

*S.A.S. Parc éolien de la Côte des Moulins*

Immeuble Le Cambridge

10 Boulevard Emile Gabory

44200 NANTES

# *PROJET DE PARC EOLIEN*

*Volet 5b de la Demande d'Autorisation Environnementale :*  
*Etude de danger*



## SOMMAIRE

<b>1</b>	<b>PREAMBULE .....</b>	<b>1</b>
1.1	OBJECTIF DE L'ÉTUDE DE DANGERS.....	1
1.2	CONTEXTE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE .....	1
1.3	NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSEES .....	2
<b>2</b>	<b>PRESENTATION DU PERIMETRE D'ÉTUDE .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION.....</b>	<b>6</b>
3.1	ENVIRONNEMENT HUMAIN.....	6
3.2	ENVIRONNEMENT NATUREL.....	10
3.3	ENVIRONNEMENT MATERIEL.....	14
3.4	CARTOGRAPHIE DE SYNTHÈSE.....	17
<b>4</b>	<b>DESCRIPTION DE L'INSTALLATION .....</b>	<b>21</b>
4.1	CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION .....	21
4.2	FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION .....	23
4.3	FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE L'INSTALLATION .....	26
<b>5</b>	<b>IDENTIFICATION DES DANGERS ET DES EVENEMENTS INDESIRABLES .....</b>	<b>30</b>
5.1	POTENTIELS DE DANGERS LIES AUX PRODUITS .....	30
5.2	POTENTIEL DE DANGERS LIES AUX PROCEDES .....	30
5.3	POTENTIEL DE DANGERS LIES AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION .....	30
5.4	REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS A LA SOURCE .....	30
<b>6</b>	<b>ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE.....</b>	<b>32</b>
6.1	INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS A L'INTERNATIONAL .....	32
6.2	INVENTAIRE DES INCIDENTS ET ACCIDENTS EN FRANCE.....	32
6.3	SYNTHÈSE DES PHENOMENES DANGEREUX REDOUTES ISSUS DU RETOUR D'EXPERIENCE 33	
6.4	LIMITES D'UTILISATION DE L'ACCIDENTOLOGIE.....	34
<b>7</b>	<b>ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES.....</b>	<b>35</b>
7.1	OBJECTIF DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES .....	35
7.2	RECENSEMENT DES EVENEMENTS INITIATEURS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES. 35	
7.3	RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES.....	35
7.4	SCENARIOS ETUDIES DANS L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES (APR).....	37
7.5	EFFETS DOMINOS .....	39
7.6	MISE EN PLACE DES MESURES DE SECURITE – METHODE ET MOYENS D'INTERVENTION 39	
7.7	CONCLUSION DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES .....	46
<b>8</b>	<b>ÉTUDE DETAILLEE DES RISQUES.....</b>	<b>47</b>
8.1	RAPPEL DES DEFINITIONS .....	47
8.2	PRESENTATION DES PARAMETRES DES CALCULS D'INTENSITE DES SCENARIOS .....	48
8.3	CARACTERISATION DES SCENARIOS RETENUS .....	48
8.4	SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DETAILLEE DES RISQUES .....	57
<b>9</b>	<b>CONCLUSION .....</b>	<b>59</b>

ANNEXE 1 : METHODE DE COMPTAGE DES PERSONNES POUR LA DETERMINATION DE LA GRAVITE POTENTIELLE D'UN ACCIDENT A PROXIMITE D'UNE EOLIENNE
ANNEXE 2 : TABLEAU DE L'ACCIDENTOLOGIE FRANÇAISE
ANNEXE 3 : SCHEMAS UNIFILAIRES DES 5 EOLIENNES
ANNEXE 4 : SCENARIOS GENERIQUES ISSUS DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES
ANNEXE 5 : PROBABILITE D'ATTEINTE ET RISQUE INDIVIDUEL
ANNEXE 6 : GLOSSAIRE
ANNEXE 7 : BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES UTILISEES

