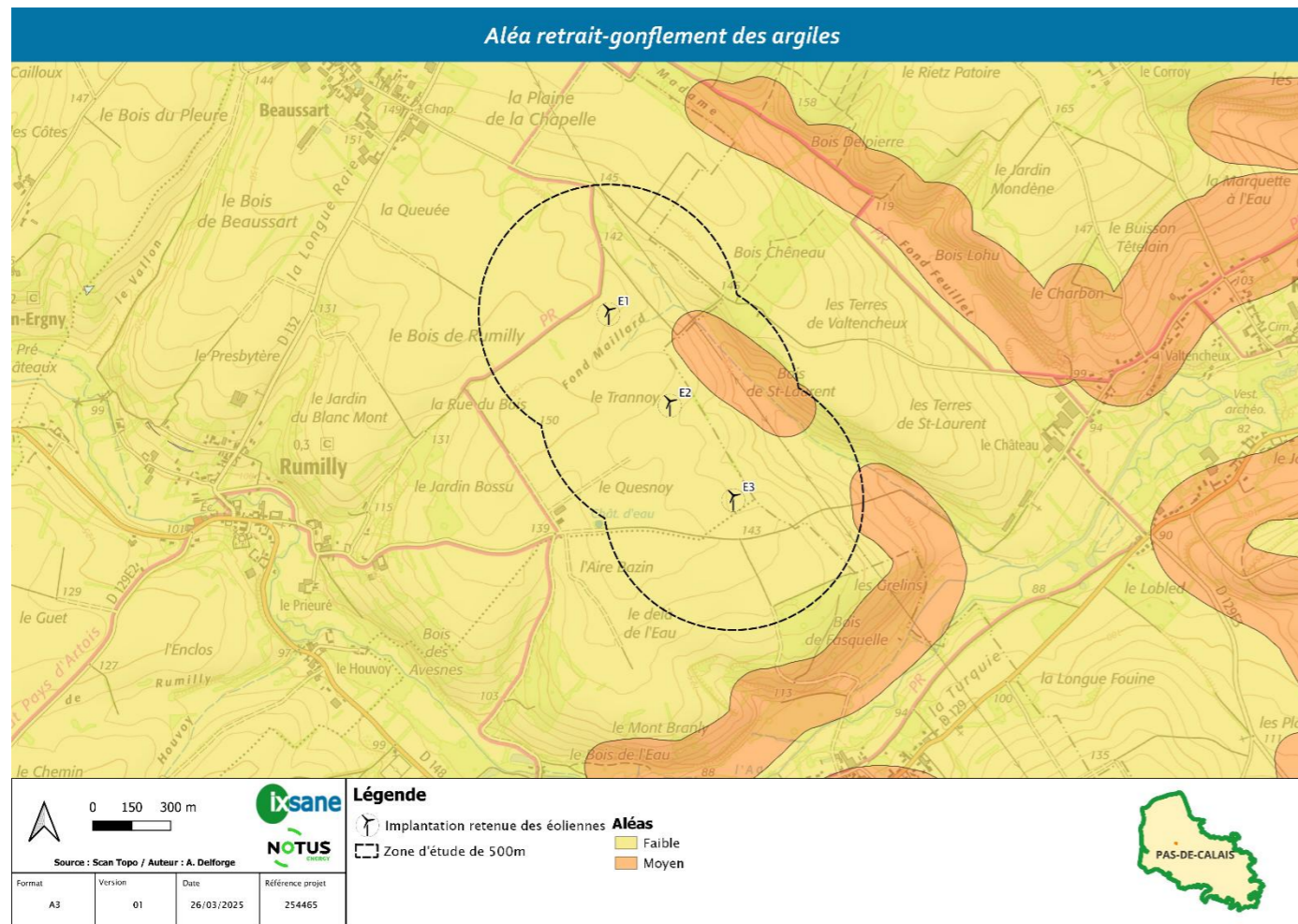


Figure 9 : Sensibilité à l'aléa retrait-gonflement des argiles de la zone d'étude

L'aléa retrait-gonflement varie de faible à moyen au niveau de la zone d'étude.

### 3.3.2.5 Risque de foudroiement

La densité de foudroiement indique le nombre de coups de foudre par an et par kilomètre carré. Le relevé est effectué à l'aide d'un réseau de stations de détection qui captent les ondes électromagnétiques lors des décharges, les localisent et les comptabilisent.

La zone d'étude présente une sensibilité infime pour le risque de foudroiement.

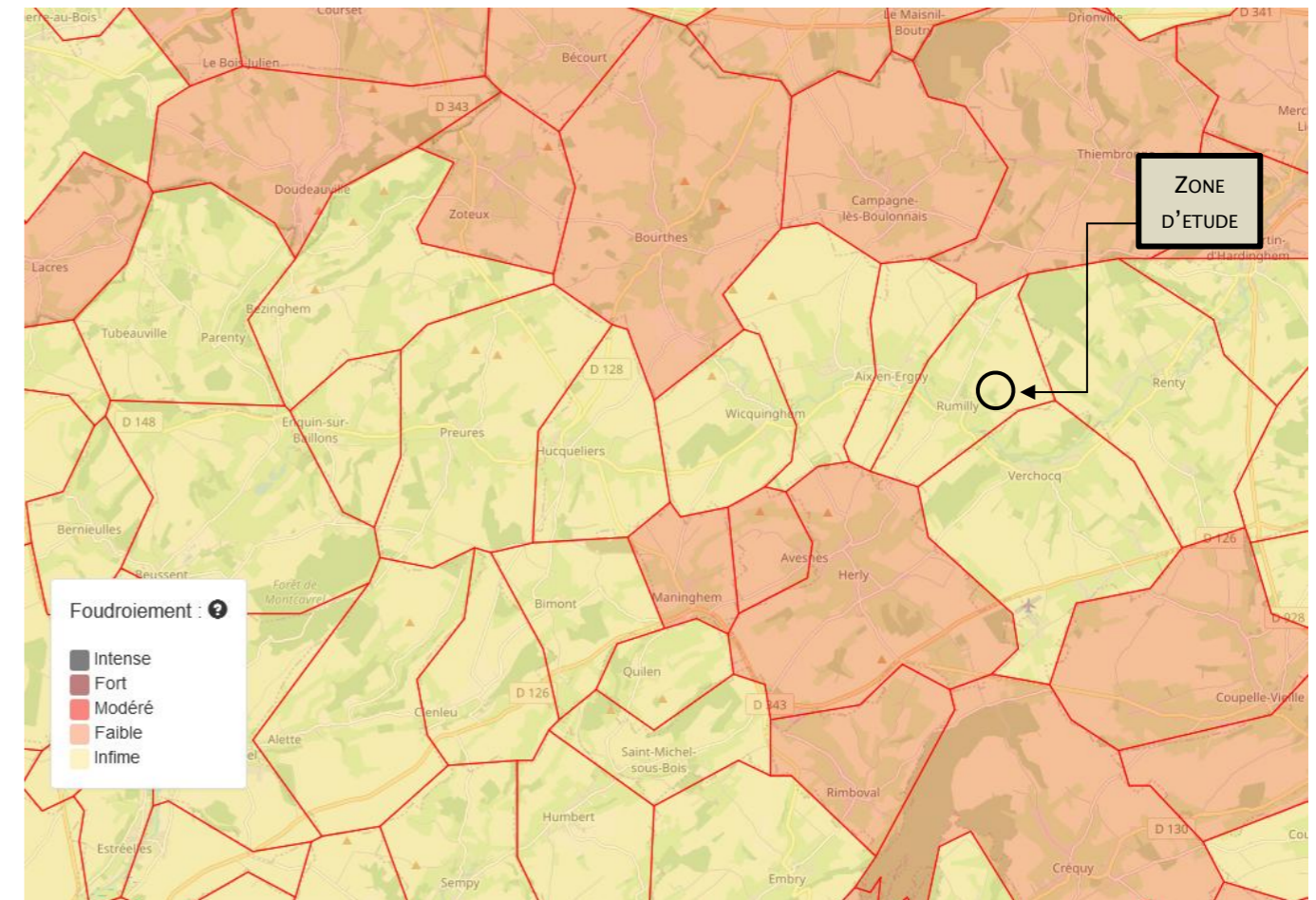


Figure 10 : Densité de foudroiement 2010-2019  
Source : Météorage

### 3.3.2.6 Risque d'inondation

Le Plan de Prévention des Risques Naturels (PPRN) est un document réglementaire destiné à faire connaître les risques et réduire la vulnérabilité des personnes et des biens. Il délimite des zones exposées et définit des conditions d'urbanisme et de gestion des constructions futures et existantes dans les zones à risques. Il définit aussi des mesures de prévention de protection et de sauvegarde.

**Au sein de la zone d'étude, aucun PPRN n'est recensé.**

### 3.3.2.7 Le risque d'inondation par remontée de nappe

Les zones sensibles aux inondations par remontée de nappe correspondent à des zones où il y a de fortes probabilités d'observer des débordements par remontée de nappe, c'est-à-dire :

- L'émergence de la nappe au niveau du sol ;
- Ou l'inondation des sous-sols à quelques mètres sous la surface du sol.

Les valeurs de débordement potentiel sont réparties en trois classes :

- « pas de débordement de nappe ni d'inondation de cave » ;
- « zones potentiellement sujettes aux débordements de nappe » ;
- « zones potentiellement sujettes aux inondations de cave ».

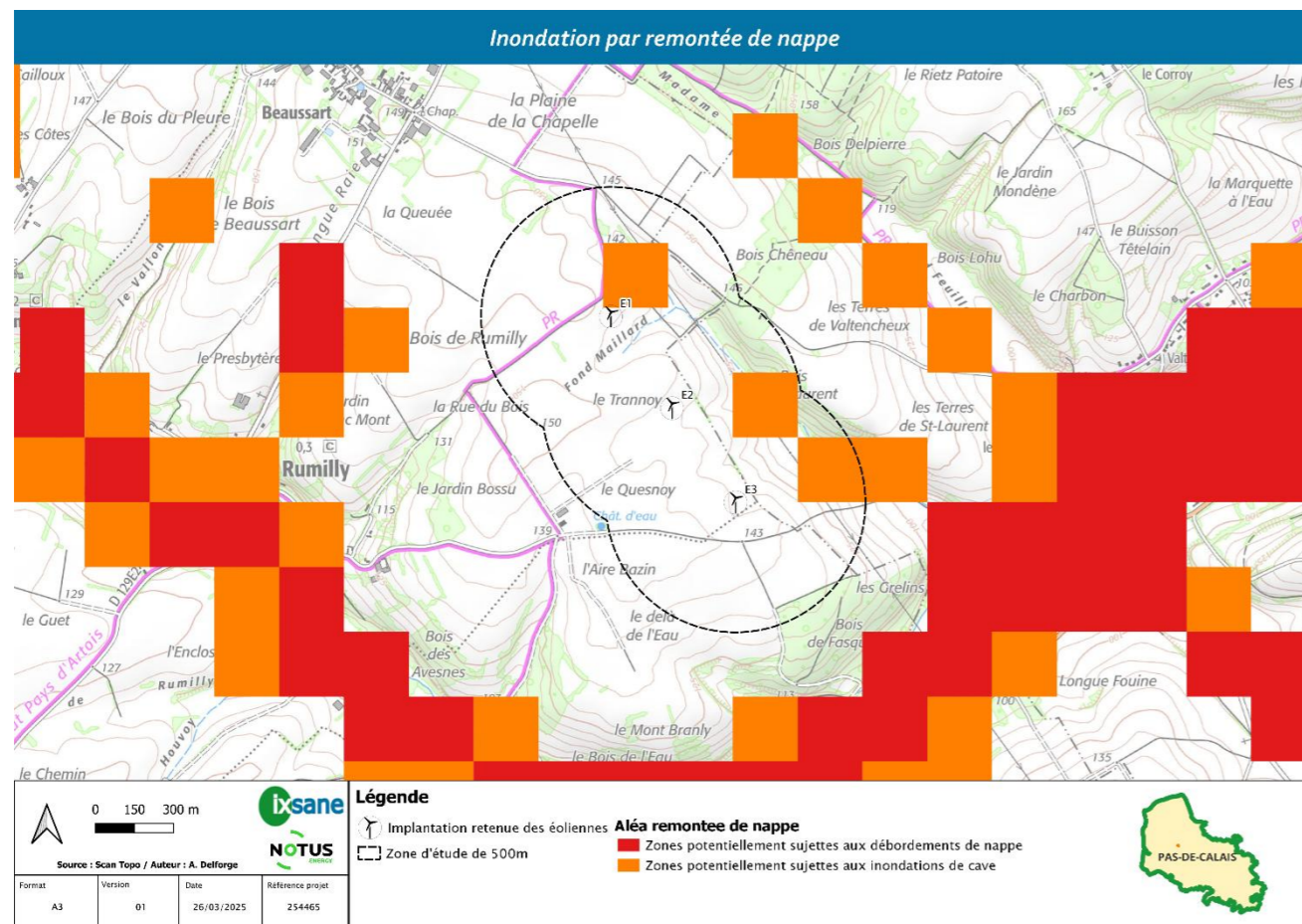


Figure 11 : Sensibilité de la zone d'étude à l'aléa remontée de nappe

**Des zones potentiellement sujettes aux inondations de cave sont recensées dans la zone d'étude.**

### 3.3.2.8 Les risques des tornades

**KERAUNOS**  
OBSERVATOIRE FRANÇAIS  
DES TORNADES ET DES ORAGES VIOLENTS

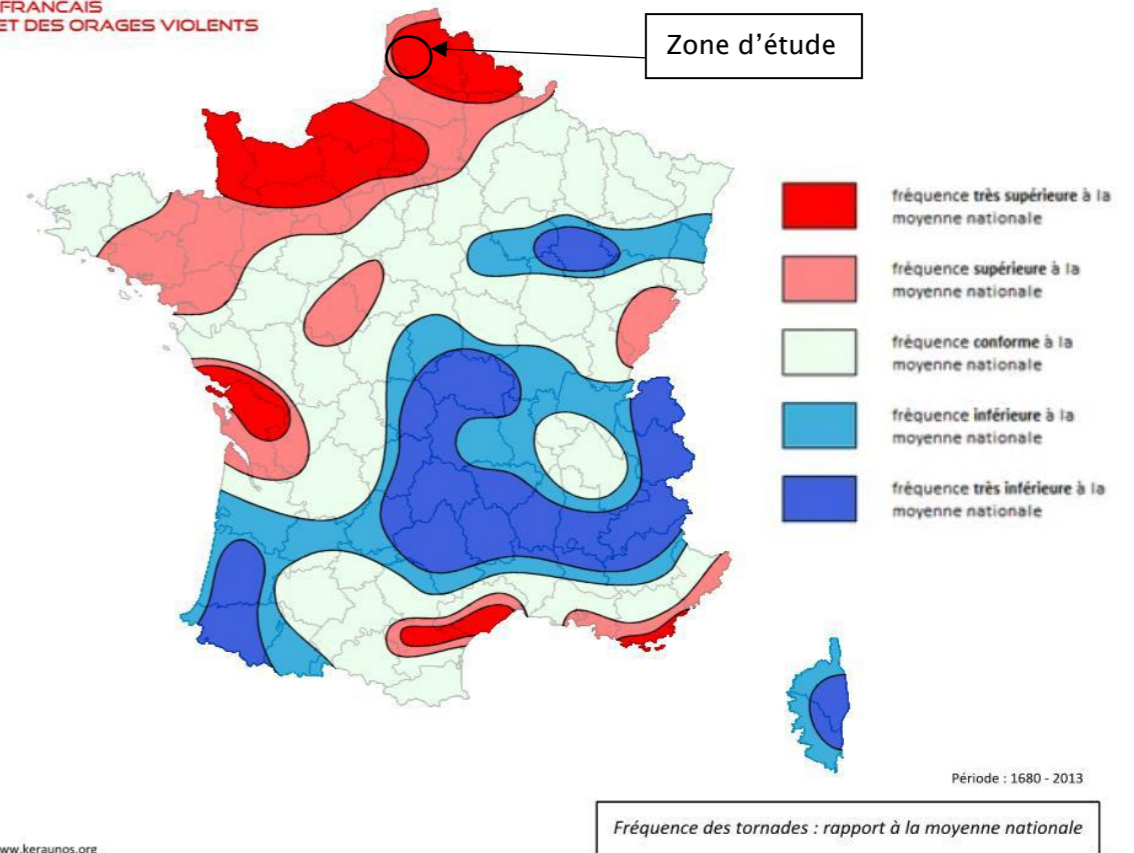


Figure 12 : Fréquence des tornades en France

La région des Hauts-de-France compte parmi les zones du territoire français qui présentent une exposition marquée au risque de tornade. Le nombre de tornades au km<sup>2</sup> y est supérieur à la moyenne nationale. En moyenne, on estime qu'il se produit environ entre 1 à 3 tornades par an sur cette région. Les tornades se produisent en toutes saisons en Hauts-de-France.

Toutefois, les tornades y sont nettement plus fréquentes durant la saison chaude (de mai à octobre). Cette dernière rassemble en effet à elle seule plus de 85% des cas recensés. Les tornades de saison froide sont très minoritaires, avec une proportion qui est inférieure à la moyenne nationale (14% des cas recensés contre 26% en moyenne).

Les mois qui rassemblent le plus grand nombre de tornades sont les mois de juin et d'août. Les autres mois de l'année présentent des fréquences nettement moins marquées. Les mois de février, mars, mai, novembre et décembre ne comptent même aucun cas de tornade recensé à ce jour.

**Aucun évènement n'a été recensé dans la base de données nationale du site « keraunos » dans l'aire immédiate du projet.**

### 3.3.3 Environnement matériel

#### 3.3.3.1 Voies de communication

##### Le réseau routier

Au sein de la zone d'étude, il n'est recensé que des terrains aménagés et peu fréquentés (chemins et routes empierrées). Les routes départementales les plus proches sont la D132 à environ 1 km au nord-ouest de l'E1, la D148 à environ 1,5 km de l'E2 et l'E3 et la D129 à environ 1,2 km au sud-ouest de l'E3.

##### Le réseau ferroviaire

La gare la plus proche de la ZIP se situe au Nord-Est de la zone d'étude à Lumbres.

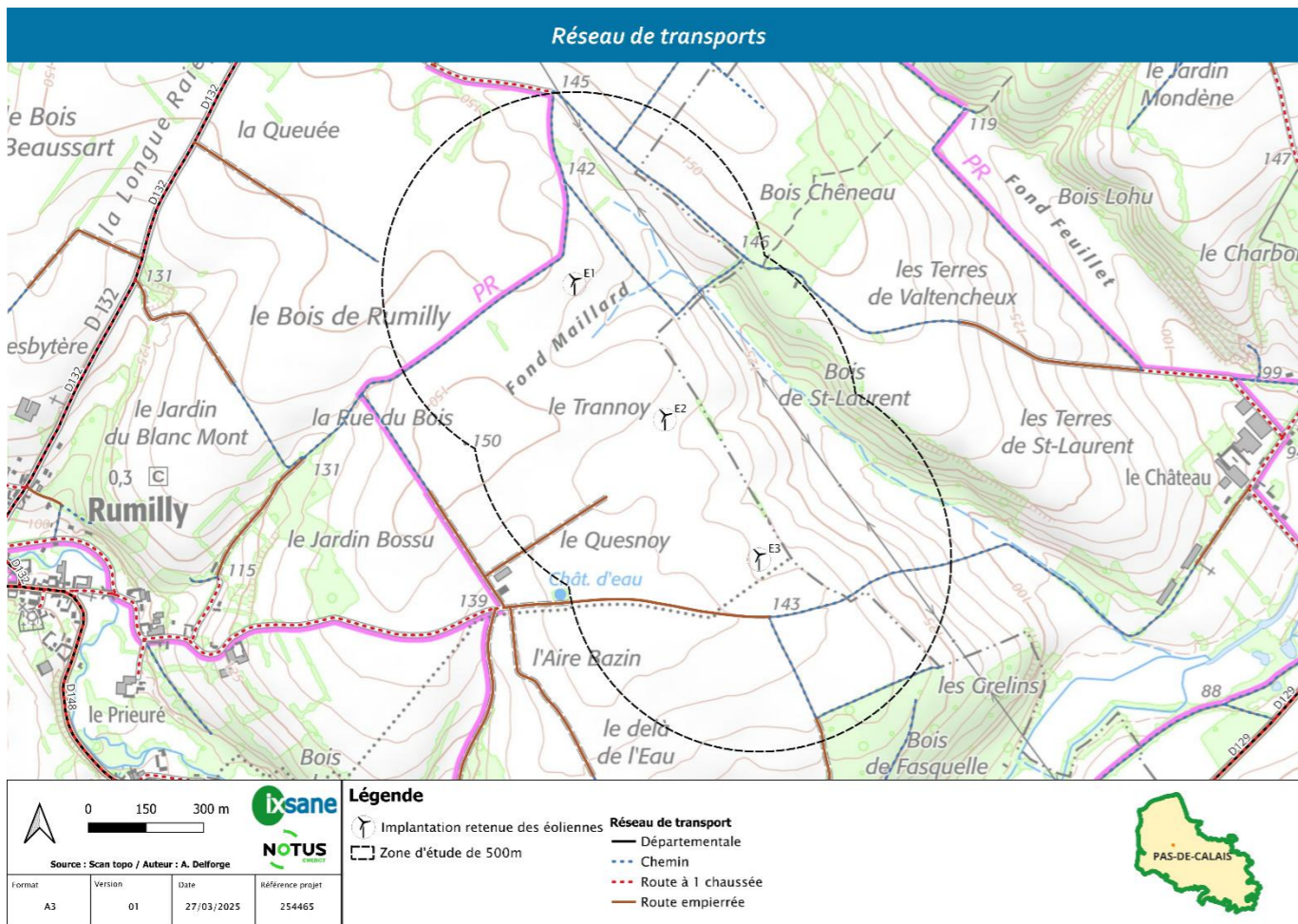


Figure 13 : Réseau de transports

#### 3.3.3.2 Réseaux publics et privés

Le poste de transformation d'électricité le plus proche est celui de Fuges qui se situe à 9 km au sud de la zone d'étude.

