

## ETUDE DE DANGERS

### TOME 4.2

# Projet éolien du Puech de Senrières

Département de l'Aveyron (12) – Commune de Durenque



*Point de vue depuis la sortie du lieu-dit « La Combe » (photomontage)*



# SOMMAIRE

SOMMAIRE.....	3
<b>Etude de dangers .....</b>	<b>5</b>
<b>PARTIE 1 : PREAMBULE.....</b>	<b>6</b>
I. Objectif de l'étude de dangers .....	6
II. Contexte législatif et réglementaire .....	6
III. Nomenclature des installations classées.....	7
IV. Renseignements administratifs .....	7
<b>PARTIE 2 : LOCALISATION DU SITE .....</b>	<b>8</b>
I. Situation géographique.....	8
II. Coordonnées des éoliennes et du poste de livraison .....	8
III. Définition des aires d'étude .....	8
<b>PARTIE 3 : DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION.....</b>	<b>12</b>
I. Environnement naturel .....	12
1. Contexte climatique.....	12
2. Risques naturels .....	14
II. Environnement humain .....	15
1. Zones urbanisées .....	15
2. Les établissements sensibles et les établissements recevant du public sur l'aire d'étude rapprochée.....	17
3. Activités .....	17
4. Risques technologiques.....	17
III. Environnement matériel.....	18
IV. Cartographie de synthèse.....	19
1. Nombre d'équivalent personnes permanentes .....	19
2. Cartographie .....	19
<b>PARTIE 4 : DESCRIPTION DE L'INSTALLATION .....</b>	<b>21</b>
I. Nature des activités .....	21
II. Caractéristiques de l'installation .....	21
1. Caractéristiques générales d'un parc éolien .....	21
2. Eléments constitutifs d'un aérogénérateur.....	21
3. Activité de l'installation .....	22
4. Composition de l'installation .....	22
III. Fonctionnement de l'installation .....	23
1. Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur .....	23
2. Sécurité des installations .....	23
3. Opérations de maintenance de l'installation.....	25
4. Stockage et flux de produits dangereux.....	25
IV. Fonctionnement des réseaux de l'installation .....	26
1. Raccordement électrique.....	26
2. Autres réseaux .....	26
<b>PARTIE 5 : IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION .....</b>	<b>27</b>
I. Potentiels de dangers liés aux produits.....	27
II. Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation .....	27
III. Réduction des potentiels de danger à la source.....	28

1. Principales actions préventives .....	28
2. Utilisation des meilleures techniques disponibles .....	29

## **PARTIE 6 : ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE.....**

I. Inventaire des accidents et incidents en France .....	30
II. Inventaire des accidents et incidents à l'international .....	31
III. Inventaire des accidents majeurs survenus sur les sites de l'exploitant .....	32
IV. Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience .....	32
1. Analyse de l'évolution des accidents en France .....	32
2. Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents.....	32
V. Limites d'utilisation de l'accidentologie.....	32

## **PARTIE 7 : ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES .....**

I. Objectif de l'analyse préliminaire des risques .....	33
II. Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques .....	33
III. Recensement des agressions externes potentielles.....	33
1. Agressions externes liées aux activités humaines.....	33
2. Agressions externes liées aux phénomènes naturels .....	34
IV. Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques .....	35
V. Effets dominos.....	37
VI. Mise en place des mesures de sécurité .....	37
VII. Conclusion de l'analyse préliminaire des risques.....	41

## **PARTIE 8 : ETUDE DETAILLEE DES RISQUES .....**

I. Rappel des définitions.....	42
1. Cinétique .....	42
2. Intensité .....	42
3. Gravité.....	43
4. Probabilité .....	43
5. Acceptabilité .....	44
II. Caractérisation des scénarios retenus.....	44
1. Effondrement de l'éolienne .....	44
2. Chute de glace .....	47
3. Chute d'éléments des éoliennes.....	49
4. Projection de pale ou de fragments de pale .....	51
5. Projection de glace.....	54
III. Synthèse de l'étude détaillée des risques.....	57
1. Tableaux de synthèse des scénarios étudiés .....	57
2. Synthèse de l'acceptabilité des risques.....	57

## **PARTIE 9 : CONCLUSION .....**

## **PARTIE 10 : BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES UTILISEES .....**

## **Annexes .....**

## Illustrations

Illustration 1 : Situation géographique du projet .....	9
Illustration 2 : Périmètre de l'étude de dangers .....	10
Illustration 3 : Plan détaillé de l'installation .....	11
Illustration 4 : Températures à Millau .....	12
Illustration 5 : Pluviométrie à Millau .....	12
Illustration 6 : Ensoleillement à Millau .....	12
Illustration 7 : Nombre de jours de neige par an .....	13
Illustration 8 : Distribution de la direction du vent (en %) .....	13
Illustration 9 : Carte de l'aléa retrait/gonflement des argiles aux abords du projet .....	14
Illustration 10 : Carte des habitations et bâtiments aux abords du projet .....	16
Illustration 11 : Synthèse des enjeux dans le périmètre de l'étude de dangers .....	20
Illustration 12 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur .....	21
Illustration 13 : Emprises au sol d'une éolienne .....	22
Illustration 14 : Raccordement électrique du parc éolien .....	26
Illustration 15 : Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et juin 2019 .....	30
Illustration 16 : Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2018 .....	31
Illustration 17 : Répartition des causes premières d'effondrement .....	31
Illustration 18 : Répartition des causes premières de rupture de pale .....	31
Illustration 19 : Répartition des causes premières d'incendie .....	32
Illustration 20 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et de la puissance éolienne installée .....	32
Illustration 21 : Distance d'éloignement par rapport aux lignes HTA .....	34
Illustration 22 : Le risque d'effondrement d'éolienne .....	46
Illustration 23 : Le risque de chute de glace .....	49
Illustration 24 : Le risque de chute d'éléments de l'éolienne .....	51
Illustration 25 : Le risque de projection de pale .....	53
Illustration 26 : Le risque de projection de glace .....	56
Illustration 27 : Carte de synthèse des risques pour l'éolienne E1 .....	58
Illustration 28 : Carte de synthèse des risques pour l'éolienne E2 .....	59
Illustration 29 : Carte de synthèse des risques pour l'éolienne E3 .....	60
Illustration 30 : Carte de synthèse des risques pour l'éolienne E4 .....	61



# **ETUDE DE DANGERS**

# PARTIE 1 : PRÉAMBULE

## I. OBJECTIF DE L'ÉTUDE DE DANGERS

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par la société SOLEIL DU MIDI pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du projet éolien du Puech de Senrières, autant que technologiquement réalisable et économiquement acceptable, que leurs causes soient intrinsèques aux substances ou matières utilisées, liées aux procédés mis en œuvre ou dues à la proximité d'autres risques d'origine interne ou externe à l'installation.

Cette étude est proportionnée aux risques présentés par les éoliennes du projet du Puech de Senrières. 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 projet du Puech de Senrières qui réduisent le risque à l'intérieur et à l'extérieur des éoliennes à un niveau jugé acceptable par l'exploitant.

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

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

## II. CONTEXTE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE

Les objectifs et le contenu de l'étude de dangers sont définis dans la partie du Code de l'environnement relative aux installations classées. Selon l'article L. 512-1, l'étude de dangers expose les risques que peut présenter l'installation pour les intérêts visés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation.

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

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

Selon le principe de proportionnalité, le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte tenu de son environnement et de sa vulnérabilité. Ce contenu est défini par l'article R. 512-9 du Code de l'environnement :

- Description de l'environnement et du voisinage ;
- Description des installations et de leur fonctionnement ;
- Identification et caractérisation des potentiels de danger ;
- Estimation des conséquences de la concrétisation des dangers ;
- Réduction des potentiels de dangers ;
- Enseignements tirés du retour d'expérience (des accidents et incidents représentatifs) ;
- Analyse préliminaire des risques ;
- Etude détaillée de réduction des risques ;
- Quantification et hiérarchisation des différents scénarios en termes de gravité, de probabilité et de cinétique de développement en tenant compte de l'efficacité des mesures de prévention et de protection ;
- Représentation cartographique ;
- Résumé non technique de l'étude des dangers.

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

### III. NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSEES

Au titre de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE), le projet est concerné par la rubrique suivante :

Rubrique ICPE n°2980			Caractéristiques de l'installation
Installation terrestre de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs.	Régime	Rayon d'affichage	
1 - Comprenant au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m.	Autorisation	6 km	4 éoliennes de 150 m de hauteur totale (hauteur de mât au sens ICPE de 96,5 m)

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

Le rayon d'affichage est de 6 km. Il permet de définir le périmètre à l'intérieur duquel l'affichage de l'avis d'enquête publique est obligatoire.

Le tableau suivant présente la commune concernée par le projet.

Département	Communes	N°INSEE
Aveyron (12)	Durenque	12092

### IV. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

Les renseignements administratifs du demandeur sont indiqués dans le tableau suivant.

Demandeur	PARC EOLIEN DE DURENQUE
Siège social	17 rue de la Frise 38000 Grenoble
Forme juridique	SASU Société par actions simplifiée à associé unique
Numéro SIRET	88284445900017
Nom et qualité du signataire	Madame Christine GOCHARD Directrice Générale du Groupe GEG et gérante de la Société SAS Parc éolien de Durenque

## PARTIE 2 : LOCALISATION DU SITE

### I. SITUATION GEOGRAPHIQUE

Le site retenu pour l'implantation du projet éolien du Puech de Senrières est le suivant :

Région	Occitanie
Département	Aveyron
Arrondissement	Millau
Canton	Monts du Réquistanais
Intercommunalité	CC du Réquistanais
Commune	Durenque

### II. COORDONNEES DES EOLIENNES ET DU POSTE DE LIVRAISON

Eoliennes	Altitude	Coordonnées en WGS84 (degré décimaux)		Coordonnées en L93	
		Longitude	Latitude	Longitude	Latitude
E1	776 m	2,653457	44,099245	672253,6	6333421,1
E2	773 m	2,653473	44,096775	672253,7	6333146,6
E3	762 m	2,653324	44,094421	672240,6	6332885,1
E4	755 m	2,653810	44,091726	672278,2	6332585,5
PDL	779 m	2,655291	44,100660	672401,1	6333577,6

### III. DEFINITION DES AIRES D'ETUDE

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

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

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

Illustration 1 : Situation géographique du projet  
Sources : SOLEIL DU MIDI, IGN / Réalisation : Artifex 2020

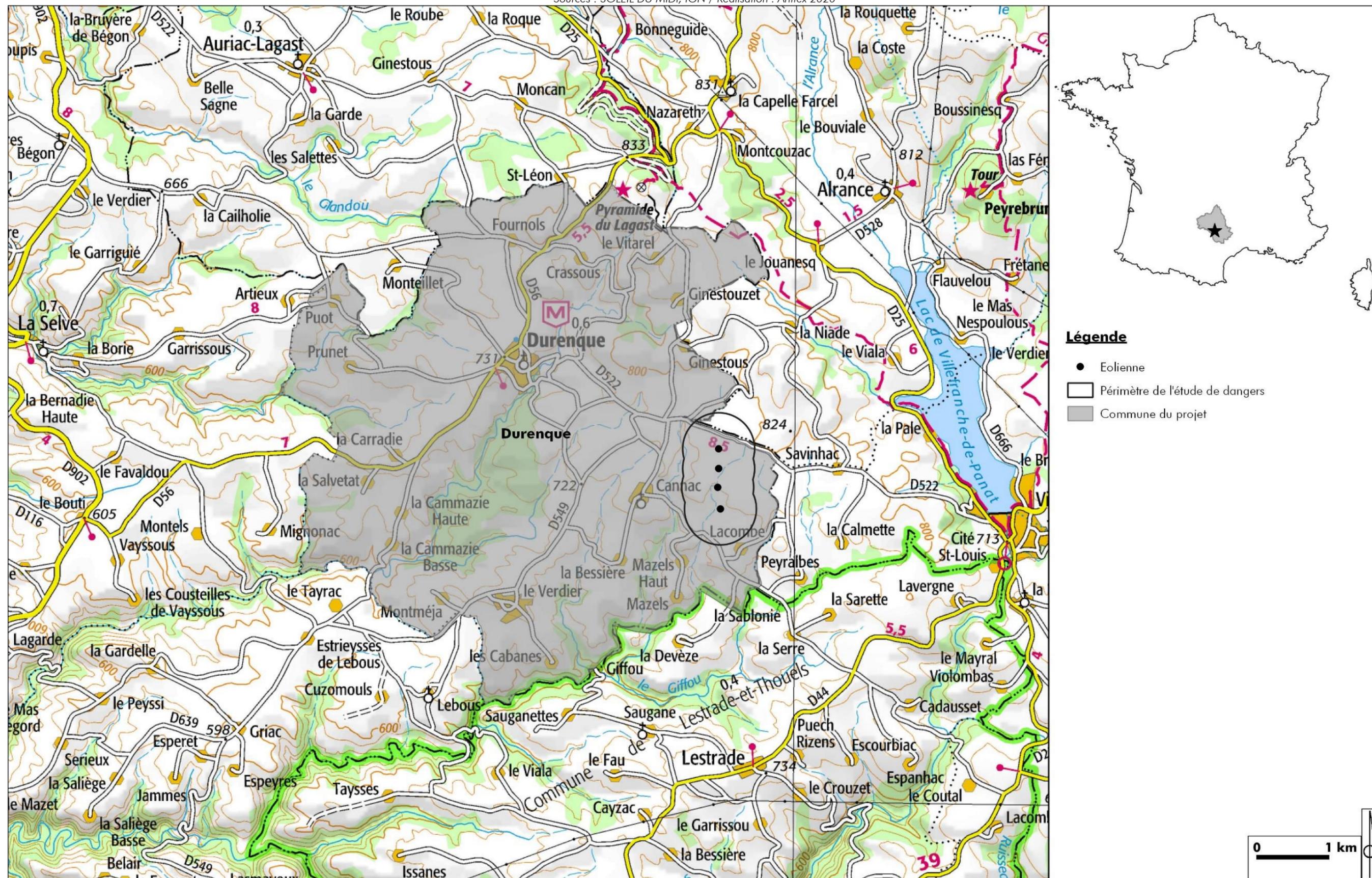


Illustration 2 : Périmètre de l'étude de dangers  
Sources : SOLEIL DU MIDI, IGN / Réalisation : Artifex 2020

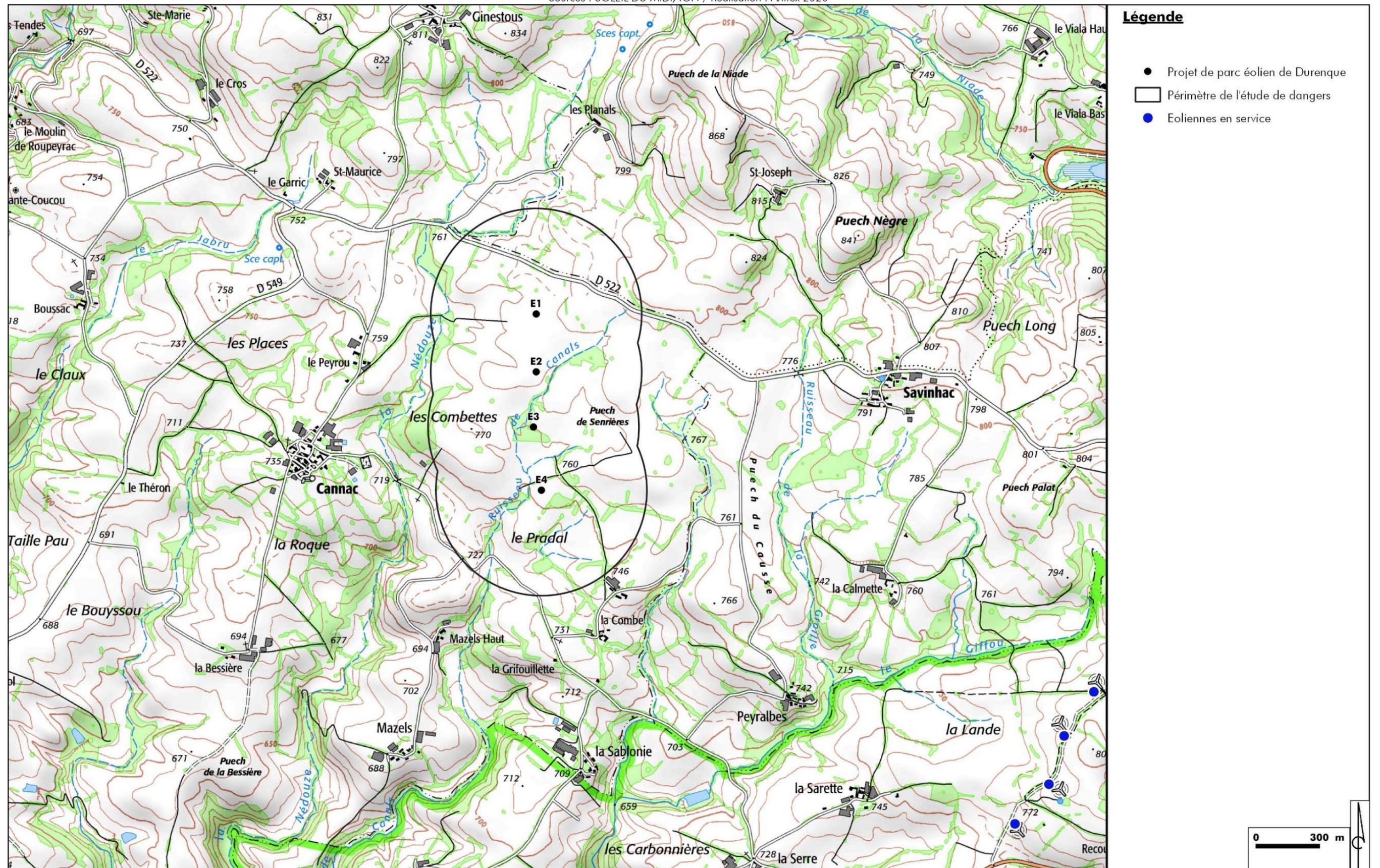


Illustration 3 : Plan détaillé de l'installation  
Sources : SOLEIL DU MIDI, IGN / Réalisation : Artifex 2020



# PARTIE 3 : DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

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

Le projet éolien du Puech de Senrières s'insère dans une Zone d'Implantation Potentielle (ZIP) dont la description complète est présentée dans la partie « Etat initial » de l'étude d'impact. Une synthèse de cette partie est proposée dans les paragraphes suivants.

## I. ENVIRONNEMENT NATUREL

### 1. Contexte climatique

Le Sud du département de l'Aveyron, de par sa localisation à la pointe Sud-Ouest du Massif Central, est sous-influence semi-continentale de moyenne montagne. Mais trois climats distincts y coexistent, conséquence de la variété des reliefs et de l'étagement altimétrique :

- Climat **montagnard** sur les **monts de Lacaune** et du **Lézou**, caractérisés par des hivers rigoureux.
- Climat plutôt **méditerranéen** sur les bassins de **Millau** et **Saint-Affrique**, aux étés secs.
- Climat **océanique** enfin, sur le **Ségala**.

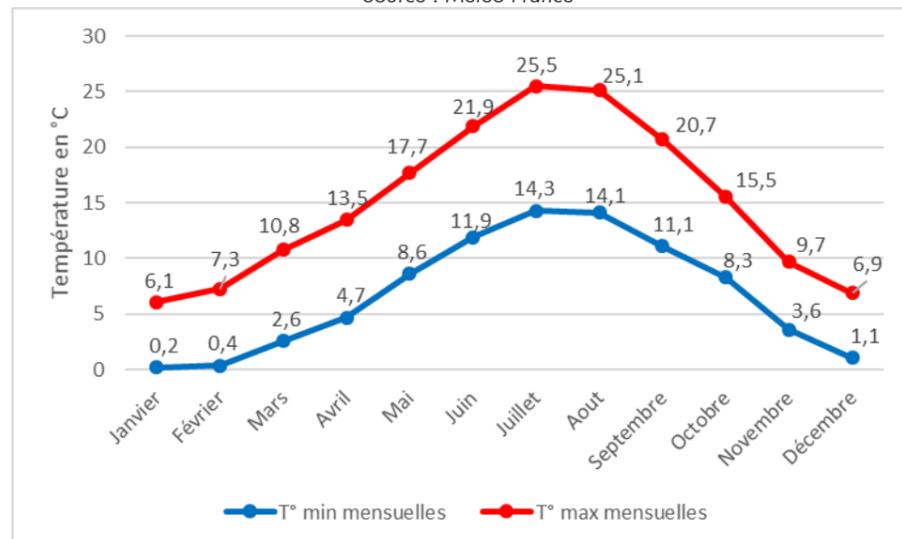
La station météorologique de **Millau** (12) est la plus proche du projet. Elle est localisée à environ 32 km à l'Est. Elle enregistre des données climatiques annuelles telles que les précipitations, les températures et l'ensoleillement.

- **Températures**

La moyenne annuelle des températures minimales est de 6,8°C et la moyenne maximale est de 15,1°C entre 1981 et 2010.

Illustration 4 : Températures à Millau

Source : Météo France

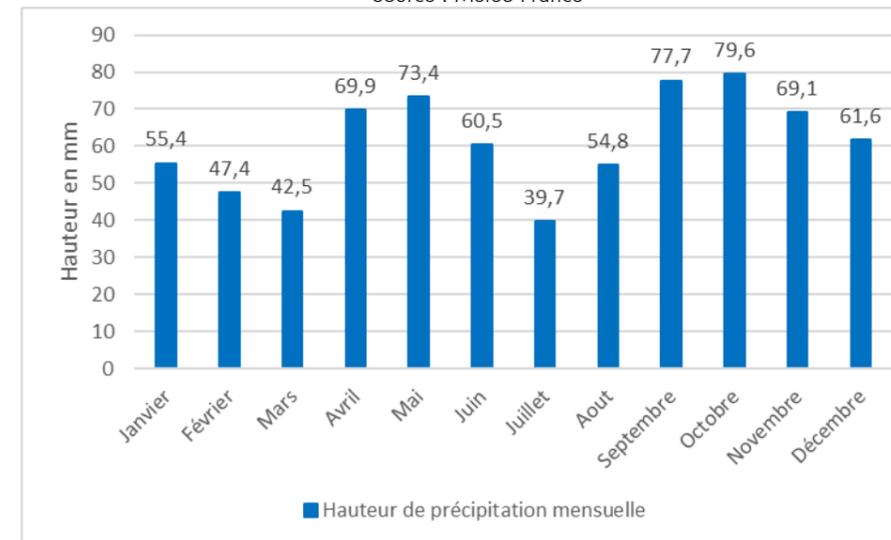


- **Précipitations**

La hauteur d'eau annuelle moyenne est de 731,6 mm. La pluviométrie à Millau est inférieure à la moyenne nationale qui est de 867 mm/an. La pluviométrie est forte en automne et au printemps, elle est la plus faible en juillet.

Illustration 5 : Pluviométrie à Millau

Source : Météo France



- **Ensoleillement**

La durée d'ensoleillement est en moyenne de 2157,6 h/an. Cette valeur est supérieure à la moyenne nationale qui est de 1970 h/an. Les mois d'été sont les mois les plus ensoleillés de l'année.

Illustration 6 : Ensoleillement à Millau

Source : Météo France

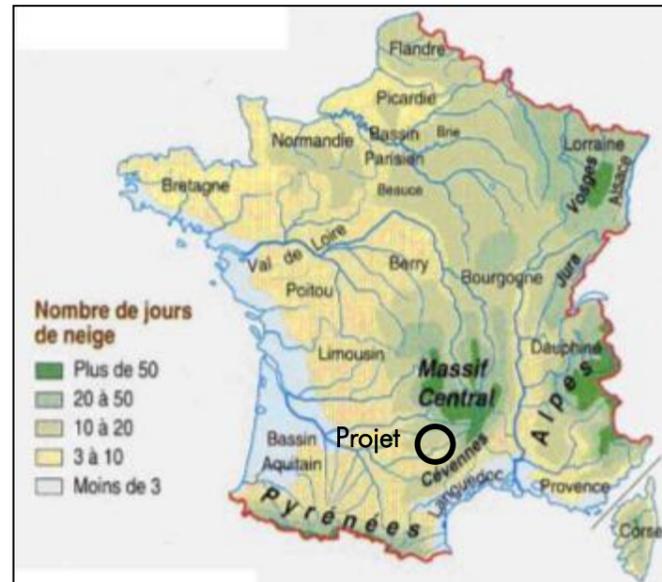


- Neige

Des phénomènes neigeux sont possibles entre octobre et avril. Cependant, le nombre de jours moyen de neige par an est compris entre 20 et 50 d'après la figure suivante :

Illustration 7 : Nombre de jours de neige par an

Source : alertes-meteo.com



- Orages

La densité de foudroiement ( $N_g$ ) représente le nombre d'impact de foudre par kilomètre carré et par an.

Selon le site internet Météorage, la densité moyenne de foudroiement dans l'Aveyron s'élève à 1,31 impacts de foudre par  $\text{km}^2$  et par an. La densité de foudroiement du département de l'Aveyron est **modérée**. Notons que la commune la plus foudroyée du département, Cornus, se situe à 46 km du projet.

A l'échelle de la commune de Durenque, la densité de foudroiement est estimée **faible**.

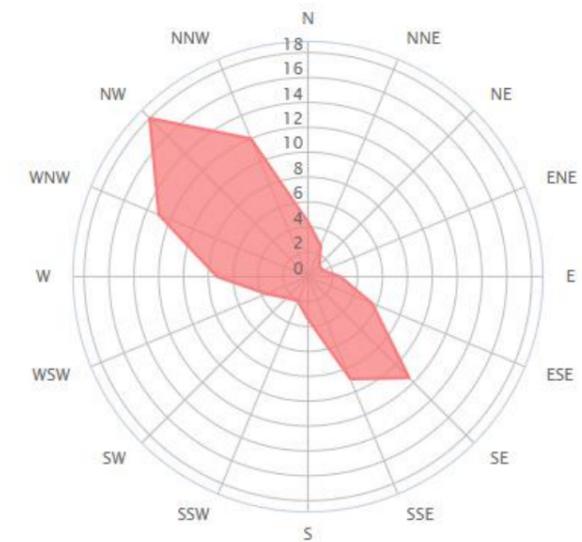
- Exposition au vent

La rose des vents ci-dessous montre la distribution de la direction du vent. Les statistiques de vent sont basées sur des observations réelles de la station météo de l'aéroport de Rodez-Aveyron, entre 2002 et 2019.

Le secteur du projet est principalement soumis à un vent de Nord-Ouest. D'après le site Windfinder, il s'agit d'un vent soufflant en moyenne à 4 m/s.

Illustration 8 : Distribution de la direction du vent (en %)

Source : Windfinder



## 2. Risques naturels

### • Arrêtés de catastrophes naturelles

L'exposition aux risques naturels à l'échelle communale peut être illustrée par les Arrêtés de Catastrophes Naturelles de la commune. Il s'agit d'arrêtés interministériels qui constatent l'état de catastrophe naturelle (intensité anormalement importante d'un agent naturel).

Le projet se trouvant sur le territoire de la commune de Durenque, les différents arrêtés ministériels de déclaration d'état de catastrophe naturelle pris sur cette commune sont répertoriés dans le tableau ci-dessous.

Type de catastrophe	Durenque
Inondations et coulées de boue	12/02/2001
Tempête	18/11/1982

Selon ces informations, les arrêtés de catastrophes naturelles pris sur ces communes montrent l'importance des dégâts liés aux inondations et coulées de boues dans le secteur.

### • Inondation

L'inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors de l'eau. Elle peut être liée à un phénomène de débordement de cours d'eau, de ruissellement, de remontées de nappes d'eau souterraines ou de submersion marine.

Selon le site internet Géorisques et le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM) de l'Aveyron, la commune de Durenque n'est pas concernée par le risque inondation.