**La société SAS Parc éolien de la Côte des Moulins, filiale de WKN GmbH spécialisée dans le développement et la construction de parcs éoliens en France, souhaite installer un parc éolien en vue de son exploitation sur les communes de Vignory, Mirbel et La Genevroye dans le département de la Haute-Marne (52).**

**Le projet envisagé compte cinq éoliennes et deux postes de livraison, dont l'électricité produite est destinée à être injectée au réseau national.**

**Dans le cadre de l'instruction, et après dépôt des compléments le 24 janvier 2020, l'éolienne E4 a été supprimée du projet, réduisant ainsi les impacts paysagers, notamment sur le village de Vignory.**

**L'Autorité environnementale (Ae) a, par la suite, été consultée le 7 décembre 2021 et a rendu son avis sur le dossier de demande d'autorisation environnementale le 2 février 2022. En application de l'article L. 122-1 du Code de l'environnement, un mémoire en réponses à l'avis de l'Ae Grand Est a été déposé le 7 juin 2022.**

**Les éléments mis en évidence par un surlignage jaune dans le présent dossier correspondent aux compléments apportés en réponse à cet avis de l'Autorité environnementale et sont relatifs au projet aujourd'hui réduit à 4 machines.**

**Concernant la présente étude de danger, il est à noter que la suppression de l'éolienne E4 ne modifie en rien les résultats obtenus pour les éoliennes restantes.**

## 1 PREAMBULE

### 1.1 OBJECTIF DE L'ETUDE DE DANGERS

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par ATDx, pour le compte de WKN GmbH dans le but de caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du parc éolien localisé sur les communes de La Genevroye, Mirbel et Vignory, de s'assurer de la viabilité technologique et économique du projet, et d'identifier les causes des risques, qu'elles soient intrinsèques aux substances ou matières utilisées, liées aux procédés mis en œuvre ou bien dues à la proximité d'autres risques d'origine interne ou externe à l'installation.

Cette étude est proportionnée aux risques engendrés par les éoliennes du Parc Eolien de la Côte des Moulins. 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 ce parc, qui réduisent le risque à l'intérieur et à l'extérieur des éoliennes à un niveau jugé acceptable par l'exploitant.

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

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

### 1.2 CONTEXTE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE

Dans le cadre de ce projet, conformément à la réglementation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et de l'article D.181-15-2 I.10° et III du Code de l'environnement, une étude de dangers et son résumé non technique doivent être réalisés.

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 de survenir. 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.

Le demandeur fournit une étude de dangers qui précise les risques auxquels l'installation peut exposer, directement ou indirectement, les intérêts mentionnés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation. Le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation. En tant que de besoin, cette étude donne lieu à une analyse de risques qui prend en compte la probabilité d'occurrence, la cinétique et la gravité des accidents potentiels selon une méthodologie qu'elle explicite. Elle définit et justifie les mesures propres à réduire la probabilité et les effets de ces accidents.

Le contenu de l'étude de danger est :

- 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 danger ;
- Enseignements tirés du retour d'expérience (des accidents et incidents représentatifs) ;
- Analyse préliminaire des risques ;
- Étude détaillée de réduction des risques ;
- Quantification et hiérarchisation des différents scénarios en terme 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 de dangers.

De même, la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de danger, 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.

Enfin, l'étude de dangers s'intéresse aux risques générés par les aérogénérateurs lorsqu'ils sont en phase d'exploitation. Elle exclut donc la phase de construction.