**Une ligne électrique aérienne de 400 kV passe à 250 m en parallèle de la ligne des éoliennes.**

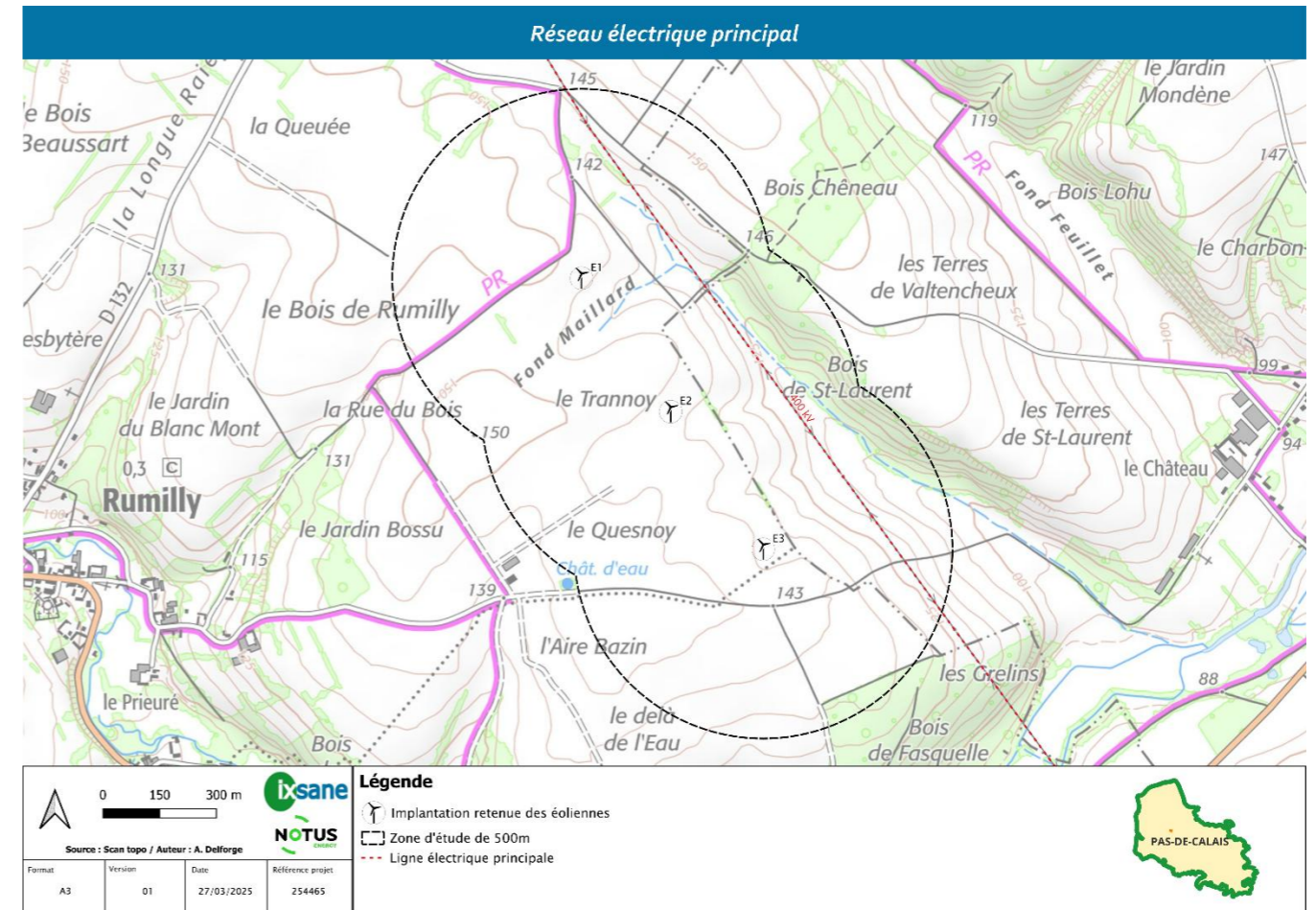


Figure 14 : Réseau électrique principal

### 3.3.4 Cartographie de synthèse

Aucune voie de circulation structurante (< 2000 véhicules/jour) n'interfère avec la zone d'étude.

En ce qui concerne les voies présentes sur le site, il s'agit de chemins agricoles, correspondants à des zones aménagées, mais peu à très peu fréquentées. On considère donc une fréquentation de 1 personne par tranche de 10 ha. La loi n° 95-101 du 2 février 1995, dite loi Barnier, a introduit au sein du Code de l'Urbanisme, l'interdiction de construire dans une bande de 100 mètres de part et d'autre de l'axe des autoroutes, des routes express et des déviations au sens du Code de la Voirie routière et de soixante-quinze mètres de part et d'autre de l'axe des autres routes classées à grande circulation.

Les chemins d'accès aux éoliennes suivent principalement les chemins agricoles existants. Quelques portions de chemins seront créées, qui ne desserviront que les éoliennes. Leur fréquentation est négligeable (environ un passage de camion tous les 3 mois en moyenne pour la maintenance des machines).

Pour le total de la fréquentation sur l'ensemble du parc éolien, les intersections entre les périmètres de 500 m autour de chaque éolienne sont donc prises en compte plusieurs fois, ce qui correspond dans la réalité au fait que ces secteurs soient exposés aux risques liés à plusieurs éoliennes.

Le tableau suivant synthétise les surfaces concernées par le projet.

Eolienne	Zones non bâties		Voie de circulation structurante (m)	Zone d'activité	Terrain de randonnée (m)
	Terrains non aménagés (m²)	Terrains aménagés et peu fréquentés (m²)			
E1	769 243	16 155	0	0	0
E2	769 664	15 734	0	0	0
E3	774 179	11 219	0	0	0
<b>Ensemble du parc</b>	<b>2 313 086</b>	<b>43 108</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Tableau 6 : Décomposition synthétique des surfaces considérées dans les zones autour de chaque éolienne

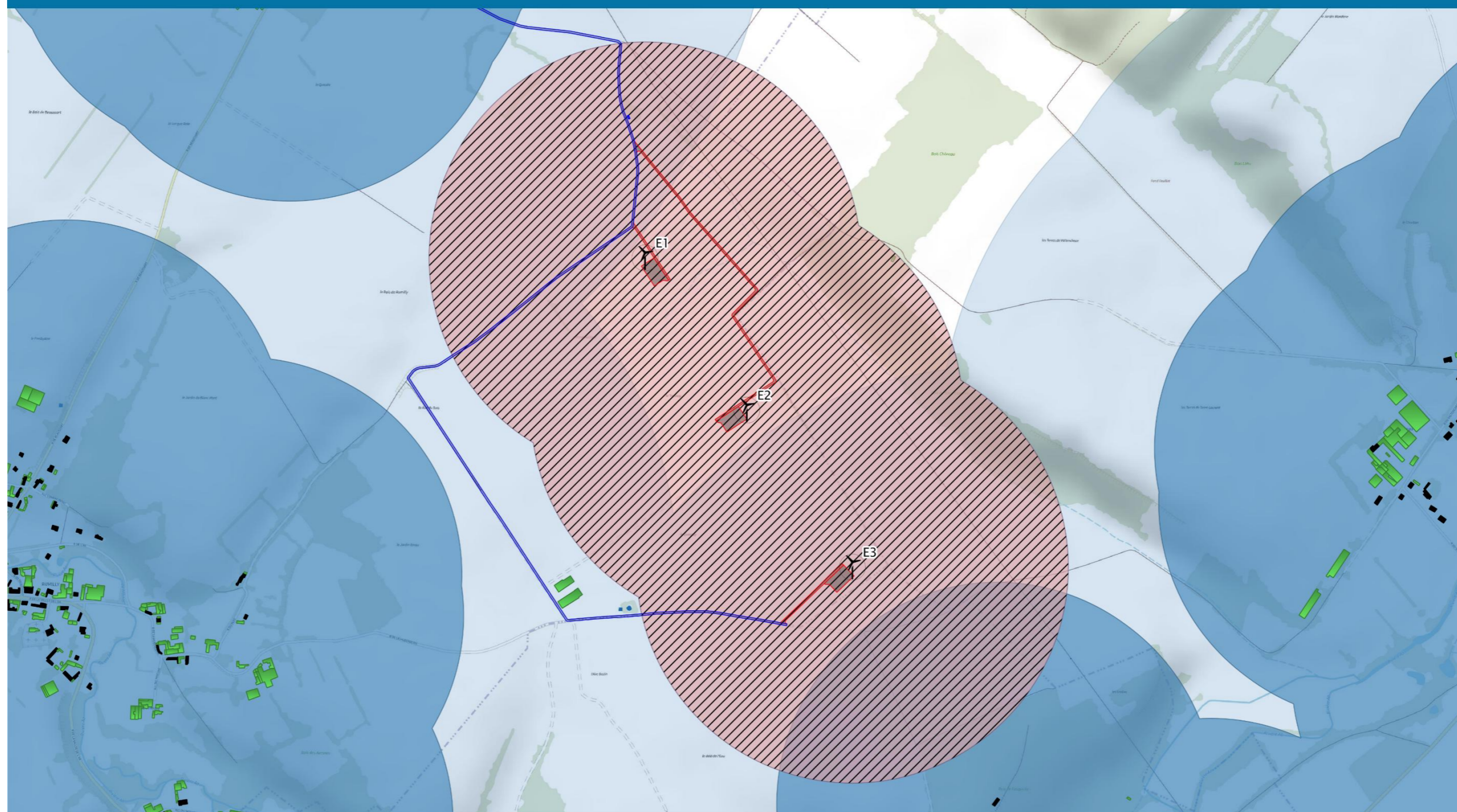
Le tableau ci-dessous montre la répartition du nombre équivalent au nombre de personnes permanentes exposées sur le périmètre de 500 m autour des éoliennes, en fonction du secteur concerné et calculé conformément à la circulaire de mai 2010 :

Eolienne	Zones non bâties		Voie de circulation structurante	Zone d'activité	Terrain de randonnée	Total
	Terrains non aménagés	Terrains aménagés et peu fréquentés				
E1	0,77	0,16	0	0	0	0,93
E2	0,77	0,16	0	0	0	0,93
E3	0,77	0,11	0	0	0	0,88
<b>Ensemble du parc</b>	<b>2,31</b>	<b>0,43</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2,74</b>

Tableau 7 : Exposition pour chaque éolienne (unité en nombre de personnes)

Pour conclure ce chapitre, les cartes dans ce paragraphe permettent d'identifier géographiquement les enjeux à protéger dans la zone d'étude.

*Synthèse de l'exposition globale des populations*




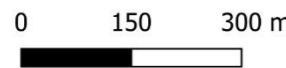













				 	<p><b>Légende</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Implantation retenue des éoliennes</li> <li> Zone d'étude de 500m</li> <li> Zone à moins de 500m d'une habitation</li> <li> Zone à moins d' 1 km d'une habitation</li> </ul>	<p><b>Usage des bâtiments</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Résidentiel</li> <li> Autres</li> <li> Zones non bâties – 2,74 personnes exposées sur l'ensemble</li> </ul>	<p><b>Plan de l'installation</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li> Poste de livraison</li> <li> Accès définitif existant</li> <li> Accès définitif et plateforme</li> </ul>	 <p>PAS-DE-CALAIS</p>			
<p>Source : Scan topo / Auteur : A. Delforge</p> <table border="1"> <tr> <td>Format</td> <td>Version</td> <td>Date</td> <td>Référence projet</td> </tr> <tr> <td>A3</td> <td>01</td> <td>16/05/2025</td> <td>254465</td> </tr> </table>									Format	Version	Date
Format	Version	Date	Référence projet								
A3	01	16/05/2025	254465								