Elle est concernée par l'atlas des zones inondables (AZI) de l'Aveyron et par un **Plan de prévention des risques inondation (PPRI)** approuvé par arrêté préfectoral le 9 février 2016.

**Le secteur du projet n'est pas concerné par le zonage réglementaire de ce PPRI.**

Notons que le projet est situé en tête de bassin versant. Le risque d'inondation par débordement de cours d'eau est donc impossible.

### • Aléa retrait/gonflement des argiles

La consistance et le volume des sols argileux se modifient en fonction de leur teneur en eau :

- Lorsque la teneur en eau augmente, le sol devient souple et son volume augmente. On parle alors de « gonflement des argiles ».
- Un déficit en eau provoquera un assèchement du sol, qui devient dur et cassant. On assiste alors à un phénomène inverse de rétractation ou « retrait des argiles ».

Selon le site internet Géorisques, **la commune de Durenque n'est pas concernée par l'aléa retrait/gonflement des argiles.**

**Le projet est situé en zone d'aléa « moyen » et « a priori nul ».**

Illustration 9 : Carte de l'aléa retrait/gonflement des argiles aux abords du projet

Sources : SOLEIL DU MIDI, Géorisques, IGN / Réalisation : Artifex 2020



### • Mouvements de terrain

Un mouvement de terrain est un déplacement d'une partie du sol ou du sous-sol. Le sol est déstabilisé pour des raisons naturelles (la fonte des neiges, une pluviométrie anormalement forte...) ou occasionnées par l'homme : déboisement, exploitation de matériaux ou de nappes aquifères... Un mouvement de terrain peut prendre la forme d'un affaissement ou d'un effondrement, de chutes de pierres, d'éboulements, ou d'un glissement de terrain.

Selon le site internet Géorisques et le DDRM de l'Aveyron, **la commune de Durenque n'est pas soumise au risque de mouvements de terrain. Aucun mouvement de terrain n'a été recensé dans cette commune.**

- **Cavités souterraines**

Une cavité souterraine désigne en général un « trou » dans le sol, d'origine naturelle ou occasionné par l'homme. La dégradation de ces cavités par affaissement ou effondrement subite, peut mettre en danger les constructions et les habitants.

Selon le site internet Géorisques, **aucune cavité souterraine** n'est localisée sur la commune de Durenque.

- **Feu de forêt**

On parle d'incendie de forêt lorsque le feu couvre une surface minimale de 0,5 hectare d'un seul tenant et qu'une partie au moins des étages arbustifs et/ou arborés est détruite.

Le terme incendie vaut aussi pour les formations subforestières de plus petites tailles que sont le maquis, la garrigue et les landes.

Selon le DDRM de l'Aveyron, la commune de Durenque présente un **risque très faible** aux feux de forêt.

L'Aveyron est un département sensible au risque incendie. Ainsi, un Plan Départemental de Protection des Forêts Contre les Incendies 2017-2026 (PDPFCI) a été mis en place et approuvé en 2017. Celui-ci décrit un ensemble de mesures et actions visant à limiter le nombre de départs de feu et ainsi de lutter contre le risque incendie, particulièrement élevé dans la région.

Notons que, d'après le PDPFCI de l'Aveyron, **le risque sur la commune de Durenque est considéré comme faible**.

**Peu de boisements se situent sur les terrains aux abords du projet. Ce dernier est donc peu concerné par le risque de feu de forêt.**

Concernant ce risque, le Service Départemental d'Incendie et de Secours (SDIS) de l'Aveyron a fait part de ses préconisations concernant le projet éolien. Le SDIS conseille notamment de débroussailler le terrain sur un rayon de 50 mètres autour des installations et de prévoir une réserve incendie ou une infrastructure qui permette aux sapeurs-pompiers de disposer d'une ressource en eau satisfaisante au niveau du poste de livraison électrique. Pour davantage d'informations sur ces préconisations, se référer à l'avis du SDIS de l'Aveyron en annexe de l'étude d'impact.

- **Sismicité**

Un séisme ou tremblement de terre se traduit en surface par des vibrations du sol. Ce phénomène résulte de la libération brusque d'énergie accumulée par les contraintes exercées sur les roches.

Selon le site internet Géorisques, la commune de Durenque présente une **sensibilité très faible** face au risque sismique.

## II. ENVIRONNEMENT HUMAIN

### 1. Zones urbanisées

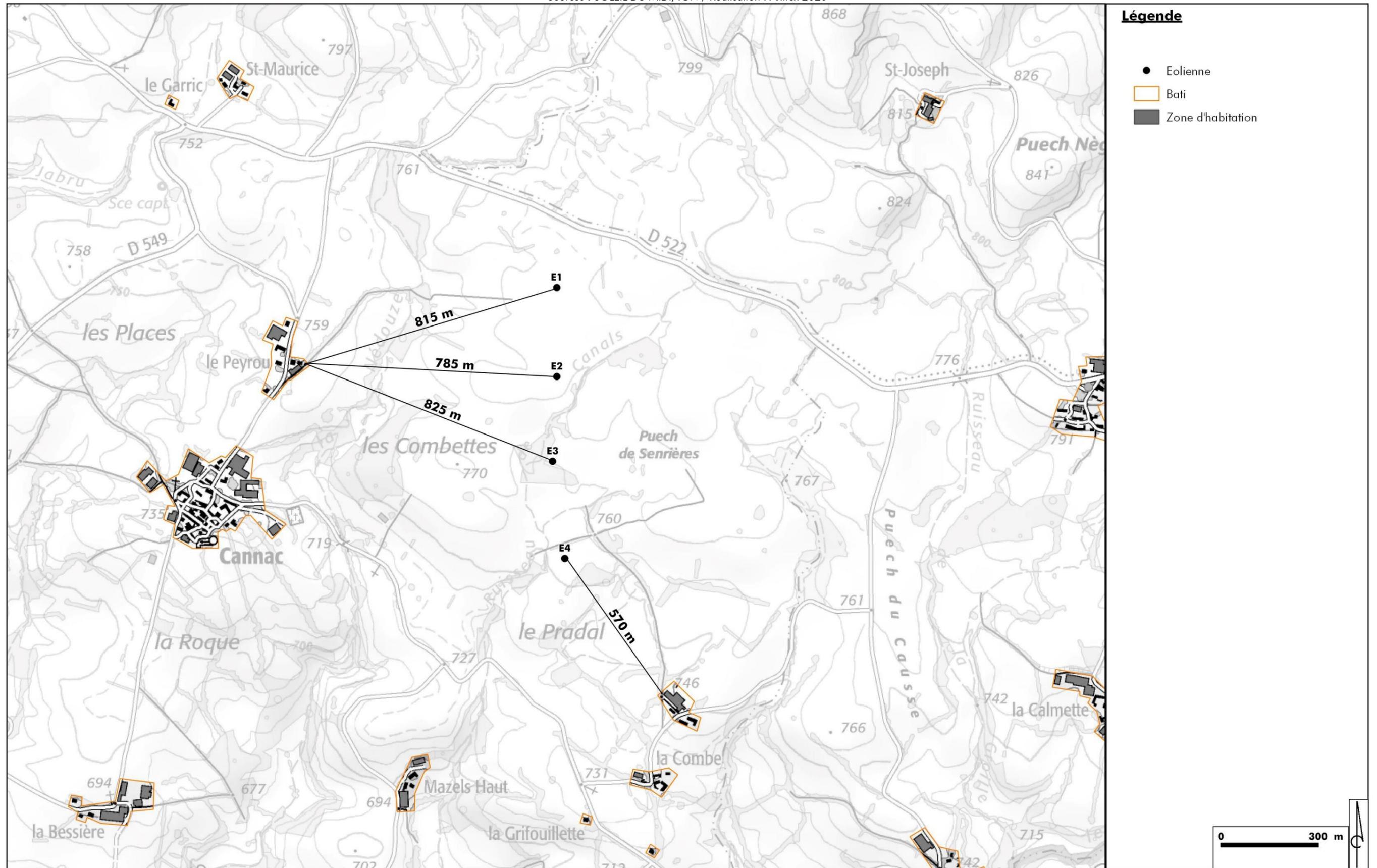
Le tableau ci-dessous présente les distances les plus courtes entre les éoliennes et les zones d'habitat.

Commune	Lieu-dit	Eoliennes			
		E1	E2	E3	E4
Durenque	Cannac	1,16 km	1,06 km	980 m	1,02 km
	Le Peyrou	815 m	785 m	825 m	1,01 km
	Mazels Haut	1,55 km	1,29 km	1,05 km	795 m
	La Combe	1,35 km	1,09 km	845 m	570 m
	Saint-Maurice	1,12 km	1,29 km	1,47 km	1,73 km
Alrance	Saint-Joseph	1,28 km	1,42 km	1,60 km	1,80 km

Il n'y a pas d'habitation à moins de 570 m des éoliennes (éolienne E4).

La carte ci-dessous permet de localiser les habitations et bâtiments dans le secteur du projet.

Illustration 10 : Carte des habitations et bâtiments aux abords du projet  
Sources : SOLEIL DU MIDI, IGN / Réalisation : Artifex 2020



## 2. Les établissements sensibles et les établissements recevant du public sur l'aire d'étude rapprochée

Notons que les thématiques présentées ci-dessous sont traitées à l'échelle de l'aire d'étude rapprochée correspondant aux communes qui interceptent le rayon de 500 m des éoliennes : Durenque et Alrance.

### • Etablissements sensibles

Le Plan National Santé-Environnement (PNSE) établi une liste des établissements dits « sensibles », il s'agit :

- Des crèches ;
- Des écoles maternelles et élémentaires ;
- Des établissements hébergeant des enfants handicapés ;
- Des collèges et lycées ;
- Des établissements de formation professionnelle des jeunes du secteur public ou privé ;
- Des aires de jeux et des espaces verts.

Les établissements sensibles sur l'aire d'étude rapprochée sont présentés dans le tableau suivant.

Commune	Code école	Type de l'établissement	Distance avec l'éolienne la plus proche	Nombre d'élèves
Durenque	0120278M	Ecole primaire publique François Fabié	3,15 km de l'éolienne E1	49
Alrance	0121180T	Ecole primaire publique des pierres brunes	4,29 km de l'éolienne E1	33

Il n'y a pas d'établissement sensible à moins de 3,15 km du projet.

### • Etablissements Recevant du Public (ERP) sur l'aire d'étude rapprochée

Selon l'article R 123-2 du Code de la construction et de l'habitation, « *constituent des Etablissements Recevant du Public, tous bâtiments, locaux et enceintes dans lesquels des personnes sont admises soit librement, soit moyennant une participation quelconque, ou dans lesquels sont tenues des réunions ouvertes à tout venant ou sur invitations, payantes ou non* ».

Ces établissements sont classifiés selon leur type. Il peut s'agir d'établissements installés dans un bâtiment (structures d'accueil pour personnes âgées ou handicapées, salles d'audition, de conférences, de réunions, de spectacles, salles de danse et salles de jeux, bibliothèques, établissement de soins, de culture, administrations...), d'établissements spéciaux (parcs de stationnement couverts, gares accessibles au public...) ou d'immeuble de grande hauteur (bureaux, enseignement, dépôt d'archives...).

Sur les communes de l'aire d'étude rapprochée l'essentiel de ces ERP est constitué des mairies, bureaux, hôpitaux, établissements d'enseignement, maisons de retraite, restaurants, magasins et lieux de culte.

Il n'y a pas d'ERP à moins de 500 m des éoliennes du projet.

## 3. Activités

L'agriculture sur les communes de Durenque et Alrance représente une part importante de la dynamique économique. Les commerces, transports et services, ainsi que la construction sont également bien représentés. Cette dynamique économique est caractéristique des communes rurales avec une agriculture encore bien présente.

La seule activité recensée dans le rayon de 500 m autour des éoliennes est l'agriculture.

## 4. Risques technologiques

### • Etablissements classés SEVESO

La directive européenne du 9 décembre 1996, dite directive SEVESO 2 concerne la prévention des risques d'accidents technologiques majeurs. Elle vise l'intégralité des établissements où sont présentes certaines substances dangereuses. Deux catégories sont distinguées suivant les quantités de substances dangereuses présentes : les établissements dits « seuil haut » et les établissements dits « seuils bas ».

La directive Seveso 3 relative à la maîtrise des dangers liés aux accidents majeurs impliquant des substances dangereuses est traduite en droit français par l'arrêté ministériel du 26 mai 2014. Il précise les modalités d'application des dispositions décrites au titre Ier du livre V du code de l'environnement. Depuis le 1er juin 2015, cet arrêté remplace et abroge l'arrêté du 10 mai 2000 relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation.

Selon le site internet Géorisques et le Dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM) de l'Aveyron, les communes de Durenque et Alrance et les communes limitrophes **ne recensent pas de site SEVESO susceptible de générer un risque industriel.**

### • Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE)

Selon le Ministère de l'Ecologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, est une installation classée « *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 [...]* ».

A l'échelle de l'aire d'étude rapprochée, plusieurs ICPE (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement) non Seveso sont présentes. Il s'agit notamment de parcs éoliens, de carrières et d'établissements d'élevage.

### • Risque nucléaire

Le risque nucléaire est celui qui provient du rejet d'éléments radioactifs en dehors des enceintes et conteneurs prévus pour les contenir. Ces accidents peuvent avoir deux origines principales :

- La survenance lors de transport ;
- La survenance en cas de dysfonctionnement grave sur une installation nucléaire industrielle.

Le risque nucléaire concerne les personnes (atteinte à la santé), mais aussi l'environnement (dégradation et destruction des milieux). La distance géographique d'une centrale nucléaire n'est pas un indicateur pertinent de l'exposition au risque. En effet, cette dernière dépend de nombreux autres facteurs comme la topographie, l'orientation des vents dominants, les précipitations... Ainsi, une ville située à 80 km d'un site nucléaire mais dans le sens du vent, est plus exposée qu'une autre située à 30 km de la même installation mais abritée par le relief ou les vents dominants.

Il n'y a pas de centrale nucléaire à proximité du projet.

- **Transport de matières dangereuses et radioactives**

Le risque de transport de matières dangereuses (TMD) est consécutif à un accident qui se produit lors du transport par route, voie ferrée, voies fluviales et maritimes, de produits dangereux.

Les canalisations de matières dangereuses sont également à prendre en compte lors de l'évaluation de ce risque.

Selon le DDRM de l'Aveyron, compte tenu de la diversité des produits transportés et des destinations, un accident de transport de matières dangereuses (TMD) peut survenir pratiquement n'importe où dans le département. Cependant, certains axes routiers ou ferrés présentent une potentialité plus forte du fait de l'importance du trafic ou de leurs caractéristiques (déclivité, sinuosité...).

Le risque lié au **réseau routier** porte sur le transport et la distribution de marchandises dangereuses (principalement des hydrocarbures mais également les engrais, les fluides frigorigènes, les peintures...). Sur le **réseau ferré**, le trafic est essentiellement limité aux engrais contenant du nitrate d'ammonium. Il s'agit d'un approvisionnement saisonnier acheminé à 60 % par la SNCF.

**Les communes de Durenque et Alrance ne font pas partie des communes identifiées comme étant exposées à un risque TMD** via le réseau routier ou via le réseau ferré. Notons également que le projet est éloigné des principales voies de circulation.

D'autre part, selon le site internet Géorisques, **ces communes ne sont pas concernées par des canalisations de matières dangereuses.**

- **Rupture de barrage**

D'après le DDRM de l'Aveyron, les communes de Durenque et Alrance ne sont pas concernées par l'aléa rupture de barrage

### III. ENVIRONNEMENT MATERIEL

- **Autoroutes**

Le projet est éloigné de tout axe important de communication. En effet, l'autoroute A 75, dite « La Méridienne », reliant Clermont-Ferrand à Béziers via le Viaduc de Millau, passe à **28 km à l'Est au plus proche du projet.**

D'après un comptage routier réalisé en 2016, le trafic moyen journalier sur la portion d'autoroute la plus proche (station de La Gammasse) est de 16 661 véhicules, avec 14 % de poids lourds.

En 2004, la construction du **Viaduc de Millau** sur cette autoroute a permis de connecter le Massif Central à l'A75 et donc au Sud de la France. D'une longueur de près de 2,5 km, le Viaduc de Millau est localisé à 28 km à l'Est du projet.

- **Routes nationales**

Aucune route nationale ne passe dans le secteur du projet.

- **Routes départementales**

La commune de **Durenque** est traversée par 3 routes départementales :

- La **RD 56** qui traverse la commune en passant par le bourg,
- La **RD 522** qui passe par le bourg également et qui passe au Nord de l'éolienne E1,
- La **RD 549** qui est connectée à la RD 522.

La commune **d'Alrance** est traversée par 4 routes départementales :

- La **RD 56** qui traverse le Nord-Ouest de la commune,
- La **RD 25** qui traverse la commune et longe la rive Ouest du lac de Villefranche-de-Panat,
- La **RD 528** qui traverse le bourg
- La **RD 666** qui longe la rive Est du lac de Villefranche-de-Panat.

- **Autres voies routières**

Les terrains du projet sont accessibles par la route départementale D522 au Nord, et par plusieurs routes communales.

Le projet s'intègre dans un secteur rural, caractérisé par la présence de nombreuses parcelles agricoles. Ainsi, de plusieurs chemins sillonnent le secteur, permettant l'accès et l'exploitation de ces parcelles. Ces pistes ne sont pas goudronnées et certaines peuvent être difficiles à emprunter.

Le tableau ci-dessous présente les distances les plus courtes entre les éoliennes et les routes.

Route	Eoliennes			
	E1	E2	E3	E4
D522	185 m	450 m	700 m	950 m
Route qui dessert La Combe	1,24 km	1,03 km	880 m	590 m
Route qui dessert Le Peyrou	725 m	800 m	860 m	1,03 km
Route qui relie Cannac à La Combe	1,0 km	780 m	600 m	380 m

- **Voies ferrées**

La voie ferrée reliant Clermont-Ferrand à Béziers passe à 25 km à l'Est du projet.

- **Transport fluvial**

Il n'existe pas de voie navigable ou d'infrastructure portuaire à proximité du projet.

- **Transport aérien**

L'aérodrome de Cassagnes-Bégonhès est situé sur la commune de Cassagnes-Bégonhès à 12,7 km au Nord-Ouest du projet.

L'hydrobase « Air des Lacs » sur le lac de Villefranche-de-Panat est située à 3,5 km à l'Est du projet.

Ces aérodromes sont utilisés essentiellement pour la pratique d'activités de loisirs et de tourisme.

## IV. CARTOGRAPHIE DE SYNTHÈSE

### 1. Nombre d'équivalent personnes permanentes

La détermination du nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) permet d'identifier les enjeux à protéger dans une zone d'étude.

Le tableau ci-après présente le nombre de personnes permanentes ou « équivalent-personnes permanentes » présente dans l'aire d'étude de 500 m autour des éoliennes :

Secteur ou infrastructure	Type	Nombre d'équivalent-personnes permanentes	Eoliennes concernées (aire d'étude de 500 m à partir du mât)
Route départementale D522	Voie de circulation automobile non structurante (<2 000 véhicules/jour) → Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 personne/10 hectares	Eoliennes E1 et E2
Routes communales	Voie de circulation automobile non structurante (<2 000 véhicules/jour) → Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 personne/10 hectares	Eolienne E4
Chemins agricoles	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 personne/10 hectares	Toutes les éoliennes
Pistes d'accès	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 personne/10 hectares	Toutes les éoliennes
Plateformes permanentes	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 personne/10 hectares	Toutes les éoliennes
Champs, prairies, boisements	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 personne/100 hectares	Toutes les éoliennes

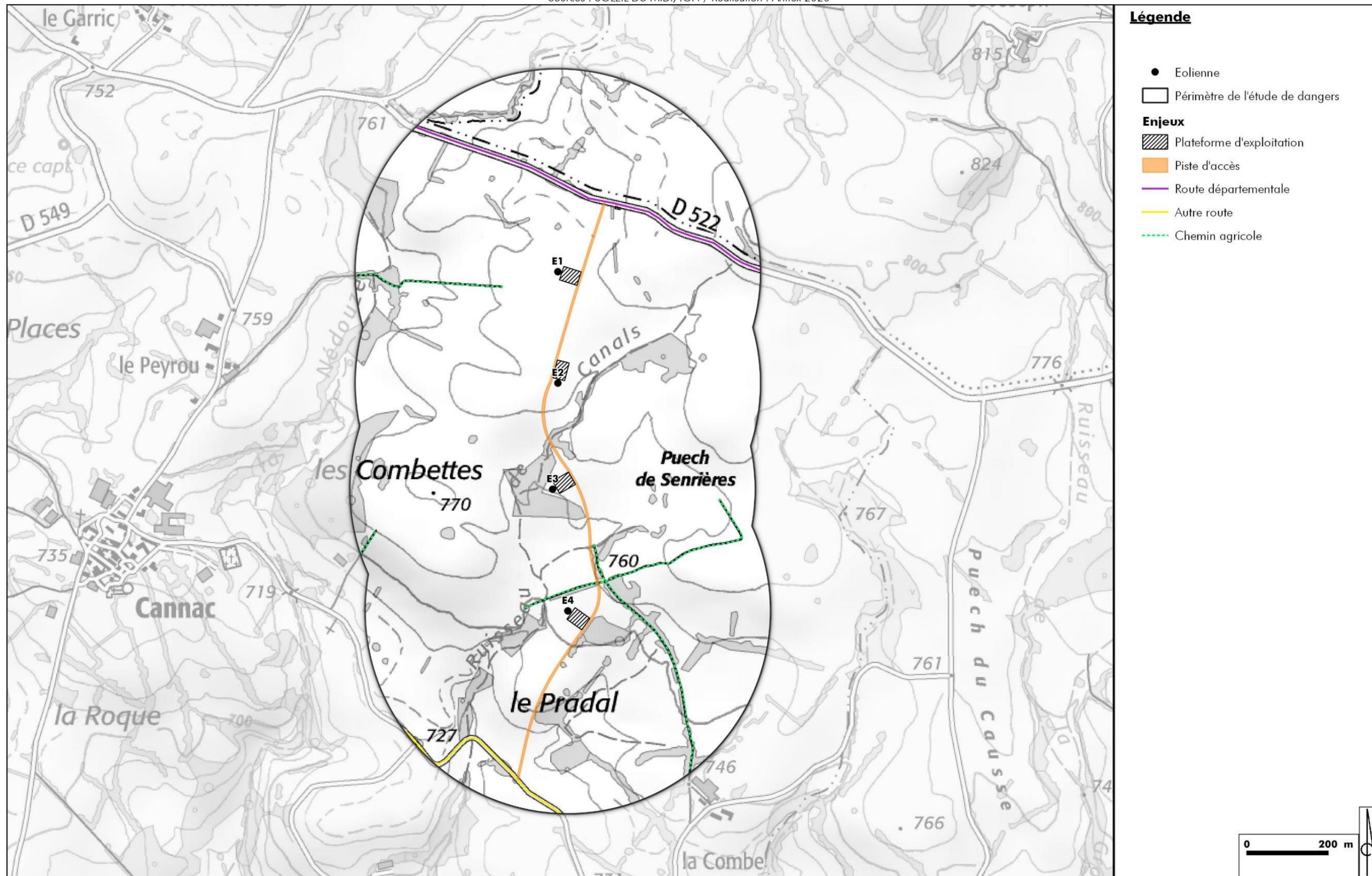
La méthode de comptage des enjeux humains dans chaque secteur/infrastructure est présentée en annexe 1. Elle se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers.

### 2. Cartographie

L'illustration ci-dessous permet d'identifier géographiquement les enjeux à protéger dans la zone d'étude pour chacun des aérogénérateurs. Elle a été réalisée à partir des données du tableau précédent.

Illustration 11 : Synthèse des enjeux dans le périmètre de l'étude de dangers

Sources : SOLEIL DU MIDI, IGN / Réalisation : Artifex 2020



## PARTIE 4 : DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

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

La description complète du projet est présentée dans l'étude d'impact. Une synthèse de cette partie est proposée ci-après.

### I. NATURE DES ACTIVITES

Le projet retenu consiste en l'implantation d'un parc éolien composé de 4 éoliennes d'une puissance nominale unitaire maximale de 4,2 MW sur la commune de Durenque, dans le département de l'Aveyron. Les éoliennes présentent une hauteur totale maximale de 150 mètres avec une hauteur au moyeu maximale de 93 mètres et un rotor de 117 mètres de diamètre.

## II. CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION

### 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** ;
- Eventuellement des éléments annexes type mât de mesure de vent, aire d'accueil du public, aire de stationnement...

### 2. Eléments constitutifs d'un aérogénérateur

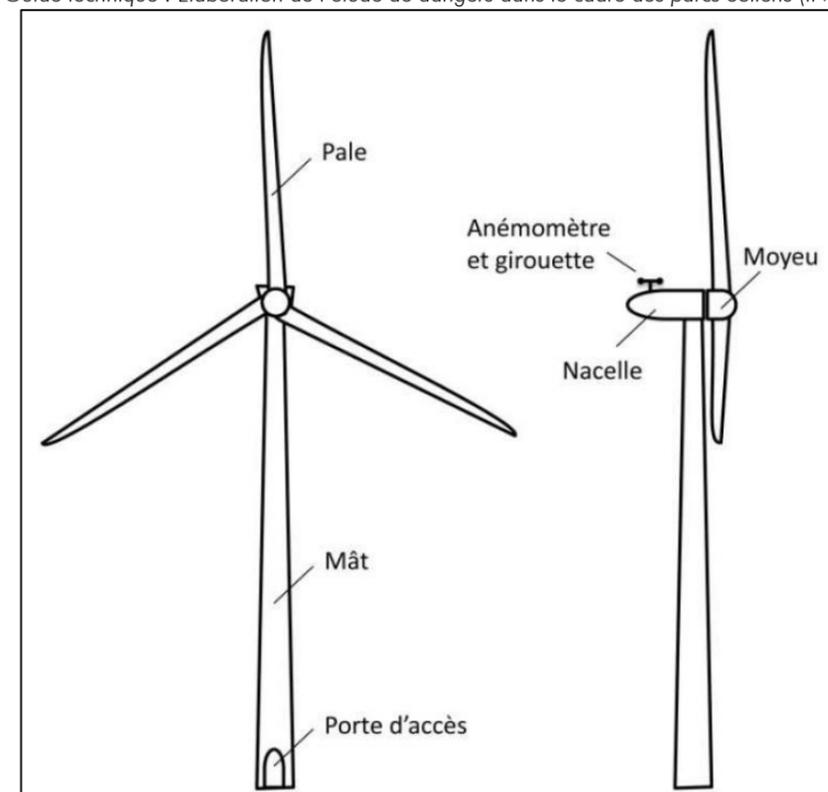
Au sens de l'arrêté du 22 juin 2020 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement, les aérogénérateurs (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 5 tronçons en acier, parfois plus, 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 :
  - o Le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique ;
  - o Le multiplicateur (certaines technologies n'en utilisent pas) ;
  - o Le système de freinage mécanique ;
  - o Le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent pour une production optimale d'énergie ;
  - o Les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette) ;
  - o Le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique.

Illustration 12 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

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



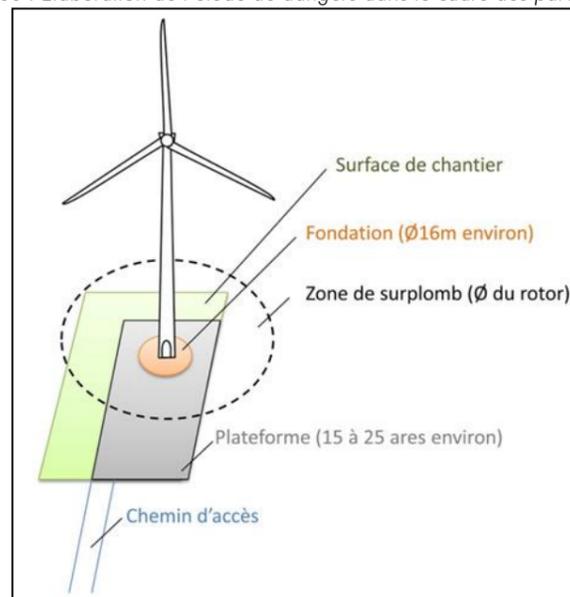
- **Emprise au sol**

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.