### 1.3 NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSEES

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

N°	A - Nomenclature des installation classées		
	Désignation de la rubrique	A, D, E, S, C (1)	Rayon (2)
2980	Installation terrestre de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs		
	1. Comprenant au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m :	A	6
	2. Comprenant uniquement des aérogénérateurs dont le mât a une hauteur inférieure à 50 m et au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur maximale supérieure ou égale à 12 m et pour une puissance totale installée :		
	a) supérieure ou égale à 20 MW .....	A	6
	b) inférieure à 20 MW <sup>2</sup> .....	D	

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

Tableau 1 : Extrait de la nomenclature des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement

(Source : INERIS)

Comme spécifié au niveau de la Demande d'Autorisation Environnementale, le Parc Eolien de la Côte des Moulins comporte au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m. Ce projet de parc éolien relève de la rubrique 2980 de la législation des ICPE, et compte tenu de la hauteur des 5 mâts (87 m) et de la nature des activités exercées, **l'installation est soumise à autorisation (A) au titre des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.**

#### Mise à jour – Suppression de l'éolienne E4

Le projet actuel est composé de 4 éoliennes et est réparti sur le territoire de 3 communes : 2 éoliennes sur Vignory, 1 éolienne sur Mirbel et 1 éolienne sur La Genevroye.

## 2 PRESENTATION DU PERIMETRE D'ETUDE

La description complète du site, du projet et des installations du parc éolien localisé sur les communes de Vignory, Mirbel et La Genevroye (52) développé par la Société WKN GmbH à travers la société de projet S.A.S. Parc Eolien de la Côte des Moulins, a été réalisée dans l'Étude d'Impact sur l'environnement du présent dossier. Ainsi, ne seront faits ici que quelques rappels.

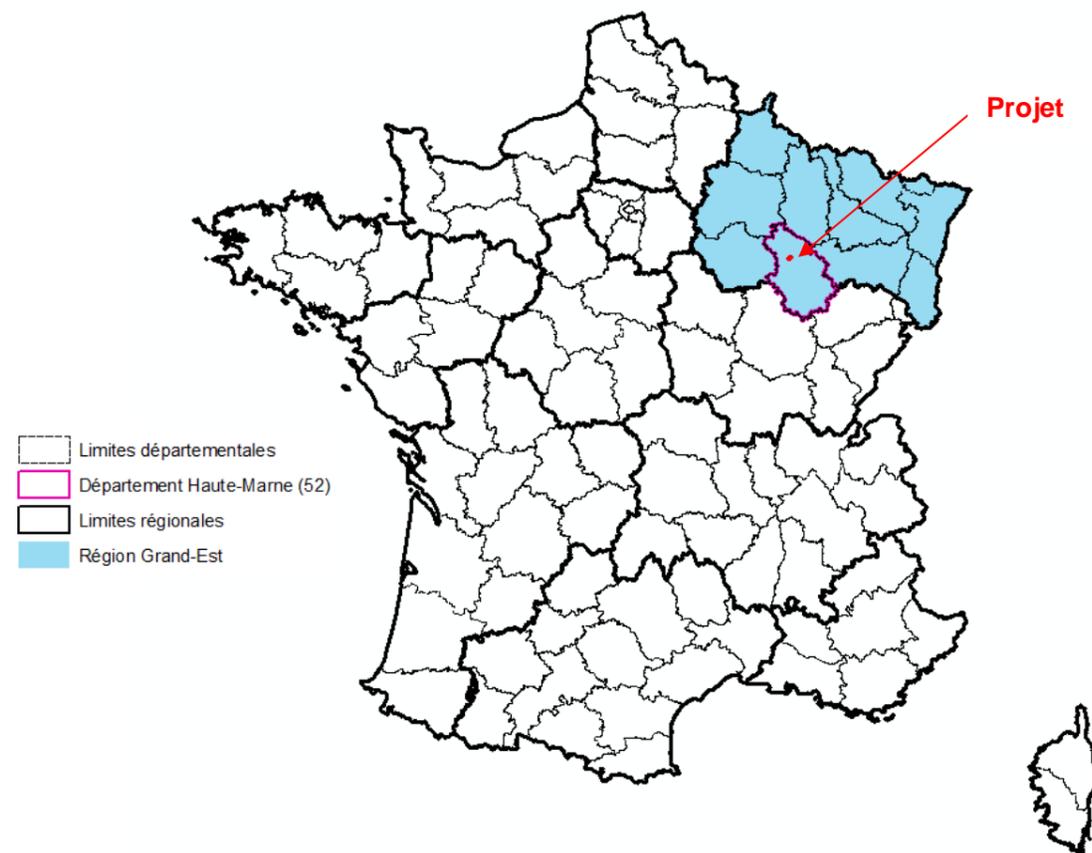
Le présent projet de parc éolien est composé de **cinq éoliennes accompagnées de deux postes de livraison**. Il est localisé sur les communes de Vignory, Mirbel et La Genevroye, dans le département de la Haute-Marne, en région Grand-Est.