Figure 15 : Synthèse de l'exposition globale des populations

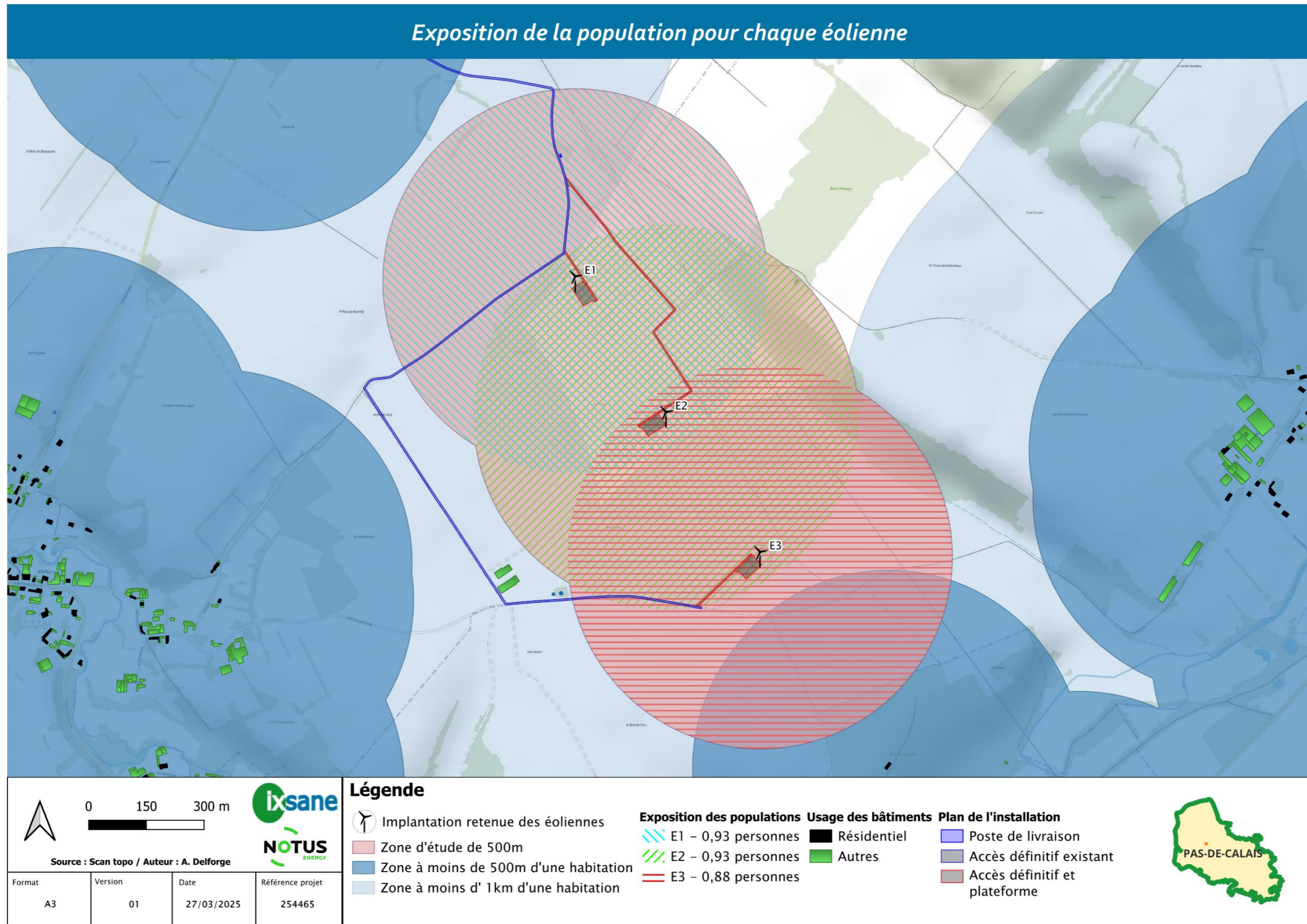


Figure 16 : Exposition de la population pour chaque éolienne

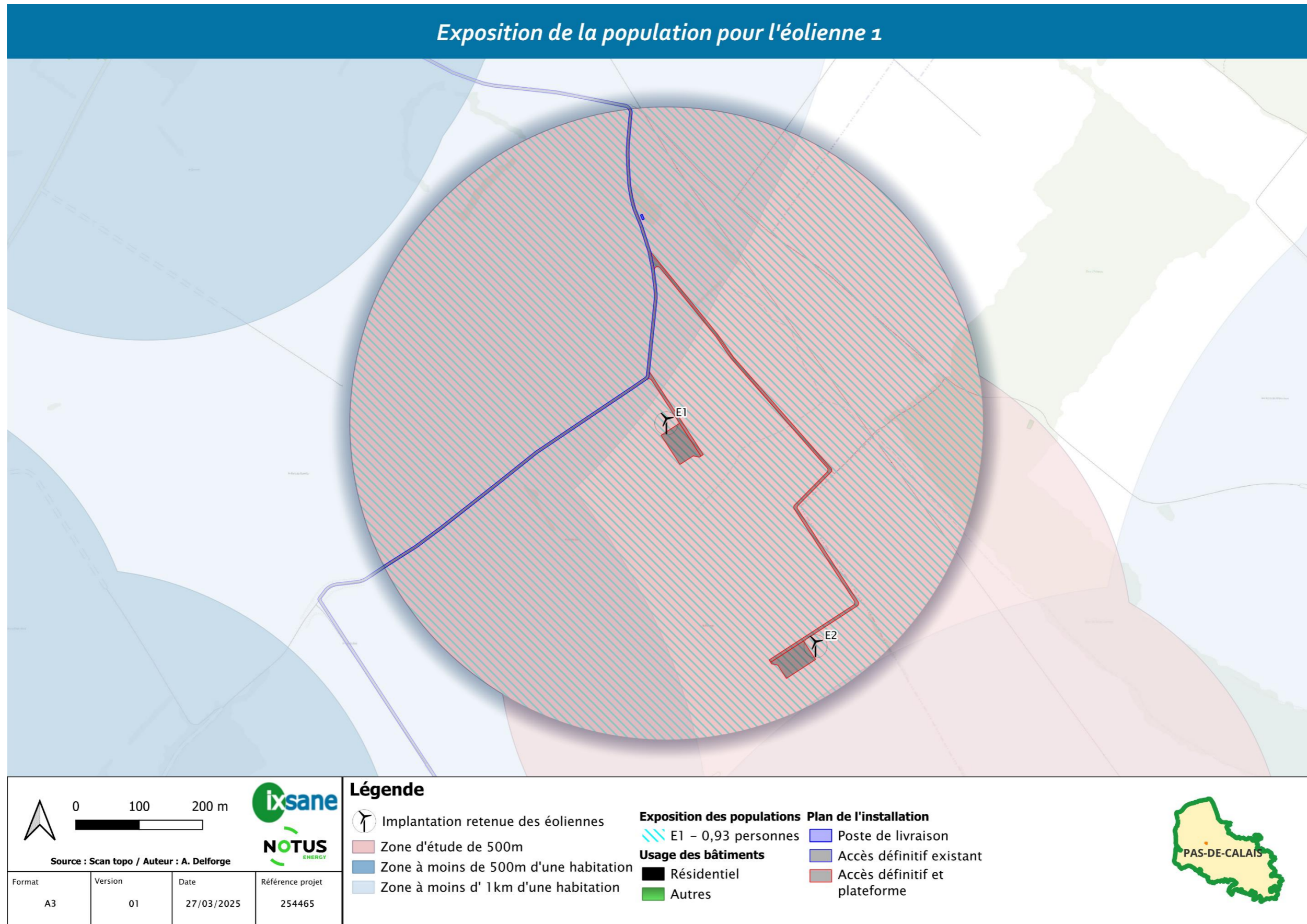


Figure 17 : Exposition de la population pour l'éolienne 1

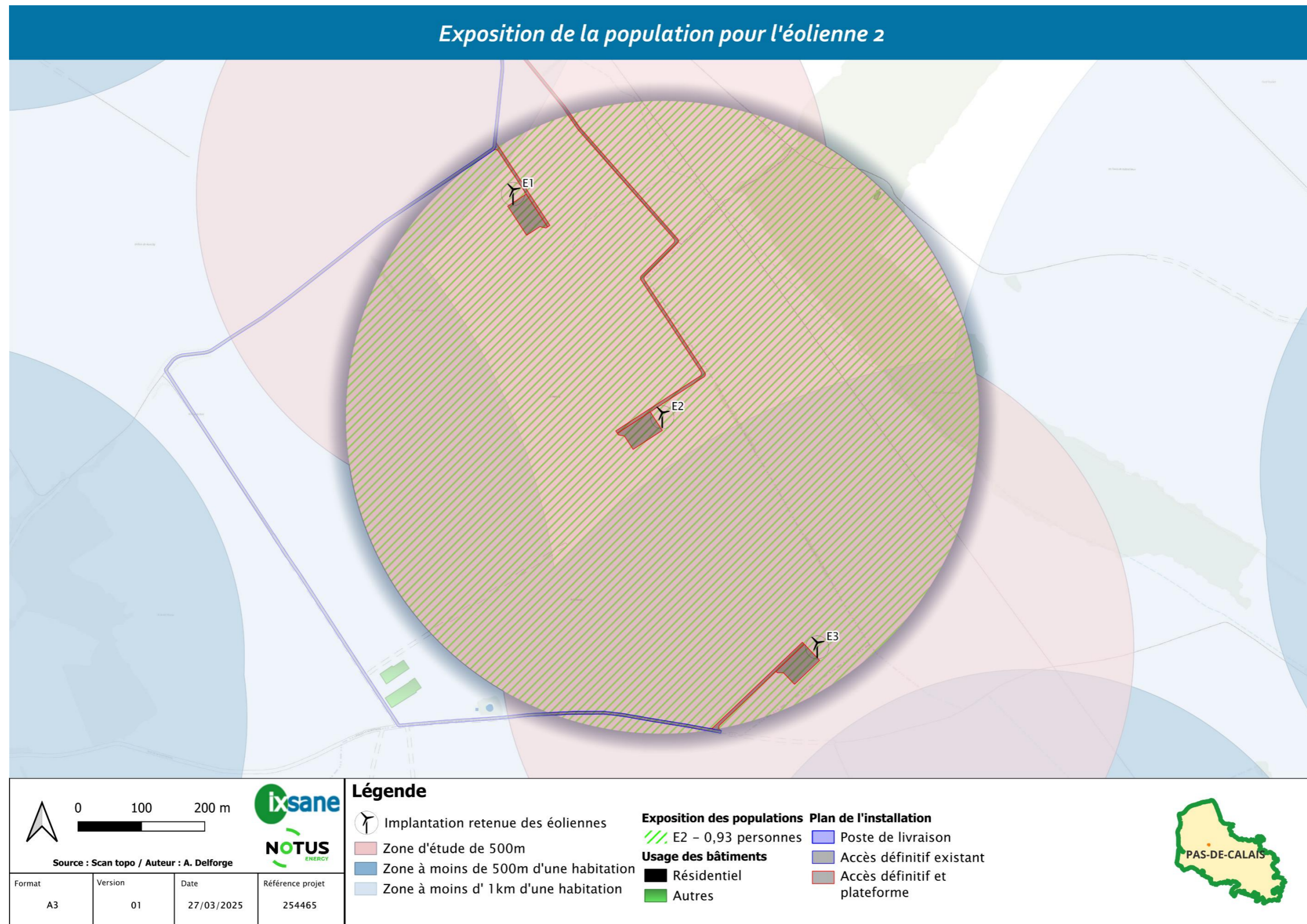


Figure 18 : Exposition de la population pour l'éolienne 2

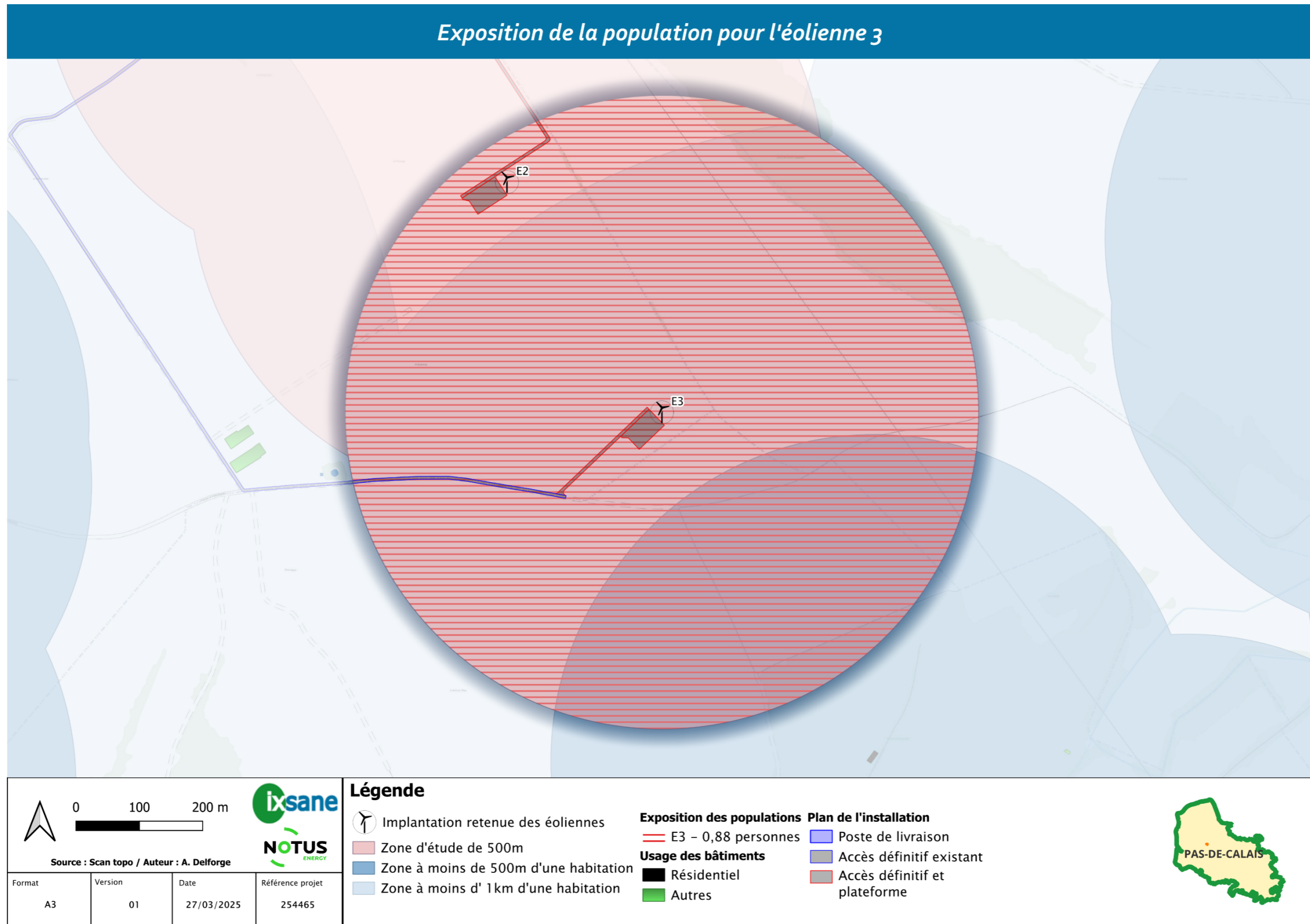


Figure 19 : Exposition de la population pour l'éolienne 3

## 4. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

4.1	Préambule.....	29
4.2	Caractéristiques de l'installation.....	29
4.3	Fonctionnement de l'installation.....	33

## 4.1 Préambule

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 V), au regard notamment de la sensibilité de l'environnement décrit précédemment.

## 4.2 Caractéristiques de l'installation

### 4.2.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien

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

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

#### 4.2.1.1 Eléments constitutifs d'un aérogénérateur

Au sens 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, les aérogénérateurs (ou éoliennes) sont définis comme un dispositif mécanique destiné à convertir l'énergie du vent en électricité, composé des principaux éléments suivants : un mât, une nacelle, le rotor auquel sont fixées les pales, ainsi que, le cas échéant, un transformateur.

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

- **Le rotor** qui est composé de trois pales (pour la grande majorité des éoliennes actuelles) construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu. Il se prolonge dans la nacelle pour constituer l'arbre lent.
- **Le mât** est généralement composé de 3 à 4 tronçons en acier ou 15 à 20 anneaux de béton surmonté d'un ou plusieurs tronçons en acier. Dans la plupart des éoliennes, il abrite le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique.
- **La nacelle** abrite plusieurs éléments fonctionnels :
  - le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique ;
  - le multiplicateur (certaines technologies n'en utilisent pas) ;
  - le système de freinage mécanique ;
  - le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent pour une production optimale d'énergie ;
  - les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette) ;
  - le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique.

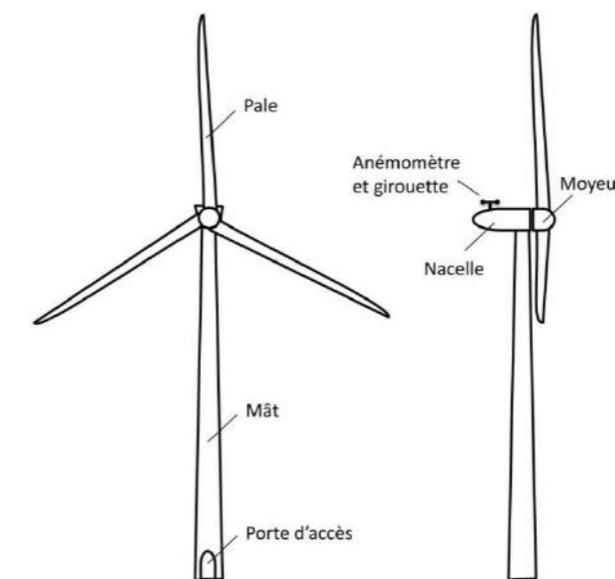


Figure 20 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

#### 4.2.1.2 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.

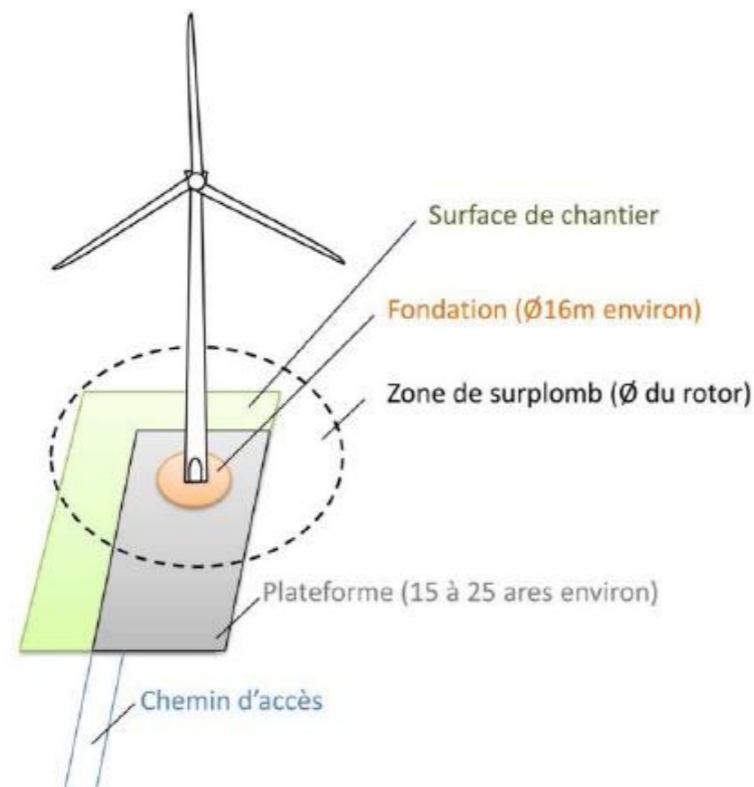


Figure 21 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne

#### 4.2.1.3 Chemin 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 constructions du parc éolien que pour les opérations de maintenance liées à l'exploitation du parc éolien :

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

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

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

Ces accès seront carrossables et permettront aux services d'incendie et de secours d'intervenir, comme le prévoit l'article 7 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation ICPE.

#### 4.2.1.4 Autres infrastructures

Le raccordement électrique souterrain est le réseau de câbles interne au parc éolien. Il permet de diriger l'électricité produite par les éoliennes vers le(s) poste(s) de livraison.

Le raccordement électrique souterrain sera établi suivant les prescriptions de l'arrêté technique du 17 mai 2001 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les réseaux de distribution d'énergie électrique.

Les ouvrages seront conçus et réalisés suivant l'état de l'art, la réglementation et les normes en vigueur, notamment les normes NF C 15-100 (installations électriques basse tension), NFC 13-100 (postes de livraison), NF C 13-200 (installations électriques haute tension), NF C 33-226 (conception des câbles) et NF C 20-030 (protection contre les chocs électriques).

### 4.2.2 Activités de l'installation

L'activité principale du parc éolien de Rumilly est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur (mât + nacelle) de 100,1 m. Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

### 4.2.3 Composition de l'installation

Le projet consiste en l'aménagement de 3 éoliennes. Aucune construction existante n'est supprimée et aucun défrichement n'est nécessaire.

Pour les éoliennes du parc éolien de Rumilly, un modèle d'éolienne est pressenti : Nordex N131.

Eolienne	NORDEX N131
Puissance nominale	3,6 MW
Diamètre du rotor	131 m
Longueur d'une pale	64,4 m
Largeur maximale d'une pale	3,94 m
Hauteur du moyeu	99 m
Diamètre maximum à la base du mât	4,3 m
Hauteur en bout de pale	164,5 m
Hauteur du mât	96,9 m

*Tableau 8 : Caractéristiques des modèles d'éolienne pressentis*

Le poste de livraison aura comme dimension : une longueur de 8 m, une largeur de 3 m et une hauteur de 3,2 m.

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des 3 aérogénérateurs ainsi qu'un poste de livraison :

Eolienne / Poste	Lambert 93		WGS 84 (°)	
	X	Y	X	Y
E1	631 497	7 054 453	2,0343255	50,5834204
E2	631 733	7 054 100	2,0377127	50,5802783
E3	631 978	7 053 736	2,0412282	50,5770384
PDL 1	631 459	7 054 779	2,0337337	50,5863418

*Tableau 9 : Coordonnées géographiques du parc*

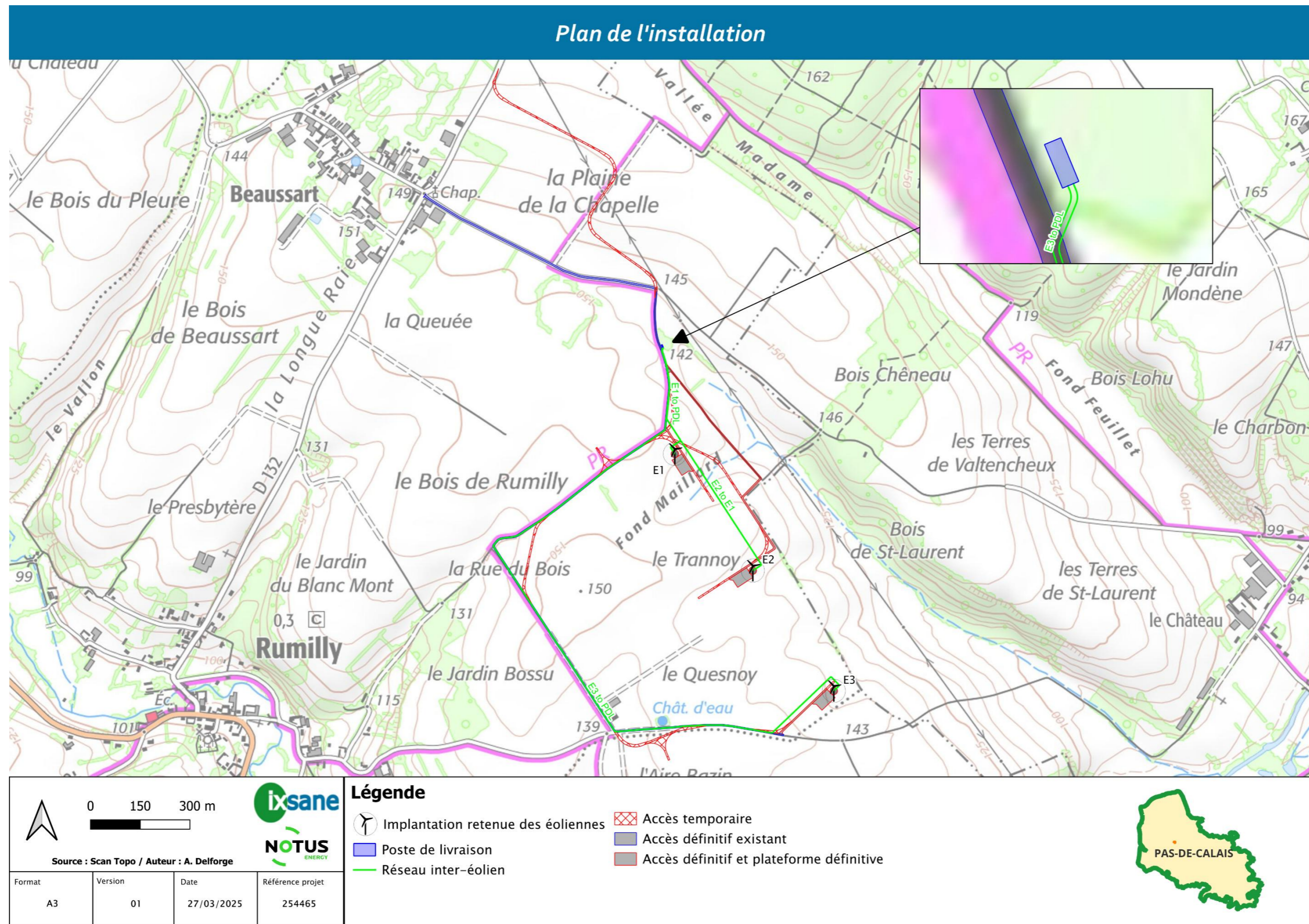


Figure 22 : Plan de l'installation

## 4.3 Fonctionnement de l'installation

### 4.3.1 Principes de fonctionnement d'un aérogénérateur

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

Les pales se mettent en mouvement à partir de vents de 10 km/h et c'est seulement à partir de 12 km/h que l'éolienne est couplée au réseau électrique. Le rotor et l'arbre dit « lent » transmettent alors l'énergie mécanique à basse vitesse (entre 5 et 20 tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit « rapide » tourne environ 100 fois plus vite que l'arbre lent. Certaines éoliennes sont dépourvues de multiplicateur et la génératrice est entraînée directement par l'arbre « lent » lié au rotor. La génératrice transforme l'énergie mécanique captée par les pales en énergie électrique.

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

Pour un aérogénérateur de 3 MW par exemple, la production électrique atteint 3000 kW dès que le vent atteint environ 50 km/h. L'électricité produite par la génératrice correspond à un courant alternatif d'une tension de 400 à 690 V. La tension est ensuite élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur placé dans chaque éolienne pour être ensuite injecté dans le réseau électrique public.

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

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

Le tableau ci-contre expose de façon synthétique le découpage fonctionnel de l'installation.

<i>Élément de l'installation</i>	<i>Fonction</i>	<i>Caractéristiques</i>
<b>Fondation</b>	Ancre et stabilise le mât dans le sol	En béton armé. Design adapté en fonction des études géotechnique et hydrogéologique réalisées avant la construction
<b>Mât</b>	Supporte le rotor et la nacelle	Tubulaire en acier, composé de 3 à 4 sections. Protection contre la corrosion avec un système de revêtement de surface selon la norme ISO 12944
<b>Nacelle</b>	Supporte le rotor et abrite le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité	Composée de l'arbre de rotor qui transmet le mouvement de rotation des pales, de la boîte de vitesse, de la génératrice, du frein mécanique du rotor, des moteurs qui permettent l'orientation de la nacelle, pivotable sur la tour.
<b>Rotor / pales</b>	Capte l'énergie du vent et la transmet à la génératrice	3 pales en plastique renforcé de fibres de verre et de carbone de haute qualité. Orientation des pales contrôlée par le système de commande
<b>Transformateur</b>	Elève la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau	Situé à l'intérieur du mât
<b>Poste de livraison</b>	Adapte les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public	Equipé de différentes cellules électriques et automates qui permettent la connexion et la déconnexion du parc éolien au réseau
<b>Générateur électrique</b>	Produit l'électricité	Générateur asynchrone à double alimentation et convertisseur de fréquence

Tableau 10 : Présentation des différentes composantes de l'installation

### 4.3.2 Sécurité de l'installation

#### Règles de conception et système qualité

Les constructeurs, fournissant les machines et en assurant la maintenance, est certifiée ISO 9001. Le système de management de la qualité et tous les processus de production sont conformes à la norme ISO 9001.

Les aérogénérateurs 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. Les équipements projetés répondront aux normes internationales de la Commission électrotechnique internationale (CEI) et Normes françaises (NF) homologuées relatives à la sécurité des éoliennes, et notamment :

- la norme IEC61400-1 / NF EN 61400-1 Juin 2006 intitulée « Exigence de conception », qui spécifie les exigences de conception essentielles pour assurer l'intégrité technique des éoliennes. Elle a pour objet de fournir un niveau de protection approprié contre les dommages causés par tous les risques pendant la durée de vie prévue. Elle concerne tous les sous-systèmes des éoliennes tels que les mécanismes de commande et de protection, les systèmes électriques internes, les systèmes mécaniques et les structures de soutien ; La norme IEC 61400-1 spécifie les exigences de conception essentielles pour assurer l'intégrité technique des éoliennes ;
- la norme IEC61400-22 / NF EN 61400-22 Avril 2011 intitulée « essais de conformité et certification », qui définit les règles et procédures d'un système de certification des éoliennes comprenant la certification de type et la certification des projets d'éoliennes installées sur terre ou en mer. Ce système spécifie les règles relatives aux procédures et à la gestion de mise en œuvre de l'évaluation de la conformité d'une éolienne et des parcs éoliens, avec les normes spécifiques et autres exigences techniques en matière de sécurité, de fiabilité, de performance, d'essais et d'interaction avec les réseaux électriques ;
- la norme CEI/TS 61400-23 :2001 Avril 2001 intitulée « essais en vraie grandeur des structures des pales » relative aux essais mécaniques et essais de fatigue.

D'autres normes de sécurité sont applicables :

- la génératrice est construite suivant le standard IEC60034 et les équipements mécaniques répondent 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 ;
- la Directive 2004/108/EC du 15 décembre 2004 relative aux réglementations qui concernent les ondes électromagnétiques ;
- le traitement anticorrosion des éoliennes répond à la norme ISO 9223.

Au cours de la construction de l'éolienne, le maître d'ouvrage mandatera un bureau de vérification pour le contrôle technique de construction.

Les performances des éoliennes sont garanties dans la mesure où les conditions d'installation sont conformes aux spécifications du constructeur.

#### Conformité aux prescriptions de l'arrêté ministériel

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

Cela concerne notamment :

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

La description détaillée des différents systèmes de sécurité de l'installation sera quant à elle effectuée au stade de l'analyse préliminaire des risques.

Gestion à distance du fonctionnement des éoliennes

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

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

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

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

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

**4.3.3 Nature et organisation des secours**

Il est essentiel que le parc éolien de Rumilly soit connu, localisé et que les procédures appropriées aient été définies par les services de secours concernés. C'est suite à l'obtention de l'autorisation environnementale que l'exploitant du parc prend contact avec les services de secours, et utilise la fiche de renseignement en page suivante qui propose un menu d'informations à mettre à disposition du service de secours.

En cas de sinistre, les pompiers seront prévenus par le personnel du site ou les riverains directement par le 18. L'appel arrivera au Centre de Traitement des Appels (CTA), qui est capable de mettre en œuvre les moyens nécessaires en relation avec l'importance du sinistre. Cet appel sera ensuite répercuté sur le Centre de Secours disponible et le plus adapté au type du sinistre.

Une voie d'accès donne aux services d'interventions un accès facilité au site du parc éolien.

Les moyens d'intervention une fois l'incident ou accident survenu sont des moyens de récupération des fragments : grues, engins, camions.

En cas d'incendie avancé, les sapeurs-pompiers se concentreront sur le barrage de l'accès au foyer d'incendie. Une zone de sécurité avec un rayon de 500 mètres autour de l'éolienne devra être respectée.