### Illustration 13 : Emprises au sol d'une éolienne

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



(Les dimensions sont données à titre d'illustration pour une éolienne d'environ 150 m de hauteur totale)

- **Chemins d'accès**

Pour accéder à chaque aérogénérateur, des pistes d'accès sont aménagées pour permettre aux véhicules d'accéder aux éoliennes aussi bien pour les opérations de 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 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 (exemple : changement de pale).

## 3. Activité de l'installation

L'activité principale du projet éolien du Puech de Senrières sera la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec des éoliennes ayant les caractéristiques suivantes :

Eolienne	Type	Hauteur du mât au sens ICPE (mât + nacelle)	Hauteur totale
Toutes les éoliennes	Enercon E115 EP3 E3	96,315 m	149,85 m
Toutes les éoliennes	Vestas V117	96,5 m	150 m
Toutes les éoliennes	Nordex N117	-	149,4 m
Toutes les éoliennes	Siemens Gamesa SG114	-	150 m

Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

## 4. Composition de l'installation

Le projet éolien du Puech de Senrières sera composé de 4 aérogénérateurs et d'un poste de livraison. Chaque aérogénérateur a une hauteur totale en bout de pales maximale de 150 m. Le balisage mis en place répondra aux dispositions de l'arrêté du 23 avril 2018 relatif à la réalisation du balisage des obstacles à la navigation aérienne.

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

Eoliennes	Altitude	Coordonnées en WGS84 (degré décimaux)		Coordonnées en L93	
		Longitude	Latitude	Longitude	Latitude
E1	776 m	2,653457	44,099245	672253,6	6333421,1
E2	773 m	2,653473	44,096775	672253,7	6333146,6
E3	762 m	2,653324	44,094421	672240,6	6332885,1
E4	755 m	2,653810	44,091726	672278,2	6332585,5
PDL	779 m	2,655291	44,100660	672401,1	6333577,6

### III. FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

#### 1. Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur

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

Les pales se mettent en mouvement lorsque l'anémomètre (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 2 m/s soit environ 7 km/h et c'est seulement à partir de 3 m/s soit environ 11 km/h que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor et l'arbre dit « lent » transmettent alors l'énergie mécanique à basse vitesse 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.

L'électricité produite par la génératrice correspond à un courant alternatif de fréquence 50 Hz avec une tension de 660 V. La tension est ensuite élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur placé dans chaque éolienne pour être ensuite injectée dans le réseau électrique public.

Lorsque la mesure de vent, indiquée par l'anémomètre, atteint une vitesse trop importante (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 (utilisé en cas d'urgence ou de maintenance).

Élément de l'installation	Fonction	Caractéristiques
Fondation	Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol	-
Mât	Supporter la nacelle et le rotor	Hauteur maxi des parties fixe et mobile : 150 m Hauteur du mât au sens ICPE : 96,5 m Hauteur de l'axe du moyeu : 93 m Diamètre de la base de la tour : 4,7 m
Nacelle	Supporter le rotor Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice...) ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité	Puissance nominale : 4,2 MW
Rotor / pales	Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice	Nombre de pales : 3 Diamètre du rotor : 117 m
Transformateur	Elever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau	-
Poste de livraison	Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public	-

#### 2. Sécurité des installations

- **Règlementation en matière de sécurité des éoliennes**

Concernant la réglementation européenne relative à la sécurité, les exigences essentielles sont fixées par la directive « Machines » n°2006/42/CE du 17 mai 2006.

Selon la réglementation européenne, une éolienne mise sur le marché est soumise à une quadruple obligation :

- Satisfaire aux exigences essentielles de sécurité énoncées par la directive ;
- Disposer du marquage CE ;
- Disposer d'une « auto-certification » (procédure par laquelle le fabricant ou l'importateur déclare, sous sa responsabilité, que la machine soumise à ladite procédure est conforme aux règles techniques qui lui sont applicables) ;
- Enfin, le fabricant ou l'opérateur qui met une éolienne sur le marché doit tenir à la disposition des services de contrôle des États membres une documentation prouvant la conformité de la machine aux exigences essentielles de la directive.

Plus particulièrement, les exigences essentielles de sécurité de la réglementation européenne couvrent les risques d'effondrement et d'éjections d'objets susceptibles d'affecter le public et les biens des tiers.

De plus, une éolienne doit également satisfaire aux exigences en matière de sécurité de la directive 73/23/CEE du 19 février 1973 relative aux équipements électriques ainsi que de la directive 89/336/CEE du 3 mai 1989 relative à la compatibilité électromagnétique.

En ce qui concerne la normalisation internationale, une norme relative aux aérogénérateurs a été établie par la CEI (Commission Electrotechnique Internationale – IEC en anglais). Ainsi, la solidité intrinsèque des éoliennes et leur adéquation aux conditions du site du projet sont assurées par la mise en place d'un référentiel de conception défini par la norme IEC 61400-1. Le porteur de projet s'assure que le constructeur fournisse des éoliennes dont toutes les parties sont conformes à cette norme et qu'il délivre un certificat de conformité à la norme IEC 61400-1 adapté aux conditions de vent du site et réalisé suivant les règles et procédures de l'IEC WT 01. La fourniture des certificats est une condition de la réception définitive de l'installation.

De la même façon, au niveau européen, une norme a été établie en tant que norme « harmonisée » afin de satisfaire aux exigences essentielles de sécurité de la réglementation « Machines ». Il s'agit de la norme EN 50308 (homologuée également en France sous la référence NFEN 50308), qui doit être prise en compte pour la conception, le fonctionnement et la maintenance des éoliennes.

La construction des fondations se base sur des études de sol précises réalisées par un bureau d'études géotechniques selon la norme NFP 94-500. D'autre part, le dimensionnement des fondations est effectué par un autre bureau spécialisé suivant les règles du fascicule 62 du cahier des clauses techniques générales (CCTG) « Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages en béton armé suivant la méthode des états limites ». Enfin, les éoliennes dont la hauteur du mât et de la nacelle est supérieure ou égale à 12 mètres sont soumises obligatoirement à un contrôle technique (article R 111-38 du Code de la construction et de l'habitation). Ce contrôle technique obligatoire porte sur la solidité des ouvrages de fondation et des éléments d'équipement qui font indissociablement corps avec ces ouvrages. Il est réalisé par des bureaux de contrôle agréés tels que Veritas, Apave, Dekra, Socotec, etc.

Il est important de noter que l'exploitation et la maintenance des éoliennes sont confiées à du personnel qualifié et formé régulièrement suivant les consignes préalablement définies dans les manuels rédigés par le constructeur lui-même.

Le porteur du projet s'engage à installer des éoliennes strictement conformes aux exigences énoncées plus haut. Dans le cas des éoliennes du projet du Puech de Senrières, l'ensemble des certifications fournies par le constructeur garantit que chacun des composants de l'éolienne est conçu de manière à résister à des conditions bien plus extrêmes que celles qui sont observées sur le site d'implantation concerné par le présent projet.

- **Principaux systèmes de sécurité**

Toutes les éoliennes du gabarit de l'éolienne choisie pour le projet du Puech de Senrières sont équipées des dernières technologies en matière de sécurité.

- **Système de balisage**

L'arrêté du 23 avril 2018 relatif à la réalisation du balisage des obstacles à la navigation abroge et remplace :

- Arrêté du 13 novembre 2009 modifié relatif à la réalisation du balisage des éoliennes situées en dehors des zones grevées de servitudes aéronautiques ;
- Arrêté du 8 mars 2010 modifié relatif à la réalisation du balisage des éoliennes situées en dehors des zones grevées de servitudes aéronautiques et installées sur les îles Wallis-et-Futuna, en Polynésie française ou en Nouvelle-Calédonie ;
- Arrêté du 7 décembre 2010 relatif à la réalisation du balisage des obstacles à la navigation aérienne.

Le texte fixe les règles de balisage des parcs éoliens en mer et modifie les règles applicables aux parcs éoliens terrestres. Parmi les différentes dispositions, se trouve notamment la possibilité d'introduire, pour certaines éoliennes au sein d'un parc :

- Un balisage fixe ou un balisage à éclat de moindre intensité,
- De baliser uniquement la périphérie des parcs éoliens de jour,
- La synchronisation obligatoire des éclats des feux de balisage.

- **Système de sécurité en cas de tempête**

Le freinage du rotor est effectué par rotation des pales sur elles-mêmes jusqu'à la position dite en drapeau (90°) (frein aérodynamique principal). Chaque pale possède son propre moteur de calage et jeu de batterie de secours. Le calage d'une seule pale étant suffisant pour réguler la vitesse de l'éolienne. L'indépendance de chaque pale assure une redondance de trois de la régulation.

Le système est conçu en « fail-safe » c'est à dire que tout dysfonctionnement du système entraîne l'arrêt de l'éolienne.

L'éolienne est équipée d'un système redondant permettant une mise en drapeau des pales si les vitesses du vent dépassent la vitesse maximale admissible.

- **Système de sécurité contre la foudre**

L'éolienne est équipée d'un système parafoudre fiable afin d'éviter que l'éolienne ne subisse de dégâts.

Des pastilles métalliques en acier inoxydable sont disposées à intervalles réguliers sur les deux faces des pales reliées entre elles par une tresse en cuivre située à l'intérieur de la pale. La tresse de cuivre est raccordée à la base de la pale et le courant de foudre est dévié vers la terre via la fondation et des prises profondes.

Pour la protection interne de la machine, les composants principaux tels l'armoire de contrôle et la génératrice sont protégés par des parasurtenseurs. Toutes les autres platines possédant leur propre alimentation sont équipées de filtres à hautes absorptions. Aussi, la partie télécom est protégée par des parasurtenseurs de lignes et une protection galvanique. Enfin, une liaison de communication télécom en fibre optique entre les machines permet une insensibilité à ces surtensions atmosphériques ou du réseau.

Le transformateur est protégé par les parafoudres. De même, les anémomètres sont protégés par des parafoudres.

L'éolienne retenue sera équipée d'une installation de protection anti-foudre conforme à la norme internationale IEC 61024-1 II.

- **Système de sécurité contre le gel**

Dans le cas de conditions climatiques extrêmes (froid et humidité importante), la formation de glace sur les pales de l'éolienne peut se produire.

Afin d'éviter la projection de glace et pour garantir un fonctionnement sûr des installations, les constructeurs mettent en place des systèmes de contrôle du givre, et ce, conformément à l'article 19 de l'arrêté du 22 juin 2020.

Chaque aérogénérateur sera équipé d'un système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. En cas de formation importante de glace, l'aérogénérateur sera mis à l'arrêt dans un délai maximal de soixante minutes. L'exploitant définira une procédure de redémarrage de l'aérogénérateur en cas d'arrêt automatique lié à la présence de glace sur les pales.

Lorsqu'un référentiel technique permettant de déterminer l'importance de glace formée nécessitant l'arrêt de l'aérogénérateur sera reconnu par le ministre des installations classées, l'exploitant respectera les règles prévues par ce référentiel.

Des panneaux d'informations sur la possibilité de formation de glace sont également implantés sur le chemin d'accès des éoliennes.

- **Système de sécurité contre les incendies**

Les principaux risques d'incendie étaient causés dans le passé par la foudre. Cependant, les éoliennes modernes sont équipées de systèmes parafoudre dont le fonctionnement est très fiable en raison des nombreux progrès technologiques effectués dans ce domaine. Le système de protection de l'éolienne décrit au paragraphe précédent permet ainsi d'éviter tout dommage. La probabilité d'occurrence d'un incendie est donc très faible.

D'autre part, les risques d'incendie sont parfaitement maîtrisés grâce à un suivi permanent et à une maintenance du fonctionnement de toutes les composantes du parc éolien. L'ensemble des capteurs d'incendie est contrôlé par le système général de l'éolienne.

En cas d'incendie d'une des éoliennes, le parc est automatiquement déconnecté du réseau électrique pour éviter toute perturbation. L'opérateur du parc éolien est alors prévenu automatiquement via le SCADA et l'opérateur contacte le SDIS en cas de problème avéré, ce qui permet aux pompiers d'intervenir rapidement sur le site.

D'autre part, des extincteurs à CO<sub>2</sub> (adaptés aux types de feux à combattre) sont placés au niveau des points sensibles que sont la nacelle et le pied de la tour. Ils peuvent être utilisés par les agents de maintenance lorsque ceux-ci se trouvent dans l'éolienne.

L'éolienne retenue sera équipée de détecteurs permettant de mettre la machine à l'arrêt en cas d'incendie ainsi que d'extincteurs à CO<sub>2</sub> pour faire face à tout début d'incendie lors des visites de contrôle ou de maintenance par les techniciens.

#### ○ **Système de freinage**

En fonctionnement, les éoliennes sont exclusivement freinées d'une façon aérodynamique par inclinaison des pales en position drapeau. Pour ceci, les trois entraînements de pales indépendants mettent les pales en position de drapeau (c'est-à-dire « les décrochent du vent ») en l'espace de quelques secondes. La vitesse de l'éolienne diminue sans que l'arbre d'entraînement ne soit soumis à des forces additionnelles.

Le rotor n'est pas bloqué même lorsque l'éolienne est à l'arrêt, il peut continuer de tourner librement à très basse vitesse. Le rotor et l'arbre d'entraînement ne sont alors exposés à pratiquement aucune force. En fonctionnement au ralenti, les paliers et engrenages sont moins soumis aux charges que lorsque le rotor est bloqué.

L'arrêt complet du rotor n'a lieu qu'à des fins de maintenance et en appuyant sur le bouton d'arrêt d'urgence. Le dispositif de blocage du rotor ne peut être actionné que manuellement et en dernière sécurité, à des fins de maintenance.

#### ○ **Système d'arrêt d'urgence**

Si des personnes ou des pièces de l'éolienne sont en danger, l'éolienne peut être stoppée immédiatement grâce à un système d'arrêt d'urgence, qui peut être déclenché 24h/24 et 7j/7 :

- Par le système automatique de télésurveillance, qui analyse les données des capteurs de l'éolienne et évalue s'il existe un risque éventuel ;
- Par l'opérateur présent dans le centre de surveillance à distance ;
- Par un agent de maintenance présent au niveau de l'éolienne.

L'activation de ce système d'arrêt d'urgence entraîne un freinage immédiat du rotor, avec une inclinaison rapide des pales par l'intermédiaire des unités de réglage et de freinage d'urgence. Le frein d'arrêt mécanique est actionné simultanément. L'alimentation électrique de tous les composants reste assurée.

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

Une fois l'urgence passée, le bouton d'arrêt d'urgence doit être réarmé pour permettre le redémarrage de l'éolienne.

#### ○ **Certification de conformité aux normes européennes**

Les éoliennes répondront aux normes européennes de sécurité et un document de conformité sera remis au bureau de contrôle avant l'installation du modèle choisi. La conformité avec le réseau électrique fera aussi l'objet d'une attestation remise au bureau de contrôle lors de la réalisation.

#### ○ **Vérification de stabilité des ouvrages**

Le projet fera l'objet d'une vérification de stabilité par un bureau d'étude agréé. Un coordonnateur de sécurité produira un Plan général de coordination.

#### ○ **Accessibilité**

La porte d'accès à l'intérieur de l'éolienne sera fermée à clé en permanence afin d'en interdire l'accès au public. Seules les personnes habilitées auront la clé et pourront intervenir pour effectuer les vérifications et la maintenance.

### **3. Opérations de maintenance de l'installation**

Conformément à la directive 98/37/CE les machines feront l'objet de contrôles réguliers par des contrôleurs agréés. Le rythme de passage au moins annuel sera fixé et fera l'objet d'un engagement écrit auprès des autorités compétentes.

### **4. Stockage et flux de produits dangereux**

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020, aucun matériel inflammable ou combustible ne sera stocké dans les éoliennes du projet éolien du Puech de Senrières.

## IV. FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE L'INSTALLATION

### 1. Raccordement électrique

- Réseau inter-éolien

Le schéma ci-dessous présente le principe de raccordement d'un parc éolien au réseau d'électricité. La production des éoliennes est fournie en 660 Volts, tension relevée en 20 000 Volts par un transformateur intégré ou non dans le mât tubulaire.

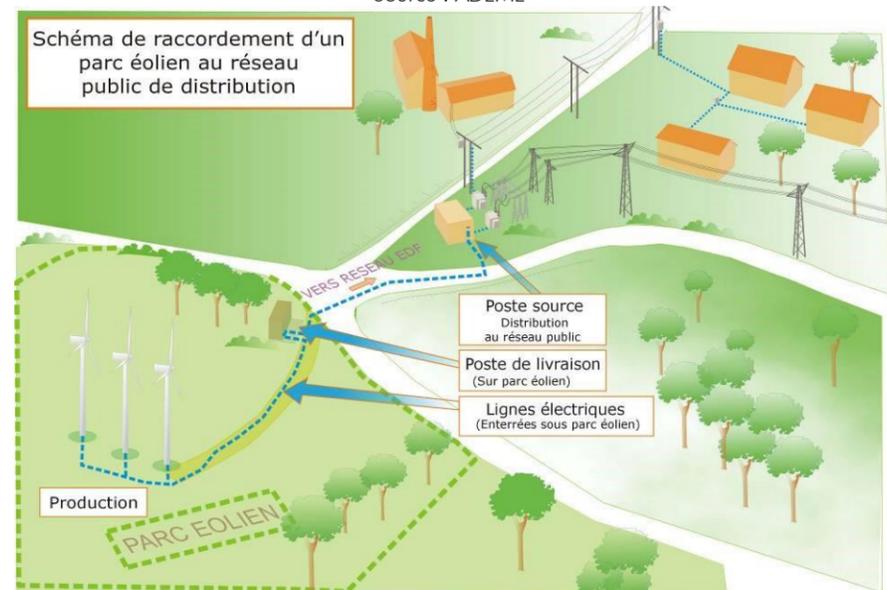
Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur au point de raccordement avec le réseau public. Ce réseau comporte également une liaison de télécommunication qui relie chaque éolienne au terminal de télésurveillance. Ces câbles constituent le réseau interne de la centrale éolienne, ils sont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

Une ligne enterrée relie chaque éolienne au poste électrique général de livraison. Les raccordements sont en totalité réalisés au moyen de câbles normalisés enfouis.

Des câbles de télécommunication sont également nécessaires pour l'exploitation et la télésurveillance du parc éolien.

Illustration 14 : Raccordement électrique du parc éolien

Source : ADEME



- Poste de livraison

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

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

Pour les 4 machines du projet éolien du Puech de Senrières, un poste de livraison est nécessaire. Il comprendra :

- Un compteur électrique ;
- Des cellules de protection ;
- Des sectionneurs ;
- Eventuellement des filtres électriques.

Le poste de livraison sera fermé à clé en permanence afin d'en interdire l'accès au public. Seules les personnes habilitées auront la clé et pourront intervenir pour effectuer les vérifications et la maintenance.

- Réseau électrique externe

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

L'installation sera conforme aux exigences techniques de la documentation technique de référence des gestionnaires de réseaux.

Le poste de livraison servira à relier les 4 éoliennes du projet au poste source par un câble électrique souterrain qui pourra être installé le long des routes départementales et des voies communales.

### 2. Autres réseaux

Le fonctionnement du parc éolien ne nécessite pas de raccordement au réseau d'eau potable des communes ni à aucun réseau d'assainissement. De même, les éoliennes ne sont reliées à aucun réseau de gaz.

## PARTIE 5 : IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION

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

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

### I. POTENTIELS DE DANGERS LIES AUX PRODUITS

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

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

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

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011, modifié par l'arrêté du 22 juin 2020, relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, aucun produit inflammable ou combustible n'est stocké dans les aérogénérateurs ou les postes de livraison.

Les risques associés aux différents produits concernant le site du parc éolien de nom de l'installation sont :

- L'incendie : des produits combustibles sont présents le site. Ainsi, la présence d'une charge calorifique peut alimenter un incendie en cas de départ de feu.
- La toxicité : Ce risque peut survenir suite à un incendie créant certains produits de décomposition nocifs, entraînés dans les fumées de l'incendie.
- La pollution : En cas de fuite sur une capacité de stockage, la migration des produits liquides dans le sol peut entraîner une pollution, également en cas d'entraînement dans les eaux d'extinction incendie.

### II. POTENTIELS DE DANGERS LIES AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

Les dangers liés au fonctionnement du projet éolien du Puech de Senrières 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 électrique (aérogénérateur ou poste de livraison).

Ces dangers potentiels 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

### III. REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGER A LA SOURCE

#### 1. Principales actions préventives

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

- **Choix de l'emplacement des installations**

Suite à une première analyse, le site du projet éolien du Puech de Senrières a été retenu car il offre de nombreux avantages pour l'implantation d'éoliennes (Cf. Etude d'impact), notamment :

- L'absence ou la très faible probabilité de risques naturels dans le secteur d'étude (inondation, mouvement de terrain, incendie de forêt, séisme...);
- Un éloignement des aérogénérateurs par rapport aux habitations de plus de 500 m ;
- Des servitudes radioélectriques qui ne compromettent pas l'implantation d'éoliennes.

- **Réduction des potentiels de dangers liés aux produits**

Comme précédemment indiqué, les produits présents dans une éolienne sont principalement des lubrifiants. La quantité est estimée à environ 700 litres d'huile, et environ 170 kg de graisse par éolienne. Le transformateur lorsqu'il est à huile, contient environ 2050 kg de fluide diélectrique. Lorsqu'un transformateur de type « sec » est installé, celui-ci ne contient aucun fluide. Les lubrifiants doivent être contrôlés et partiellement renouvelés selon le type.

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

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

On note que la nacelle est équipée d'un bac de rétention de capacité supérieure aux quantités d'huile utilisées. Le transformateur, présent au pied du mât de l'éolienne ne nécessite pas de bac de rétention lorsqu'un système de type « sec » est utilisé car il ne nécessite l'usage d'aucun lubrifiant. Lorsqu'un transformateur à huile est utilisé, un bac de rétention est placé en dessous avec une capacité suffisante pour contenir l'ensemble des fluides du transformateur.

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

- **Réduction des potentiels de dangers liés aux installations**

- **Conformité des éoliennes**

Les éoliennes du projet du Puech de Senrières seront conformes à la directive 98/37/CE et aux dispositions pertinentes du code du travail.

Ainsi, les éoliennes :

- Satisferont aux exigences essentielles de sécurité de cette directive ou aux normes harmonisées traduisant ces exigences ;
- Seront revêtues du marquage « CE » ;

- Disposeront d'une déclaration de conformité délivrée par le fabricant au titre de l'article R. 233-73 du code du travail, attestant de la conformité de la machine aux prescriptions techniques la concernant.

La directive 98/37/CE sera appliquée par les dispositions suivantes :

- Chaque machine portera de manière lisible et indélébile les indications minimales suivantes :
  - Le nom du fabricant et son adresse,
  - Le marquage « CE » de conformité constituée des initiales « CE » (art R. 233-73 du Code du Travail),
  - La désignation de la série ou du type,
  - Le numéro de série (s'il existe),
  - L'année de construction.
- L'exploitant disposera de la déclaration « CE » de conformité (art R. 233-73 du Code du Travail) établie par le fabricant pour attester la conformité des machines et des composants de sécurité à la directive pour chacune des machines ou chacun des composants de sécurité fabriqués.
- L'exploitant disposera de la notice d'instruction pour chaque machine qui comportera notamment les instructions nécessaires pour que la mise en service, l'utilisation et la maintenance s'effectuent sans risque.

De plus, les éoliennes du parc éolien seront dimensionnées afin de répondre aux exigences de :

- Bonne application des principes généraux de prévention (art. L. 230-1 et suivants) ;
- Stabilité des machines ;
- Risques de rupture en service ;
- Risques dus aux chutes et projections d'objets ;
- Risques de chutes.

- **Contrôle technique des éoliennes**

Le décret n° 2007-1327 du 11 septembre 2007 introduit un contrôle technique obligatoire pour les éoliennes dont la hauteur du mât et de la nacelle est supérieure à 12 mètres.

Ces contrôles seront réalisés durant la phase de construction de l'éolienne. Ils concernent le massif de stabilité (fondation) de l'éolienne ainsi que les liaisons entre ce massif et la machine.

- **Maintenance et entretien du matériel**

Conformément à la réglementation, avant la mise en service industrielle d'un aérogénérateur, l'exploitant réalise des essais permettant de s'assurer du fonctionnement correct de l'ensemble des équipements. Ces essais comprennent :

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

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

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

Selon une périodicité qui ne peut excéder un an, l'exploitant procède à un contrôle des systèmes instrumentés de sécurité.

Ces contrôles font l'objet d'un rapport tenu à la disposition de l'inspection des installations classées.

#### o **Autres contrôles réglementaires périodiques**

Conformément à la réglementation, un contrôle de l'ensemble des installations électriques sera réalisé tous les ans par un organisme agréé. En cas de besoin, des contrôles complémentaires seront opérés tels que :

- La vérification de l'absence de dommage visible pouvant affecter la sécurité ;
- La résistance d'isolement de l'installation électrique ;
- La séparation électrique des circuits ;
- Les conditions de protection par coupure automatique de l'alimentation.

Les équipements et accessoires de levage feront également l'objet de contrôles périodiques par des organismes agréés.

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

Les résultats des contrôles des installations électriques, des équipements de levage et du matériel incendie seront consignés dans des registres tenus à la disposition de l'Inspection des installations classées.

#### o **Maintenance curative**

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

#### o **Formation du personnel**

Le personnel intervenant sur les installations (monteurs, personnel affecté à la maintenance) est formé et encadré. La formation porte notamment sur :

- La présentation générale d'une éolienne et les risques associés à son fonctionnement ;
- Les règles de sécurité à respecter ;
- L'utilisation des équipements de protection individuelle, notamment les dispositifs de protection contre les chutes ;
- Le travail en hauteur ;
- La lutte contre l'incendie ;
- Les habilitations électriques.

## **2. Utilisation des meilleures techniques disponibles**

L'Union Européenne a adopté un ensemble de règles communes au sein de la directive 2010/75/UE relative aux émissions industrielles, appelée directive IED. L'objectif est de parvenir à un niveau élevé de protection de l'environnement grâce à une prévention et à une réduction intégrées de la pollution provenant d'un large éventail d'activités industrielles et agricoles.

La directive IED réunit en un seul texte sept directives préexistantes distinctes relatives aux émissions industrielles. Les dispositions correspondant à la directive IPPC sont regroupées au sein de son chapitre II. Ce texte renforce tous les grands principes de la directive IPPC, élargit légèrement le champ d'application et introduit de nouvelles dispositions en matière de remise en état des sols. Elle renforce également la participation du public.

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

## PARTIE 6 : ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE

Dans cette partie de l'étude de dangers sont recensés et analysés les accidents survenus sur des installations similaires à l'installation concernée par l'étude de dangers.

Rappelons que l'objectif de l'analyse de l'accidentologie n'est pas de dresser une liste exhaustive de tous les accidents ou incidents survenus, ni d'en tirer des données statistiques. Il s'agit, avant tout, de rechercher les types de sinistres les plus fréquents, leurs causes et leurs effets, ainsi que les mesures prises pour limiter leur occurrence ou leurs conséquences.

Il n'existe actuellement aucune base de données officielle recensant l'accidentologie dans la filière éolienne. Néanmoins, il a été possible d'analyser les informations collectées en France et dans le monde par plusieurs organismes divers (associations, organisations professionnelles, littérature spécialisée...). 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.