Le parc est localisé à :

- Environ 20 km au nord de Chaumont ;
- Environ 18 km au sud de Joinville ;
- Environ 36 km au sud de Saint-Dizier.

A l'échelle locale, le parc est localisé à environ :

- 2,4 km au Nord-ouest de Vignory ;
- 850 m à l'Est de Mirbel ;
- 2,2 km à l'Ouest de Cerisières ;
- 750 m au Nord-est de La Genevroye ;
- 5,6 km à l'ouest de Froncles ;



Carte 1 : Localisation du site à l'échelle nationale et régionale

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

Chaque aire d'étude correspond à l'ensemble des points situés à une distance inférieure ou égale à **500 m** à partir de l'emprise du mât de l'aérogénérateur. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection, telle que définie au paragraphe 8.3.4.

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

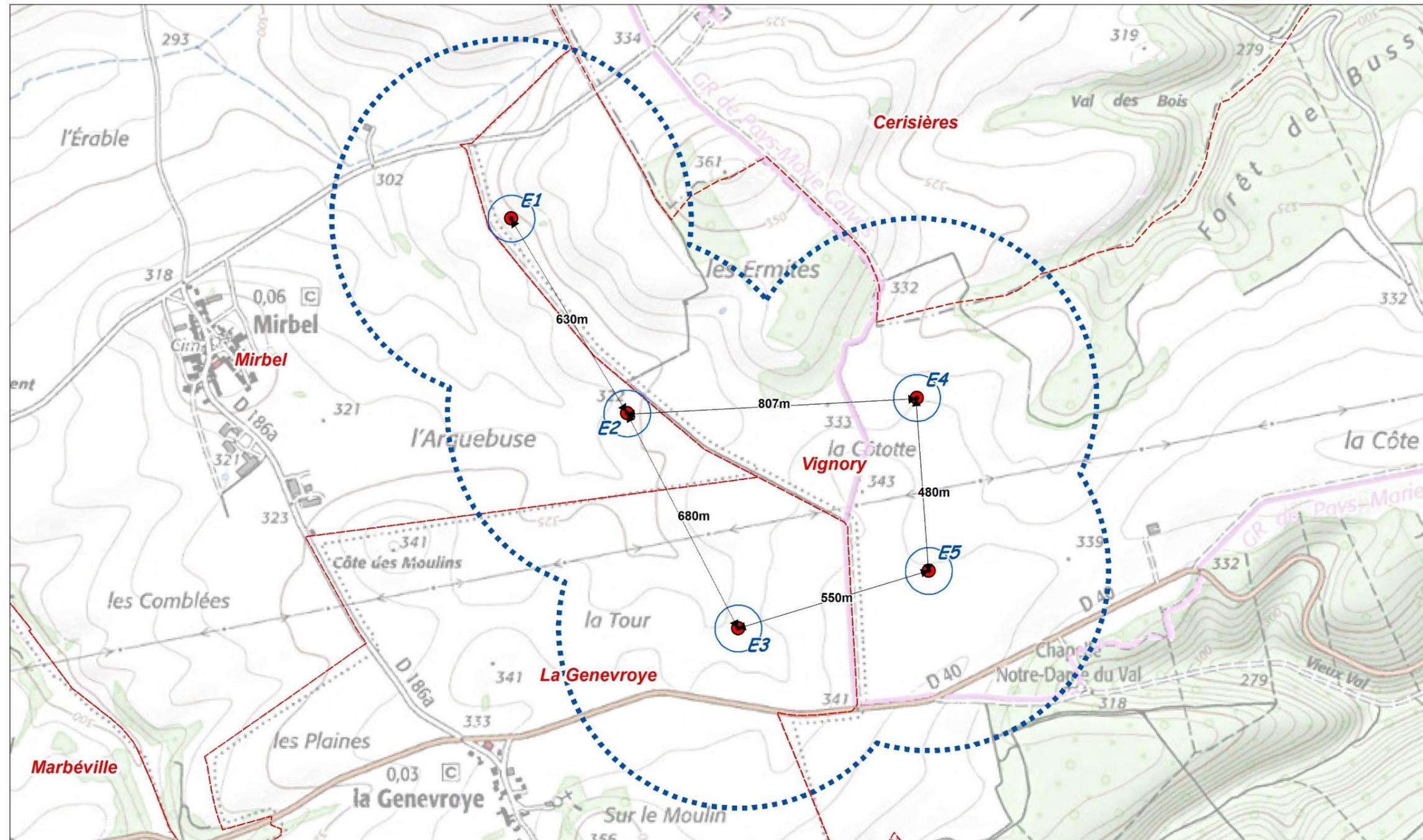
Plusieurs éléments s'inscrivent dans le périmètre de l'étude de dangers (500 m) :