Annexe Fiche GT sécurité N°1 : Intervention des services de secours			
N°	Renseignements	Utile aux services de secours	
		OUI	NON
Demander aux services de secours si ils veulent avoir :			
1	Le nom du parc		
2	Les plan d'accès, cartes avec chemin d'accès surlignés		
3	Les coordonnées géographiques (WGS84 / Lambert) de chaque machine + poste de livraison		
4	Les N° des machines + postes (N° constructeurs avec la correspondance avec les N° exploitant)		
5	Le N° de téléphone de l'astreinte technique de l'exploitant (chargé de conduite)		
6	La hauteur du moyeu		
7	La hauteur du mât		
8	La définition d'un périmètre de sécurité en cas de besoin (350 à 500 m)		
9	La localisation et l'intensité des différentes sources de tension (plan, schéma, ...)		
10	La localisation des postes de livraison / de transformation		
11	La présence de SF6 ou non dans les transformateurs (ou de toutes autres substance dangereuse)		
12	Le type de transformateur : sec ou à bain d'huile		
13	Les systèmes antichutes et EPI généraux en place		
14	Le nombre et la hauteur des différents paliers		
15	Le N° du Point de Secours Public (si présent)		
16	La présence de panneautage ou non + localisation sur plan		
17	Un plan d'évacuation de la machine avec sorties d'urgence pour l'évacuation		
18	Points d'ancrage		
19	La localisation sur plan de l'alimentation BT / HT + des arrêts d'urgence		
20	Le système d'ouverture des portes (et la nécessité ou non d'utiliser des outils spécifiques pour l'ouverture)		
21	Leur demander si un véhicule de désincarcération doit être demandé spécifiquement en cas de nécessité d'intervention		
Nombre total de document à fournir aux services de secours =			
QUESTIONS SUPPLEMENTAIRES IMPORTANTES		OUI	NON
22	<b>Avez-vous besoin d'autres informations ?</b> <b>Si oui, lesquelles ?</b>		
23	<b>Est il possible d'organiser des exercices / simulation d'évacuation d'urgence / d'incendie avec vos services ?</b>		
24	<b>Est il possible de venir vous rencontrer directement dans votre centre de dispatching des appels d'urgence / Centre d'Appel Téléphonique (C.A.T) afin d'établir un contact et de vous communiquer la documentation de prévention déployée sur le parc ?</b>		
INFORMATIONS UTILES A COMMUNIQUER AUX SERVICES DE SECOURS			
Les services de secours n'ont pas de manipulation à faire dans la machine qui devrait être déjà en sécurité s'ils doivent faire du secours à personne dans la mesure où une machine doit être arrêtée et sécurisée avant que quiconque ne puisse y pénétrer.			
Il est possible de couper tout le parc en le demandant à ERDF en dernier recours => indiquer ici les coordonnées de l'exploitant qui peut demander la coupure au gestionnaire de réseau			

Figure 23 : Fiche de sécurité d'intervention des secours

Les conditions d'intervention et les pratiques demandées par les services de secours se décomposent comme suit :

- **Accès au parc :**
  - La localisation doit être impérativement communiquée au début des travaux de construction du parc éolien.
  - Afin de faciliter l'accès au parc et de réduire le temps d'intervention, des mesures pratiques sont définies avec les services de secours. Elles peuvent être à titre d'exemple :
    - ✓ Demander la création d'un Point de Secours Public (PSP) ;
    - ✓ Indiquer l'emplacement des installations par un marquage important et visible de loin sur chaque machine ;
    - ✓ Installer des panneaux indicatifs aux croisements des routes départementales et des chemins d'accès aux installations.
- **Accès aux machines :**
  - Par mesure de sécurité, l'exploitant du parc éolien ferme à clef la porte d'entrée de l'éolienne lors de toute intervention du personnel. Afin de réduire le temps d'intervention, les approches suivantes peuvent être mises en place par exemple :
    - ✓ Mettre les clés à disposition en partie basse (dans les véhicules d'intervention) ;
    - ✓ Fournir un double de clés passe-partout au centre de secours le plus proche.
- **Accès à la nacelle :**
  - Les services de secours ont toujours à leur disposition leur propre matériel d'intervention pour l'utilisation duquel ils sont formés ;
  - Cependant, en fonction du constructeur et du type de machine pour la construction du parc, il se peut que le sac de matériel ne passe pas les trappes intermédiaires et/ou la nacelle/ le hub. Il faudra donc faire un exercice d'entraînement avec les services de secours dans un délai raisonnable suivant la mise en service du parc. Le mode d'emploi du palan/treuil pour monter le matériel de sauvetage dans la nacelle sera communiqué aux services de secours ;
  - Les points suivants sont également renseignés et agréés avec les services de secours concernés :
    - ✓ Mise à disposition d'un sac d'Équipement de Protection Individuel complet (à leur remettre directement ou bien à laisser à demeure en machine ou au poste de livraison) ;
    - ✓ Mise à disposition de chariots antichute adaptés aux lignes de vie installées en machine ;
    - ✓ Communication aux services de secours des manuels/ consignes d'utilisation des élévateurs de charges et de personnes, des treuils et palans ainsi que ceux de tout EPI mis à leur disposition.

- **Simulation d'intervention et exercices d'évacuation**

- Un exercice d'évacuation et de simulation d'intervention est organisé avec les services de secours concernés dans un délai de 6 mois à 1 an suivant la mise en service industrielle du parc éolien (cette demande sera formalisée par l'intermédiaire de la fiche de sécurité ci jointe). Pour cela, une éolienne du parc sera mise à disposition ;
- Des exercices périodiques sont organisés entre les services de secours et l'exploitant du parc.

Le Centre de Secours le plus proche est situé à Fruges.

#### 4.3.4 Consignes et procédures de sécurité

La présente étude de dangers se concentre essentiellement sur les dangers et les accidents potentiels que le parc éolien de Rumilly pourrait causer à des tiers. En revanche, il est essentiel que préalablement à cette problématique, les aérogénérateurs présélectionnés assurent la sécurité des personnels intervenant dans les machines. C'est pourquoi, pour les modèles envisagés il existe 3 niveaux de prévention et de sécurité.

- **Procédure de sécurité et d'urgence**

Tous les aérogénérateurs ont un système d'étiquetage des dangers dans les nacelles et les mâts des éoliennes. Cet étiquetage prévient les risques de chutes, d'écrasement d'électrocution et d'incendie dans les machines. De plus, chaque machine est pourvue d'un plan d'évacuation, d'une trousse de premiers secours et d'un panneau indiquant les numéros et lieux des médecins, hôpitaux et urgences les plus proches ainsi que le numéro de la personne responsable à appeler en cas d'urgence.

- **Utilisation et entretien des machines**

Toutes les machines disposent d'un manuel d'utilisation dans chacune des machines indiquant le fonctionnement de l'éolienne et des divers équipements annexes la composant (monte-charge, treuil, ...). De plus, un manuel de maintenance ou guide d'entretien des machines détaillant la nature et la périodicité des travaux de maintenance est également à disposition dans chacune des machines. Enfin, un carnet de visite (log book) est à disposition dans chaque machine. Celui-ci doit être rempli et complété par chaque personne entrant et intervenant dans la machine avec les informations suivantes :

- Heure d'entrée ;
- Heure de sortie ;
- Nature de l'intervention ;
- Matériel utilisé.

- **Consignes de sécurité**

Chaque turbinière met à disposition de l'exploitant un manuel Sécurité Santé au Travail. De plus, lors de la mise en service industriel du parc, un plan de prévention est mis à disposition par l'exploitant et doit être signé et pris en compte par toute entreprise extérieure intervenant dans les turbines.

### 4.3.5 Opérations de maintenance de l'installation

Le programme préventif de maintenance s'étale sur quatre niveaux :

- Type 1 : vérification après 300 à 500 heures de fonctionnement (contrôle visuel du mât, des fixations fondation/tour, tour/nacelle, rotor...et test du système de déclenchement de la mise en sécurité de l'éolienne) ;
- Type 2 : vérification semestrielle des équipements mécaniques et hydrauliques ;
- Type 3 : vérification annuelle des matériaux (soudures, corrosions), de l'électrotechnique et des éléments de raccordement électrique ;
- Type 4 : vérification quinquennale de forte ampleur pouvant inclure le remplacement de pièces.

Chacune des interventions sur les éoliennes ou leurs périphériques fait l'objet de l'arrêt du rotor pendant toute la durée des opérations.

Pour la maintenance, une équipe de techniciens spécialisés sera employée. En cas de déviance sur la production ou d'avaries techniques, une équipe de maintenance interviendra sur le site.

Ainsi l'installation est conforme aux prescriptions de l'arrêté ministériel relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées en matière d'exploitation.

### 4.3.6 Stockage et flux de produits dangereux

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

De plus, une fiche « données / Sécurité » de chaque produit dangereux est fournie par les constructeurs.

### 4.3.7 Fonctionnement des réseaux de l'installation

Dans la carte de présentation de l'ensemble de l'installation, l'organisation de l'installation (câbles électriques enterrés) est exposée et ce réseau électrique respecte les normes ICPE en vigueur.

#### 4.3.7.1 Raccordement électrique

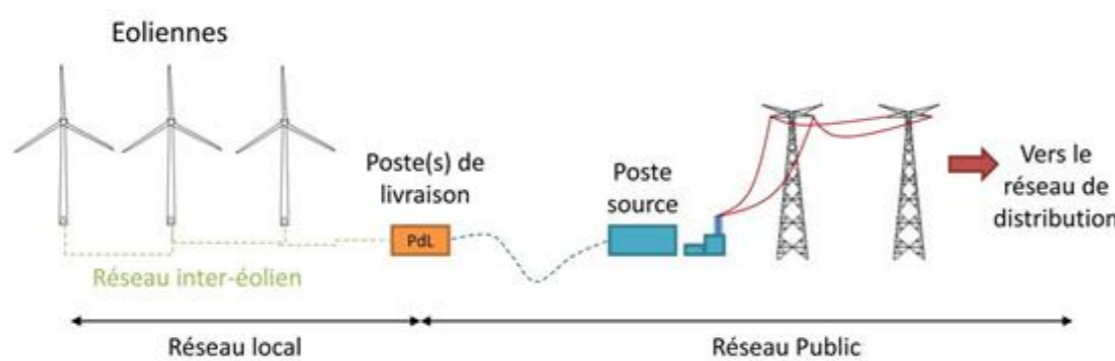


Figure 24 : Raccordement électrique des installations

- Réseau inter-éolien

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

Ces câbles constituent le réseau interne de la centrale éolienne, ils sont tous enfouis à une profondeur minimale de 80 cm.

Ces câbles, dont la section en cuivre ou aluminium est de 150 ou 240 mm<sup>2</sup>, constituent le réseau interne de la centrale éolienne et sont conçus suivant la norme NFC 33-226. Ils sont tous enfouis à une profondeur minimale de 80 cm conformément à la norme NFC 13-200.

- Poste de livraison

Le poste de livraison est le nœud de raccordement de toutes les éoliennes avant que l'électricité ne soit injectée dans le réseau public. Certains parcs éoliens, par leur taille, peuvent posséder plusieurs postes de livraison, voire se raccorder directement sur un poste source, qui assure la liaison avec le réseau de transport d'électricité (lignes haute tension).

La localisation exacte de l'emplacement du ou des poste(s) de livraison est fonction de la proximité du réseau inter-éolien et de la localisation du poste source vers lequel l'électricité est ensuite acheminée.

Les installations électriques des postes de livraison sont conformes à la norme NFC 13-100.

- Réseau électrique externe

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

#### 4.3.7.2 Autres réseaux

Le parc éolien de Rumilly 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.

## 5. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION

5.1	Préambule.....	39
5.2	Potentils de dangers liés aux produits .....	39
5.3	Potentils de dangers liés au fonctionnement de l'installation.....	40
5.4	Réduction des potentiels de dangers à la source .....	40

## 5.1 Préambule

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.

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

## 5.2 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 Rumilly sont utilisés pour le bon fonctionnement des éoliennes, leur maintenance et leur entretien :

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

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

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

- L'incendie : des produits combustibles sont présents le site (graisses, huiles, ...). 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.

Les substances et produits chimiques mis en œuvre dans l'installation sont limités. Les produits pouvant être présents en phase exploitation sont les suivants :

- L'huile hydraulique dont la quantité varie selon le type d'aérogénérateur, de quelques dizaines de litres à quelques centaines) ;
- L'huile de lubrification du multiplicateur : 300 à 400L ;
- L'eau glycolée pour le refroidissement ;
- Les différentes graisses pour le bon fonctionnement des roulements et systèmes d'entraînement ;
- L'hexafluorure de soufre comme milieu isolant pour les cellules de protection électrique ;
- Certains autres produits peuvent être utilisés lors des maintenances tels que des lubrifiants, produits de nettoyage. Leur utilisation ne nécessite cependant que quelques litres au plus.

La liste des produits chimiques présents dans les installations ou utilisés lors des maintenances est fournie à l'exploitant par le constructeur et le mainteneur accompagnée des fiches de donnée de sécurité associées.

### Potentiels de dangers de ces produits

- 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 (Depuis 1960, le gaz SF6 est utilisé en tant que gaz d'extinction de l'arc et gaz isolant pour les appareils à Haute & Moyenne Tension) est pour sa part ininflammable.

- 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).

- Dangerosité pour l'environnement

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

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

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

## 5.3 Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

Les dangers liés au fonctionnement d'un parc éolien 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 ;
- Court-circuit 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 11 : Liste des dangers potentiels identifiés dans le cadre du fonctionnement d'un parc éolien

## 5.4 Réduction des potentiels de dangers à la source

### 5.4.1 Principales actions préventives

#### 5.4.1.1 Choix de l'emplacement des installations et du modèle d'éolienne

Les éoliennes sont situées au centre d'un territoire agricole, à plus de 500 m des habitations situées aux abords. L'environnement immédiat jusqu'à une hauteur de chute de chaque éolienne est constitué principalement de terrains agricoles et de voies de communication peu fréquentées. La fréquentation liée aux activités agricoles ne représentera qu'une faible fréquentation du site. De plus, l'implantation s'éloigne au maximum des chemins agricoles et des voies communales, pour éviter leur survol par les pales. Plusieurs expertises ont été réalisées (Cf. étude d'impact, expertises acoustique et visuelle) afin de choisir un modèle adapté à ce projet.

Ces modèles d'aérogénérateurs sont en conformité avec la réglementation ICPE en associant puissance et efficacité acoustique. L'ensemble de ces caractéristiques garantit une sécurité optimale de l'installation. Elles sont bien entendues adaptées au régime de vent sur le site.

#### 5.4.1.2 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. L'utilisation du SF6 constitue déjà une mesure d'évitement du risque.

### 5.4.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles

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

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

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

## 6. ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE

6.1	Préambule.....	42
6.2	Inventaire des accidents et incidents en France .....	42
6.3	Inventaire des accidents et incidents à l'international.....	45
6.4	Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience.....	46

## 6.1 Préambule

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, littératures spécialisées, etc.). Ces bases de données sont cependant très différentes tant en termes de structuration des données qu'en termes de détail de l'information.

L'analyse des retours d'expérience vise donc ici à faire émerger des typologies d'accident rencontrés tant au niveau national qu'international. Ces typologies apportent un éclairage sur les scénarios les plus rencontrés. D'autres informations sont également utilisées dans la partie 8 pour l'analyse détaillée des risques.

## 6.2 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 Rumilly. 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). Celui-ci a été complété par la consultation de la base de données ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) en mars 2023.

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, consultation en mars 2023 ;
- 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 est complété en mars 2016, par 13 incidents supplémentaires enregistrés en France entre 2012 et fin 2015.

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 2015. 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.

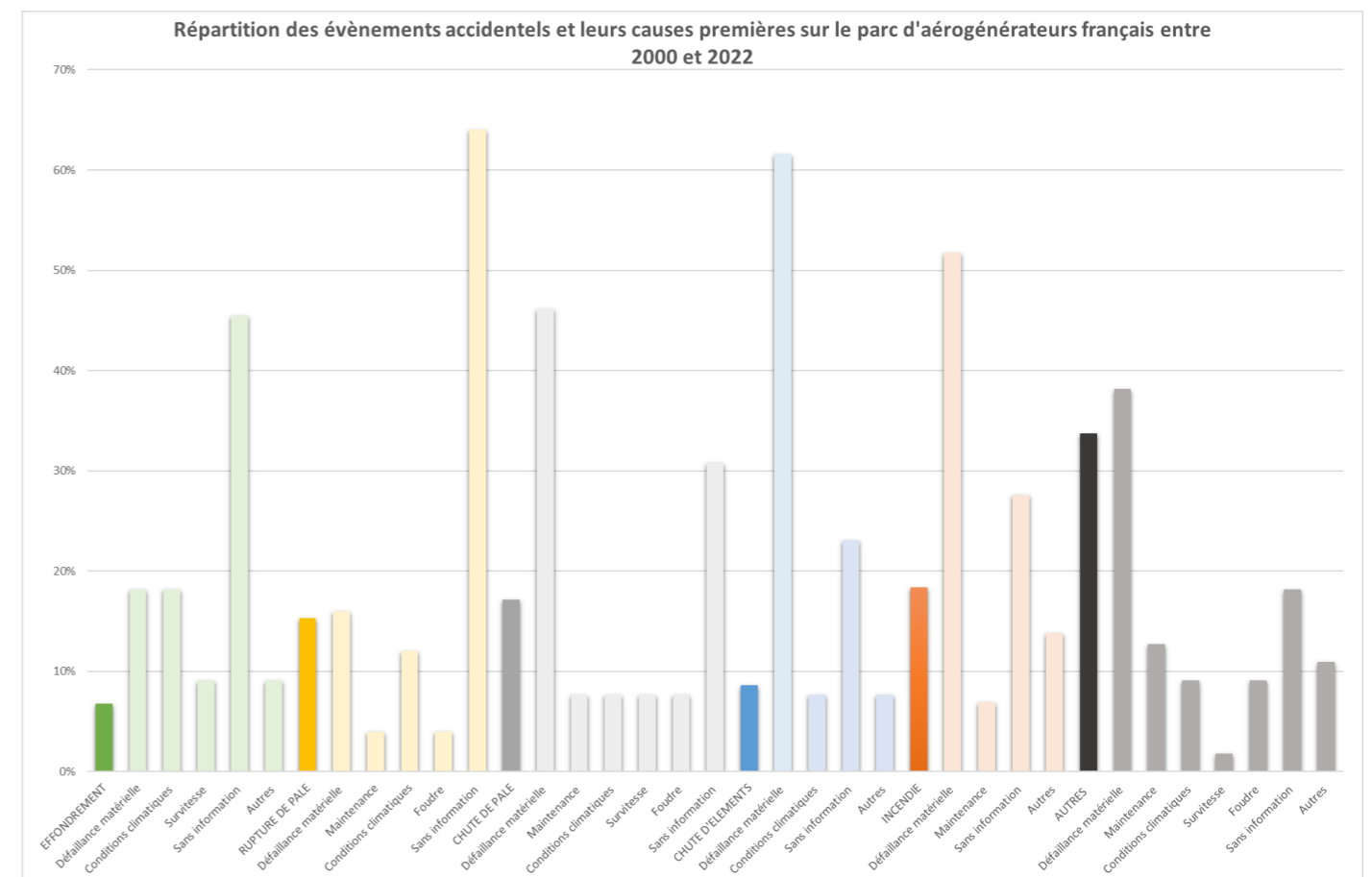


Figure 25 : Répartition des événements accidentels sur les parcs éoliens français entre 2000 et 2022

Par ordre d'importance, les accidents les plus recensés sont les incendies, les chutes de pale, les ruptures de pale, les chutes d'éléments et l'effondrement. La principale cause de ces accidents sont les tempêtes (hors incendies liés principalement à des défaillances électriques).

Sur la période 2016 / 2022 ont été recensés par la base de données ARIA :

Type d'incident	Commune	Date
Rupture de l'aérovein d'une pale d'éolienne	Cornilhac-Corbières (11)	07/02/2016
Electrisation d'un employé dans une éolienne	Les Grandes-Chapelles (10)	14/09/2016
Le vent endommage une éolienne	Dineault (29)	08/02/2016
Chute d'une pale d'éolienne	Calanhel (22)	07/03/2016
Chute d'une pale d'éolienne	Calanhel (22)	07/03/2016
Fuite d'huile dans une éolienne	Janville (28)	28/05/2016
Feu dans une éolienne	Dargies (60)	18/08/2016
Electrisation d'un employé dans une éolienne	Les Grandes-Chapelles (10)	14/09/2016
Fissure sur une pale d'éolienne	Le Quesnoy (59)	11/01/2017
Chute d'une pale d'une éolienne	Nurlu (80)	18/01/2017
Rupture des pales d'une éolienne	Tuchan (11)	12/01/2017
Chute d'un élément d'une éolienne	Trayes (79)	27/02/2017
Rupture d'une pale d'éolienne	Lavallée (55)	27/02/2017
Feu dans la nacelle d'une éolienne	Allonnes (72)	06/06/2017
Chute de pale d'éolienne due à la foudre	Aussac-Vadalle (16)	08/06/2017
Chute d'une pale d'éolienne	Conchy-sur-Canche (62)	24/06/2017
Chute d'un aérovein d'une éolienne	Fécamp (76)	17/07/2017
Fuite d'huile sur une éolienne	Mauron (56)	24/07/2017
Bris d'une pale d'éolienne	Priez (02)	05/08/2017
Chute du carénage d'une éolienne	Roman (27)	08/11/2017
Effondrement d'une éolienne	Bouin (85)	01/01/2018
Chute d'une pale d'éolienne	Nixeville-Blercourt (55)	04/01/2018
Chute d'une pale d'une éolienne	Nurlu (80)	18/01/2018
Chute de l'aérovein d'une pale d'éolienne	Cornilhac-Corbières (11)	06/02/2018
Défaillance mécanique d'une éolienne	Villers-Grelot (25)	08/03/2018
Incendies criminels dans un parc éolien	Marsanne (26)	01/06/2018
Incendie d'éolienne	Aumelas (34)	05/06/2018
Chute des extrémités de 2 pales d'une éolienne	Port-la-Nouvelle (11)	04/07/2018
Incendie d'éolienne propagé à la végétation	Sauveterre (30)	28/09/2018
Fuite d'huile hydraulique sur une éolienne	Flers-sur-Noye (80)	17/10/2018
Effondrement d'une éolienne	Guigneville (45)	06/11/2018

Type d'incident	Commune	Date
Chute de 3 aéroveins dans un parc éolien	Cornilhac-Corbières (11)	18/11/2018
Chute d'une pale d'éolienne	Ollezy (02)	19/11/2018
Incendie sur une éolienne	La Limouzinière (44)	03/01/2019
Chute d'une pale d'éolienne	Bambiderstroff (57)	17/01/2019
Incendies criminels dans un parc éolien	Roussas (26)	20/01/2019
Rupture du mat d'une éolienne	Boutavent (60)	23/01/2019
Chute d'une pale d'éolienne	Roquetaillade (11)	30/01/2019
Fissurations sur des roulements de pales d'éoliennes	Autechaux (25)	12/02/2019
Eolienne touché par la foudre	Equancourt (80)	02/04/2019
Electrisation lors de la maintenance d'une éolienne	Chailly-sur-Armançon (21)	15/04/2019
Incendie sur une éolienne	Quesnoy-sur-Airaines (80)	18/06/2019
Feu de moteur d'éolienne	Ambon (56)	25/06/2019
Chute d'un bout de pale d'une éolienne	Charly-sur-Marne (02)	27/06/2019
Impact de foudre sur une pale d'éolienne	Sigean (11)	03/07/2019
Chute d'aéroveins en bout de pale d'une éolienne	Escales (11)	04/09/2019
Chute du capot de la nacelle d'une éolienne	Hangest en Santerre (80)	28/11/2019
Perte de contrôle d'une éolienne lors d'une mise en service	Avelanges (21)	06/12/2019
Chute d'une partie de la pale d'une éolienne	La Forêt de Tesse (16)	09/12/2019
Fumée blanche au niveau d'une éolienne	Poinville (28)	16/12/2019
Incendie sur une éolienne	Ambonville (52)	17/12/2019
Chute d'un joint de pale d'une éolienne	Saint Seine l'Abbaye (21)	22/01/2020
Endommagement d'une nacelle d'éolienne lors d'une tempête	Wancourt (62)	09/02/2020
Rupture d'une pale d'éolienne lors du passage d'une tempête	Beaurevoir (02)	09/02/2020
Rupture d'une pale sur une éolienne	Theil Rabier (16)	26/02/2020
Incendie sur une éolienne	Boisbergues (80)	29/02/2020
Incendie d'une nacelle d'une éolienne	Flavin (12)	24/03/2020
Arrêt d'éoliennes à la suite de décès d'oiseaux	Poiseul la Ville et Laperrière (21)	30/03/2020
Ecoulement d'huile hydraulique le long d'une éolienne	Ruffiac (56)	10/04/2020
Incendie d'une éolienne au sol pour démantèlement	Le Vauclin (97)	20/04/2020