### I. 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 projet éolien du Puech de Senrières. 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) et complété par les données disponibles de la base de données ARIA (consultée en mars 2019).

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<sup>1</sup> ;
- Communiqués de presse du SER – FEE et/ou des exploitants éoliens ;
- Site Internet de l'association « Vent de Colère » (anti-éolien) ;
- Site Internet de l'association « Fédération Environnement Durable » (anti-éolien) ;
- 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 réalisée par le groupe de travail de INERIS/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 affectés 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. Ce tableau de travail a été validé par les membres du groupe de travail précédemment mentionné. Il est complété par les incidents supplémentaires enregistrés en France entre 2012 et juin 2019, date du dernier accident recensé sur la base ARIA (consultée en février 2020).

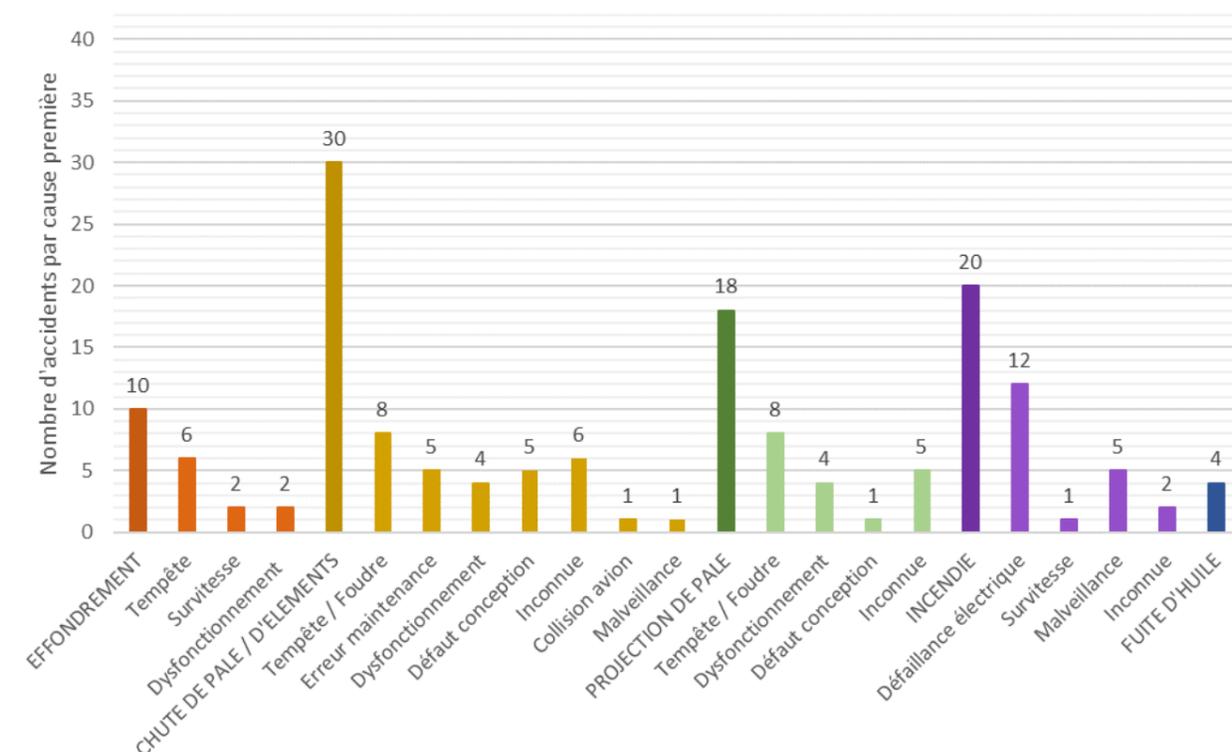
Il apparaît dans ce recensement que les aérogénérateurs accidentés sont principalement des modèles anciens ne bénéficiant généralement pas des dernières avancées technologiques.

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et juin 2019. Cette synthèse exclut les accidents du travail (maintenance, chantier de construction...) 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, incendie et fuite d'huile, 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.

Illustration 15 : Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et juin 2019

Sources : Syndicat des énergies renouvelables, France Energie Eolienne, base de données ARIA ; Réalisation : Artifex 2019



Par ordre d'importance, les accidents les plus recensés sont les ruptures de pale, les incendies, les effondrements et les fuites d'huile. Ces accidents ont pour cause principale les tempêtes.

<sup>1</sup>[https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/?s=%C3%A9olien&fw\\_p\\_enseignements\\_sectoriels=energie-energies-nouvelles&fw\\_p\\_date\\_de\\_publication=1999-01-01%2C2019-03-21&fw\\_p\\_echelle\\_materiel=0%2C6&fw\\_p\\_echelle\\_humaine=0%2C6&fw\\_p\\_echelle\\_environnement=0%2C6&fw\\_p\\_echelle\\_economie=0%2C6&fw\\_p\\_sort=date\\_desc](https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/?s=%C3%A9olien&fw_p_enseignements_sectoriels=energie-energies-nouvelles&fw_p_date_de_publication=1999-01-01%2C2019-03-21&fw_p_echelle_materiel=0%2C6&fw_p_echelle_humaine=0%2C6&fw_p_echelle_environnement=0%2C6&fw_p_echelle_economie=0%2C6&fw_p_sort=date_desc)

## II. INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS A L'INTERNATIONAL

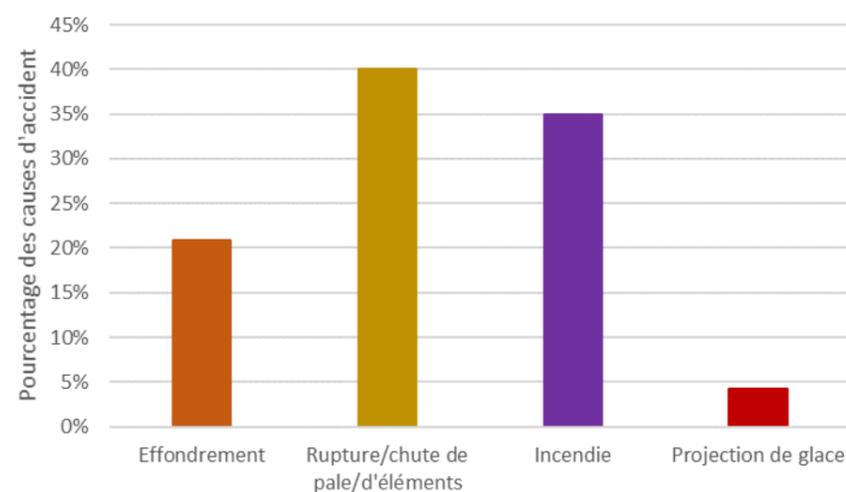
Un inventaire des incidents et accidents à l'international a également été réalisé. Il se base lui aussi sur le retour d'expérience de la filière éolienne fin 2018.

La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur les 2 372 accidents décrits dans la base de données au moment de sa mise à jour, 1 437 sont considérés comme des « accidents majeurs ». Les autres concernant plutôt des accidents du travail, des presque-accidents, des incidents... 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.

**Illustration 16 : Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2018**

Source : Caithness Wind Information Forum (CWIF) ; Réalisation : Artifex 2019

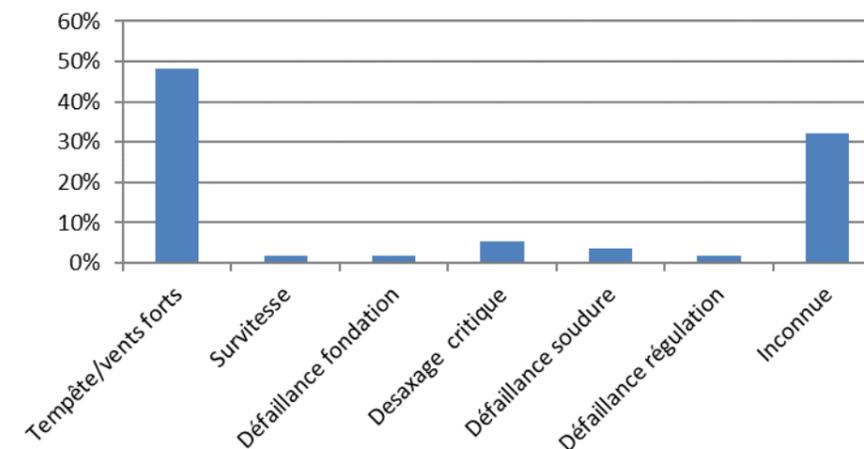


La répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2018 est du même ordre de grandeur que celle qui avait été observée entre 2000 et 2011 par le groupe de travail de SER-FEE.

Ci-après, le recensement des causes premières présenté pour chacun des événements accidentels recensés (données en répartition par rapport à la totalité des accidents analysés) est celui qui porte sur les données 2000-2011 analysées par le groupe de travail mentionné précédemment. En effet, aucune base de données internationale ne permet actuellement de mettre à jour ces graphiques de répartition des causes, jusqu'en 2019.

**Illustration 17 : Répartition des causes premières d'effondrement**

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



**Illustration 18 : Répartition des causes premières de rupture de pale**

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

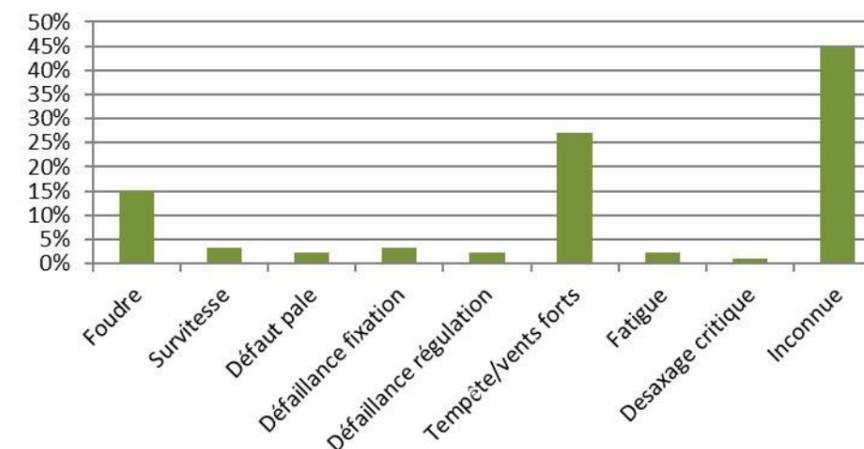
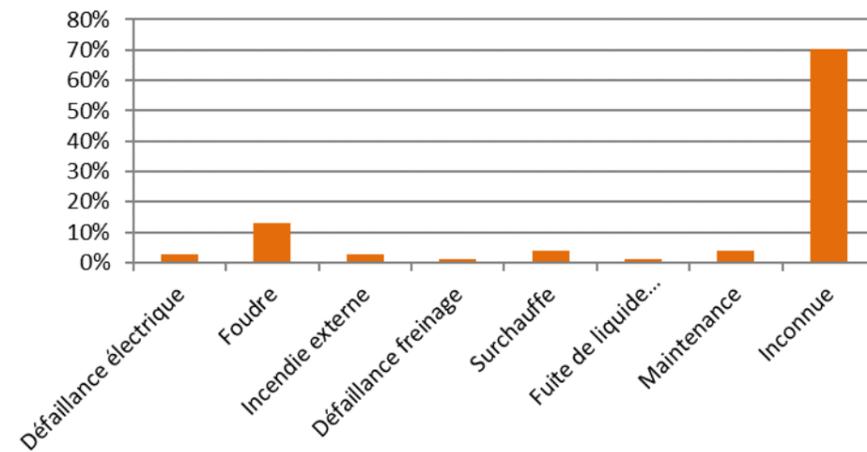


Illustration 19 : Répartition des causes premières d'incendie

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



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.

### III. INVENTAIRE DES ACCIDENTS MAJEURS SURVENUS SUR LES SITES DE L'EXPLOITANT

Le projet de parc éolien du Puech de Senrières ne constitue pas une extension d'une installation existante.

La société GEG ENeR ne dénombre aucun accident d'exploitation ou de maintenance dans les parcs exploités actuellement.

### IV. SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTÉS ISSUS DU RETOUR D'EXPÉRIENCE

#### 1. Analyse de l'évolution des accidents en France

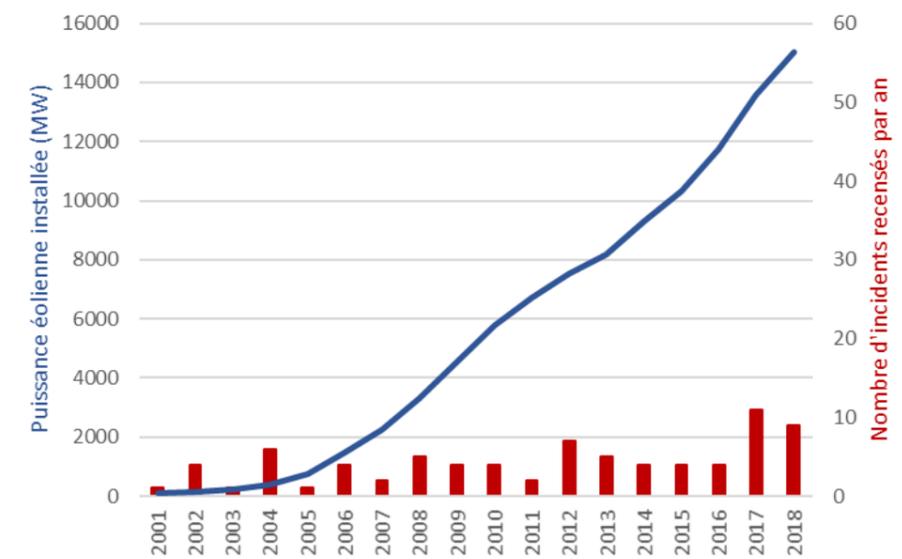
A partir de l'ensemble des phénomènes dangereux qui ont été recensés, il est possible d'étudier leur évolution en fonction du nombre d'éoliennes installées.

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

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

Illustration 20 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et de la puissance éolienne installée

Sources : Syndicat des énergies renouvelables, France Energie Eolienne, base de données ARIA ; Réalisation : Artifex 2019



#### 2. Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

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

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

### V. LIMITES D'UTILISATION DE L'ACCIDENTOLOGIE

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

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

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

# PARTIE 7 : ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

## I. OBJECTIF DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

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

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

## II. RECENSEMENT DES EVENEMENTS INITIATEURS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES

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

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

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

- Inondations ;
- Séismes d'amplitude suffisante pour avoir des conséquences notables sur les infrastructures ;
- Incendies de cultures ou de forêts ;
- Pertes de confinement de canalisations de transport de matières dangereuses ;
- Explosions ou incendies générés par un accident sur une activité voisine de l'éolienne.

## III. RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES

### 1. Agressions externes liées aux activités humaines

Le tableau ci-après synthétise les principales agressions externes liées aux activités humaines.

Infrastructure	Voies de circulation	Aérodrome	Ligne THT	Autres aérogénérateurs	
Fonction	Transport	Transport aérien	Transport d'électricité	Production d'électricité	
Événement redouté	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Chute d'aéronef	Rupture de câble	Accident générant des projections d'éléments	
Danger potentiel	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	Arc électrique, surtensions	Energie cinétique des éléments projetés	
Périmètre	200 m	2000 m	200 m	500 m	
<b>Infrastructures présentes dans le périmètre des éoliennes</b>					
E1	D522	Aucun	Aucune	Aucun	
E2					
E3					Aucune
E4					Routes communales

#### • Danger lié aux voies de circulation

Pour rappel, le tableau suivant indique les plus courtes distances entre les routes du secteur et les éoliennes.

Route	Eoliennes			
	E1	E2	E3	E4
D522	185 m	450 m	700 m	950 m
Route qui dessert La Combe	1,24 km	1,03 km	880 m	590 m
Route qui dessert Le Peyrou	725 m	800 m	860 m	1,03 km
Route qui relie Cannac à La Combe	1,0 km	780 m	600 m	380 m

Les dangers potentiels liés à la circulation automobile sont :

- L'énergie cinétique des véhicules en cas d'accident ;
- Les flux thermiques en cas d'incendie d'un véhicule.

En général, les zones d'effets d'un accident automobile restent localisées sur la route et ses abords immédiats (bas-côté), jusqu'à quelques dizaines de mètres maximum de part et d'autre de la route.

Compte-tenu des distances importantes entre les éoliennes et les routes du secteur, les risques liés à un accident automobile pour le projet éolien du Puech de Senrières sont exclus.

• **Danger lié aux lignes électriques**

L'air est un isolant naturel. En situation normale, la distance entre un être humain au sol et les câbles électriques est suffisamment importante pour écarter tout risque d'arc électrique.

Un phénomène d'arc électrique se forme lorsque la distance entre l'objet et la ligne électrique est trop courte. L'air perd alors son caractère isolant et devient localement conducteur, ce qui permet aux particules électriques de la ligne de se frayer un chemin vers l'objet. Dès lors, un arc électrique se forme.

Pour les lignes électriques aériennes telles que celles gérées par ENEDIS, la distance nécessaire pour observer un phénomène d'arc électrique est de quelques cm ou quelques dizaines de cm tout au plus. A plus de 2 m de distance, il n'y a aucun risque.

En effet, selon les recommandations de ENEDIS, en cas de travail à proximité d'une ligne électrique, la distance à respecter est de 3 mètres en HTA et de 5 mètres en HTB pour les lignes aériennes. Cette distance entre la ligne électrique et la personne, l'engin ou l'outil garantie la sécurité en écartant le risque d'arc électrique (source : [www.sousleslignes-prudence.com](http://www.sousleslignes-prudence.com)).

Dans le cas des éoliennes du projet du Puech de Senrières, compte-tenu des distances (plus de 200 m) et en raison du pouvoir isolant de l'air, **les risques de formation d'un arc électrique entre la ligne et l'extrémité d'une pale des éoliennes sont totalement exclus que ce soit en situation normale ou en situation dégradée.**

La rupture d'un câble de la ligne électrique HTA peut survenir suite à un évènement météorologique majeur (accumulation de neige collante, tempête) ou un problème technique (fragilisation des supports des câbles). Dans ce cas, le ou les câble(s) de la ligne électrique peuvent chuter au sol. Le danger est présent au voisinage des câbles pour des personnes car il n'y a plus la protection par le caractère isolant de l'air.

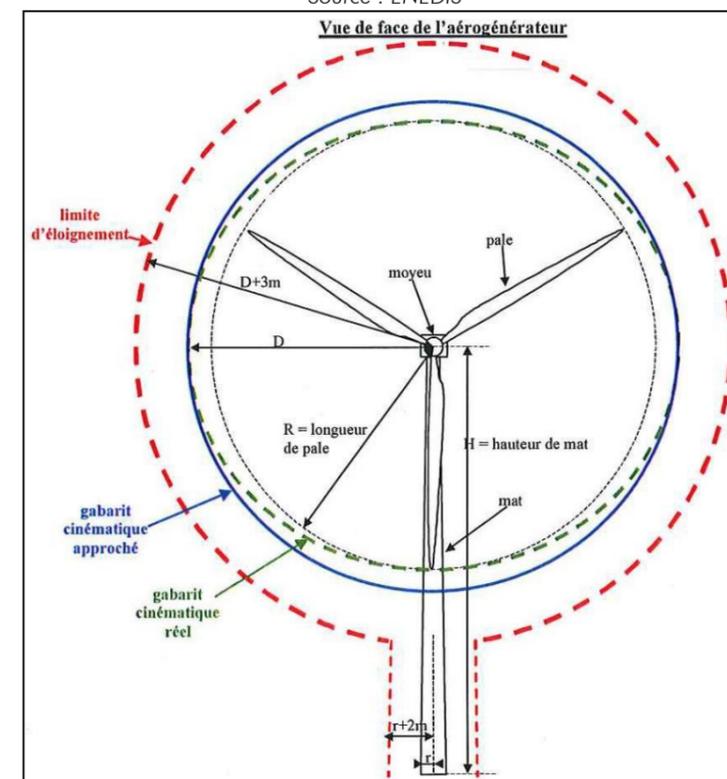
Vis-à-vis des éoliennes du projet, même en situation dégradée, la distance entre la ligne électrique et l'extrémité des pales resterait largement supérieure à plusieurs centaines de mètres, ce qui écarte tout risque de formation d'arc électrique.

A titre d'information, les services d'ENEDIS préconisent une distance d'éloignement de 2 m concernant le mât et éventuels haubanages, et une distance minimale de 3 m concernant les pales et la nacelle par rapport au gabarit cinématique.

Le schéma ci-après présente les distances d'éloignement préconisées par ENEDIS.

Illustration 21 : Distance d'éloignement par rapport aux lignes HTA

Source : ENEDIS



**2. Agressions externes liées aux phénomènes naturels**

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

Agression externe	Intensité
Vents et tempête	Le risque de tempête ne peut pas être exclu. Secteur du projet en dehors des zones affectées par des cyclones tropicaux.
Foudre	Faible densité d'arc sur la commune du projet. Les éoliennes respectent la norme IEC 61 400-24 (Juin 2010).
Glissement de sols/ affaissement miniers	Pas de document attestant de la présence de cavité souterraine sur la zone du projet.

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

En ce qui concerne la foudre, on considère que le respect des normes rend le risque d'effet direct de la foudre négligeable (risque électrique, risque d'incendie...). 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.

#### IV. SCENARIOS ETUDIES DANS L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

Le tableau ci-après présente l'analyse des risques. Celui-ci est construit de la manière suivante :

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

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

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

Les différents scénarios listés dans le tableau de l'APR sont regroupés et numérotés par thématique, en fonction des typologies d'événement redoutés centraux identifiés grâce au retour d'expérience du 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

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
I02	Dysfonctionnement électrique	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I03	Survitesse	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3) Prévenir la survitesse (N°4)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I04	Désaxage de la génératrice / Pièce défectueuse / Défaut de lubrification	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I05	Conditions climatiques humides	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I06	Rongeur	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) 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°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement 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
C3	Défaut fixation nacelle – pivot central – mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop importantes sur les pales	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Impact sur cible	2
P03	Serrage inapproprié Erreur maintenance – desserrage	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9)	Impact sur cible	2
E01	Effets dominos autres installations	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E02	Glissement de sol	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E05	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
E07	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	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°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°9, N°10, N°12)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

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

## V. EFFETS DOMINOS

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

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

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

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

## VI. MISE EN PLACE DES MESURES DE SECURITE

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

- **Fonction de sécurité** : il est proposé ci-dessous un tableau par fonction de sécurité. Cet intitulé décrit l'objectif de la ou des mesure(s) de sécurité : il s'agira principalement d'« empêcher, éviter, détecter, contrôler ou limiter » et sera en relation avec un ou plusieurs événements conduisant à un accident majeur identifié dans l'analyse des risques. Plusieurs mesures de sécurité peuvent assurer une même fonction de sécurité.
- **Numéro de la fonction de sécurité** : ce numéro vise à simplifier la lecture de l'étude de dangers en permettant des renvois à l'analyse de risque par exemple.
- **Mesures de sécurité** : cette ligne permet d'identifier les mesures assurant la fonction concernée. Dans le cas de systèmes instrumentés de sécurité, tous les éléments de la chaîne de sécurité sont présentés (détection + traitement de l'information + action).
- **Description** : cette ligne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires.
- **Indépendance** (« oui » ou « non ») : cette caractéristique décrit le niveau d'indépendance d'une mesure de maîtrise des risques vis-à-vis des autres systèmes de sécurité et des scénarios d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner « oui ») ou non (renseigner « non »).
- **Temps de réponse** (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité.
- **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 ou de déduction redondant du givre permettant, en cas de détection de glace, une mise en drapeau des pales 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	Les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. En cas de danger particulièrement élevé sur site (survol d'une zone fréquentée sur site soumis à des conditions de gel importantes), des systèmes additionnels peuvent être envisagés.		
Temps de réponse	Quelques minutes (<60 min.) conformément à l'article 19 de l'arrêté du 22 juin 2020.		
Efficacité	100 %		
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne.		
Maintenance	Vérification du système (opérations de maintenance sur les systèmes de contrôle) au bout de 3 mois de fonctionnement puis maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité	2
Mesures de sécurité	Installation d'un panneau d'affichage sur le chemin d'accès de chaque éolienne. Eloignement des zones habitées et fréquentées.		
Description	Mise en place de panneaux informant de la possible formation de glace sur le chemin d'accès de chaque éolienne (conformément à l'article 10 de l'arrêté du 22 juin 2020).		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100%. Nous considérerons que compte tenu de l'implantation des panneaux et de l'entretien prévu, l'information des promeneurs sera systématique.		
Tests	NA		
Maintenance	Vérification de l'état général du panneau, de l'absence de détérioration, entretien de la végétation afin que le panneau reste visible.		

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
Mesures de sécurité	Capteurs de température des pièces mécaniques. Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes. Communication continue des paramètres de fonctionnement ainsi que des alarmes au centre de contrôle du fabricant des éoliennes et de l'exploitant du parc éolien. Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement et intervention à distance ou sur site pour contrôles et redémarrage.		
Description	En cas de température anormalement haute, une alarme est émise au centre de contrôle du fabricant des éoliennes et de l'exploitant du parc éolien. L'éolienne ne peut être relancée qu'après un diagnostic à distance ou une intervention d'un technicien dans l'éolienne le cas échéant, qui procédera à une identification des causes et à des opérations techniques le cas échéant.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100%		
Tests	Vérification à chaque maintenance de la cohérence des valeurs des capteurs dédiés.		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 13 de l'arrêté du 22 juin 2020. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et systèmes de freinage.		
Description	Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande. NB : Le système de freinage est constitué d'un frein aérodynamique principal (mise en drapeau des pales) et/ou d'un frein mécanique auxiliaire.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection < 1 minute. L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 22 juin 2020.		
Efficacité	100%		
Tests	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procédure d'arrêt en cas de survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs conformément à l'article 11 de l'arrêté du 22 juin 2020.		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel (avec notamment contrôle de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence) conformément à l'article 13 de l'arrêté du 22 juin 2020. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir 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. Les systèmes électriques sont équipés de disjoncteurs à tous les niveaux.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	De l'ordre de la seconde.		
Efficacité	100%		
Tests	/		
Maintenance	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 8 de l'arrêté du 22 juin 2020.		

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur.		
Description	Système de protection foudre de l'éolienne dimensionné pour prévenir toute dégradation des pales de l'éolienne conformément à la norme IEC 61400-24. Pour la protection parafoudre extérieure, les deux côtés des pales sont équipés de récepteurs métalliques reliés entre eux par un câble métallique lui-même relié à un anneau métallique à la base de la pale. Le courant de foudre est ensuite dirigé vers la terre entourant la base de l'éolienne. Des parasurtenseurs sont présents sur les circuits électriques BT. La valeur de mise à la terre est contrôlée avant mise en service.		
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 7 de l'arrêté du 22 juin 2020.		

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	Capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne pouvant permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de la machine. Système de détection incendie relié au système de transmission qui émet une alarme au centre de contrôle du fabricant des éoliennes et prévient l'exploitant du parc par SMS ou mail. Intervention des services de secours.		
Description	DéTECTEURS de fumée qui lors de leur déclenchement conduisent à la mise en arrêt de la machine et au découplage du réseau électrique. De manière concomitante, un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance du fabricant des éoliennes ainsi qu'à l'exploitant du parc éolien, qui se charge de contacter les services d'urgence compétents. L'éolienne est également équipée d'extincteurs qui peuvent être utilisés par les personnels d'intervention (cas d'un incendie se produisant en période de maintenance).		
Indépendance	Oui.		
Temps de réponse	< 1 minute pour les détecteurs et l'enclenchement de l'alarme. L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur. Le temps d'intervention des services de secours est quant à lui dépendant de la zone géographique.		
Efficacité	100%		
Tests	Vérification de la plausibilité des mesures de température.		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 13 de l'arrêté du 22 juin 2020. Le matériel incendie (type extincteurs) est contrôlé périodiquement par le fabricant du matériel ou un organisme extérieur. Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.		