Type d'incident	Commune	Date
Pliure d'une éolienne	Plouarzel (29)	30/04/2020
Dégagement de fumée en nacelle d'une éolienne	Issanlas (07)	01/08/2020
Fuite d'huile sur une éolienne	Bouchy-Saint-Genest (51)	01/09/2020
Fuite d'huile sur une éolienne	Charmont-en-Beauce (45)	11/12/2020
Chute d'une pale d'éolienne	Saint-Georges-sur-Arnon (36)	12/01/2021
Casse d'une pale d'éolienne	Priez (02)	12/02/2021
Chute d'une pale d'éolienne	Patay (45)	13/02/2021
Chute d'un aérofrein d'une éolienne	Fécamp (76)	24/12/2021
Choc entre un oiseau migrateur et une pale d'éolienne	Conilhac-de-la-Montagne (11)	20/01/2022
Choc entre un oiseau migrateur et une pale d'éolienne	Conilhac-de-la-Montagne (11)	31/01/2022
Fuite d'huile sur une éolienne	Noirlieu (51)	03/02/2022
Fuite d'huile dans un parc éolien	Oresmaux (80)	10/02/2022
Eoliennes touchées par la cyberattaque d'un satellite	Coupelle-Vieille (62)	24/02/2022
Fuite d'huile d'une éolienne	Lislet (02)	24/03/2022
Panne informatique dans un parc éolien	Ondefontaine (14)	01/04/2022
Casse de la pale d'une éolienne	Saint-Félix-Lauragais (31)	02/04/2022
Choc entre un oiseau migrateur et une pale d'éolienne	Montgru-Saint-Hilaire (02)	17/04/2022
Choc entre un oiseau migrateur et une pale d'éolienne	Arconcey (21)	21/04/2022
Fuite d'huile dans un parc éolien	Riols (34)	27/04/2022
Chute d'une pale d'éolienne	Roquetaillade-et-Conilhac (11)	30/04/2022
Choc entre un oiseau migrateur et une pale d'éolienne	Brusque (12)	02/05/2022
Découverte d'un cadavre d'oiseau migrateur sur un parc éolien	Iwuy (59)	18/05/2022
Déversement d'huile de multiplicatrice sur un parc éolien	Assac (81)	29/05/2022
Choc entre un oiseau migrateur et une pale d'éolienne	Lion-en-Beauce (45)	20/06/2022

Type d'incident	Commune	Date
Choc entre un oiseau migrateur et une pale d'éolienne	Salles-Curan (12)	20/06/2022
Choc entre un chiroptère et une pale d'éolienne	Arcy-sur-Cure (89)	27/06/2022
Choc entre un oiseau migrateur et une pale d'éolienne	Pringy (51)	10/07/2022
Choc entre un oiseau migrateur et une pale d'éolienne	Séverac d'Aveyron (12)	16/07/2022
Choc entre un oiseau migrateur et une pale d'éolienne	Ally (43)	22/07/2022
Choc entre un oiseau migrateur et une pale d'éolienne	Poiseul-la-Ville-et-Laperrière (21)	23/07/2022
Choc entre un oiseau migrateur et une pale d'éolienne	Murat-sur-Vèbre (81)	25/07/2022
Choc entre un oiseau migrateur et une pale d'éolienne	Les Villages Vovéens (28)	02/08/2022
Feu sur une éolienne	Pont-Melvez (22)	05/08/2022
Choc entre un oiseau migrateur et une pale d'éolienne	Les Villages Vovéens (28)	16/08/2022
Découverte d'un cadavre de chiroptère sur un parc éolien	Lion-en-Beauce (45)	17/08/2022
Feu sur une éolienne	Coole (51)	22/08/2022
Découverte d'un cadavre de chiroptère sur un parc éolien	Stenay (55)	23/08/2022
Découverte d'un cadavre de chiroptère sur un parc éolien	Lion-en-Beauce (45)	24/08/2022
Découverte d'un cadavre de chiroptère sur un parc éolien	Greneville-en-Beauce (45)	29/08/2022
Choc entre un oiseau migrateur et une pale d'éolienne	Murasson (12)	01/09/2022
Découverte de cadavres d'oiseaux migrants dans un parc éolien	Murat-sur-Vèbre (81)	13/09/2022
Fuite d'huile sur une éolienne	Les Touches (44)	19/09/2022
Découverte d'un cadavre de faucon crécerelle au pied d'une éolienne	Thieux (60)	24/09/2022
Découverte d'un cadavre de chiroptère sur un parc éolien	Villesèque-des-Corbières (11)	25/09/2022

Type d'incident	Commune	Date
Découverte d'un cadavre de faucon crécerelle au pied d'une éolienne	Thieux (60)	03/10/2022
Intrusion dans un parc éolien	Joncels (34)	24/10/2022

Tableau 12 : Incidents recensés entre 2016 et 2022

### 6.3 Inventaire des accidents et incidents à l'international

Un inventaire des incidents et accidents à l'international a également été réalisé. Il se base lui aussi sur le retour d'expérience de la filière éolienne fin 2015.

La synthèse graphique ci-contre provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur les 1 826 accidents décrits dans la base de données au moment de sa consultation par le groupe de travail précédemment mentionné, seuls 804 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.

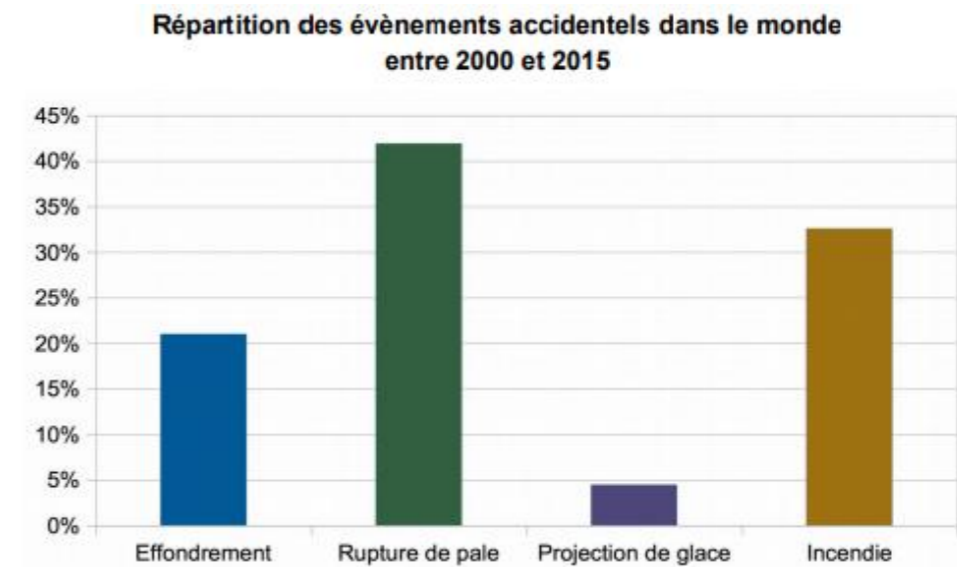


Figure 26 : Répartition des accidents liés à des parcs éoliens dans le monde entre 2000 et 2015

La répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2015 est du même ordre de grandeur que celle qui avait été observé entre 2000 et 2011 par le groupe de travail de SER/ FEE.

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

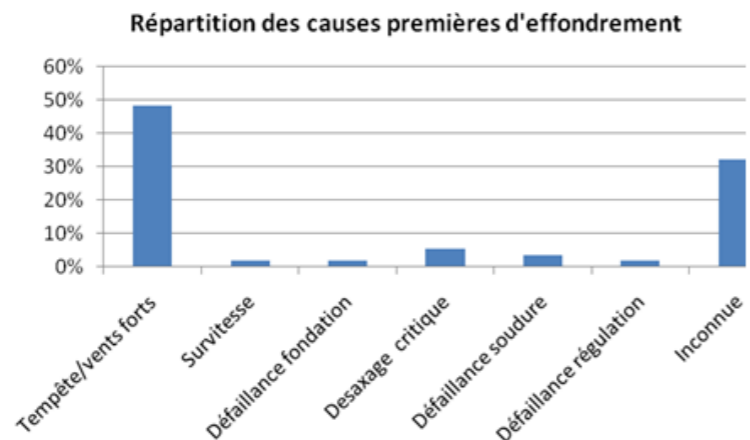


Figure 27 : Répartition des causes premières d'effondrement

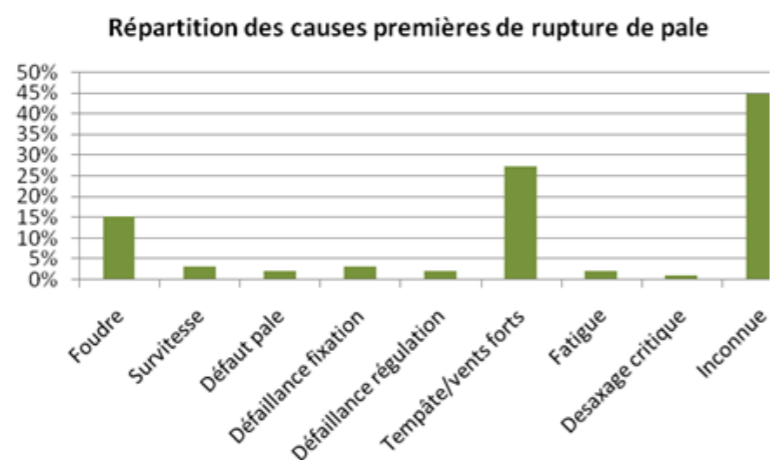


Figure 28 : Répartition des causes premières de rupture de pale

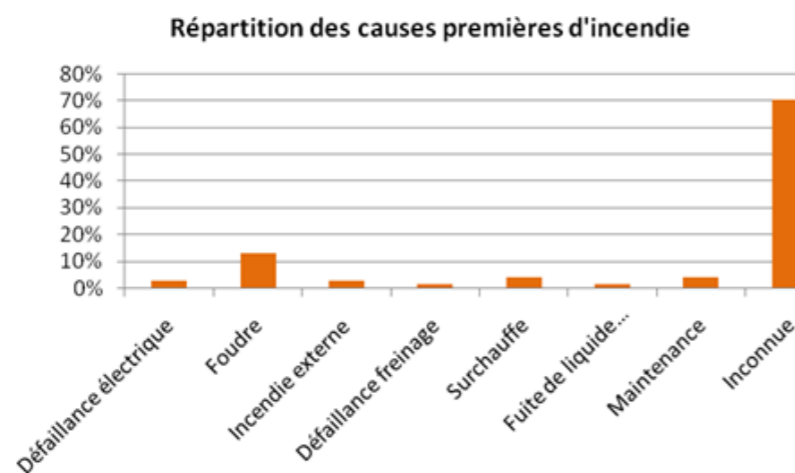


Figure 29 : Répartition des causes premières d'incendie

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.

## 6.4 Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience

### 6.4.1 Analyse des accidents majeurs sur les sites de l'exploitation

La société NOTUS Energy, société-mère de la SPV MONTARNASSE et future exploitante technique du parc, ne déplore aucun accident majeur sur ses parcs en exploitation.

La SPV MONTARNASSE, n'exploite à l'heure actuelle aucun parc éolien.

### 6.4.2 Analyse d'évolution des accidents en France

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

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

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

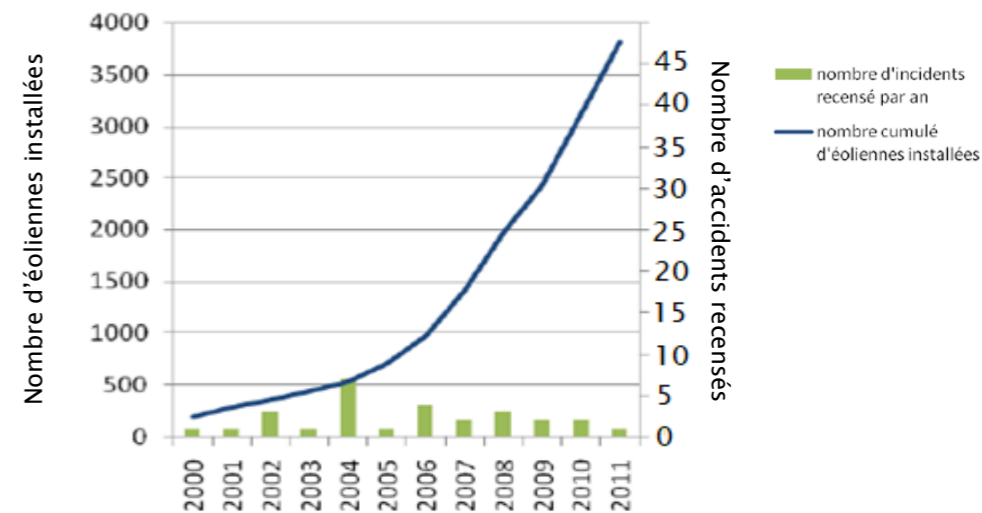


Figure 30 : Evolution du nombre d'incidents annuels et nombre d'éoliennes installées

Sur ce graphique, on note bien l'essor de la filière française à partir de 2005, alors que le nombre d'accidents reste relativement constant.

### 6.4.3 Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

Les retours d'expérience de la filière éolienne française et internationale permettent d'identifier les principaux événements redoutés suivants :

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

### 6.4.4 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).
- 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.

L'ensemble de ces retours d'expérience est issu du guide INERIS de 2011, les éventuels incidents plus récents (relayé via la presse, la filière éolienne, etc.) ne viennent pas remettre en cause la typologie des incidents mis en évidence par l'analyse précédente.

## 7. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

7.1	Objectif de l'analyse préliminaire des risques .....	49
7.2	Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques .....	49
7.3	Recensement des agressions externes potentielles.....	49
7.4	Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques (APR) .....	51
7.5	Effets dominos.....	55
7.6	Mise en place des mesures de sécurité .....	55
7.7	Conclusions de l'analyse préliminaire des risques .....	62

## 7.1 Objectif de l'analyse préliminaire des risques

L'analyse des risques a pour objectif principal d'identifier les scénarios d'accident majeurs et les mesures de sécurité qui empêchent ces scénarios de se produire ou en limitent les effets. Cet objectif est atteint au moyen d'une identification de tous les scénarios d'accident potentiels pour une installation (ainsi que des mesures de sécurité) 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.

## 7.2 Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques

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

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

D'autre part, plusieurs autres agressions externes qui ont été détaillées dans l'état initial peuvent être exclues de l'analyse préliminaire des risques car les conséquences propres de ces événements, en termes de gravité et d'intensité, sont largement supérieures aux conséquences potentielles de l'accident qu'ils pourraient entraîner sur les aérogénérateurs.

Le risque de sur-accident lié à l'éolienne est considéré comme négligeable dans le cas des événements suivants :

- Inondations ;
- Séismes d'amplitude suffisante pour 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.

## 7.3 Recensement des agressions externes potentielles

### 7.3.1 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 ;
- La présence d'autres aérogénérateurs qui sera signalée jusqu'à une distance de 500 m.

Dans le cas du parc éolien de Rumilly, les éoliennes se situent en cœur de parcelles agricoles, aucun élément à recenser ne se trouve dans les périmètres considérés.

Infrastructure	Fonction	Événement redouté	Danger potentiel	Périmètre	E1	E2	E3
RD 132	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermique	200 m	1 040 m	1 420 m	1 780 m
RD 148					1 525 m	1 580 m	1 500 m
RD 129					2 063 m	1640 m	1 203 m
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2 000 m	-	-	-
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	250 m	270 m	280 m
Canalisation de gaz	Transport de gaz	Rupture de canalisation	Flux thermique	200 m	>1000	>1000	>1000
Autres aérogénérateurs	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	E1	424 m	861 m
					E2	424 m	438 m
					E3	861 m	438 m
					Autre parc	>1000	>1000

*Tableau 13 : Principales agressions externes liées aux activités humaines*

### 7.3.2 Agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

Agression externe	Intensité
Vents et tempête	Risque très supérieur à la moyenne dans le département du Pas-de-Calais
Foudre	Risque modéré Application de la norme IEC 61400-24
Glissement de sols / affaissements miniers	Aucun mouvement de terrain
Séisme	Sismicité faible

Tableau 14 : Principales agressions externes liées aux phénomènes naturels

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 61400-24 (Juin 2010) ou la norme EN 62305-3 (Décembre 2006) est respectée. Ces conditions sont reprises dans la fonction de sécurité ci-après.

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

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

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

- Une description des causes et de leur séquençage (*événements initiateurs* et *événements intermédiaires*) ;
- Une description des événements redoutés centraux qui marquent la partie incontrôlée de la séquence d'accident ;
- Une description des fonctions de sécurité permettant de prévenir l'évènement 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'évènements 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
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 toxiquesSF6) 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

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
C02	Défaillance fixation anémomètre	Chute anémomètre	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
C03	Défaut fixation nacelle - pivot central - mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop importantes sur les pales	Projection de tout ou partie d'une pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie d'une 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 d'une pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	2
E01	Effets dominos autres installations	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E02	Glissement de sol	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E05	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E07	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du plan de prévention (N°13)	Chute fragments et chute mât	2
E08	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation) (N° 9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°12) Dans les zones cycloniques, mettre en place un système de prévision cyclonique et équiper les éoliennes d'un dispositif d'abattage et d'arrimage au sol (N°13)	Projection/chute fragments et chute mât	2

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

*Tableau 15 : Scénarios d'accident pouvant potentiellement apparaître sur le parc*

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.

## 7.5 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 mètres. Ainsi, aucune éolienne ne se trouve à moins de 100 mètres des éoliennes du parc éolien de Rumilly.

## 7.6 Mise en place des mesures de sécurité

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

Un principe clé du processus d'élaboration d'une étude de dangers est qu'elle doit être proportionnelle au niveau de risques engendrés par les éoliennes sur leur environnement. Dans ce cadre, il est réalisé une description simple des mesures de sécurité mises en œuvre sur les machines. En particulier, les analyses poussées demandées aux installations classées soumises à autorisation avec servitudes (AS) ne seront pas menées ici.

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

- **Fonction de sécurité** : il est proposé ci-dessous un tableau par fonction de sécurité. Cet intitulé décrit l'objectif de la ou des mesure(s) de sécurité : il s'agira principalement de « empêcher, éviter, détecter, contrôler ou limiter » et sera en relation avec un ou plusieurs événements conduisant à un accident majeur identifié dans l'analyse des risques. Plusieurs mesures de sécurité peuvent assurer une même fonction de sécurité.
- **Numéro de la fonction de sécurité** : ce numéro vise à simplifier la lecture de l'étude de dangers en permettant des renvois à l'analyse de risque par exemple.
- **Mesures de sécurité** : cette ligne permet d'identifier les mesures assurant la fonction concernée. Dans le cas de systèmes instrumentés de sécurité, tous les éléments de la chaîne de sécurité sont présentés (détection + traitement de l'information + action).
- **Description** : cette ligne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires.
- **Indépendance** (« oui » ou « non ») : cette caractéristique décrit le niveau d'indépendance d'une mesure de maîtrise des risques vis-à-vis des autres systèmes de sécurité et des scénarios d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner « oui ») ou non (renseigner « non »).
- **Temps de réponse** (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité.
- **Efficacité** (100% ou 0%) : l'efficacité mesure la capacité d'une mesure de maîtrise des risques à remplir la fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation.
- **Test** (fréquence) : dans ce champ sont rappelés les tests/essais qui seront réalisés sur les mesures de maîtrise des risques. Conformément à la réglementation, un essai d'arrêt, d'arrêt d'urgence et d'arrêt à partir d'une situation de 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.

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
Mesures de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage.		
Description	Système de détection redondant du givre permettant, en cas de détection de glace, une mise à l'arrêt rapide de l'aérogénérateur. Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site.		
Indépendance	Non Les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc.		
Temps de réponse	Immédiat (L'alarme est déclenchée dès que le capteur est gelé ou détecte de la neige.)		
Efficacité	100 %		
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne.		
Maintenance	Vérification des capteurs du système de détection de givre lors des maintenances préventives annuelles		

Tableau 16 : Mesures de prévention lors de la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace

Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité	2
Mesures de sécurité	Panneautage en pied de machine. Eloignement des zones habitées et fréquentées.		
Description	Mise en place de panneaux informant de la possible formation de glace en pied de machines (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011).		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Non Applicable (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.		

Tableau 17 : Mesures de prévention contre l'atteinte des personnes par la chute de glace

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
<b>Mesures de sécurité</b>	Capteurs de température des pièces mécaniques. Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes. Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement. Systèmes de refroidissement indépendants pour le multiplicateur et la génératrice		
<b>Description</b>	/		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	NA		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne.		
<b>Maintenance</b>	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. Maintenance préventive semestrielle de la génératrice et de son système de refroidissement, ainsi que du multiplicateur (y compris le système de refroidissement de l'huile du multiplicateur). Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Tableau 18 : Mesures de prévention contre l'échauffement significatif des pièces mécaniques

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
<b>Mesures de sécurité</b>	Détection de survitesse et système de freinage. Eléments du système de protection contre la survitesse conformes aux normes IEC 61508 (SIL 2) et EN 954-1		
<b>Description</b>	Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande. NB : Le système de freinage est constitué d'un frein aérodynamique principal (mise en drapeau des pales) et/ou d'un frein mécanique auxiliaire.		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	15 à 60s (arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage adapté) 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.		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	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.		
<b>Maintenance</b>	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement. Maintenance préventive annuelle de l'éolienne avec notamment contrôle de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Tableau 19 : Mesures de prévention contre la survitesse

Fonction de sécurité	Prévenir les courts-circuits	N° de la fonction de sécurité	5
Mesures de sécurité	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.		
Description	Les organes et armoires électriques de l'éolienne sont équipés d'organes de coupures et de protection adéquats et correctement dimensionnés. Tout fonctionnement anormal des composants électriques est suivi d'une coupure de la transmission électrique et à la transmission d'un signal d'alerte vers l'exploitant qui prend alors les mesures appropriées.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	De l'ordre de la seconde		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Des vérifications de tous les composants électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrées dans la plupart des mesures de maintenance préventive mises en œuvre.  Les installations électriques sont contrôlées avant la mise en service du parc puis à une fréquence annuelle, conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011.		

Tableau 20 : Mesures de prévention contre les courts-circuits

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur.		
Description	Respect de la norme IEC 61 400 - 24 (juin 2010)  Parafoudres sur la nacelle + récepteurs de foudre sur les 2 faces des pales et mise à la terre (nacelle/mât, sections de mât, mât/fondation)  Parasurtenseurs sur les circuits électriques.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	Mesure de terre lors des vérifications réglementaires des installations électriques		
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.  Contrôle de l'état de l'installation de mise à la terre dans le mât à chaque maintenance préventive.		

Tableau 21 : Mesures de prévention contre la foudre

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
<b>Mesures de sécurité</b>	<p>Capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne pouvant permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de la machine.</p> <p>Système de détection incendie relié à une alarme transmise à un poste de contrôle.</p> <p>Intervention des services de secours.</p>		
<b>Description</b>	<p>Détecteurs de fumée qui lors de leur déclenchement conduisent à la mise en arrêt de la machine et au découplage du réseau électrique. De manière concomitante, un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance.</p> <p>L'éolienne est également équipée d'extincteurs qui peuvent être utilisés par les personnels d'intervention (cas d'un incendie se produisant en période de maintenance).</p> <p>Plan d'intervention avec le SDIS.</p>		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	<p>&lt; 1 minute pour les détecteurs et l'enclenchement de l'alarme L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur. Le temps d'intervention des services de secours est quant à lui dépendant de la zone géographique.</p>		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	Vérification de la plausibilité des mesures de température et des détecteurs de fumée à la mise en service.		
<b>Maintenance</b>	<p>Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011.</p> <p>Le matériel incendie (type extincteurs) est contrôlé périodiquement par le fabricant du matériel ou un organisme extérieur.</p> <p>Maintenance curative à la suite d'une défaillance du matériel.</p>		

Tableau 22 : Mesures de protection et d'intervention en cas d'incendie

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
<b>Mesures de sécurité</b>	<p>Détecteurs de niveau d'huiles</p> <p>Systèmes d'étanchéité et dispositifs de collecte / récupération</p> <p>Procédure d'urgence</p> <p>Kit antipollution</p>		
<b>Description</b>	<p>Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence.</p> <p>Présence de plusieurs bacs collecteurs au niveau des principaux composants.</p> <p>Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange.</p> <p>Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• De contenir et arrêter la propagation de la pollution ;</li> <li>• D'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...) ;</li> <li>• De récupérer les déchets absorbés.</li> </ul> <p>Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, une société spécialisée récupérera et traitera le gravier souillé via les filières adéquates, puis le remplacera par un nouveau revêtement.</p>		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	Dépendant du débit de fuite		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	/		
<b>Maintenance</b>	<p>Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement</p> <p>Inspection des niveaux d'huile plusieurs fois par an.</p> <p>Contrôles visuels fréquents</p>		

Tableau 23 : Mesures de prévention et de rétention en cas de fuite

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
<b>Mesures de sécurité</b>	Surveillance des vibrations Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.). Procédures qualités. Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire).		
<b>Description</b>	La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne.  Ainsi la nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23.  Les éoliennes sont équipées de capteurs de vibration, qui entraînent l'arrêt en cas de dépassement des seuils définis.  Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223 (peinture et revêtement anti-corrosion).		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	15 à 60s (arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage adapté)		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	Déclenchement manuel des capteurs de vibration et vérification de la réponse du système		
<b>Maintenance</b>	Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du pitch system, couronne du Yaw Gear, boulons de fixation de la nacelle...) sont vérifiés au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011.  Inspection visuelle du mât et, si besoin, nettoyage lors des maintenances préventives annuelles.		

Tableau 24 : Mesures de prévention contre les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage

Fonction de sécurité	Prévenir les erreurs de maintenance	N° de la fonction de sécurité	10
<b>Mesures de sécurité</b>	Procédure maintenance.		
<b>Description</b>	Préconisations du manuel de maintenance.  Formation du personnel.		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	NA		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	Vérifications en réunion annuelle.		
<b>Maintenance</b>	NA		

Tableau 25 : Mesures de prévention contre les erreurs de maintenance

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	11
<b>Mesures de sécurité</b>	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes. Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pâles) par le système de conduite.		
<b>Description</b>	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale pour laquelle elle a été conçue.		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	15 à 60 s suivant le programme de freinage		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	Test des programmes de freinage lors de la mise en service de l'éolienne. Test automatique du système de freinage mécanique et du fonctionnement de chaque système pitch (freinage aérodynamique) lors de la séquence de démarrage de l'éolienne.		
<b>Maintenance</b>	Maintenance préventive du système pitch (les points contrôlés varient suivant le type de maintenance - T1 / T2 / T3 / T4), notamment vérification du câblage et du système de lubrification automatique, graissage des roulements de pitch. Maintenance préventive du frein mécanique (les points contrôlés varient suivant le type de maintenance - T1 / T2 / T3 / T4), notamment inspection visuelle, vérification de l'épaisseur des plaquettes de frein et des capteurs du frein mécanique.		

Tableau 26 : Mesures de prévention contre les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort

Fonction de sécurité	Empêcher la perte de contrôle de l'éolienne en cas de défaillance réseau	N° de la fonction de sécurité	12
<b>Mesures de sécurité</b>	Détection des défaillances du réseau électrique Batteries pour chaque système pitch Système d'alimentation sans coupure (UPS)		
<b>Description</b>	Surveillance du réseau + surveillance des défaillances réseau par le convertisseur principal qui entraîne la déconnexion de l'éolienne du réseau électrique. Commande de l'éolienne et communication externe assurées pendant environ 10 min, permettant l'arrêt automatique de l'éolienne.		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	150 ms pour identifier une défaillance réseau 15 à 60 s pour l'arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage		
<b>Efficacité</b>	100%		
<b>Tests</b>	Vérification de la charge des batteries d'alimentation de secours des systèmes pitch lors de la séquence de démarrage de l'éolienne		
<b>Maintenance</b>	Remplacement des batteries du système pitch au cours de la maintenance quinquennale. Maintenance curative à la suite d'une défaillance du matériel.		

Tableau 27 : Mesures de prévention pour empêcher la perte de contrôle de l'éolienne en cas de défaillance réseau

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

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.

## 7.7 Conclusions de l'analyse préliminaire des risques

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

Nom du scénario exclu	Justification
<b>Incendie de l'éolienne (effets thermiques)</b>	<p>En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m<sup>2</sup> 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 encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques.</p> <p>Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.</p>
<b>Incendie du poste de livraison ou du transformateur</b>	<p>En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 août 2011 [9] et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200)</p>
<b>Chute et projection de glace dans les cas particuliers où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C</b>	<p>Lorsqu'un aérogénérateur est implanté sur un site où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C, il peut être considéré que le risque de chute ou de projection de glace est nul.</p> <p>Des éléments de preuves doivent être apportés pour identifier les implantations où de telles conditions climatiques sont applicables.</p> <p>Ce cas ne s'applique pas au secteur du projet.</p>
<b>Infiltration d'huile dans le sol</b>	<p>En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs.</p>

*Tableau 28 : Catégories de scénarios exclus de l'étude de dangers*

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.

## 8. ETUDE DETAILLEE DES RISQUES

8.1	Préambule.....	64
8.2	Rappel des définitions .....	64
8.3	Caractérisation des scénarios retenus.....	67
8.4	Synthèse de l'étude détaillée .....	77

## 8.1 Préambule

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.

## 8.2 Rappel des définitions

Les règles méthodologiques applicables pour la détermination de l'intensité, de la gravité et de la probabilité des phénomènes dangereux sont précisées dans l'arrêté ministériel du 29 septembre 2005.

Cet arrêté ne prévoit de détermination de l'intensité et de la gravité que pour les effets de surpression, de rayonnement thermique et de toxique.

Cet arrêté est complété par la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003.

Cette circulaire précise en son point 1.2.2 qu'à l'exception de certains explosifs pour lesquels les effets de projection présentent un comportement caractéristique à faible distance, les projections et chutes liées à des ruptures ou fragmentations ne sont pas modélisées en intensité et gravité dans les études de dangers.

Force est néanmoins de constater que ce sont les seuls phénomènes dangereux susceptibles de se produire sur des éoliennes.

Afin de pouvoir présenter des éléments au sein de cette étude de dangers, il est proposé de recourir à la méthode ad hoc préconisée par le guide technique nationale 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.

### 8.2.1 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.

### 8.2.2 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).

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 caractérisent des phénomènes dangereux dont l'intensité s'exerce dans toutes les directions autour de l'origine du phénomène, pour des effets de surpression, toxiques ou thermiques). Ces seuils ne sont donc pas adaptés aux accidents générés par les aérogénérateurs.

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

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

- 5% d'exposition : seuils d'exposition très forte ;
- 1% d'exposition : seuil d'exposition forte.
- Le degré d'exposition est défini comme le rapport entre la surface atteinte par un élément chutant ou projeté et la surface de la zone exposée à la chute ou à la projection.

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

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

### 8.2.3 Gravité

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

Intensité	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition très forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée
<b>Gravité</b>			
« 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 »

La détermination du nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) présentes dans chacune des zones d'effet est effectuée à l'aide de la méthode présentée en annexe 1. Cette méthode 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.

### 8.2.4 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)
<b>A</b>	<b>Courant</b> 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>B</b>	<b>Probable</b> S'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations.	$10^{-3} < P \leq 10^{-2}$
<b>C</b>	<b>Improbable</b> 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.	$10^{-4} < P \leq 10^{-3}$
<b>D</b>	<b>Rare</b> S'est déjà produit, mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité.	$10^{-5} < P \leq 10^{-4}$
<b>E</b>	<b>Extrêmement rare</b> Possible, mais non rencontré au niveau mondial. N'est pas impossible au vu des connaissances actuelles.	$\leq 10^{-5}$

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

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

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

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

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

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

- $P_{\text{ERC}}$  = 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)
- $P_{\text{rotation}}$  = probabilité que l'éolienne soit en rotation au moment où l'événement redouté se produit (en fonction de la vitesse du vent notamment)
- $P_{\text{atteinte}}$  = 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 ( $P_{\text{accident}}$ ) à la probabilité de l'événement redouté central ( $P_{\text{ERC}}$ ) a été retenue.

### 8.2.5 Acceptabilité

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.

Conséquence	Classe de probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux	Yellow	Red	Red	Red	Red
Catastrophique	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
Important	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
Sérieux	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
Modéré	Green	Green	Green	Green	Yellow

Légende de la matrice :

Niveau de risque	Code Couleur	Acceptabilité
Risque très faible	Green	Acceptable
Risque faible	Yellow	Acceptable
Risque important	Red	Non acceptable

*Tableau 29 : Matrice d'acceptabilité des risques*

## 8.3 Caractérisation des scénarios retenus

Pour les éoliennes du parc éolien de Rumilly, le modèle retenu la Nordex N131 3,6 MW. Le gabarit des machines se présente comme suit :

Modèle	NORDEX N131
Puissance nominale	3,6 MW
Diamètre du rotor	131 m
Longueur d'une pale	64,4 m
Largeur maximale d'une pale	3,94 m
Hauteur du moyeu	99 m
Diamètre maximum à la base du mât	4,3 m
Hauteur en bout de pale	164,5 m
Hauteur du mât	96,9 m

*Tableau 30 : Caractéristiques du modèle d'éolienne pressenti*

### 8.3.1 Effondrement de l'éolienne

#### 8.3.1.1 Zone d'effet

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 164,5 m pour les éoliennes E1 à E3.

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.

#### 8.3.1.2 Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne dans le cas des éoliennes du parc de Rumilly.

R est la longueur de pale (R= 64,4 m), H la hauteur de mât (H= 96,9 m) et L est la largeur du mât (L = 4,3 m).

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale) : 164,5 m				
Numéro Eolienne	Zone d'impact en m <sup>2</sup>	Zone d'effet du phénomène étudié en m <sup>2</sup>	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$(H) \times L + 3 \times R \times L B / 2$	$\pi \times (H+R)^2$		
E1 à E3	797,27	81 739,98	0,98	Exposition Modérée

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

### 8.3.1.3 Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe 8.2.3.), 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 :

Pour l'éolienne E1 :

- Plus de 100 personnes exposées : « Désastreux » ;
- Entre 100 et 100 personnes exposées : « Catastrophique » ;
- Entre 1 et 10 personnes exposées : « Important » ;
- Au plus 1 personne exposée : « Sérieux » ;
- Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement : « Modéré ».

Pour les éoliennes E2 à E4 :

- Plus de 1 000 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 :

Parc éolien de Rumilly				
Effondrement de l'éolienne				
(dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)				
Eolienne	Occupation du sol	Surface de la zone d'effet (en m²)		Calcul du nombre d'équivalent personne permanente
		Terrains non aménagés	Terrains aménagés et peu fréquentés	
E1	Zone agricole	77 166 m²	4 570 m²	0,12
E2	Zone agricole	78 097 m²	3 639 m²	0,11
E3	Zone agricole	78 114 m²	3 622 m²	0,11

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

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 :

Parc éolien de Rumilly		
Effondrement de l'éolienne		
(dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,12	Sérieuse
E2	0,11	Sérieuse
E3	0,11	Sérieuse

La « Gravité » est donc au niveau modéré pour les éoliennes E2 à E4 du parc et sérieux pour l'éolienne E1.

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

Dans le périmètre délimité par l'effondrement de l'éolienne, le terrain est constitué de terres agricoles et de voies peu fréquentées. Pour les éoliennes E2 à E4, le nombre de personnes exposées sera donc inférieur à 1 et compris entre 1 et 10 pour l'éolienne E1.

La gravité retenue sera donc considérée comme « Modérée » pour les éoliennes E2 à E4 et « Sérieuse » pour l'éolienne E1.

### 8.3.1.4 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 x 10 <sup>-4</sup>	Retour d'expérience
Specification of minimum distances [6]	1,8 x 10 <sup>-4</sup> (effondrement de la nacelle et de la tour)	Retour d'expérience

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

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

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 septembre 2005 d'une probabilité « C », à savoir : « Evènement 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'évènement.

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

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

On note d'ailleurs, dans le retour d'expérience français, qu'aucun effondrement n'a eu lieu sur les éoliennes mises en service après 2010.

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation permet de s'assurer que les éoliennes font l'objet de mesures réduisant significativement la probabilité 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 ».

### 8.3.1.5 Acceptabilité

Dans le cas d'implantation d'éoliennes équipées des technologies récentes, compte tenu de la classe de probabilité d'un effondrement, on pourra conclure à l'acceptabilité de ce phénomène si moins de 10 personnes sont exposées.

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

Parc éolien de Rumilly		
Effondrement de l'éolienne		
(dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Sérieuse	Acceptable
E2	Sérieuse	Acceptable
E3	Sérieuse	Acceptable

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

## 8.3.2 Chute de glace

### 8.3.2.1 Considération générale

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 variant entre 2 et 7 jours de formation de glace par an. Lors des périodes de dégel qui suivent les périodes de grand froid, des chutes de glace peuvent se produire depuis la structure de l'éolienne (nacelle, pales). Normalement, le givre qui se forme en fine pellicule sur les pales de l'éolienne fond avec le soleil.

En cas de vents forts, des morceaux de glace peuvent se détacher. Ils se désagrègent généralement avant d'arriver au sol. Ce type de chute de glace est similaire à ce qu'on observe sur d'autres bâtiments et infrastructures.

### 8.3.2.2 Zone d'effet

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne. Pour les éoliennes du parc éolien de Rumilly, la zone d'effet à donc un rayon de 65,5 m pour les éoliennes E1 à E3.

Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

### 8.3.2.3 Intensité

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

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

R est la longueur de pale (R= 64,4 m), H la hauteur de mât (H= 96,9 m) et L est la largeur du mât (L = 4,3 m).

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol) : 65,5 m				
Numéro Eolienne	Zone d'impact en m <sup>2</sup>	Zone d'effet du phénomène étudié en m <sup>2</sup>	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$H * L + 3 * R * L B / 2$	$\pi * (H + R)^2$		
E1 à E3	1,00	13 029,32	0,01%	Exposition Modérée

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

### 8.3.2.4 Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe 8.2.3.), 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 :

Parc éolien de Rumilly				
Chute de glace				
(dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)				
Eolienne	Occupation du sol	Surface de la zone d'effet (en m <sup>2</sup> )		Calcul du nombre d'équivalent personne permanente
		Terrains non aménagés	Terrains aménagés et peu fréquentés	
E1	Zone agricole	10 196 m <sup>2</sup>	2 833 m <sup>2</sup>	0,04
E2	Zone agricole	10 222 m <sup>2</sup>	2 807 m <sup>2</sup>	0,04
E3	Zone agricole	10 543 m <sup>2</sup>	2 486 m <sup>2</sup>	0,04

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 :

Parc éolien de Rumilly		
Chute de glace		
(dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,04	Modérée
E2	0,04	Modérée
E3	0,04	Modérée

Dans le périmètre délimité par la zone de survol de l'éolienne, le terrain est constitué de terres agricoles et peu fréquenté. Pour les éoliennes du projet, le nombre de personnes exposées sera donc inférieur à 1.

La gravité sera donc « Modérée ».

### 8.3.2.5 Probabilité

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

### 8.3.2.6 Acceptabilité

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

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

Parc éolien de Rumilly		
Chute de glace		
(dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	« Modéré »	« Acceptable »
E2	« Modéré »	« Acceptable »
E3	« Modéré »	« Acceptable »

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

Il convient également de rappeler que, conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 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.

### 8.3.3 Chute d'éléments de l'éolienne

#### 8.3.3.1 Zone d'effet

La chute d'éléments comprend la chute de tous les équipements situés en hauteur : trappes, boulons, morceaux de pales ou pales entières. Le cas majorant est ici le cas de la chute de pale. Il est retenu dans l'étude détaillée des risques pour représenter toutes les chutes d'éléments.

Le risque de chute d'éléments est cantonné à la zone de survol des pales, c'est-à-dire une zone d'effet correspondant à un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor, soit 65,5 m pour les éoliennes E1 à E3.

#### 8.3.3.2 Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas des éoliennes du parc éolien de Rumilly.

R est la longueur de pale (R= 64,4 m), H la hauteur de mât (H= 96,9 m) et L est la largeur du mât (L = 4,3 m).

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol) : 65,5 m (E1 à E3)				
Numéro Eolienne	Zone d'impact en m <sup>2</sup>	Zone d'effet du phénomène étudié en m <sup>2</sup>	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$H * L + 3 * R * LB / 2$	$\pi * (H+R)^2$	$d = Zi / Z_E$	
E1 à E3	126,87	13 029,32	0,97%	Exposition Modérée

#### 8.3.3.3 Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe 8.2.3.), 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 d'éléments et la gravité associée :

Parc éolien de Rumilly Chute d'éléments (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)				
Eolienne	Occupation du sol	Surface de la zone d'effet (en m <sup>2</sup> )		Calcul du nombre d'équivalent personne permanente
		Terrains non aménagés	Terrains aménagés et peu fréquentés	
E1	Zone agricole	10 196 m <sup>2</sup>	2 833 m <sup>2</sup>	0,04
E2	Zone agricole	10 222 m <sup>2</sup>	2 807 m <sup>2</sup>	0,04
E3	Zone agricole	10 543 m <sup>2</sup>	2 486 m <sup>2</sup>	0,04

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

Parc éolien de Rumilly Chute d'éléments (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,04	Modérée
E2	0,04	Modérée
E3	0,04	Modérée

Il est à noter que pour le parc éolien de Rumilly, la zone de survol de l'éolienne est constituée de terres agricoles et peu fréquentées (1 personne par tranche de 100 ha d'après la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010).

Le niveau de gravité sera donc « Modéré ».

### 8.3.3.4 Probabilité

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

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

Ces évènements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 Septembre 2005 d'une probabilité « C » : « Evènement 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'évènement.

### 8.3.3.5 Acceptabilité

Avec une classe de probabilité « C », le risque de chute d'éléments pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un nombre de personnes permanentes (ou équivalent) inférieur à 10 dans la zone d'effet.

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

Parc éolien de Rumilly		
Chute d'éléments		
(dans un rayon inférieur ou égal à $D/2$ = zone de survol)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	« Modéré »	« Acceptable »
E2	« Modéré »	« Acceptable »
E3	« Modéré »	« Acceptable »

Ainsi, pour les éoliennes du parc de Rumilly, le phénomène de chute d'éléments des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

<sup>2</sup> 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.

## 8.3.4 Projection de pales ou de fragments de pales

### 8.3.4.1 Zone d'effet

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

L'accidentologie éolienne mondiale manque de fiabilité car la source la plus importante (en termes statistiques) est une base de données tenue par une association écossaise majoritairement opposée à l'énergie éolienne [3].

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

Sur la base de ces éléments et de façon conservatrice, une distance d'effet de 500 mètres est considérée comme une 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.

### 8.3.4.2 Intensité

Pour le phénomène de projection de pales ou de fragments de pales, 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 Rumilly.  $d$  est le degré d'exposition,  $Z_i$  la zone d'impact,  $Z_E$  la zone d'effet.  $R$  est la longueur de pale ( $R = 64,4$  m),  $H$  la hauteur de mât ( $H = 96,9$  m) et  $L$  est la largeur du mât ( $L = 4,3$  m).

Projection de pales ou de fragments de pales				
(zone de 500 m autour de chaque éolienne)				
Numéro Eolienne	Zone d'impact en $m^2$	Zone d'effet du phénomène étudié en $m^2$	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_i = R \times L B / 2$	$Z_E = \pi \times 500^2$	$d = Z_i / Z_E$	
E1 à E3	126,87	785398,16	0,02%	Exposition Modérée

### 8.3.4.3 Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe 8.2.3.), 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 projection de pale et la gravité associée :

Parc éolien de Rumilly				
Projection de pale				
(dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)				
Eolienne	Occupation du sol	Surface de la zone d'effet (en m <sup>2</sup> )		Calcul du nombre d'équivalent personne permanente
		Terrains non aménagés	Terrains aménagés et peu fréquentés	
E1	Zone agricole	769 243 m <sup>2</sup>	16 155 m <sup>2</sup>	0,93
E2	Zone agricole	769 664 m <sup>2</sup>	15 734 m <sup>2</sup>	0,93
E3	Zone agricole	774 179 m <sup>2</sup>	11 219 m <sup>2</sup>	0,89

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

Parc éolien de Rumilly		
Projection de pales		
(zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,93	Modérée
E2	0,93	Modérée
E3	0,89	Modérée

Il est à noter que pour le parc de Rumilly, la zone d'effet est constituée majoritairement de terrains agricoles et de voies peu fréquentés (1 personne par tranche de 100 ha d'après la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010).