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	DéTECTEURS de niveau d'huiles et capteurs de pression. Procédure d'urgence. Kit antipollution. Systèmes de rétention. Systèmes d'étanchéité et dispositifs de collecte / récupération.		
Description	De nombreux détecteurs de niveau de lubrifiant et de pression permettent de détecter les éventuelles fuites et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. Présence de plusieurs bacs collecteurs au niveau des principaux composants. Les opérations de remplacement des bacs de graisse vides font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée et encadrée par les procédures de maintenance. La propreté des rétentions est vérifiée lors de chaque inspection de la nacelle.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Dépendant du débit de fuite		
Efficacité	100%		
Tests	/		
Maintenance	Inspection des niveaux d'huile et de l'état des rétentions plusieurs fois par an.		

Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	N° de la fonction de sécurité	9
Mesures de sécurité	Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.). Surveillance des vibrations. Procédures qualités		
Description	La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi la nacelle, le moyeu, 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.		
Indépendance	Oui.		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100%		
Tests	Déclenchement manuel des capteurs de vibration et vérification de la réponse du système.		
Maintenance	Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du pitch system (moteur d'orientation des pales), couronne du Yaw Gear (moteur d'orientation de la nacelle), boulons de fixation de la nacelle...) sont vérifiés au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 13 de l'arrêté du 22 juin 2020.		

Fonction de sécurité	Prévenir les erreurs de maintenance	N° de la fonction de sécurité	10
Mesures de sécurité	Procédure maintenance		
Description	Préconisations du manuel de maintenance. Formation du personnel de manière à prévenir les erreurs de maintenance.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100%		
Tests	/		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes. Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pales) par le système de conduite.		
Description	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale pour laquelle elle a été conçue.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	< 1 min		
Efficacité	100%		
Tests	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.		
Maintenance	Maintenance préventive du système pitch et du frein mécanique.		

Fonction de sécurité	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	N° de la fonction de sécurité	12
Mesures de sécurité	Inspection et suivi des données mesurées par les capteurs et sondes présentes dans les éoliennes.		
Description	Toutes les pièces de l'éolienne sont protégées contre la corrosion et les autres influences néfastes de l'environnement au moyen d'un revêtement spécial à plusieurs couches. Des contrôles visuels sont réalisés lors des opérations de maintenance Les données mesurées par les capteurs et les sondes présents dans l'éolienne sont suivies, enregistrées et traitées afin de détecter les éventuelles dégradations des équipements. Lorsqu'elle s'avère nécessaire, une inspection de l'équipement potentiellement dégradé est réalisée.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100%		
Tests	/		
Maintenance	Contrôle et entretien des équipements		

L'ensemble des procédures de maintenance et des contrôles d'efficacité des systèmes sera conforme à l'arrêté du 22 juin 2020.

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

## VII. CONCLUSION DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE 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
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m <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 22 juin 2020 encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques. Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.
Incendie du poste de livraison ou du transformateur	En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 22 juin 2020 [9] et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200)
Chute et projection de glace dans les cas particuliers où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C	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. Des éléments de preuves doivent être apportés pour identifier les implantations où de telles conditions climatiques sont applicables. NB : le site du projet éolien du Puech de Senrières peut présenter des températures hivernales inférieures à 0°C. Les scénarios chute et projection de glace sont donc pris en compte dans cette étude de dangers.
Infiltration d'huile dans le sol	En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs. Ce scénario peut ne pas être détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques sauf en cas d'implantation dans un périmètre de protection rapprochée d'une nappe phréatique.

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

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

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

## PARTIE 8 : ETUDE DETAILLEE DES RISQUES

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

### I. RAPPEL DES DEFINITIONS

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

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

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

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

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

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

#### 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.

#### 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 – indice [13] en annexe).

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 (Cf. indice [13] en annexe 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.

### 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.

L'échelle de gravité des conséquences sur l'homme définie dans l'arrêté PCIG du 29 septembre 2005 est la suivante :

Niveau de gravité	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition très forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée
Désastreux	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1 000 personnes exposées
Catastrophique	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1 000 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		Présence humaine exposée inférieure à « une personne »

### 4. Probabilité

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

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

## 5. Acceptabilité

Pour chacun des phénomènes dangereux étudiés, l'acceptabilité des accidents potentiels est déterminée en croisant la gravité des conséquences avec la classe de probabilité selon la matrice de criticité ci-dessous, adaptée de la circulaire du 29 septembre 2005 reprise dans la circulaire du 10 mai 2010 :

GRAVITÉ des Conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux					
Modéré					

Légende de la matrice :

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

## II. CARACTERISATION DES SCENARIOS RETENUS

### 1. Effondrement de l'éolienne

- **Considérations générales**

Le vent exerce sur l'éolienne une force, d'autant plus élevée que la vitesse du vent est importante. Cette pression est exercée sur l'ensemble de la structure porteuse de l'éolienne, que l'éolienne soit en fonctionnement ou à l'arrêt. Ainsi, en cas de défaillance structurelle, de déséquilibre ou de collision, c'est l'ensemble de l'éolienne qu'il faut considérer.

- **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 150 m** dans le cas du projet éolien du Puech de Senrières.

Cette méthodologie se rapproche de celles utilisées dans la bibliographie (Cf. références [5] et [6] en annexe). 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.

- **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 des éoliennes sélectionnées dans le cas du projet éolien du Puech de Senrières, avec :

- d : degré d'exposition
- $Z_I$  : zone d'impact
- $Z_E$  : zone d'effet
- R : longueur de pale
- D : diamètre du rotor
- H : hauteur au moyeu
- L : largeur du mât à la base
- LB : largeur de la base de la pale

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon $\leq$ à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)				
Aérogénérateur	Zone d'impact en $m^2$	Zone d'effet du phénomène étudié en $m^2$	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_I = H * L + 3 * D/2 * LB/2$	$Z_E = \pi * (H + D/2)^2$	$d = Z_I/Z_E$	
Enercon E115 EP3 E3	$Z_I = 775 m^2$	$Z_E = 70 545 m^2$	$d = 1,10 \%$	Exposition forte
Vestas V117	$Z_I = 781 m^2$	$Z_E = 70 686 m^2$	$d = 1,10 \%$	Exposition forte
Nordex N117	$Z_I = 742 m^2$	$Z_E = 70 121 m^2$	$d = 1,06 \%$	Exposition forte
Siemens Gamesa SG114	$Z_I = 779 m^2$	$Z_E = 70 686 m^2$	$d = 1,10 \%$	Exposition forte

Notons que le Guide d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens (Mai 2012) de l'INERIS comporte quelques imprécisions concernant les formules mathématiques de la zone d'impact et de la zone d'effet.

En effet, dans la formule de la zone d'impact, la surface de la nacelle n'est pas prise en compte. Ainsi, pour ce calcul, la formule a été modifiée afin de répartir la surface de la nacelle dans le calcul du mât et dans le calcul des pales.

De même, la formule de la zone d'effet a été modifiée afin de prendre en compte le vrai rayon d'effondrement qui correspond à la hauteur totale de l'éolienne.

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

Pour le modèle d'éolienne le plus impactant, la **V117**, la zone d'impact est de  $781 m^2$  et la zone d'effet du phénomène étudié est de  $70 686 m^2$  soit  $7,07 ha$ .

- **Gravité**

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

Niveau de gravité	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte
Désastreux	Plus de 100 personnes exposées
Catastrophique	Entre 10 et 100 personnes exposées
Important	Entre 1 et 10 personnes exposées
Sérieux	Au plus 1 personne exposée
Modéré	Pas de zone de létalité hors établissement

Le tableau suivant indique le type d'occupation des sols et le nombre d'équivalent personnes permanentes dans la zone d'effet du phénomène « Effondrement de l'éolienne » :

Eolienne	Occupation du sol	Surface (ha) de la zone d'effet	Calcul du nombre d'équivalent personnes permanentes	Total équivalent personnes permanentes
E1	Zone agricole + Boisement	6,74 ha	$6,74 \times 1/100 = 0,07$	0,10
	Plateformes permanentes + Pistes d'accès + Chemins agricoles	0,32 ha	$0,32 \times 1/10 = 0,03$	
E2	Zone agricole + Boisement	6,74 ha	$6,74 \times 1/100 = 0,07$	0,10
	Plateformes permanentes + Pistes d'accès	0,32 ha	$0,32 \times 1/10 = 0,03$	
E3	Zone agricole + Boisement	6,74 ha	$6,74 \times 1/100 = 0,07$	0,10
	Plateformes permanentes + Pistes d'accès	0,32 ha	$0,32 \times 1/10 = 0,03$	
E4	Zone agricole + Boisement	6,52 ha	$6,52 \times 1/100 = 0,07$	0,12
	Plateformes permanentes + Pistes d'accès + Chemins agricoles	0,53 ha	$0,53 \times 1/10 = 0,05$	

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.

Rappel de la méthode de comptage des enjeux humains :

- Zone agricole (terrains non aménagés et très peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 100 ha ;
- Boisement (terrains non aménagés et très peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 100 ha ;
- Chemin agricole (terrains aménagés mais peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 10 ha ;
- Piste d'accès (terrains aménagés mais peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 10 ha ;
- Plateformes permanentes (terrains aménagés mais peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 10 ha.

Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène d'effondrement et la gravité associée (en prenant la plus grande zone d'effet c'est-à-dire celle du modèle V117) :

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon $\leq$ à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,10	Sérieux
E2	0,10	Sérieux
E3	0,10	Sérieux
E4	0,12	Sérieux

La gravité du phénomène « Effondrement de l'éolienne » est qualifiée de sérieuse pour toutes les éoliennes du projet éolien du Puech de Senrières.

#### • Probabilité

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

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

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 : « Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité ».

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

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

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

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 22 juin 2020 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation permet de s'assurer que les éoliennes font l'objet de mesures réduisant significativement la probabilité d'effondrement.

Il est 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 ».

• **Acceptabilité**

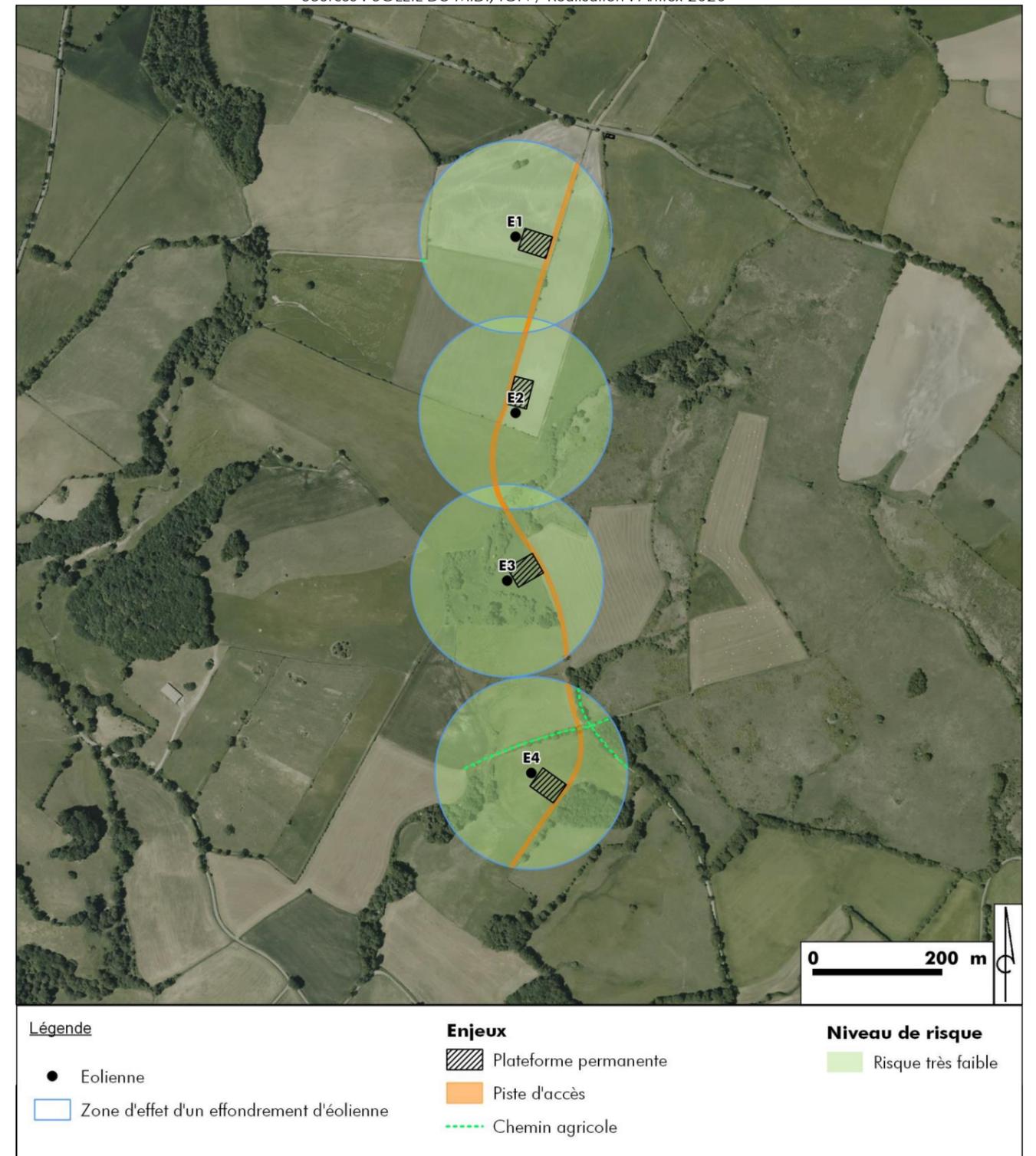
Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du projet éolien du Puech de Senrières, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon $\leq$ à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Sérieux	Risque très faible - Acceptable
E2	Sérieux	Risque très faible - Acceptable
E3	Sérieux	Risque très faible - Acceptable
E4	Sérieux	Risque très faible - Acceptable

Ainsi, pour le projet éolien du Puech de Senrières, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

**Illustration 22 : Le risque d'effondrement d'éolienne**

Sources : SOLEIL DU MIDI, IGN / Réalisation : Artifex 2020



## 2. Chute de glace

### • Considérations générales

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

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

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

### • Zone d'effet

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne. Pour le projet éolien du Puech de Senrières, la zone d'effet est donc un disque de rayon de **58,5 m** autour des éoliennes.

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

### • 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-contre permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace pour les éoliennes sélectionnées dans le cas du projet éolien du Puech de Senrières, avec :

- d : degré d'exposition
- $Z_I$  : zone d'impact
- $Z_E$  : zone d'effet
- D : diamètre du rotor
- SG : surface du morceau de glace majorant ( $SG = 1 \text{ m}^2$ )

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à $D/2 =$ zone de survol)				
Aérogénérateur	Zone d'impact en $\text{m}^2$	Zone d'effet du phénomène étudié en $\text{m}^2$	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_I = SG$	$Z_E = \pi * (D/2)^2$	$d = Z_I/Z_E$	
Enercon E115 EP3 E3	$Z_I = 1 \text{ m}^2$	$Z_E = 10\,514 \text{ m}^2$	$d = 0,01 \%$	Exposition modérée
<b>Vestas V117</b>	<b><math>Z_I = 1 \text{ m}^2</math></b>	<b><math>Z_E = 10\,751 \text{ m}^2</math></b>	<b><math>d = 0,01 \%</math></b>	<b>Exposition modérée</b>
Nordex N117	$Z_I = 1 \text{ m}^2$	$Z_E = 10\,715 \text{ m}^2$	$d = 0,01 \%$	Exposition modérée
Siemens Gamesa SG114	$Z_I = 1 \text{ m}^2$	$Z_E = 10\,207 \text{ m}^2$	$d = 0,01 \%$	Exposition modérée

Notons que le Guide d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens (Mai 2012) de l'INERIS comporte une imprécision concernant la formule mathématique de la zone d'effet.

En effet, le rayon de survol ne correspond pas exactement à la longueur de pale mais à un demi-diamètre de rotor car la nacelle doit être prise en compte. Ainsi, pour ce calcul, la formule a été modifiée.

Pour le modèle d'éolienne le plus impactant, la **V117**, la zone d'impact est de  $1 \text{ m}^2$  et la zone d'effet du phénomène étudié est de  $10\,751 \text{ m}^2$  soit  $1,07 \text{ ha}$ .

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

### • Gravité

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

Niveau de gravité	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée
Désastreux	Plus de 1000 personnes exposées
Catastrophique	Entre 100 et 1000 personnes exposées
Important	Entre 10 et 100 personnes exposées
Sérieux	Moins de 10 personnes exposées
Modéré	Présence humaine exposée inférieure à « une personne »

Le tableau suivant indique le type d'occupation des sols et le nombre d'équivalent personnes permanentes dans la zone d'effet du phénomène « Chute de glace » :

Eolienne	Occupation du sol	Surface (ha) de la zone d'effet	Calcul du nombre d'équivalent personnes permanentes	Total équivalent personnes permanentes
E1	Zone agricole	0,89 ha	$0,89 \times 1/100 = 0,01$	0,03
	Plateformes permanentes	0,16 ha	$0,16 \times 1/10 = 0,02$	
E2	Zone agricole	0,85 ha	$0,85 \times 1/100 = 0,01$	0,03
	Plateformes permanentes + Pistes d'accès	0,20 ha	$0,20 \times 1/10 = 0,02$	
E3	Zone agricole + Boisement	0,89 ha	$0,89 \times 1/100 = 0,01$	0,03
	Plateformes permanentes	0,16 ha	$0,16 \times 1/10 = 0,02$	
E4	Zone agricole + Boisement	0,86 ha	$0,86 \times 1/100 = 0,01$	0,03
	Plateformes permanentes + Chemins agricoles	0,19 ha	$0,19 \times 1/10 = 0,02$	

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.

Rappel de la méthode de comptage des enjeux humains :

- Zone agricole (terrains non aménagés et très peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 100 ha ;
- Boisement (terrains non aménagés et très peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 100 ha ;
- Chemin agricole (terrains aménagés mais peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 10 ha ;
- Piste d'accès (terrains aménagés mais peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 10 ha ;
- Plateformes permanentes (terrains aménagés mais peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 10 ha.

Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de chute de glace et la gravité associée (en prenant la plus grande zone d'effet c'est-à-dire celle du modèle V117) :

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	0,03	Modéré
E2	0,03	Modéré
E3	0,03	Modéré
E4	0,03	Modéré

La gravité du phénomène « Chute de glace » est qualifiée de modérée pour toutes les éoliennes du projet éolien du Puech de Senrières.

• Probabilité

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

• Acceptabilité

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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modéré	Risque faible - Acceptable
E2	Modéré	Risque faible - Acceptable
E3	Modéré	Risque faible - Acceptable
E4	Modéré	Risque faible - Acceptable

Ainsi, pour le projet éolien du Puech de Senrières, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

Rappelons également que, conformément à l'article 10 de l'arrêté du 22 juin 2020 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, un panneau informant le public des risques (et notamment des risques de chute de glace) sera installé sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, c'est-à-dire en amont de la zone d'effet de ce phénomène. Cette mesure permettra de réduire les risques pour les personnes potentiellement présentes sur le site lors des épisodes de grand froid.



Panneau informant le public des risques sur le chemin d'accès à une éolienne  
Source : Artifex

**Illustration 23 : Le risque de chute de glace**  
Sources : SOLEIL DU MIDI, IGN / Réalisation : Artifex 2020



### 3. Chute d'éléments des éoliennes

- **Zone d'effet**

La chute d'éléments comprend la chute de tous les équipements situés en hauteur : trappes, boulons, morceaux de pale ou pale entière. 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 **58,5 m**.

- **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 pour les éoliennes sélectionnées dans le cas du projet éolien du Puech de Senrières, avec :

- d : degré d'exposition
- $Z_I$  : zone d'impact
- $Z_E$  : zone d'effet
- D : diamètre du rotor
- LB : largeur de la base de la pale

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à $D/2$ = zone de survol)				
Aérogénérateur	Zone d'impact en $m^2$	Zone d'effet du phénomène étudié en $m^2$	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_I = R * LB/2$	$Z_E = \pi * (D/2)^2$	$d = Z_I/Z_E$	
Enercon E115 EP3 E3	$Z_I = 115,7 m^2$	$Z_E = 10 514 m^2$	$d = 1,10 \%$	Exposition forte
Vestas V117	$Z_I = 114,4 m^2$	$Z_E = 10 751 m^2$	$d = 1,06 \%$	Exposition forte
Nordex N117	$Z_I = 114,6 m^2$	$Z_E = 10 715 m^2$	$d = 1,07 \%$	Exposition forte
Siemens Gamesa SG114	$Z_I = 112,0 m^2$	$Z_E = 10 207 m^2$	$d = 1,10 \%$	Exposition forte

Notons que le Guide d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens (Mai 2012) de l'INERIS comporte une imprécision concernant la formule mathématique de la zone d'effet.

En effet, le rayon de survol ne correspond pas exactement à la longueur de pale mais à un demi-diamètre de rotor car la nacelle doit être prise en compte. Ainsi, pour ce calcul, la formule a été modifiée.

Pour le modèle d'éolienne le plus impactant, la **V117**, la zone d'impact est de  $114,4 m^2$  et la zone d'effet du phénomène étudié est de  $10 751 m^2$  soit 1,07 ha.

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

- **Gravité**

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

Niveau de gravité	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte
Désastreux	Plus de 100 personnes exposées
Catastrophique	Entre 10 et 100 personnes exposées
Important	Entre 1 et 10 personnes exposées
Sérieux	Au plus 1 personne exposée
Modéré	Pas de zone de létalité hors établissement

Le tableau suivant indique le type d'occupation des sols et le nombre d'équivalent personnes permanentes dans la zone d'effet du phénomène « Chute d'éléments de l'éolienne » :

Eolienne	Occupation du sol	Surface (ha) de la zone d'effet	Calcul du nombre d'équivalent personnes permanentes	Total équivalent personnes permanentes
E1	Zone agricole	0,89 ha	$0,89 \times 1/100 = 0,01$	0,03
	Plateformes permanentes	0,16 ha	$0,16 \times 1/10 = 0,02$	
E2	Zone agricole	0,85 ha	$0,85 \times 1/100 = 0,01$	0,03
	Plateformes permanentes + Pistes d'accès	0,20 ha	$0,20 \times 1/10 = 0,02$	
E3	Zone agricole + Boisement	0,89 ha	$0,89 \times 1/100 = 0,01$	0,03
	Plateformes permanentes	0,16 ha	$0,16 \times 1/10 = 0,02$	
E4	Zone agricole + Boisement	0,86 ha	$0,86 \times 1/100 = 0,01$	0,03
	Plateformes permanentes + Chemins agricoles	0,19 ha	$0,19 \times 1/10 = 0,02$	

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.

Rappel de la méthode de comptage des enjeux humains :

- Zone agricole (terrains non aménagés et très peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 100 ha ;
- Boisement (terrains non aménagés et très peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 100 ha ;
- Chemin agricole (terrains aménagés mais peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 10 ha ;
- Piste d'accès (terrains aménagés mais peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 10 ha ;
- Plateformes permanentes (terrains aménagés mais peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 10 ha.

Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne et la gravité associée (en prenant la plus grande zone d'effet c'est-à-dire celle du modèle V117) :

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,03	Sérieux
E2	0,03	Sérieux
E3	0,03	Sérieux
E4	0,03	Sérieux

La gravité du phénomène « Chute d'éléments de l'éolienne » est qualifiée de sérieuse pour toutes les éoliennes du projet éolien du Puech de Senrières.

- **Probabilité**

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

Le retour d'expérience connu en France montre que ces événements ont une classe de probabilité « C » (2 chutes et 5 incendies pour 15 667 années d'expérience, soit  $4,47 \times 10^{-4}$  événements par éolienne et par an).

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

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

- **Acceptabilité**

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

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Sérieux	Risque faible - Acceptable
E2	Sérieux	Risque faible – Acceptable
E3	Sérieux	Risque faible – Acceptable
E4	Sérieux	Risque faible – Acceptable

Ainsi, pour le projet éolien du Puech de Senrières, le phénomène de chute d'éléments des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

Illustration 24 : Le risque de chute d'éléments de l'éolienne

Sources : SOLEIL DU MIDI, IGN / Réalisation : Artifex 2020



#### 4. Projection de pale ou de fragments de pale

- **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 fragments de pale est de 380 m par rapport au mât de l'éolienne. On constate que les autres données disponibles dans cette accidentologie montrent des distances d'effet inférieures.

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

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

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

- **Intensité**

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de pale ou de fragments de pale des éoliennes sélectionnées dans le cas du projet éolien du Puech de Senrières, avec :

- d : degré d'exposition
- Zi : zone d'impact
- Ze : zone d'effet
- R : longueur de pale
- LB : largeur de la base de la pale

Projection de pale ou de fragments de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)				
Aérogénérateur	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
	$Z_i = R * LB / 2$	$Z_e = \pi * 500^2$	$d = Z_i / Z_e$	
Enercon E115 EP3 E3	$Z_i = 115,7 \text{ m}^2$	$Z_e = 785\,398 \text{ m}^2$	$d = 0,01 \%$	Exposition modérée
Vestas V117	$Z_i = 114,4 \text{ m}^2$	$Z_e = 785\,398 \text{ m}^2$	$d = 0,01 \%$	Exposition modérée
Nordex N117	$Z_i = 114,6 \text{ m}^2$	$Z_e = 785\,398 \text{ m}^2$	$d = 0,01 \%$	Exposition modérée
Siemens Gamesa SG114	$Z_i = 112,0 \text{ m}^2$	$Z_e = 785\,398 \text{ m}^2$	$d = 0,01 \%$	Exposition modérée

Pour le modèle d'éolienne le plus impactant, la **E115 EP3 E3**, la zone d'impact est de 115,7 m<sup>2</sup> et la zone d'effet du phénomène étudié est de 785 398 m<sup>2</sup> soit 78,54 ha.

- **Gravité**

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

Niveau de gravité	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée
Désastreux	Plus de 1000 personnes exposées
Catastrophique	Entre 100 et 1000 personnes exposées
Important	Entre 10 et 100 personnes exposées
Sérieux	Moins de 10 personnes exposées
Modéré	Présence humaine exposée inférieure à « une personne »

Le tableau suivant indique le type d'occupation des sols et le nombre d'équivalent personnes permanentes dans la zone d'effet du phénomène « Projection de pale ou de fragments de pale » :

Eolienne	Occupation du sol	Surface (ha) de la zone d'effet	Calcul du nombre d'équivalent personnes permanentes	Total équivalent personnes permanentes
E1	Zone agricole + Boisement	77,32 ha	$77,32 \times 1/100 = 0,77$	0,89
	Plateformes permanentes + Route + Pistes d'accès + Chemins agricoles	1,22 ha	$1,22 \times 1/10 = 0,12$	
E2	Zone agricole + Boisement	77,20 ha	$77,20 \times 1/100 = 0,77$	0,90
	Plateformes permanentes + Pistes d'accès + Chemins agricoles	1,34 ha	$1,34 \times 1/10 = 0,13$	
E3	Zone agricole + Boisement	77,01 ha	$77,01 \times 1/100 = 0,77$	0,92
	Plateformes permanentes + Pistes d'accès + Chemins agricoles	1,53 ha	$1,53 \times 1/10 = 0,15$	
E4	Zone agricole + Boisement	76,66 ha	$76,66 \times 1/100 = 0,77$	0,96
	Plateformes permanentes + Route + Pistes d'accès + Chemins agricoles	1,88 ha	$1,88 \times 1/10 = 0,19$	

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.