### 8.3.4.4 Probabilité

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

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

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

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

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

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

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

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

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation permet de s'assurer que les éoliennes font l'objet de mesures réduisant significativement la probabilité de projection.

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

#### 8.3.4.5 Acceptabilité

Avec une classe de probabilité « D », le risque de projection de tout ou partie de pale pour chaque type d'aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un nombre équivalent de personnes permanentes inférieur à 1000 dans la zone d'effet.

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

Parc éolien de Rumilly		
Projection de pale		
(zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	« Modérée »	« Acceptable »
E2	« Modérée »	« Acceptable »
E3	« Modérée »	« Acceptable »

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

### 8.3.5 Projection de glace

#### 8.3.5.1 Zone d'effet

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

En ce qui concerne la distance maximale atteinte par ce type de projectiles, il n'existe pas d'information dans l'accidentologie. La référence [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 x (hauteur de moyeu + 2 x longueur des pales) soit 341,7 m pour les éoliennes E1 à E3.

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.

#### 8.3.5.2 Intensité

Pour le phénomène de projection de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace (cas majorant de 1 m<sup>2</sup>) 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 Rumilly. d est le degré d'exposition, Z<sub>i</sub> la zone d'impact, Z<sub>E</sub> la zone d'effet et SG la surface d'un morceau de glace. R est la longueur de pale (R= 64,4 m), H la hauteur de mât (H= 96,9 m) et L est la largeur du mât (L = 4,3 m).

Projection de morceaux de glaces				
(dans un rayon de R <sub>PG</sub> = 1,5 * (M+2R) autour de l'éolienne : 341,7 m (E2 à E4))				
Numéro Eolienne	Zone d'impact en m <sup>2</sup>	Zone d'effet du phénomène étudié en m <sup>2</sup>	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	Z <sub>i</sub> = SG	Z <sub>E</sub> = π x (1,5 x (M+2R)) <sup>2</sup>	d = Z <sub>i</sub> / Z <sub>E</sub>	
E1 à E3	1,00	360077,11	0,00%	Exposition Modérée

### 8.3.5.3 Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe 8.2.3.), 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 ».

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

Le tableau 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 :

Parc éolien de Rumilly				
Projection de glace				
(dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)				
Eolienne	Occupation du sol	Surface de la zone d'effet (en m <sup>2</sup> )		Calcul du nombre d'équivalent personne permanente
		Terrains non aménagés	Terrains aménagés et peu fréquentés	
E1	Zone agricole	351 608 m <sup>2</sup>	8 469 m <sup>2</sup>	0,44
E2	Zone agricole	354 566 m <sup>2</sup>	5 511 m <sup>2</sup>	0,41
E3	Zone agricole	353 984 m <sup>2</sup>	6 093 m <sup>2</sup>	0,41

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 :

Parc éolien de Rumilly		
Projection de morceaux de glace		
(dans un rayon de R <sub>PG</sub> = 1,5 x (M+2R) autour de l'éolienne)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,44	Modérée
E2	0,41	Modérée
E3	0,41	Modérée

Il est à noter que pour le parc éolien de Rumilly, la zone d'effet est constituée de terrains agricoles et peu fréquentés (1 personne pour 100 ha d'après la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010).

Le nombre équivalent de personnes permanentes sera donc inférieur à 1 pour les éoliennes du parc.

Le niveau de gravité sera donc « Modérée » pour les éoliennes du parc éolien de Rumilly.

### 8.3.5.4 Probabilité

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

- Les mesures de prévention de projection de glace imposées par l'arrêté du 26 août 2011 ;
- Le recensement d'aucun accident lié à une projection de glace ;

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

### 8.3.5.5 Acceptabilité

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

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

Parc éolien de Rumilly			
Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 * (M+2R)$ autour de l'éolienne)			
Eolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et procédure de redémarrage	Niveau de risque
E1	« Modérée »	Oui	« Acceptable »
E2	« Modérée »	Oui	« Acceptable »
E3	« Modérée »	Oui	« Acceptable »

Ainsi, pour le parc éolien de Rumilly, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour l'ensemble des éoliennes.

## 8.4 Synthèse de l'étude détaillée

### 8.4.1 Tableaux de synthèse des scénarios étudiés

Les tableaux suivants récapitulent, pour chaque événement redouté central retenu, les paramètres de risques : la cinétique, l'intensité, la gravité et la probabilité. Les tableaux regrouperont les éoliennes qui ont le même profil de risque.

Synthèse de l'étude détaillée des risques					
Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale	Rapide	Exposition Modéré	D	« Sérieuse » pour chacune des éoliennes du parc
Chute d'éléments de l'éolienne	Zone de survol	Rapide	Exposition Modérée	C	« Modérée » pour chacune des éoliennes du parc
Chute de glace	Zone de survol	Rapide	Exposition Modérée	A	« Modérée » pour chacune des éoliennes du parc
Projection de pales	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition Modérée	D	« Modérée » pour chacune des éoliennes du parc
Projection de glace	$1,5 * (M + 2R)$ autour de l'éolienne	Rapide	Exposition Modérée	B	« Modérée » pour chacune des éoliennes du parc

A noter que la mise en place de l'action corrective : Système de détection ou de réduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage, permet de réduire drastiquement le risque de projection de glace à un niveau modéré.

### 8.4.2 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.

Conséquence	Classe de probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		Effondrement des éoliennes			
Modéré		Projection de pales	Chute d'éléments de l'éolienne	Projection de glace	Chute de glace

Légende de la matrice :

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

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- Les accidents liés aux chutes de glace apparaissent dans la case jaune de la matrice (risque faible acceptable) ;
- Les accidents liés à l'effondrement de l'éolienne, à la projection de pales, à la projection de glace et à la chute d'éléments de l'éolienne apparaissent dans les cases vertes de la matrice (risque très faible acceptable).

### 8.4.3 Cartographie des risques

A l'issue de la démarche d'analyse des risques, une carte de synthèse des risques pour l'ensemble du parc de Rumilly, puis pour chaque risque est proposé dans ce paragraphe :

- Carte synthèse des risques : Figure 30 ;
- Effondrement d'une éolienne : Figure 31 ;
- Chute d'éléments d'une éolienne : Figure 32 ;
- Chute de glace : Figure 33 ;
- Projection de pales : Figure 34 ;
- Projection de glace : Figure 35.