Rappel de la méthode de comptage des enjeux humains :

- Zone agricole (terrains non aménagés et très peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 100 ha ;
- Boisement (terrains non aménagés et très peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 100 ha ;
- Chemin agricole (terrains aménagés mais peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 10 ha ;
- Piste d'accès (terrains aménagés mais peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 10 ha ;
- Plateformes permanentes (terrains aménagés mais peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 10 ha ;
- Route (terrains aménagés mais peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 10 ha.

Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de projection et la gravité associée (en prenant la plus grande zone d'impact, c'est-à-dire celle du modèle E115 EP3 E3) :

Projection de pale ou de fragments de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,89	Modéré
E2	0,90	Modéré
E3	0,92	Modéré
E4	0,96	Modéré

La gravité du phénomène « Projection de pale ou de fragments de pale » est qualifiée de modérée pour toutes les éoliennes du projet du Puech de Senrières.

- **Probabilité**

Les valeurs retenues dans la littérature pour une rupture de toute 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  $7,66 \times 10^{-4}$  événements par éolienne et par an).

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

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

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

- Les dispositions de la norme IEC 61 400-1 ;
- Les dispositions des normes IEC 61 400-24 et EN 62 305-3 relatives à la foudre ;
- Le système de détection des survitesses et un système redondant de freinage ;
- Le 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 ;
- L'utilisation de matériaux résistants pour la fabrication des pales (fibre de verre ou de carbone, résines, etc.).

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 22 juin 2020 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation permet de s'assurer que les éoliennes font l'objet de mesures réduisant significativement la probabilité de projection.

Il est 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 ».

• **Acceptabilité**

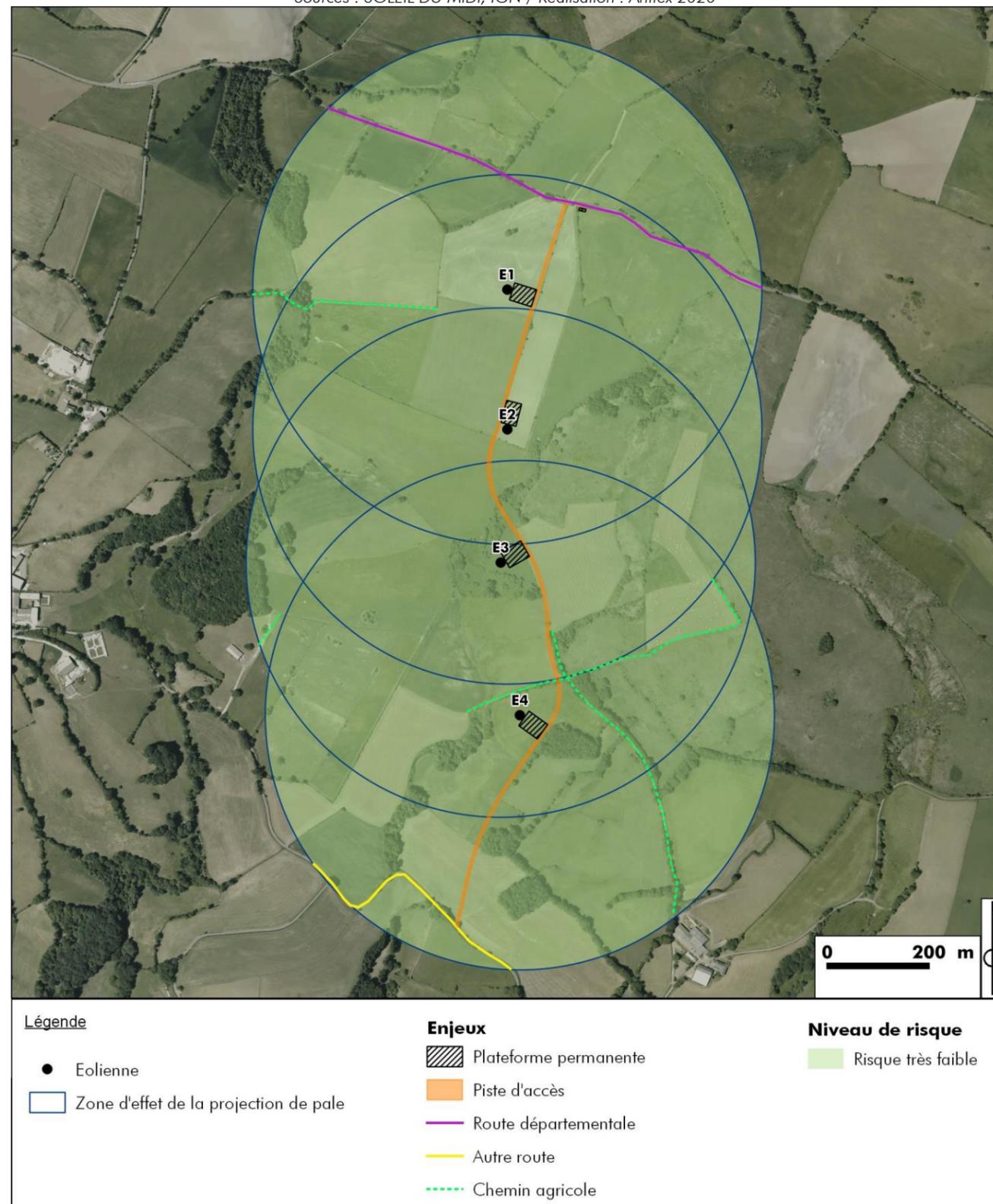
Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du projet éolien du Puech de Senrières, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Projection de pale ou de fragments de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modéré	Risque très faible - Acceptable
E2	Modéré	Risque très faible - Acceptable
E3	Modéré	Risque très faible - Acceptable
E4	Modéré	Risque très faible - Acceptable

Ainsi, pour le projet éolien du Puech de Senrières, le phénomène de projection de toute ou partie de pale des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

**Illustration 25 : Le risque de projection de pale**

Sources : SOLEIL DU MIDI, IGN / Réalisation : Artifex 2020



## 5. Projection de glace

### • 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] en annexe propose une distance d'effet fonction de la hauteur et du diamètre de l'éolienne, dans les cas où le nombre de jours de glace est important et où l'éolienne n'est pas équipée de système d'arrêt des éoliennes en cas de givre ou de glace :

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

Soit : 312,75 m

Cette distance de projection est jugée conservatrice dans des études postérieures (Cf. référence [17] en annexe). 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.

### • 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 pour les éoliennes sélectionnées dans le cas du projet éolien du Puech de Senrières, avec :

- d : degré d'exposition
- Z<sub>I</sub> : zone d'impact
- Z<sub>E</sub> : zone d'effet
- D : diamètre du rotor
- R : longueur de pale
- H : hauteur au moyeu
- SG : surface du morceau de glace majorant (SG= 1 m<sup>2</sup>)

Projection de glace (dans un rayon de R <sub>PG</sub> = 1,5 x (H+D) autour de l'éolienne)				
Aérogénérateur	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 * (H + D)) <sup>2</sup>	d = Z <sub>I</sub> /Z <sub>E</sub>	
Enercon E115 EP3 E3	Z <sub>I</sub> = 1 m <sup>2</sup>	Z <sub>E</sub> = 304 934 m <sup>2</sup>	d = 0,0003 %	Exposition modérée
<b>Vestas V117</b>	<b>Z<sub>I</sub> = 1 m<sup>2</sup></b>	<b>Z<sub>E</sub> = 307 287 m<sup>2</sup></b>	<b>d = 0,0003 %</b>	<b>Exposition modérée</b>
Nordex N117	Z <sub>I</sub> = 1 m <sup>2</sup>	Z <sub>E</sub> = 305 227 m <sup>2</sup>	d = 0,0003 %	Exposition modérée
Siemens Gamesa SG114	Z <sub>I</sub> = 1 m <sup>2</sup>	Z <sub>E</sub> = 302 882 m <sup>2</sup>	d = 0,0003 %	Exposition modérée

Notons que le Guide d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens (Mai 2012) de l'INERIS comporte une imprécision concernant la formule mathématique de la zone d'effet.

En effet, 2\*R ne correspond pas exactement au diamètre du rotor. Ainsi, pour ce calcul, la formule a été modifiée.

Pour le modèle d'éolienne le plus impactant, la V117, la zone d'impact est donc de 1 m<sup>2</sup> et la zone d'effet du phénomène étudié est de 307 287 m<sup>2</sup> soit 30,73 ha.

### • Gravité

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

Niveau de gravité	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée
Désastreux	Plus de 1000 personnes exposées
Catastrophique	Entre 100 et 1000 personnes exposées
Important	Entre 10 et 100 personnes exposées
Sérieux	Moins de 10 personnes exposées
Modéré	Présence humaine exposée inférieure à « une personne »

Il a été observé dans la littérature disponible (Cf. référence [17] en annexe) 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 le type d'occupation des sols et le nombre d'équivalent personnes permanentes dans la zone d'effet du phénomène « Projection de glace » :

Eolienne	Occupation du sol	Surface (ha) de la zone d'effet	Calcul du nombre d'équivalent personnes permanentes	Total équivalent personnes permanentes
E1	Zone agricole + Boisement	29,62 ha	$29,62 \times 1/100 = 0,30$	0,39
	Plateformes permanentes + Route + Pistes d'accès + Chemins agricoles	0,87 ha	$0,87 \times 1/10 = 0,09$	
E2	Zone agricole + Boisement	29,69 ha	$29,69 \times 1/100 = 0,30$	0,38
	Plateformes permanentes + Pistes d'accès + Chemins agricoles	0,81 ha	$0,81 \times 1/10 = 0,08$	
E3	Zone agricole + Boisement	29,62 ha	$29,62 \times 1/100 = 0,30$	0,39
	Plateformes permanentes + Pistes d'accès + Chemins agricoles	0,87 ha	$0,87 \times 1/10 = 0,09$	
E4	Zone agricole + Boisement	29,39 ha	$29,39 \times 1/100 = 0,29$	0,40
	Plateformes permanentes + Pistes d'accès + Chemins agricoles	1,10 ha	$2,09 \times 1/10 = 0,11$	

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.

Rappel de la méthode de comptage des enjeux humains :

- Zone agricole (terrains non aménagés et très peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 100 ha ;
- Boisement (terrains non aménagés et très peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 100 ha ;
- Chemin agricole (terrains aménagés mais peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 10 ha ;
- Piste d'accès (terrains aménagés mais peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 10 ha ;
- Plateformes permanentes (terrains aménagés mais peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 10 ha ;
- Route (terrains aménagés mais peu fréquentés) : 1 personne par tranche de 10 ha.

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 (en prenant la plus grande zone d'effet, c'est-à-dire celle du modèle V117) :

Projection de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+D)$ autour de l'éolienne)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,39	Modéré
E2	0,38	Modéré
E3	0,39	Modéré
E4	0,40	Modéré

La gravité du phénomène « Projection de glace » est qualifiée de modérée pour toutes les éoliennes du projet éolien du Puech de Senrières.

#### • Probabilité

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

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

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

#### • Acceptabilité

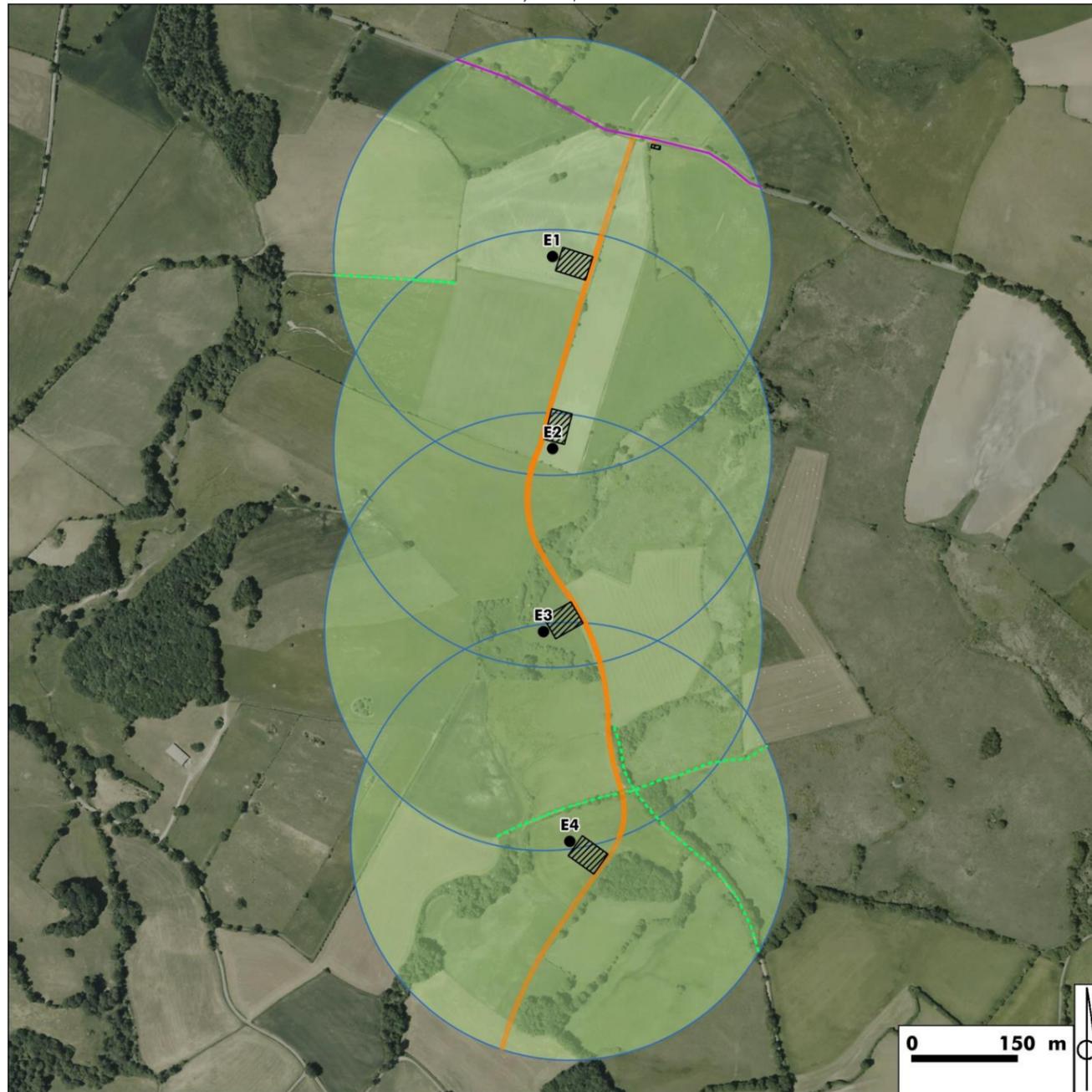
Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du projet éolien du Puech de Senrières, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Projection de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+D)$ autour de l'éolienne)			
Eolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage	Niveau de risque
E1	Modéré	Oui	Risque très faible - Acceptable
E2	Modéré	Oui	Risque très faible - Acceptable
E3	Modéré	Oui	Risque très faible - Acceptable
E4	Modéré	Oui	Risque très faible - Acceptable

Ainsi, pour le projet éolien du Puech de Senrières, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes.

L'éolienne retenue permettra de déduire la présence de givre sur les pales et d'arrêter la machine. Des panneaux type "Attention, chute de glace" seront mis en place sur les chemins d'accès aux éoliennes pour prévenir du danger.

**Illustration 26 : Le risque de projection de glace**  
 Sources : SOLEIL DU MIDI, IGN / Réalisation : Artifex 2020



Légende		Enjeux		Niveau de risque	
●	Eolienne		Plateforme permanente		Risque très faible
	Zone d'effet de la projection de glace		Piste d'accès		
			Route départementale		
			Chemin agricole		

### III. SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

#### 1. Tableaux de synthèse des scénarios étudiés

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité	Acceptabilité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale (150 m)	Rapide	Exposition forte	D	Sérieux pour toutes les éoliennes	Risque acceptable
Chute de glace	Zone de survol (58,5 m)	Rapide	Exposition modérée	A	Modéré pour toutes les éoliennes	Risque acceptable
Chute d'éléments de l'éolienne	Zone de survol (58,5 m)	Rapide	Exposition forte	C	Sérieux pour toutes les éoliennes	Risque acceptable
Projection de pale ou fragments de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D	Modéré pour toutes les éoliennes	Risque acceptable
Projection de glace	1,5 x (H + D) autour de l'éolienne (312,75 m)	Rapide	Exposition modérée	B	Modéré pour toutes les éoliennes	Risque acceptable

#### 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.

GRAVITÉ des conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		Effondrement de l'éolienne	Chute d'éléments		
Modéré		Projection de pale		Projection de glace	Chute de glace

Légende de la matrice :

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

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- aucun accident n'apparaît dans les cases rouges ;
- certains accidents figurent dans les cases jaunes. Pour ces accidents, rappelons que l'ensemble des fonctions de sécurité énoncées en Partie 7. VI. Mise en place des mesures de sécurité (page 37) seront mises en place.

Ainsi, l'éolienne retenue présente toutes les fonctions de sécurité adéquates au site du projet éolien du Puech de Senrières.

La carte de synthèse ci-après présente les zones d'effets les plus importantes pour les cinq phénomènes étudiés (effondrement de l'éolienne, chute de glace, chute d'éléments de l'éolienne, projection de pale ou fragments de pale, projection de glace).

Une carte est ensuite présentée pour chaque éolienne.

Illustration 27 : Carte de synthèse des risques pour l'éolienne E1  
Sources : SOLEIL DU MIDI, IGN / Réalisation : Artifex 2020

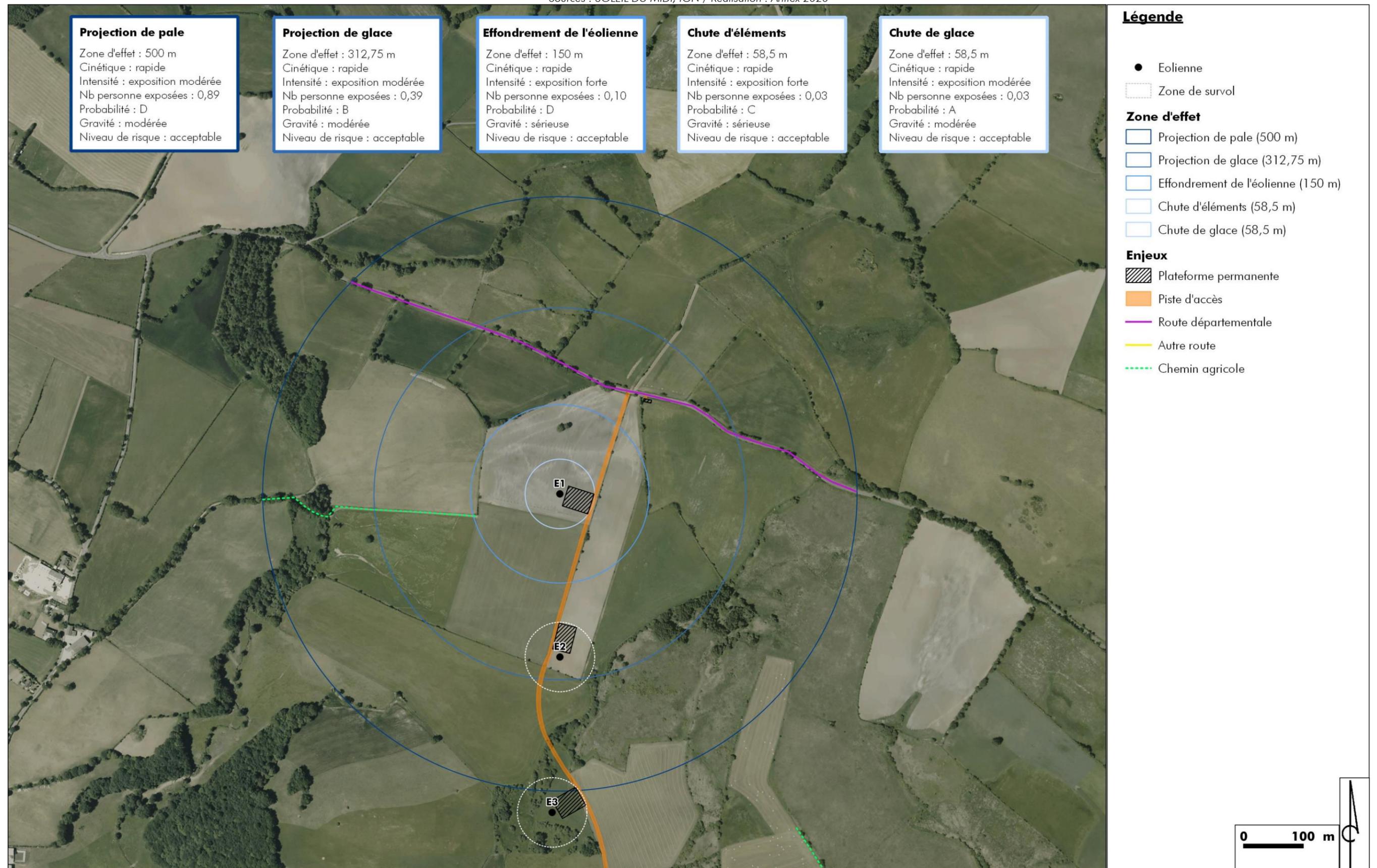


Illustration 28 : Carte de synthèse des risques pour l'éolienne E2

Sources : SOLEIL DU MIDI, IGN / Réalisation : Artifex 2020

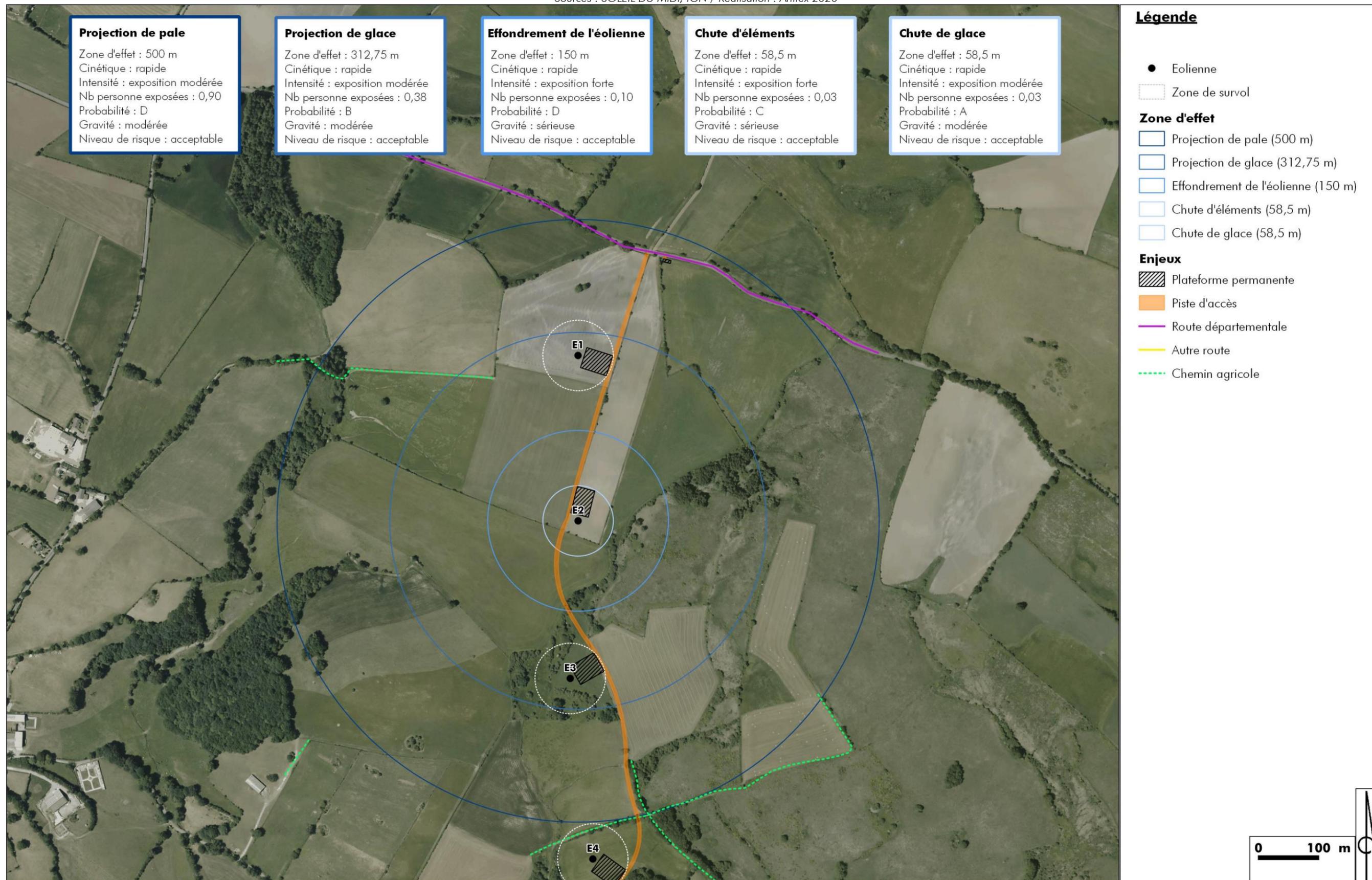


Illustration 29 : Carte de synthèse des risques pour l'éolienne E3  
Sources : SOLEIL DU MIDI, IGN / Réalisation : Artifex 2020

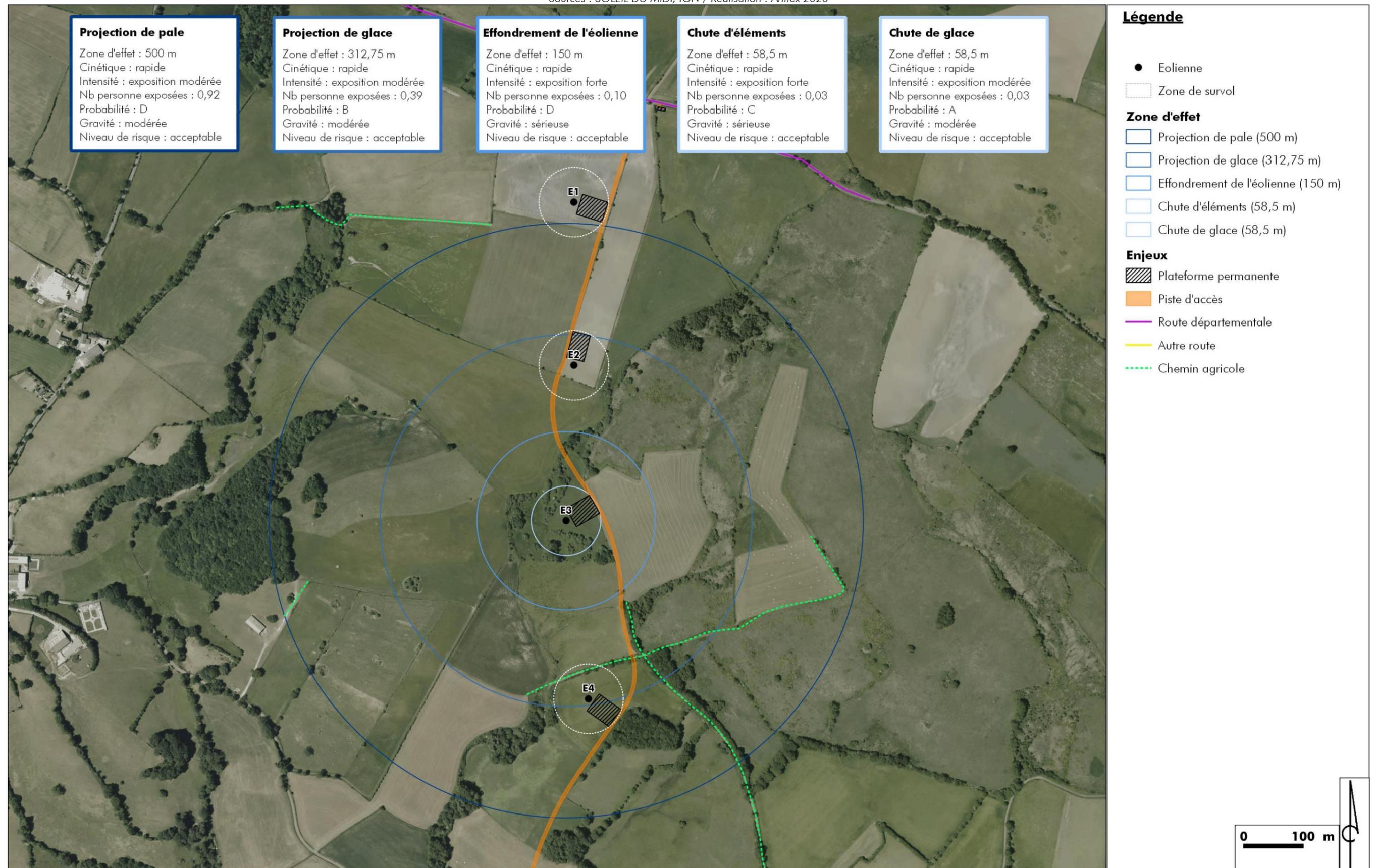
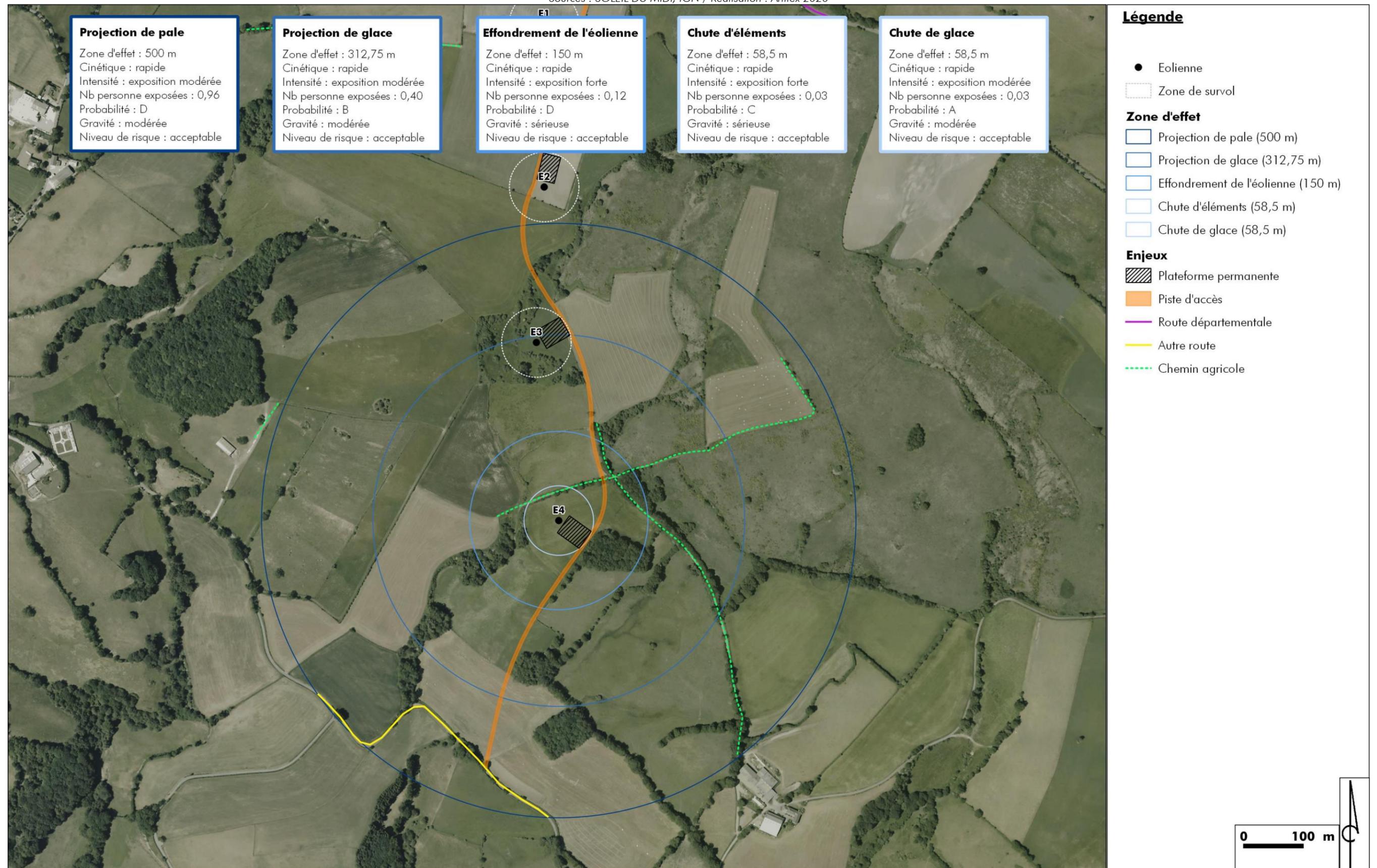


Illustration 30 : Carte de synthèse des risques pour l'éolienne E4  
Sources : SOLEIL DU MIDI, IGN / Réalisation : Artifex 2020



## PARTIE 9 : CONCLUSION

La présente étude de dangers a été réalisée dans le cadre du projet éolien du Puech de Senrières situé sur la commune de Durenque dans le département de l'Aveyron.

Elle a permis de mettre en évidence les dangers que peut présenter l'installation en cas d'accident d'origine externe (risques liés à l'environnement du site du projet) ou interne (dysfonctionnement des machines, problème technique...).

Même s'ils ne peuvent être totalement écartés, les risques d'origine externe sont minimes car le site du projet ne présente pas de dangers particuliers. Il est en dehors des zones concernées par des risques naturels ou anthropiques majeurs.

Après avoir analysé les risques d'accidents susceptibles de survenir et leurs causes, l'étude de dangers a permis d'évaluer :

- L'intensité de ces accidents exprimée en fonction d'une distance par rapport à l'éolienne et les conséquences possibles dans l'environnement du site ;
- Les niveaux de probabilité selon une échelle graduée de E (extrêmement rare) à A (courant).

Chaque phénomène dangereux présenté par le projet de parc éolien a été analysé en croisant son niveau de gravité avec sa probabilité.

Le tableau suivant présente le niveau d'acceptabilité des risques potentiels du projet éolien du Puech de Senrières :

Scénario	Acceptabilité
Effondrement de l'éolienne	Risque très faible
Chute de glace	Risque faible
Chute d'élément de l'éolienne	Risque faible
Projection de pales ou fragments de pales	Risque très faible
Projection de glace	Risque très faible

Il ressort de cette étude de dangers que les mesures organisationnelles et les moyens de sécurité mis en œuvre dans le cadre du projet de parc éolien du Puech de Senrières permettent de maintenir le risque, pour les 5 phénomènes étudiés, à un niveau acceptable pour chacune des 4 éoliennes.

L'industrie éolienne a connu ces dernières années un fort développement qui a permis d'améliorer les technologies mises en œuvre pour tirer le meilleur parti de la puissance du vent. En parallèle, les constructeurs ont également travaillé sur les dispositifs permettant de limiter les dysfonctionnements des machines et donc les périodes d'arrêt. Ces évolutions ont également concerné le renforcement de la sécurité des machines.

Les éoliennes qui seront installées sur le site du projet bénéficieront des dernières technologies permettant de prévenir les dysfonctionnements et de limiter les risques d'incident ou d'accident.

De plus, les fabricants d'éoliennes ont mis en place une procédure de suivi des incidents et accidents survenant sur leurs machines avec analyse des causes, ce qui permet une amélioration constante de la sécurité des parcs éoliens. L'analyse du retour d'expérience par les fabricants est à l'origine de la généralisation de procédure de sécurité et de nombreuses innovations permettant de réduire la probabilité d'accident ou de prévenir les dangers.

Rédaction de l'étude de dangers	Organisme
Céline DELCHER Chargée d'études environnement	 artifex

## PARTIE 10 : BIBLIOGRAPHIE ET RÉFÉRENCES UTILISÉES

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



# ANNEXES

## Annexes

---

- Annexe 1 : Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne
- Annexe 2 : Tableau de l'accidentologie française
- Annexe 3 : Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques
- Annexe 4 : Probabilité d'atteinte et risque industriel
- Annexe 5 : Glossaire

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

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

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

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

### TERRAINS NON BATIS

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

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

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

### VOIES DE CIRCULATION

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

- **Voies de circulation automobiles**

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

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

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

- **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.

### ÉTABLISSEMENTS RECEVANT DU PUBLIC (ERP)

Compter les ERP (bâtiments d'enseignement, de service public, de soins, de loisir, religieux, grands centres commerciaux...) 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 rencontreront peu en pratique.

### ZONES D'ACTIVITE

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

## Annexe 2 : Tableau de l'accidentologie française

Le tableau ci-dessous a été établi par le groupe de travail constitué pour la réalisation du présent guide. Il recense l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne entre 2000 et 2018. L'analyse de ces données est présentée plus haut dans l'étude de dangers.

### Analyse des accidents survenus en France

Sources : Syndicat des énergies renouvelables, France Energie Eolienne, base de données ARIA

Type d'accident	Date	Parc	Département	Type d'éolienne	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente ?	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s)	Commentaire sur l'utilisation du REX pour les calculs de probabilités de départ
Effondrement	Novembre 2000	Port la Nouvelle	Aude	VESTAS V39	0,5	1993	N	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	WINDMASTER WM43/750	0,75	1998	N	Bris de pales en bois (avec inserts)	?	Site Vent de Colère	
Effondrement	01/02/2002	Wormhout	Nord	TURBOWIND S T400-34	0,4	1997	N	Bris d'hélice et mât plié	Tempête	Rapport du CGM Site Vent du Bocage	
Maintenance	01/07/2002	Port la Nouvelle - Sigean	Aude	GAMESA G47	0,66	2000	O	Grave électrisation avec brûlures d'un technicien	Lors de mesures pour cartériser la partie haute d'un transformateur 690V/20 kV 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	Non utilisable
Effondrement	28/12/2002	Névian - Grande Garrigue	Aude	GAMESA G52/850	0,85	2002	O	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	WINDMASTER WM43/750	0,75	1998	N	Bris de pale en bois (avec inserts) sur une éolienne bipale	Tempête	Article de presse (La Dépêche du 26/03/2003)	
Rupture de pale	05/11/2003	Sallèles-Limousis	Aude	WINDMASTER WM43/750	0,75	1998	N	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	LAGERWEY LW750-52	0,75	2002	N	Cassure d'une pale, chute du mât et destruction totale. Une pale tombe sur la plage et les deux autres dérivent sur 8 km	Tempête	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (Windpower Monthly May 2004, La Voix du Nord du 02/01/2004)	
Effondrement	20/03/2004	Loon Plage – Port de Dunkerque	Nord	WINDMASTER 300 kW	0,3	1996	N	Couchage du mât d'une des 9 éoliennes suite à l'arrachement de la fondation	Rupture de 3 des 4 micro-pieux 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	WINDMASTER WM28/300	0,3	2001	N	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50 m, 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)	Nota : cet incident s'est produit 2 fois à 15 jours d'intervalle)
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	WINDMASTER WM28/300	0,3	2001	N	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50 m, 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)	Nota : cet incident s'est produit 2 fois à 15 jours d'intervalle)

Type d'accident	Date	Parc	Département	Type d'éolienne	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente ?	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s)	Commentaire sur l'utilisation du REX pour les calculs de probabilités de départ
Rupture de pale	2004	Escalles-Conilhac	Aude	JEUMONT J48/750	0,75	2003	N	Bris de trois pales		Site Vent de Colère	
Rupture de pale	22/12/2004	Montjoyer-Rochefort	Drôme	JEUMONT J48/750	0,75	2004	N	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne (survitesses de plus de 60 tr/min)	Survitesse due à une maintenance en cours, pb 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	ATTENTION : projection de pale + incendie !
Rupture de pale	2005	Wormhout	Nord	TURBOWIND S T400-34	0,4	1997	N	Bris de pale		Site Vent de Colère	
Rupture de pale	08/10/2006	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	WINDMASTER WM28/300	0,3	2004	N	Chute d'une pale de 20m 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	GAMESA G47	0,66	2001	O	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	LAGERWEY LW80-18	0,08	1993	N	Sectionnement du mât puis effondrement d'une éolienne dans une zone industrielle	Tempête (vents mesurés à 137 Km/h)	Article de presse (La Voix du Nord)	
Rupture de pale	31/12/2006	Ally	Haute-Loire	GE 1.5sl	1,5	2005	O	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	Non utilisable (incident pendant un chantier)
Rupture de pale	03/2007	Clitourps	Marne	VESTAS V47/660	0,66	2005	N	Rupture d'un morceau de pale de 4m et éjection à plus de 200 m de distance dans un champ	Cause pas éclaircie	Site FED	Défaut de fabrication. Attention, les bouts de pales ne sont pas partis à plus de 80 m de la turbine
Chute d'élément	11/10/2007	Plouvien	Finistère	SIEMENS SWT 1.3	1,3	2007	N	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	WINDMASTER WM28/300	0,3	2002	N	Emballement de l'éolienne mais pas de bris de pale	Tempête + système de freinage hors service (boulon manquant)	Base de données ARIA	Non utilisable d'un point de vue statistique (événement unique, sans répercussion sur les tiers)
Collision avion	04/2008	Plouguin	Finistère	ENERCON E66/2000	2	2004	O	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)	Non utilisable
Rupture de pale	19/07/2008	Erize-la-Brûlée - Voie Sacrée	Meuse	GAMESA G90	2	2007	O	Chute de pale et projection de morceaux de pale suite à un coup de foudre	Foudre + défaut de pale	Communiqué de presse Française d'Eoliennes - Article de presse (l'Est Républicain 22/07/2008)	
Incendie	28/08/2008	Vauvillers	Somme	GAMESA	2	2006	O	Incendie de la nacelle	Problème au niveau d'éléments électroniques	Dépêche AFP 28/08/2008	

Type d'accident	Date	Parc	Département	Type d'éolienne	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente ?	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s)	Commentaire sur l'utilisation du REX pour les calculs de probabilités de départ
Rupture de pale	26/12/2008	Raival - Voie Sacrée	Meuse	GAMESA G90	2	2007	O	Chute de pale		Communiqué de presse Française d'Eoliennes Article de presse (l'Est Républicain)	
Maintenance	26/01/2009	Clastres	Aisne	NEG-MICON NM9 2	2,75	2004	O	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance	Accident électrique (explosion d'un convertisseur)	Base de données ARIA	Non utilisable
Rupture de pale	08/06/2009	Bollène	Vaucluse	NORDEX N90	2,3	2009	O	Bout de pale d'une éolienne ouvert	Coup de foudre sur la pale	Interne exploitant	Non utilisable pour les projections ou les chutes (la pale est restée accrochée)
Incendie	21/10/2009	Froidfond - Espinassière	Vendée	GAMESA G80/2000	2	2006	O	Incendie de la nacelle	Court-circuit dans transformateur sec embarqué en nacelle ?	Article de presse (Ouest-France) Site FED	
Incendie	30/10/2009	Freyssenet	Ardèche	VESTAS V80/2000	2	2005	O	Incendie de la nacelle	Court-circuit faisant suite à une opération de maintenance	Base de données ARIA Site FED Article de presse (Le Dauphiné)	Problème sur armoire électrique
Maintenance	20/04/2010	Toufflers	Nord	Bonus B23 / SIEMENS	0,3	1993	N	Décès d'un technicien au cours d'une opération de maintenance	Crise cardiaque	Article de presse (La Voix du Nord 20/04/2010)	Non utilisable
Effondrement	30/05/2010	Port la Nouvelle	Aude	Vestas V25	0,2	1991	N	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	JEUMONT J48/750	0,75	2004	N	Emballement de deux éoliennes et incendie des nacelles.	Maintenance en cours, pb de régulation, freinage impossible, évacuation du personnel, survitesse de +/- 60 tpm	Articles de presse Communiqué de presse SER-FEE	
Maintenance	15/12/2010	Pouillé-les-Côteaux	Loire Atlantique	ENERCON E70	2,3	2010	O	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	Non utilisable
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)	Non utilisable
Rupture de pale	14/12/2011			NORDEX N80	2,5	2003	O	Pale endommagée par la foudre. Fragments de pales retrouvés par l'exploitant à une distance n'excédant pas 300 m	Foudre	Constructeur - Mainteneur	Distance évaluée par l'exploitant qui a collecté les fragments. A mesurer plus précisément sur site.
Incendie	03/01/2012			NORDEX N90	2,3	2006	O	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 tenté d'incendier. Le feu ne s'est pas propagé, dégâts très limités et restreints au pied de la tour.	Malveillance / incendie criminel	Constructeur - Mainteneur	Le feu ne s'est pas propagé dans l'éolienne (les pneus introduits dans l'éolienne n'ont pas brûlé)

Type d'accident	Date	Parc	Département	Type d'éolienne	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente ?	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s)	Commentaire sur l'utilisation du REX pour les calculs de probabilités de départ
Rupture de pale	05/01/2012	Widehem	Pas-de-Calais	JEUMONT J48/750	0,75	2000	N	Bris d'une pale, dont des fragments ont pu être projetés jusqu'à 200 m environ.	Tempête + panne d'électricité	Article de presse (La Voix du Nord 06/01/2012) Vidéo DailyMotion Interne exploitant	-
Rupture de pale	11/04/2012	Sigean	Aude	VESTAS V47	0.66	1991	N	Bris d'une pale, dont un fragment a été projeté à 20 m environ.	Impact de foudre	Base de données ARIA	-
Rupture de pale	18/05/2012	Fresnay-L'Evêque	Eure-et-Loir	REPOWER MM92	2	2008	O	Chute de pale au pied de l'éolienne	Corrosion dans les trous d'alésages, qui proviendrait des conditions de production et de stockage des pièces constitutives du roulement.	Base de données ARIA	-
Chute d'une éolienne	30/05/2012	Port la Nouvelle	Aude	-	0.2	1991	N	Chute d'une éolienne	Rafales de vent à 130 km/h	Base de données ARIA	-
Rupture de pale	01/11/2012	Vieillespesse	Cantal	NORDEX N90	2.5	2011	O	Un élément de 400g constitutif d'une pale d'éolienne est projeté à 70 m du mât	-	Base de données ARIA	-
Incendie	05/11/2012	Sigean	Aude	VESTAS V47	0.66	1991	N	Un feu se déclare sur une éolienne. Des projections incandescentes enflamment 80 m <sup>2</sup> de garrigue environnante. Une pale chute.	Un feu s'est déclaré dans l'armoire électrique en pied d'éolienne. Un dysfonctionnement de disjoncteur a entraîné la propagation de courants de court circuit.	Base de données ARIA	-
Rupture de pale	6/03/2013	Conilhac-de-la-Montagne	Aude	GAMESA G58	0.85	2008	O	A la suite d'un défaut de vibration, une éolienne se met automatiquement à l'arrêt. Le lendemain, des techniciens du constructeur trouvent au sol l'une des trois pales qui s'est décroché avant de percuter le mât.	Défaut de vibration.	Base de données ARIA	-
Incendie	17/03/2013	Euvy	La Marne	GE Energy GE 100	2,5	2011	O	Un feu s'est déclaré dans la nacelle d'une éolienne. Le sinistre émet une importante fumée. Une des pales tombe au sol, une autre menace de tomber. 450 l d'huile s'écoulent, conduisant l'exploitant à faire réaliser une étude de pollution des sols.	Au moment du départ du feu, le vent soufflait à 11 m/s. La puissance de l'éolienne était proche de sa puissance nominale. La gendarmerie évoque une défaillance électrique.	Base de données ARIA	-
Pale et réseau électrique endommagé	20/06/2013	Labastide-sur-Besorgues	Ardèche	ENERCON E44/900	0,9	2009		Un impact de foudre endommage une éolienne : une pale est déchirée sur 6 m de longueur, le boîtier basse tension et le parafoudre en tête d'installation au poste de livraison sont détruits. Des installations du réseau électrique et téléphonique sont également endommagées.	Impact de foudre (impact enregistré le plus proche de l'éolienne au moment de l'orage est donné avec une intensité de 94 kA)	Base de données ARIA	-
Projection d'un équipement	01/07/2013	Cambon-et-Salvergues	Hérault	ENERCON E70	1,3	2006	O	Alors qu'il vient de faire l'appoint en gaz d'un cylindre sous pression faisant partie du dispositif d'arrêt d'urgence des pales d'une éolienne, un technicien de maintenance démonte l'embout d'alimentation vissable. L'ensemble démonté est projeté au visage de l'opérateur et lui brise le nez et plusieurs dents. Le jet de gaz affecte ses voies respiratoires.	Afin d'éviter de tels accidents, la visserie de la vanne présentait une petite perforation destinée à alerter l'opérateur : un sifflement et une formation de glace liée à la détente du gaz se produisent 4 tours et demi avant le dévissage total.	Base de données ARIA	-
Maintenance	03/08/2013	Moréac	Morbihan	GAMESA G90/2000	2,0	2010	O	Une nacelle élévatrice utilisée pour une intervention de maintenance sur une éolienne perd 270 l d'huile hydraulique.	-	Base de données ARIA	-

Type d'accident	Date	Parc	Département	Type d'éolienne	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente ?	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s)	Commentaire sur l'utilisation du REX pour les calculs de probabilités de départ
Incendie	09/01/2014	Antheny	Ardennes	NORDEX N100/2500	2,5	2013	○	Un feu se déclare au niveau de la partie moteur d'une éolienne.	Incident électrique ?	Base de données ARIA	-
Chute de pale	20/01/2014	Sigean	Aude	GAMESA G47/660	0,66	2000	N	Chute d'une pale de 20 m au pied du mât d'une éolienne	Lors de l'accident le vent soufflait entre 18 m/s et 22 m/s. Des fissures sont détectées sur la pièce en aluminium appelée « alu ring », située à la base de la pale.	Base de données ARIA	-
Chute de pale	14/11/2014	St-Cirgues-en-Montagne	Ardèche	SENVION MM8/2050	2,05	2011	○	Chute de pale au pied de l'éolienne lors d'un orage et de vents violent. Des débris sont projetés à 150 m	Lors de l'accident, des rafales de vent atteignaient les 130 km/h.	Base de données ARIA	-
Chute d'un morceau de pale	05/12/2014	Fitou	Aude	NORDEX N60/1300	1,3	2006	○	Chute d'une partie de l'aérofrein à 80 m du mât de l'éolienne	Défaillance matérielle ou décollage sur les plaques en fibre de verre	Base de données ARIA	-
Incendie	29/01/2015	Remigny	Aisne	SIEMENS SWT-2-3-101/2300	2,3	2015	○	A 6h25 un feu se déclare dans une éolienne. Celle-ci est automatiquement mise à l'arrêt sur alarme du détecteur de fumée.	Un défaut d'isolation au niveau des connexions des conducteurs de puissance serait à l'origine du sinistre. Le câble mis en cause assure la jonction entre la base et le haut de la tour. Ce défaut aurait provoqué un arc électrique entre 2 phases ce qui aurait initié l'incendie.	Base de données ARIA	-
Incendie	06/02/2015	Lusseray	Deux-Sèvres	ENERCON E82/2000	2,0	2011	○	Vers 15h30, un feu se déclare dans une éolienne, au niveau d'une armoire électrique où interviennent 2 techniciens. Ces derniers éteignent l'incendie avec 2 extincteurs. L'éolienne est hors service le temps des réparations.	-	Base de données ARIA	-
Incendie	24/08/2015	Santilly	Eure-et-Loir	NORDEX N90/2300	2,3	2005	○	Un feu se déclare vers 13h30 sur le moteur d'une éolienne situé à 90 m de hauteur	Origine accidentelle	Base de données ARIA	-
Chute des pales et du rotor d'une éolienne	10/11/2015	Ménil-la-Horgne	Meuse	REPOWER MD 77	1,5	2007	○	Vers 22h30, les 3 pales et le rotor d'une éolienne, dont la nacelle se situe à 85 m de haut, chutent au sol. Le transformateur électrique, à son pied, est endommagé.	Défaillance de l'arbre lent qui assure la jonction entre le rotor et la multiplicatrice	Base de données ARIA	-
Rupture de l'aérofrein d'une pale d'éolienne	07/02/2016	Conilhac-Corbières	Aude	Enercon E70/2300	2,3	2014	○	Vers 11h30, l'aérofrein d'une des 3 pales d'une éolienne se rompt et chute au sol.	Les premières investigations indiqueraient qu'un point d'attache du système mécanique de commande de l'aérofrein (système à câble) se serait rompu, ce qui aurait actionné l'ouverture de l'aérofrein.	Base de données ARIA	-
Fuite d'huile dans une éolienne	28/05/2016	Janville	Eure-et-Loir	Nordex N90/2300	2,3	2005	-	À 15h15, un employé constate un écoulement d'huile sous la nacelle d'une éolienne. Il arrête celle-ci et contacte l'équipe de maintenance.	La défaillance d'un raccord sur le circuit de refroidissement de l'huile de la boîte de vitesse de l'éolienne est à l'origine de la fuite.	Base de données ARIA	-
Feu dans une éolienne	10/08/2016	Hescamps	Somme	Winwind WWD-1-64	1,0	2008	○	Vers 15 h, un feu se déclare dans la partie haute d'une éolienne, au niveau du rotor. Un technicien maîtrise l'incendie avant l'arrivée des pompiers.	Une défaillance électrique serait à l'origine du départ de feu.	Base de données ARIA	-
Feu dans une éolienne	18/08/2016	Dargies	Oise	Enercon E82/2000	2,0	2014	○	Un technicien de maintenance d'un parc éolien constate vers 9 h qu'une éolienne ne tourne plus. Il découvre que de la fumée s'échappe de la tête de l'éolienne, à 80 m de haut.	Une défaillance électrique serait à l'origine de l'incendie. L'armoire électrique ou le pupitre de commande en serait le point de départ.	Base de données ARIA	-