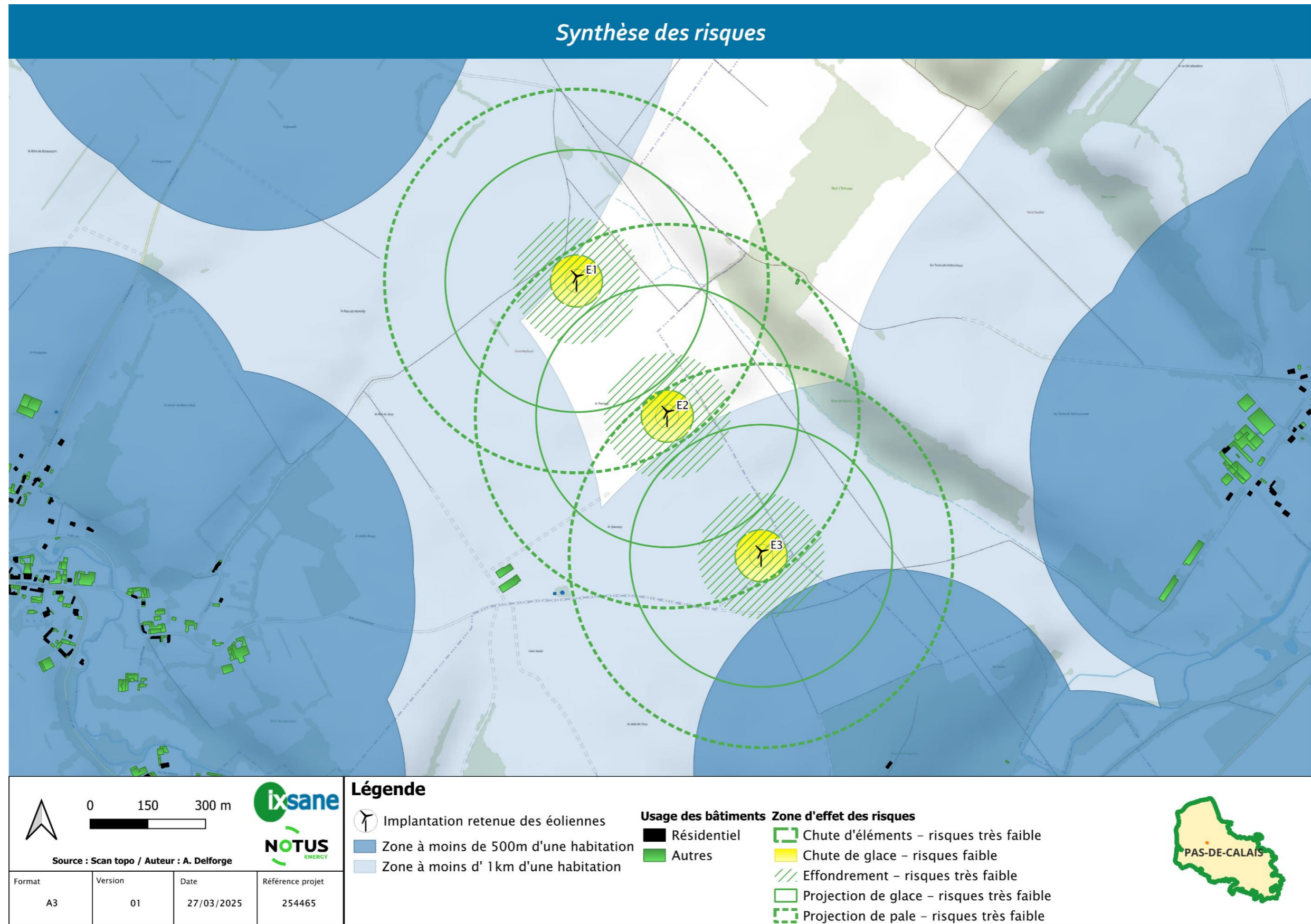


Figure 31 : Carte de synthèse des risques

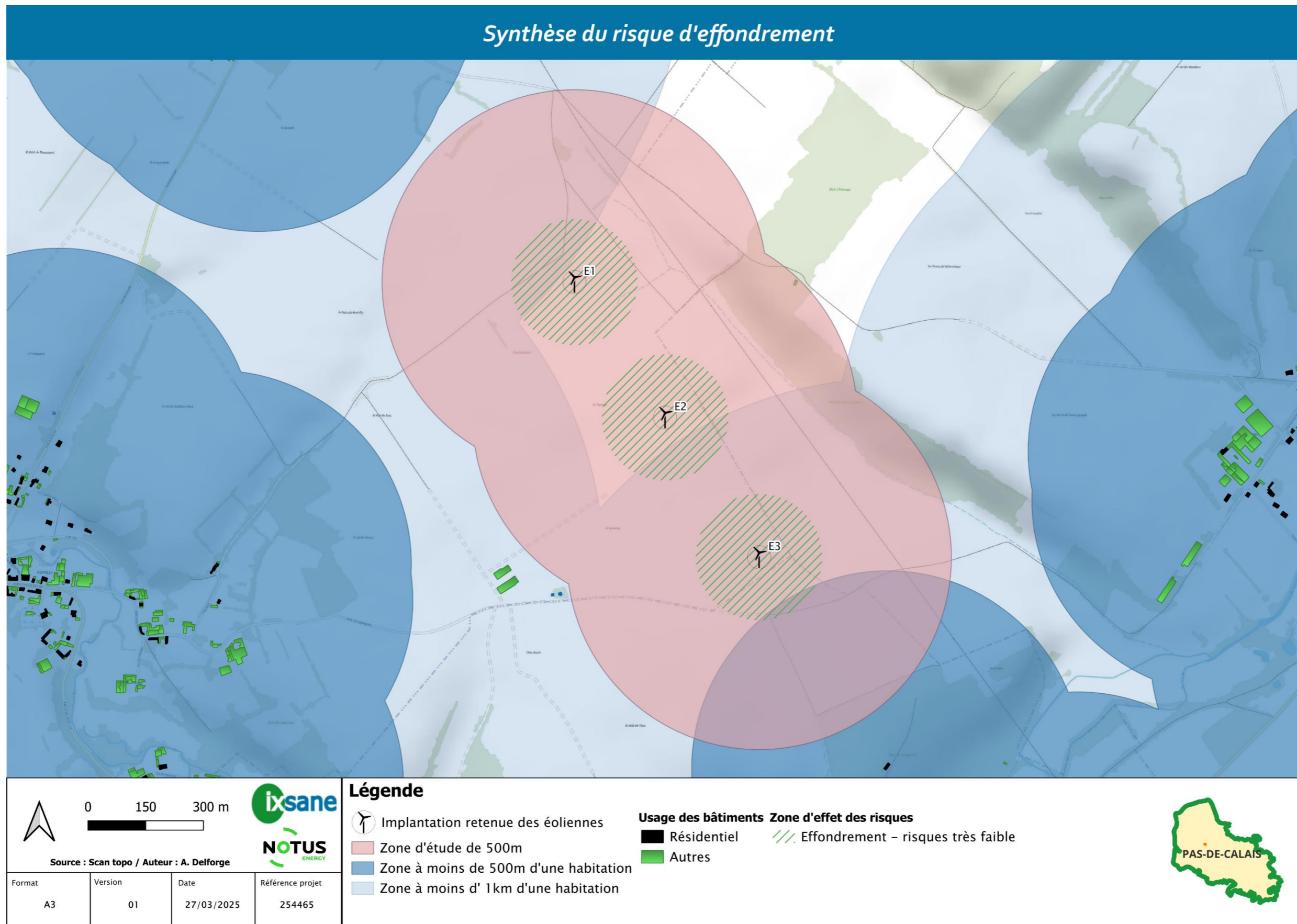


Figure 32 : Synthèse du risque d'effondrement

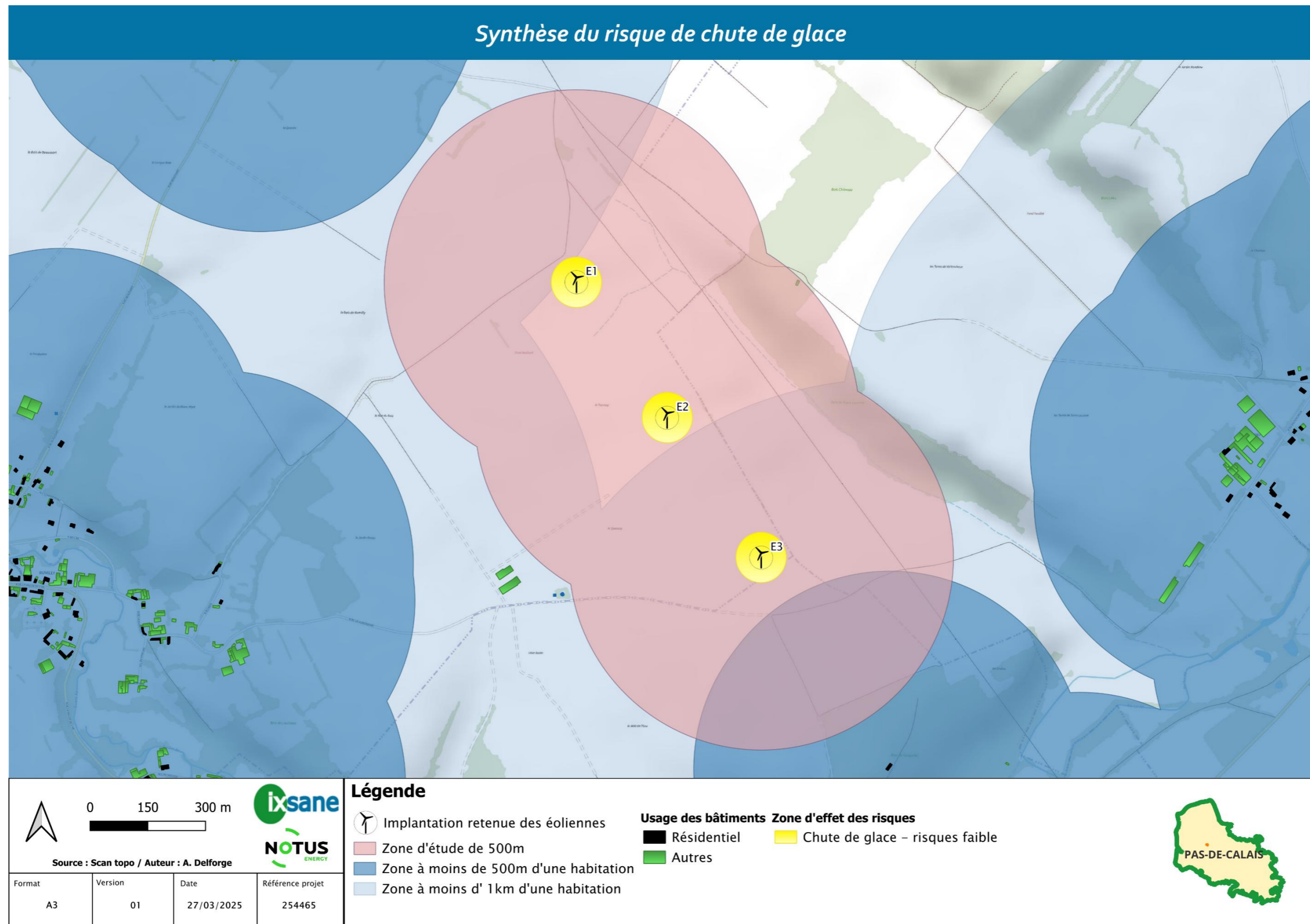


Figure 33 : Synthèse du risque de chute de glace

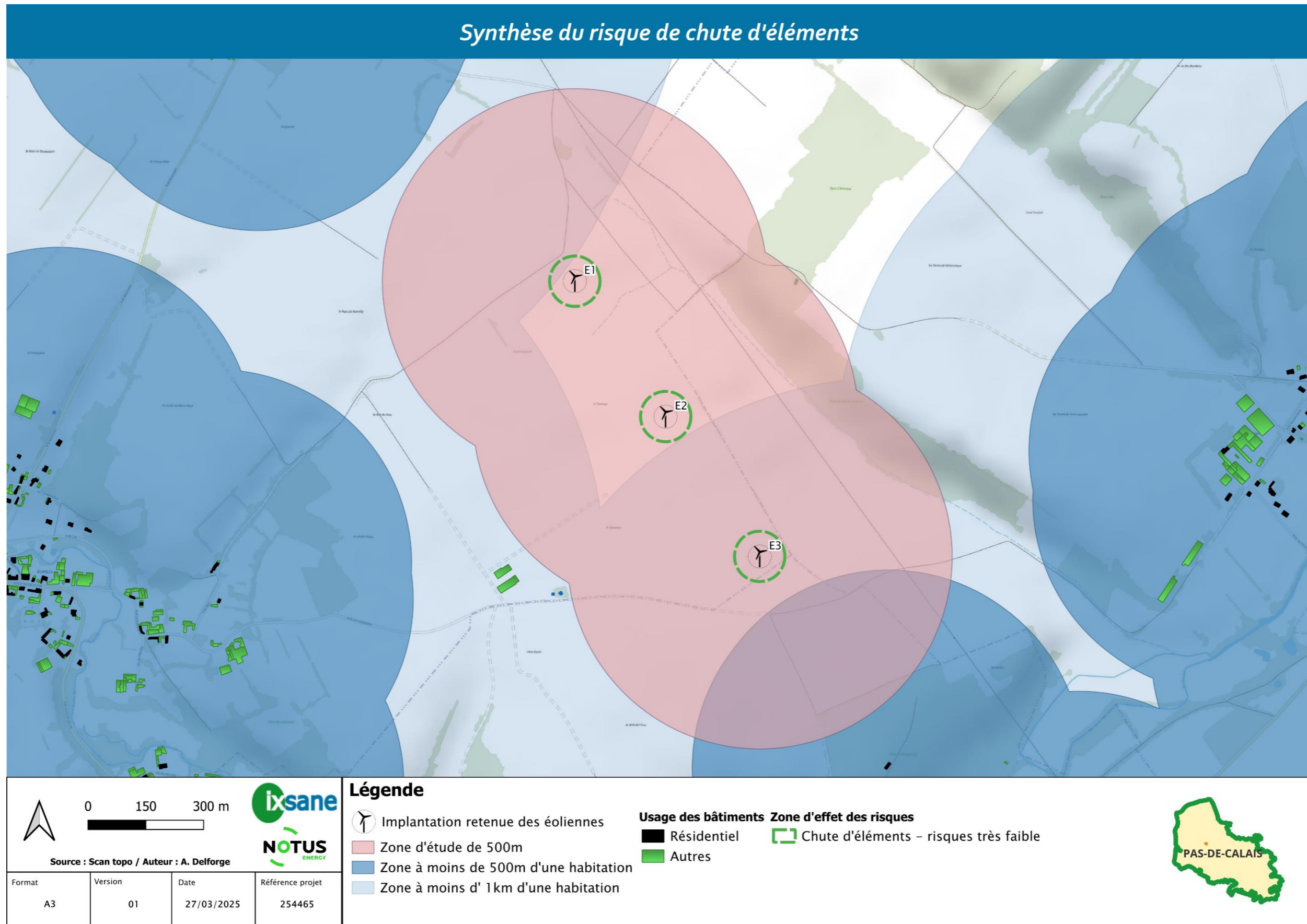


Figure 34 : Synthèse du risque de chute d'éléments

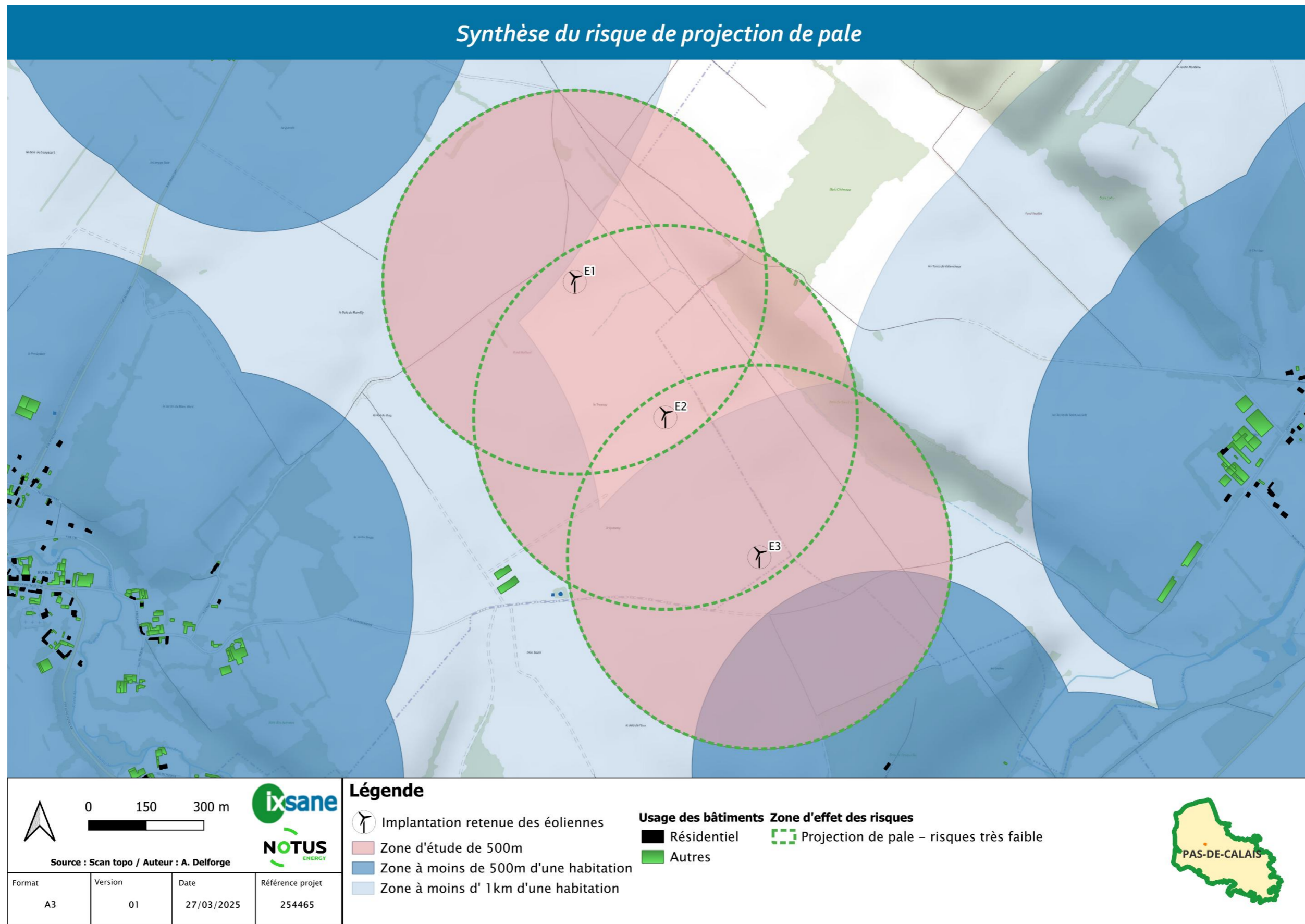


Figure 35 : Carte de synthèse du risque projection de pale

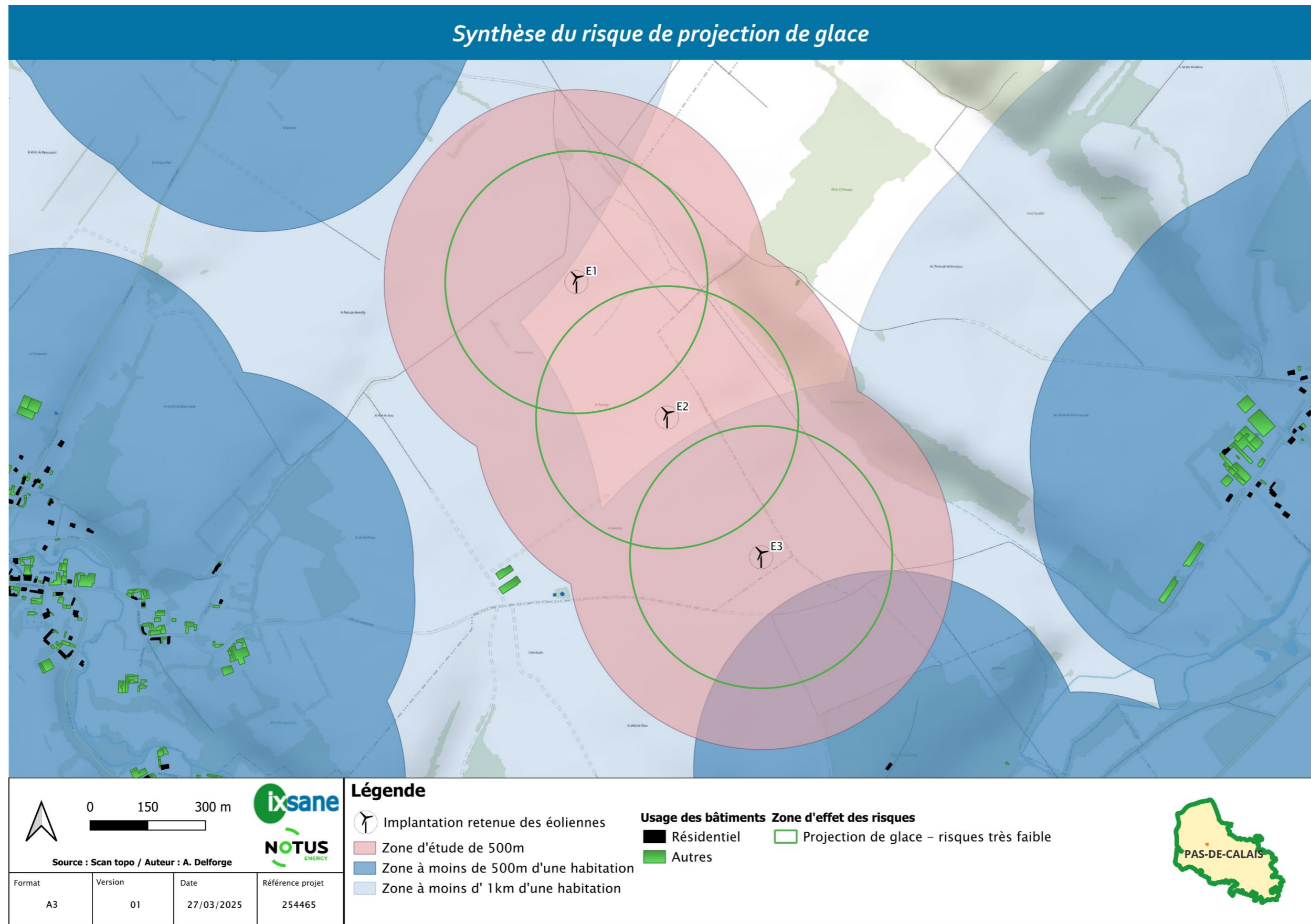


Figure 36 : Carte de synthèse du risque projection de glace

## 9. CONCLUSION

---

Les scénarios « Effondrement de l'éolienne » ; « Projection de pales » ; « Chute d'éléments » ; « Projection de glace » et « Chute de glace » ont fait l'objet d'une étude détaillée (estimation de la probabilité, gravité, cinétique et intensité des événements).

À la suite de la réalisation de la matrice de criticité sur les 3 éoliennes du parc éolien de Rumilly, il apparaît que ces scénarios constituent un risque acceptable pour les personnes exposées.

Le tableau ci-dessous représente la probabilité et la gravité des accidents majeurs les plus significatifs en termes de risque :

Accidents majeurs les plus significatifs		
Scénario	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne	D	« Sérieuse » pour chacune des éoliennes du parc
Chute de glace	A	« Modérée » pour chacune des éoliennes du parc

Plusieurs mesures de maîtrise des risques sont mises en place pour prévenir ou limiter les conséquences de ces accidents majeurs. Ces mesures de sécurité sont conformes aux prescriptions de l'arrêté ministériel relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées relatives à la sécurité de l'installation.

De plus, un panneautage spécifique sera mis en place à proximité des éoliennes (conformément à l'arrêté du 26/08/11) afin de prévenir les riverains et les usagers du site des risques potentiels liés à l'installation.

Le tableau suivant a pour objectif de synthétiser les principales mesures de sécurité permettant de prévenir les conséquences des accidents les plus significatifs sur le parc éolien de Rumilly.

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	Prévenir la survitesse	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort
Mesures de sécurité	Système de détection de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage.	Panneautage en pied de machine Eloignement des zones habitées et fréquentées	Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.) Procédures qualités Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)	Détection de survitesse et système de freinage	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne par le système de conduite
Description	Système de détection redondant du givre permettant, en cas de détection de glace, une mise à l'arrêt rapide de l'aérogénérateur. Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site.	Mise en place de panneaux informant de la possible formation de glace en pied de machines (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011).	La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi la nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223.	Systèmes de coupures enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande.	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale pour laquelle elle a été conçue.
Efficacité	100 %	100 %	100 %	100 %	100 %

Les mesures d'amélioration permettant la réduction des risques ainsi que les études complémentaires présentes dans l'étude d'impact répondent de façon efficace aux principaux scénarios d'accident majeur.

Pour les éoliennes du parc éolien de Rumilly, les accidents majeurs identifiés en termes de risque constituent un risque acceptable pour les personnes exposées.

## 10. ANNEXES

10.1	Annexe 1 : Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne	88
10.2	Annexe 2 : Tableau de l'accidentologie française .....	90
10.3	Annexe 3 : Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques .....	95
10.4	Annexe 4 : Probabilité d'atteinte et risque individuel.....	98
10.5	Annexe 5 : Glossaire .....	99
10.6	Annexe 6 : Bibliographie et références utilisées.....	101

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

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

Dans le cadre de l'étude de dangers des parcs éoliens, cette méthode permet tout d'abord, au stade de la description de l'environnement de l'installation (partie 3.4), 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 8).

### Terrains non bâtis

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

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

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

### Voies de circulation

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

#### Voies de circulation automobile

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

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

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

### Voies ferroviaires

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

### Voies navigables

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

### Chemins et voies piétonnes

Les chemins et voies piétonnes ne sont pas à prendre en compte, sauf pour les chemins de randonnée, car les personnes les fréquentant sont généralement déjà comptées comme habitants ou salariés exposés.

Pour les chemins de promenade, de randonnée : compter 2 personnes pour 1 km par tranche de 100 promeneurs/jour en moyenne.

### Logements

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

**Etablissements recevant du public (ERP)**

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

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

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

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

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

**Zones d'activité**

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

## 10.2 Annexe 2 : Tableau de l'accidentologie française

Le tableau ci-dessous a été établi par le groupe de travail constitué pour la réalisation du guide technique relatif à l'élaboration de l'étude de danger dans le cadre des parcs éolien (mai 2012). Il recense l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne entre 2000 et fin 2011. L'analyse de ces données est présentée dans la partie 6. de la trame type de l'étude de dangers. **Ce tableau a été complété par un inventaire plus récent (allant de 2016 à 2023) grâce à la base de données ARIA, présenté dans le paragraphe 6.1 du rapport.**

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

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Effondrement	20/03/2004	Loon Plage – Port de Dunkerque	Nord	0,3	1996	Non	Couchage du mât d'une des 9 éoliennes suite à l'arrachement de la fondation	Rupture de 3 des 4 micropieux de la fondation, erreur de calcul (facteur de 10)	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (La Voix du Nord du 20/03/2004 et du 21/03/2004)	-
Rupture de pale	22/06/2004	Pleyber-Christ – Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50 m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	-
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ – Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5m à 50m, mat intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	Incident identique à celui s'étant produit 15 jours auparavant
Rupture de pale	2004	Escales-Conilhac	Aude	0,75	2003	Non	Bris de trois pales		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale + incendie	22/12/2004	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne (survitesse de plus de 60 tr/min)	Survitesse due à une maintenance en cours, problème de régulation, et dysfonctionnement du système de freinage	Base de données ARIA Article de presse (La Tribune du 30/12/2004) Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2005	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris de pale		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale	08/10/2006	Pleyber-Christ – Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2004	Non	Chute d'une pale de 20 m pesant 3 tonnes	Allongement des pales et retrait de sécurité (débridage), pas de REX suite aux précédents accidents sur le même parc	Site FED Articles de presse (Ouest France) Journal FR3	-
Incendie	18/11/2006	Roquetaillade	Aude	0,66	2001	Oui	Acte de malveillance: explosion de bonbonne de gaz au pied de 2 éoliennes. L'une d'entre elles a mis le feu en pieds de mat qui s'est propagé jusqu'à la nacelle.	Malveillance / incendie criminel	Communiqués de presse exploitant Articles de presse (La Dépêche, Midi Libre)	-
Effondrement	03/12/2006	Bondues	Nord	0,08	1993	Non	Sectionnement du mât puis effondrement d'une éolienne dans une zone industrielle	Tempête (vents mesurés à 137Kmh)	Article de presse (La Voix du Nord)	-
Rupture de pale	31/12/2006	Ally	Haute-Loire	1,5	2005	Oui	Chute de pale lors d'un chantier de maintenance visant à remplacer les rotors	Accident faisant suite à une opération de maintenance	Site Vent de Colère	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident pendant la phase chantier)
Rupture de pale	03/2007	Clitourps	Manche	0,66	2005	Oui	Rupture d'un morceau de pale de 4 m et éjection à environ 80 m de distance dans un champ	Cause pas éclaircie	Site FED Interne exploitant	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute d'élément	11/10/2007	Plouvien	Finistère	1,3	2007	Non	Chute d'un élément de la nacelle (trappe de visite de 50 cm de diamètre)	Défaut au niveau des charnières de la trappe de visite. Correctif appliqué et retrofit des boulons de charnières effectué sur toutes les machines en exploitation.	Article de presse (Le Télégramme)	-
Emballement	03/2008	Dinéault	Finistère	0,3	2002	Non	Emballement de l'éolienne, mais pas de bris de pale	Tempête + système de freinage hors service (boulon manquant)	Base de données ARIA	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (événement unique et sans répercussion potentielle sur les personnes)
Collision avion	04/2008	Plouguin	Finistère	2	2004	Non	Léger choc entre l'aile d'un bimoteur Beechcraftch (liaison Ouessant-Brest) et une pale d'éolienne à l'arrêt. Perte d'une pièce de protection au bout d'aile. Mise à l'arrêt de la machine pour inspection.	Mauvaise météo, conditions de vol difficiles (sous le plafond des 1000m imposé par le survol de la zone) et faute de pilotage (altitude trop basse)	Articles de presse (Le Télégramme, Le Post)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident aéronautique)
Rupture de pale	19/07/2008	Erize-la-Brûlée - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale et projection de morceaux de pale suite à un coup de foudre	Foudre + défaut de pale	Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain 22/07/2008)	-
Incendie	28/08/2008	Vauvillers	Somme	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Problème au niveau d'éléments électroniques	Dépêche AFP 28/08/2008	-
Rupture de pale	26/12/2008	Raival - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale		Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain)	-
Maintenance	26/01/2009	Clastres	Aisne	2,75	2004	Oui	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance	Accident électrique (explosion d'un convertisseur)	Base de données ARIA	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Rupture de pale	08/06/2009	Bollène	Vaucluse	2,3	2009	Oui	Bout de pale d'une éolienne ouvert	Coup de foudre sur la pale	Interne exploitant	Non utilisable dans les chutes ou les projections (la pale est restée accrochée)
Incendie	21/10/2009	Froidfond - Espinassière	Vendée	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit dans transformateur sec embarqué en nacelle ?	Article de presse (Ouest-France) Communiqué de presse exploitant Site FED	-
Incendie	30/10/2009	Freysenet	Ardèche	2	2005	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit faisant suite à une opération de maintenance (problème sur une armoire électrique)	Base de données ARIA Site FED Article de presse (Le Dauphiné)	-
Maintenance	20/04/2010	Toufflers	Nord	0,15	1993	Non	Décès d'un technicien au cours d'une opération de maintenance	Crise cardiaque	Article de presse (La Voix du Nord 20/04/2010)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)

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

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	15/05/2012	Chemin d'Ablis	Eure-et-Loir	2	2008	Oui	Chute d'une pale de 9 tonnes et rupture du roulement raccordant la pale au hub	Traces de corrosion dans les trous d'alésage traversant une des bagues du roulement	Articles de presse (leFigaro 22/05/2012) et ARIA (n°42919)	-
Effondrement de la tour	30/05/2012	Non communiqué	Aude	0,2	1991	Non	Effondrement de la tour en treillis de 30 m de haut	Rafales de vent à 130 km/h observées durant la nuit	ARIA (n°43110)	-
Projection d'un élément de la pale	01/11/2012	Non communiqué	Cantal	2,5	2011	Oui	Projection d'un élément de 400 g constitutif d'une pale d'éolienne à 70 m du mât		ARIA (n°43120)	-

## 10.3 Annexe 3 : Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques

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

Le tableau générique issu de l'analyse préliminaire des risques est présenté dans la partie 7.4. de la trame type de l'étude de dangers. Il peut être considéré comme représentatif des scénarios d'accident pouvant potentiellement se produire sur les éoliennes et pourra par conséquent être repris à l'identique dans les études de dangers.

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

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

#### Scénario G01

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

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

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

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

#### Scénario G02

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

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

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

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

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

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

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

L'incendie peut aussi être provoqué par l'échauffement des pièces mécaniques en cas d'emballlement du rotor (survitesse).

Plusieurs moyens sont mis en place en matière de prévention :

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

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

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

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

- Déclenchement au niveau du rotor du code de freinage d'urgence, entraînant l'arrêt des éoliennes ;
- Basculement automatique de l'alimentation principale sur l'alimentation de secours (batteries) pour arrêter les aérogénérateurs et assurer la communication vers le superviseur.

Concernant la perte de communication entre le parc éolien et le superviseur à distance, celle-ci n'entraîne pas d'action particulière en cas de perte de la communication pendant une courte durée.

En revanche, en cas de perte de communication pendant une longue durée, le superviseur du parc éolien concerné dispose de plusieurs alternatives dont deux principales :

Mise en place d'un réseau de communication alternatif temporaire (faisceau hertzien, agent technique local...)

Mise en place d'un système autonome d'arrêt à distance du parc par le superviseur.

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

#### Scénarios relatifs aux risques de fuites (F01 à F02)

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

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

##### Scénario F01

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

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

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

Deux événements peuvent être aggravants :

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

##### Scénario F02

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

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

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

Ce scénario est à adapter en fonction des produits utilisés.

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

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

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

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

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

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

Défaut de conception et de fabrication

Non-respect des instructions de montage et/ou de maintenance

Causes externes dues à l'environnement : glace, tempête, foudre...

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

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

##### Scénario P01

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

### Scénario P02

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

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

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

### Scénarios P03

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

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

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

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

## 10.4 Annexe 4 : Probabilité d'atteinte et risque individuel

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

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

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

$P_{\text{ERC}}$  = 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)

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

$P_{\text{atteinte}}$  = 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	$5 \times 10^{-2}$	$5 \times 10^{-2}$ (A)
Chute d'éléments	$10^{-3}$	$1,8 \times 10^{-2}$	$1,8 \times 10^{-5}$ (D)
Projection de tout ou partie de pale	$10^{-4}$	$10^{-2}$	$10^{-6}$ (E)
Projection de morceaux de glace	$10^{-2}$	$1,8 \times 10^{-6}$	$1,8 \times 10^{-8}$ (E)

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

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

## 10.5 Annexe 5 : Glossaire

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

**Accident** : Evénement 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.

**Evénement initiateur** : Evénement, 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.

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

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

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

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

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

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

Les mesures (ou barrières) de prévention : mesures visant à éviter ou limiter la probabilité d'un événement indésirable, en amont du phénomène dangereux

Les mesures (ou barrières) de limitation : mesures visant à limiter l'intensité des effets d'un phénomène dangereux

Les mesures (ou barrières) de protection : mesures visant à limiter les conséquences sur les enjeux potentiels par diminution de la vulnérabilité.

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

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

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

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

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

Attention aux confusions possibles :

1. Assimilation entre probabilité d'un accident et celle du phénomène dangereux correspondant, la première intégrant déjà la probabilité conditionnelle d'exposition des enjeux. L'assimilation sous-entend que les enjeux sont effectivement exposés, ce qui n'est pas toujours le cas, notamment si la cinétique permet une mise à l'abri ;

2. Probabilité d'occurrence d'un accident x sur un site donné et probabilité d'occurrence de l'accident x, en moyenne, dans l'une des N installations du même type (approche statistique).

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

- Réduction de la probabilité : par amélioration de la prévention, par exemple par ajout ou fiabilisation des mesures de sécurité
- Réduction de l'intensité :
  - Par action sur l'élément porteur de danger (ou potentiel de danger), par exemple substitution par une substance moins dangereuse, réduction des vitesses de rotation, etc.
  - Réduction des dangers : la réduction de l'intensité peut également être accomplie par des mesures de limitation

La réduction de la probabilité et/ou de l'intensité correspond à une réduction du risque « à la source ».

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

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

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

**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

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

**EDD** : Etude de dangers

**APR** : Analyse Préliminaire des Risques

**ERP** : Etablissement Recevant du Public

## 10.6 Annexe 6 : Bibliographie et références utilisées

- [1] L'évaluation des fréquences et des probabilités à partir des données de retour d'expérience (ref DRA-11-117406-04648A), INERIS, 2011
- [2] NF EN 61400-1 Eoliennes - Partie 1 : Exigences de conception, Juin 2006
- [3] Wind Turbine Accident data to 31 March 2011, Caithness Windfarm Information Forum
- [4] Site Specific Hazard Assessment for a wind farm project - Case study - Germanischer Lloyd, Windtest Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH, 2010/08/24
- [5] Guide for Risk-Based Zoning of wind Turbines, Energy research centre of the Netherlands (ECN), H. Braam, G.J. van Mulekom, R.W. Smit, 2005
- [6] Specification of minimum distances, Dr-ing. Veenkeringenieurgesellschaft, 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. Cattinetal.
- [15] Wind energy production in cold climate (WECO), Final report - Bengt Tammelin et al. - Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 2000
- [16] Rapport sur la sécurité des installations éoliennes, Conseil Général des Mines - Guillet R., Leteutrois J.-P. - juillet 2004
- [17] Risk analysis of ice throw from wind turbines, Seifert H., Westerhellweg A., Kröning J. - DEWI, avril 2003
- [18] Wind energy in the BSR: impacts and causes of icing on wind turbines, Narvik University College, novembre 2005