Type d'accident	Date	Parc	Département	Type d'éolienne	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente ?	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s)	Commentaire sur l'utilisation du REX pour les calculs de probabilités de départ
Rupture des pales d'une éolienne	12/01/2017	Tuchan	Aude	Nordex N43/600	0,6	2002	-	Vers 4 h, au cours d'un épisode de vents violents, les 3 pales d'une éolienne chutent au sol. L'exploitant collecte les morceaux de fibre de carbone répartis autour du mat de 40 m de l'éolienne. Des impacts sur le mat sont visibles.	Après expertise, l'exploitant conclut que la cause la plus probable de la casse de l'arbre lent est un endommagement du roulement avant sur lequel l'arbre est posé.	Base de données ARIA	-
Chute d'une pale d'une éolienne	18/01/2017	Nurlu	Somme	Gamesa G90/2000	2,0	2010	○	Un particulier constate qu'une pale d'éolienne est tombée au sol et s'est brisée en plusieurs morceaux. Il informe l'exploitant qui arrête toutes les machines du parc en activité.	La tempête survenue quelques jours auparavant pourrait être à l'origine de la chute.	Base de données ARIA	-
Chute d'un élément d'une pale d'éolienne	27/02/2017	Trayes	Deux-Sèvres	Gamesa G90/2000	2,0	2011	○	Vers 22 h, le système d'exploitation d'un parc éolien émet des alarmes portant sur l'éolienne n°4 : mise à l'arrêt de l'éolienne et incohérence entre les vitesses de rotation du rotor et de l'arbre de la génératrice électrique. Le lendemain matin, l'exploitant constate sur place que les 7 derniers mètres d'une pale de 44 m, se sont désolidarisés. Plusieurs fragments de la pale sont projetés jusqu'à 150 m du mât.	L'expertise du fabricant conclut à un défaut de fabrication.	Base de données ARIA	-
Rupture d'une pale d'éolienne	27/02/2017	Lavallée	Meuse	Gamesa G90/2000	2,0	2011	○	Lors d'un orage, la pointe d'une pale d'éolienne se rompt. L'extrémité, de 7 à 10 m, est retrouvée au sol, en 3 morceaux, à 200 m de l'éolienne.	Une rafale de vent extrême ayant été mesurée dans les secondes précédant la rupture, cette origine est privilégiée pour expliquer la casse de la pale.	Base de données ARIA	-
Feu dans la nacelle d'une éolienne	06/06/2017	Allonnes	Eure-et-Loir	Vestas V112/3000	3,0	2014	○	Vers 18 h, un feu se déclare dans la nacelle d'une éolienne. La nacelle et le rotor sont totalement calcinés. Une partie des pales ainsi que le haut du mât ont été touchés par l'incendie. Des éléments sont tombés au sol.	En première hypothèse, l'exploitant indique qu'un défaut des condensateurs du boîtier électrique, situé dans la nacelle, pourrait être à l'origine du sinistre.	Base de données ARIA	-
Chute de pale d'éolienne due à la foudre	08/06/2017	Aussac-Vadalle	Charente	Gamesa G90/2000	2,0	2010	○	Durant la nuit lors d'un orage, une partie d'une pale d'une éolienne chute au sol.	L'expertise réalisée par le fabricant de la pale conclut qu'un impact de foudre est à l'origine de sa rupture. Survenu à 35 cm de l'extrémité, il a entraîné la rupture du bord de fuite, puis une déchirure du fragment. Le dispositif de protection contre la foudre ne montre pas de défaut.	Base de données ARIA	-
Chute d'une pale d'éolienne	24/06/2017	Conchy-sur-Canche	Pas-de-Calais	Ecotecnia 80 1.6	1,7	2007	○	Vers 23h30, une pale d'une éolienne se brise au niveau de sa jonction avec le rotor dans un parc éolien. La pale chute à la verticale, au pied du mat. Les quelques débris projetés sont présents dans un rayon de 20 m.	-	Base de données ARIA	-
Chute d'un aérofrein d'une éolienne	17/07/2017	Fécamp	Seine-Maritime	Neg Micon NM52/900	0,9	2006	○	Vers 23h30, un aérofrein se détache d'une pale d'éolienne dans un parc éolien. Le lendemain matin, un agent de maintenance découvre l'équipement au pied du mât de 49 m. La clôture du site est endommagée.	L'exploitant conclut que le desserrage d'une vis anti-rotation a provoqué la chute de l'aérofrein. Un problème de montage, ou des vibrations en fonctionnement, en serait à l'origine.	Base de données ARIA	-

Type d'accident	Date	Parc	Département	Type d'éolienne	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente ?	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s)	Commentaire sur l'utilisation du REX pour les calculs de probabilités de départ
Fuite d'huile sur une éolienne	24/07/2017	Mauron	Morbihan	Gamesa G90/2000	2,0	2008	○	Une fuite d'huile est détectée vers 17 h sur une éolienne. La rupture d'un flexible du circuit hydraulique de l'aérogénérateur en est à l'origine. Le rejet, estimé à 5 l, s'est écoulé le long du mât et quelques gouttes sont tombées au sol.	La vétusté du flexible serait à l'origine de la fuite.	Base de données ARIA	-
Bris d'une pale d'éolienne	05/08/2017	Priez	Aisne	Vestas V110/2000	2,0	2017	○	Vers 3 h une pale d'éolienne se brise en son milieu et tombe au sol.	-	Base de données ARIA	-
Chute du carénage d'une éolienne	08/11/2017	Roman	Eure	Vestas V90/2000	2,0	2010	○	En fin d'après-midi, le carénage de la pointe de la nacelle d'une éolienne tombe au sol dans un parc éolien. Cette pièce, en matériaux composites, mesure 2 m de diamètre et pèse plusieurs dizaines de kg. Elle supporte une armoire électrique.	L'exploitant conclut que la chute du carénage est due à un défaut d'assemblage de ses boulonnages. La procédure n'aurait pas été respectée lors du montage des turbines.	Base de données ARIA	-
Chute d'une éolienne lors d'une tempête	01/01/2018	Bouin	Vendée	Nordex N80/2400	2,4	2003	-	En début de matinée lors d'une tempête, le mât d'une éolienne de 60 m de haut se brise en 2. Les 55 m supérieurs de l'éolienne chutent au sol. Des débris s'éparpillent sur une surface assez importante. Le rotor est enfoncé dans le sol.	Les investigations de l'exploitant lui permettent de découvrir que le protocole des inspections de maintenance ne couvrait pas la liaison mécanique entre le moteur et les freins. L'usure de cet équipement n'a pas été détectée lors des contrôles annuels.	Base de données ARIA	-
Chute d'une pale d'éolienne	04/01/2018	Nixeville-Blercourt	Meuse	Gamesa G90/2000	2,0	2008	○	Dans un parc éolien, l'extrémité d'une pale d'une éolienne de 2 MW se rompt, lors d'un épisode venteux. Un morceau de 20 m chute au sol. L'exploitant sécurise la zone. Les morceaux les plus éloignés sont ramassés à 200 m.	-	Base de données ARIA	-
Chute de l'aéorofrein d'une pale d'éolienne	06/02/2018	Conilhac-Corbières	Aude	Enercon E70/2300	2,3	2014	○	Vers 11h30, l'aéorofrein d'une pale d'éolienne chute au sol dans un parc éolien. L'équipe technique présente sur site arrête l'aérogénérateur. La zone est sécurisée, les débris ramassés.	À la suite d'un défaut sur l'électronique de puissance, l'éolienne est passée en arrêt automatique par sollicitation du freinage aérodynamique. Lors de l'ouverture de l'aéorofrein en bout de pale, son axe de fixation en carbone s'est rompu provoquant sa chute.	Base de données ARIA	-
Incendies criminels dans un parc éolien	01/06/2018	Marsanne	Drôme	Vestas V80/2000	2,0	2008	○	Vers 2h30, un feu se déclare au pied d'une éolienne. L'incendie se propage jusqu'à sa nacelle. La nacelle est entièrement brûlée ainsi que la base des pales mais celles-ci restent en place. Une deuxième éolienne fait également l'objet d'un départ de feu, mais celui-ci est resté confiné à sa base.	La gendarmerie conclut que l'origine de l'événement est criminelle : les portes d'accès aux éoliennes impliquées ont été fracturées et du combustible est découvert.	Base de données ARIA	-
Incendie d'éolienne	05/06/2018	Aumelas	Hérault	Vestas V80/2000	2,0	2014	○	Un feu se déclare vers 18h45 dans la nacelle d'une éolienne de 70 m de haut. Des éléments de l'éolienne en feu chutent au sol. Les flammes se propagent en partie basse de l'aérogénérateur. La nacelle de l'aérogénérateur est presque totalement détruite. 50m <sup>2</sup> de végétation ont brûlé.	Un dysfonctionnement électrique serait à l'origine de l'incendie.	Base de données ARIA	-

Type d'accident	Date	Parc	Département	Type d'éolienne	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente ?	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s)	Commentaire sur l'utilisation du REX pour les calculs de probabilités de départ
Chute des extrémités de 2 pales d'une éolienne	04/07/2018	Corbières-Maritimes	Aude	Gamesa G47/660	0,66	2005	-	Vers 18 h, une avarie est constatée sur 2 des pales d'une éolienne : leurs extrémités se sont disloquées. Des éléments ont été projetés à 150 m du mât après s'être décrochées. L'exploitant met en place un périmètre de sécurité. L'aérogénérateur est mis en position de sécurité. Un gardiennage permanent est mis en œuvre le temps de l'évacuation de tous les débris.	-	Base de données ARIA	-
Incendie d'éolienne propagé à la végétation	28/09/2018	Trois Évêques	Tarn	Vestas V80/2000	2,0	2009	○	Vers 2h, un feu se déclare au niveau de la nacelle d'une éolienne dans un parc éolien. Un riverain donne l'alerte. L'exploitant arrête les 4 aérogénérateurs du site. Les pompiers interviennent. Ils rencontrent des difficultés d'accès à la zone sinistrée. Des éléments enflammés chutent au sol. Le feu se propage à la végétation voisine. Les pompiers maîtrisent le sinistre à 6h30. Ils maintiennent une surveillance en raison des risques de reprise de feu. L'exploitant met en place un balisage et un gardiennage de la zone.  La nacelle, les pales et des armoires de commande en pied de mât sont détruits. La machine est démantelée début novembre. 2,5 ha de végétation, essentiellement une plantation de résineux, ont brûlé.	La gendarmerie effectue une enquête. La présence de 2 foyers et de traces d'effraction sur la porte d'accès les amène à conclure à un acte de malveillance.	Base de données ARIA	-
Fuite d'huile hydraulique sur une éolienne	17/10/2018	Le Quint	Somme	Gamesa G97/2000	2,0	2017	○	Vers midi, un technicien de maintenance détecte une fuite d'huile hydraulique depuis la nacelle d'une éolienne. L'aérogénérateur est arrêté. Environ 150 l d'huiles sont récupérés. L'exploitant du parc éolien estime que 50 l ont été perdus. Sous l'effet du vent, la zone impactée au pied de l'éolienne, ainsi que des terrains cultivés adjacents, est d'environ 2 000 m <sup>2</sup> . Une partie des cultures est perdue. Les terres polluées sont décapées sur une dizaine de cm. Elles sont stockées sur une bâche étanche, avant leur retraitement. De la terre végétale est mise en œuvre pour permettre la reprise de l'activité agricole. Un contrôle des prochaines récoltes est planifié.	La mauvaise réalisation d'une activité de maintenance annuelle préventive, la veille de l'événement, en est à l'origine.	Base de données ARIA	-

Type d'accident	Date	Parc	Département	Type d'éolienne	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente ?	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s)	Commentaire sur l'utilisation du REX pour les calculs de probabilités de départ
Effondrement d'éolienne	6/11/2018	La Vallée du Moulin	Loiret	Ecotecnia 100	3,0	2010	O	Ce sont des riverains, inquiets de ne plus voir l'une des éoliennes situées à quelques centaines de mètres de chez eux, qui donnent l'alerte à la gendarmerie ce mardi 7 novembre vers 6h du matin. L'engin de 90 mètres de haut et 50 tonnes s'est littéralement fracassé au sol. Des techniciens de l'entreprise EDPR, propriétaire de l'éolienne, se sont rendus sur place pour sécuriser le site et tenter de comprendre ce qui a pu se passer.	Le système de freinage aérodynamique de l'éolienne, régulant la rotation du rotor, ne s'est pas enclenché et a ainsi entraîné une rotation trop rapide des pales. Ce fonctionnement anormal a généré une surcharge sur la structure provoquant la chute de la machine.	France 3 Centre-Val-de-Loire La République du Centre	-
Chute de 3 aérofrenes dans un parc éolien	18/11/2018	Conilhac	Aude	Enercon E70	2,3	2014	-	Les 3 aérofrenes en extrémité des pales d'une éolienne chutent au sol, au pied du mât. L'équipe technique constate l'incident en se rendant sur site le lendemain en raison de l'arrêt de l'aérogénérateur. L'installation est mise en sécurité.	L'éolienne s'est arrêtée à la suite de l'ouverture de la chaîne de sécurité. La rupture des parties en fibre de verre ainsi que de l'axe en carbone de fixation de l'aérofren est constatée.	Base de données ARIA	-
Chute d'une pale d'éolienne	19/11/2018	Les tournevents du COS	Aisne	Nordex N117	2,4	2017	-	À 11h30, un agent de surveillance d'un parc éolien constate la rupture d'une pale d'une éolienne. Des 40 m de l'équipement, les 30 derniers sont tombés au sol.	-	Base de données ARIA	-
Chute d'une pale d'éolienne	17/01/2019	Bambesch	Moselle	Gamesa G80	2,0	2007	-	Vers 15 h dans un parc éolien, une pale d'éolienne se rompt. 2 morceaux chutent au sol, l'un de 5 m (coque) et l'autre de 28 m (fibre de verre). Ce dernier est projeté à 100 m de l'éolienne. L'exploitant arrête les 5 autres aérogénérateurs du parc à 15h17. Il met en place un périmètre de sécurité et ramasse la totalité des débris.	Selon les premiers éléments d'analyse, un défaut d'adhérence (manque de matière) entre la coque en fibre de verre et le coeur de la pale serait à l'origine de cette rupture.	Base de données ARIA	-
Incendies criminels dans un parc éolien	20/01/2019	Roussas	Drôme	Vestas V66	1,75	2006	-	Dans la nuit, un feu se déclare sur 2 éoliennes d'un parc composé de 12 aérogénérateurs. Les éoliennes sont lourdement endommagées.	D'après la presse, il s'agit d'un acte criminel.	Base de données ARIA	-
Rupture du mât d'une éolienne	23/01/2019	Boutavent	Oise	Winwind WWD-1-64	1,0	2011	-	Vers 14h40, le mât de 66 m d'une éolienne se plie en 2 en son milieu. Des débris sont projetés dans un rayon de 300 m. Une coupure de courant impacte vers 13h30 le parc éolien, comptant 2 aérogénérateurs. Les pales de l'éolienne accidentée ne se sont pas mises en drapeau et sont restées en position de production, alors que le générateur était à l'arrêt. La machine est entrée en survitesse jusqu'à la dislocation d'une pale.	Selon l'exploitant, l'absence de passage en position de sécurité des pales est dû à une chute de tension au niveau des batteries pilotant la rotation des pales en cas de coupure de l'alimentation électrique.	Base de données ARIA	-

Type d'accident	Date	Parc	Département	Type d'éolienne	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente ?	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s)	Commentaire sur l'utilisation du REX pour les calculs de probabilités de départ
Chute d'une pale d'éolienne	30/01/2019	Roquetaillade	Aude	Gamesa G47	6,6	2001	-	Vers 13 h, une pale d'une éolienne se rompt et chute au sol. Un périmètre de sécurité est mis en place autour de l'éolienne. L'exploitant arrête les 27 autres aérogénérateurs du parc. Un arrêté préfectoral d'urgence soumet leur redémarrage à l'accord de l'inspection des installations classées.	Selon la presse, le site aurait été victime d'un acte de malveillance en 2006.	Base de données ARIA	-
Fissurations sur des roulements de pales d'éoliennes	12/02/2019	Rougemont	Doubs	GE Energy 2.75-100	3,6	2012	-	A la suite d'une fissuration constatée sur une bague extérieure de roulement de pale d'une éolienne d'un parc éolien de même technologie hors de France, l'exploitant réalise des inspections de cette pièce sur 3 de ses parcs éoliens comprenant 43 éoliennes.  Ces contrôles mettent en évidence 6 fissurations sur des roulements de pale, positionnés entre la base de la pale et le moyeu.	L'origine des fissurations serait un défaut d'alésage qui, sous contrainte, conduirait à une fissuration par fatigue de la bague au niveau d'une zone d'amorçage propice constituée par les trous d'introduction des billes dans les roulements.	Base de données ARIA	-
Eolienne touchée par la foudre	02/04/2019	Tortille	Somme	-	2,85	-	-	Dans l'après-midi, lors d'un épisode orageux, la foudre touche une des 12 éoliennes d'un parc éolien. Un élu constate une trace noire sur une des pales de la machine. Il alerte le gestionnaire du site. Après constat sur place, l'éolienne est arrêtée à distance à 18h30. Une équipe technique, arrivée sur place à 20h37, place les pales en drapeau et positionne la pale impactée vers le bas, le long du mât, pour éviter tout risque complémentaire. La zone au pied de l'éolienne est balisée pour prévenir tout risque d'accident.  L'impact de foudre a endommagé le revêtement de la pale, proche de la base, sur 5 000 cm <sup>2</sup> .		Base de données ARIA	-
Électrisation lors de la maintenance d'une éolienne	15/04/2019	Plateau de l'Auxois Sud	Côte-d'Or	Siemens-Gamesa SG 2.1-114	2,1	2019	-	Vers 12h15, un sous-traitant est électrisé par un courant de 20 000 V dans une éolienne. Les pompiers interviennent sur les lieux. Un technicien effectue des reconnaissances au sommet de l'éolienne afin de vérifier si celle-ci est endommagée. L'éolienne est sécurisée par le personnel de maintenance. La victime est légèrement blessée. Elle est transportée en centre hospitalier.	-	Base de données ARIA	-
Incendie sur une éolienne	18/06/2019	Quesnoy sur Airaines	Somme	Siemens SWT-2.3-101	2,3	2011	-	Vers 17 h, un feu se déclare sur une éolienne située dans un parc éolien qui en compte 5. Les équipes de maintenance du site maîtrisent l'incendie. Les pompiers alertés par le parc éolien réalisent des contrôles thermiques pour confirmer l'extinction. Le lendemain, des pièces déposées au pied de l'éolienne à la suite de l'incendie sont dérobées.	D'après la presse, un court-circuit sur un condensateur est à l'origine du sinistre.	Base de données ARIA	-

Type d'accident	Date	Parc	Département	Type d'éolienne	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente ?	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s)	Commentaire sur l'utilisation du REX pour les calculs de probabilités de départ
Feu de moteur d'éolienne	25/06/2019	Ambon	Morbihan	Ecotecnia 80 1.6	1,67	2008	-	Vers 15h45, lors d'une opération de maintenance au niveau du système d'orientation des pales d'une éolienne, un feu se déclare au niveau de la nacelle de cette éolienne dans un parc mis en service en 2008 comportant 6 machines de 120 m pour une puissance totale de 10,02 MW. Voyant des étincelles, les techniciens alertent les secours. Un périmètre de sécurité de 500 m est mis en place. Le parc est mis à l'arrêt. Des éléments structurels de l'éolienne chutent au sol. L'incendie est maîtrisé vers 18h50.	Des fuites d'huile avaient été constatées en 2015 et 2018 sans avoir été nettoyées.	Base de données ARIA	-
Chute d'un bout de pale d'une éolienne	27/06/2019	La Picoterie	Aisne	Gamesa G90/2000	2,00	2009	-	Vers 9 h, deux techniciens intervenant sur une éolienne pour maintenance constatent qu'une pale d'une autre éolienne présente un angle anormal. Ils demandent au centre de maintenance l'arrêt à distance de cette éolienne. Vers 9h30, lors de la mise à l'arrêt, le bout de la pale abîmée est projeté en 2 morceaux, l'un à 15 m de l'éolienne, l'autre à 100 m dans l'enceinte du parc éolien. Chaque morceau correspond à une face de la pale. À la demande des techniciens, l'éolienne est arrêtée à distance.	La vitesse du vent au moment du détachement était comprise entre 6 et 7 m/s. La température extérieure était de 22 °C sachant que de très fortes chaleurs sévissaient pendant la période. En septembre 2016, les pales de l'éolienne avaient été inspectées. Des reprises de peinture et la réparation d'une fissure avaient été réalisées. Ces défauts avaient été classés comme mineurs. En octobre 2018, une inspection visuelle n'avait révélé aucun défaut.	Base de données ARIA	-

Mise à jour (à partir des données de la base ARIA) : Février 2020

## 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 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).

### SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES LIES A LA GLACE (G01 ET G02)

#### • Scénario G01

En cas de formation de glace, les systèmes de préventions intégrés mettront les pales en drapeau. 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 ou de déduction de glace ;
- Arrêt préventif en cas de vibration anormale de la nacelle due à un déséquilibre du rotor ;
- Arrêt préventif en cas de givrage de l'anémomètre ;
- Arrêt préventif en cas de déviation de la courbe de puissance.

#### • Scénario G02

La projection de glace depuis une éolienne en mouvement interviendra lors d'éventuels redémarrages de la machine encore « glacée », ou en cas de formation de glace sur le rotor en mouvement.

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.

### SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES D'INCENDIE (I01 A I07)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES DE FUITES (F01 A 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, 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.

### SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES DE CHUTE D'ÉLÉMENTS (C01 A C03)

Les scénarios 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.

### SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES DE PROJECTION DE PALES OU DE FRAGMENTS DE PALES (P01 A 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 ci-dessus (scénarios incendies).

- **Scénario P01**

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

- **Scénario P02**

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

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

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

- **Scénario 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.

### SCENARIOS RELATIFS AUX RISQUES D'EFFONDREMENT DES ÉOLIENNES (E01 A E10)

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

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

## Annexe 4 : Probabilité d'atteinte et risque industriel

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	$5.10^{-2}$	$5.10^{-2}$ (A)
Chute d'éléments	$10^{-3}$	$1,8.10^{-2}$	$1,8.10^{-5}$ (D)
Projection de tout ou partie de pale	$10^{-4}$	$10^{-2}$	$10^{-6}$ (E)
Projection de morceaux de glace	$10^{-2}$	$1,8.10^{-6}$	$1,8.10^{-8}$ (E)

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

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

## Annexe 5 : Glossaire

La circulaire du 10/05/10, 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, donne dans sa partie 3 un glossaire des risques technologiques d'où est tirée une partie des définitions ci-dessous.

<b>Aléa</b>	C'est la probabilité qu'un phénomène accidentel produise en un point donné des effets d'une gravité potentielle donnée, au cours d'une période déterminée. L'aléa est donc l'expression, pour un type d'accident donné, du couple probabilité d'occurrence/gravité potentielle des effets. L'exposition au risque d'une zone donnée résulte de la combinaison de l'aléa dans cette zone avec la vulnérabilité de la zone.
<b>Accident</b>	Événement non désiré, tel qu'une émission de substance toxique, un incendie ou une explosion résultant de développements incontrôlés survenus au cours de l'exploitation d'un établissement qui entraîne des conséquences/ dommages vis à vis des personnes, des biens ou de l'environnement et de l'entreprise en général. C'est la réalisation d'un phénomène dangereux, combinée à la présence d'enjeux vulnérables exposés aux effets de ce phénomène.
<b>Barrière de sécurité/ mesure de sécurité / mesure de maîtrise des risques</b>	Il s'agit de l'ensemble des éléments techniques et/ou organisationnels nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité.
<b>Cinétique</b>	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.
<b>Danger</b>	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... inhérentes à un produit et celle d'énergie disponible [pneumatique ou potentielle] qui caractérisent le danger).
<b>Effets dominos</b>	Action d'un phénomène dangereux affectant une ou plusieurs installations d'un établissement qui pourrait déclencher un autre phénomène sur une installation ou un établissement voisin, conduisant à une aggravation générale des effets du premier phénomène.
<b>Efficacité (pour une mesure de maîtrise des risques) ou capacité de réalisation</b>	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.
<b>Évènement initiateur</b>	Événement, courant ou anormal, interne ou externe au système, situé en amont de l'événement redouté central dans l'enchaînement causal et qui constitue une cause directe dans les cas simples ou une combinaison d'événements à l'origine de cette cause directe.
<b>Fonction de sécurité</b>	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.
<b>Gravité des conséquences</b>	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.
<b>Indépendance d'une mesure de maîtrise des risques</b>	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.
<b>Intensité des effets d'un phénomène dangereux</b>	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.
<b>Mesure de maîtrise des risques (ou barrière de sécurité)</b>	Ensemble d'éléments techniques et/ou organisationnels nécessaires et suffisants pour assurer une fonction de sécurité. On distingue parfois : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Les mesures (ou barrières) de prévention : mesures visant à éviter ou limiter la probabilité d'un événement indésirable, en amont du phénomène dangereux ;</li> <li>- Les mesures (ou barrières) de limitation : mesures visant à limiter l'intensité des effets d'un phénomène dangereux ;</li> <li>- Les mesures (ou barrières) de protection : mesures visant à limiter les conséquences sur les enjeux potentiels par diminution de la vulnérabilité.</li> </ul>
<b>Phénomène dangereux</b>	Libération d'énergie ou de substance produisant des effets susceptibles d'infliger un dommage à des cibles (ou éléments vulnérables) vivantes ou matérielles, sans préjuger l'existence de ces dernières. C'est une « Source potentielle de dommages ».
<b>Potential de danger ou source de danger ou éléments dangereux</b>	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.
<b>Prévention</b>	Mesures visant à prévenir un risque en réduisant la probabilité d'occurrence d'un phénomène dangereux.
<b>Protection</b>	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.
<b>Probabilité d'occurrence</b>	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).
<b>Réduction du risque</b>	<p>Actions entreprises en vue de diminuer la probabilité, les conséquences négatives (ou dommages), associées 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 :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Réduction de la probabilité : par amélioration de la prévention, par exemple par ajout ou fiabilisation des mesures de sécurité ;</li> <li>- Réduction de l'intensité : <ul style="list-style-type: none"> <li>o Par action sur l'élément porteur de danger (ou potentiel de danger), par exemple substitution par une substance moins dangereuse, réduction des vitesses de rotation...</li> <li>o Réduction des dangers : la réduction de l'intensité peut également être accomplie par des mesures de limitation.</li> </ul> </li> </ul> <p>La réduction de la probabilité et/ou de l'intensité correspond à une réduction du risque « à la source » :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 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).</li> </ul>
<b>Risque</b>	« 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).
<b>Scénario d'accident (majeur)</b>	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.
<b>Temps de réponse (pour une mesure de maîtrise des risques)</b>	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.
<b>Vulnérabilité</b>	Elle est soit liée à l'environnement naturel (vulnérabilité naturelle ou VN), soit aux installations (vulnérabilité matérielle ou VM) soit à la population avoisinante (vulnérabilité humaine ou VH). Il s'agit de l'appréciation de la sensibilité des cibles présentes dans la zone à un type d'effet donné. Par exemple, des zones d'habitat sont plus sensibles à un aléa d'explosion que des zones de terres agricoles, en raison de la présence de constructions et de personnes.

A ces termes spécifiques à l'étude de dangers s'ajoutent des termes propres au projet, c'est-à-dire à l'exploitation d'un parc éolien terrestre. Ces termes spécifiques sont définis ci-après.

<b>Aérogénérateur ou éolienne</b>	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 qu'un transformateur.
<b>Anémomètre</b>	Capteur de mesure de la vitesse du vent, qui transmet ses signaux au système de contrôle-commande (système de pilotage et surveillance de l'éolienne).
<b>Arbre lent</b>	Elément qui relie le moyeu au multiplicateur.
<b>Arbre rapide</b>	Elément qui entraîne la génératrice.
<b>Génératrice (ou alternateur)</b>	Elément qui génère le courant électrique.
<b>Girouette</b>	Capteur de mesure de la direction du vent, qui transmet ses signaux au système de contrôle-commande.
<b>Mât</b>	Elément sur lequel sont fixés la nacelle et son rotor.
<b>Moyeu</b>	Axe du rotor.
<b>Multiplicateur</b>	Elément qui permet d'augmenter la vitesse de rotation de l'arbre.
<b>Nacelle</b>	Enveloppe des éléments mécaniques situés en tête de mât.
<b>Pales</b>	Branches de l'hélice sur lesquelles s'exerce la force du vent.
<b>Rotor</b>	Dispositif à 2 ou 3 pales qui capte l'énergie du vent.
<b>Survitesse</b>	Vitesse de rotation des parties tournantes (rotor constitué du moyeu et des pales ainsi que la ligne d'arbre jusqu'à la génératrice) supérieure à la valeur maximale indiquée par le constructeur.

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

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

SER : Syndicat des Energies Renouvelables

FEE : France Energie Eolienne (branche éolienne du SER)

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

EDD : Etude de dangers

APR : Analyse Préliminaire des Risques

ERP : Etablissement Recevant du Public





**artifex**

4, rue Jean le Rond d'Alembert  
Bâtiment 5 - 1<sup>er</sup> étage  
81 000 ALBI

Tel : 05.63.48.10.33  
Fax : 05.63.56.31.60

[contact@artifex-conseil.fr](mailto:contact@artifex-conseil.fr)