- Des terrains agricoles ;
- Des bois ;
- La RD 40 au sud ;
- La RD 186 au nord ;
- Les chemins non goudronnés de desserte des parcelles agricoles ;
- Le chemin de Grande Randonnée : le GR « Pays de Marie Calvès » ;
- Le chemin de Petite Randonnée : le PR 109 « Circuit du Château » ;
- Un hangar ;
- Un dépôt de bois ;
- Des lignes électriques 20kV et 63kV appartenant à RTE et ENEDIS ;

La carte suivante localise l'aire d'étude de dangers correspondant à un périmètre de 500 m autour de chaque éolienne.

Parc éolien de la Côte des Moulins  
Communes de Vignory, Mirbel et La Genevroye  
SAS Parc éolien de la Côte des Moulins

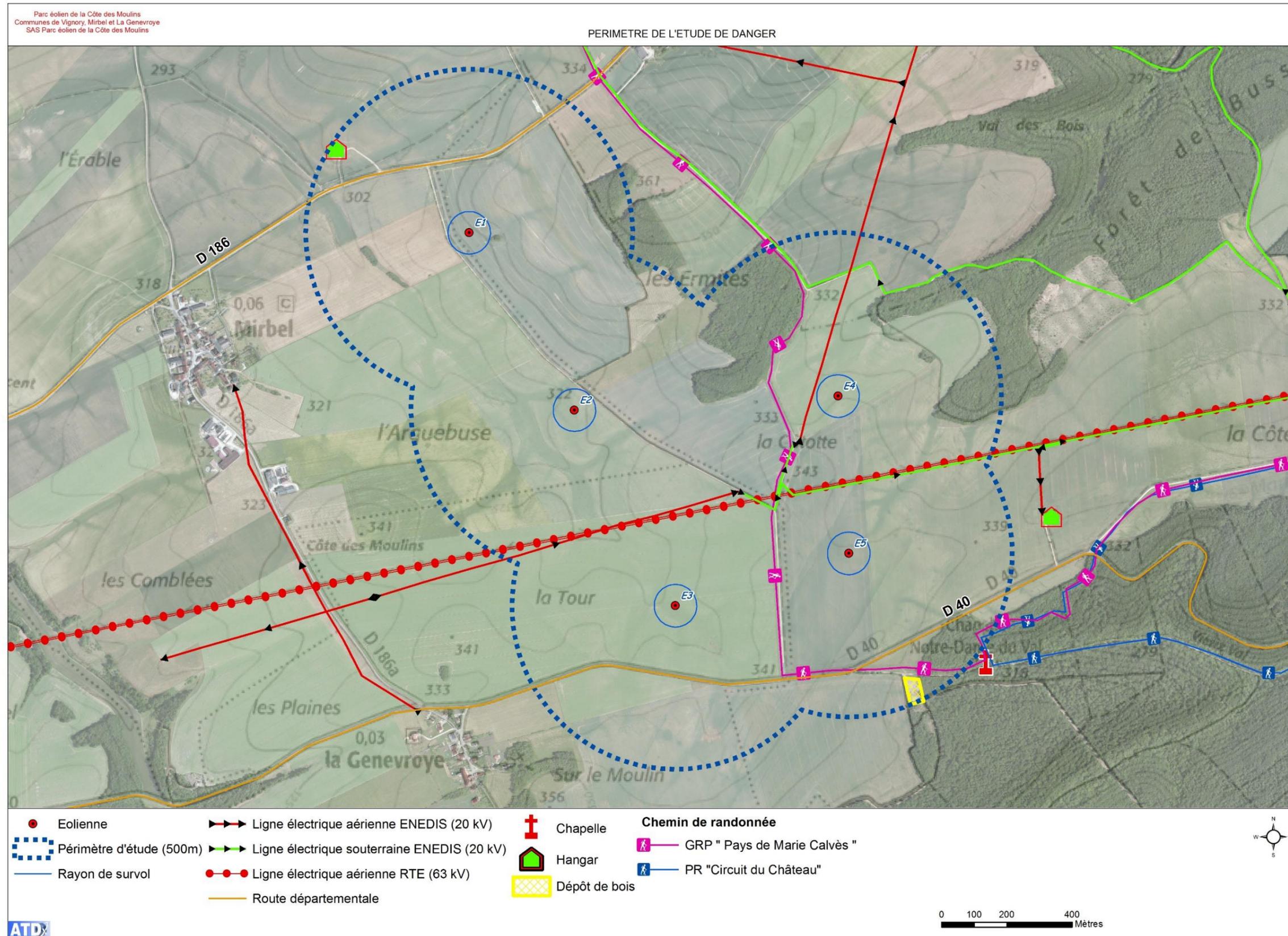
LOCALISATION DU PERIMETRE DE L'ETUDE DE DANGER



- Eolienne
- ⋯ Périètre d'étude (500m)
- Rayon de survol
- - - Limites communales



Carte 2 : Localisation du périmètre de dangers



Carte 3 : Périmètre de l'étude de dangers

### 3 ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

#### 3.1 ENVIRONNEMENT HUMAIN

##### 3.1.1 Habitations, zones urbanisées et zones urbanisables

Aux alentours du périmètre d'étude, l'habitat est principalement regroupé au niveau des bourgs de Mirbel et de La Genevroye. On identifie également deux habitations isolées : la première sur le bourg de Mirbel, au niveau du lieu-dit « Côte des Moulins », la seconde sur le bourg de Cerisières, correspondant à la Ferme de Froideau au Nord-Est du périmètre de l'étude de dangers.

En termes d'occupation du sol, la faible densité de population de ces communes confirme le caractère rural du territoire. Le tableau ci-dessous présente les données démographiques des communes concernées par le périmètre de l'étude de dangers.

	Population (Hab.)	Densité de population (nb habitant/km <sup>2</sup> )
Mirbel	42	6.9
La Genevroye	30	10.6
Vignory	253	13
Cerisières	81	8.1

Tableau 2 : Données démographiques des communes concernées par le périmètre de l'étude de dangers  
(Source : INSEE, données 2015)

Aucune habitation ne se situe à moins de 500 m d'une éolienne.

Le tableau ci-dessous récapitule la distance entre les habitations et les aérogénérateurs :

Commune	Type d'habitation	Distance par rapport à l'aérogénérateur le plus proche
Mirbel	Bourg	790 m
	Lieu-dit « Côte des Moulins »	890 m
La Genevroye	Bourg	720 m
Cerisières	Bourg	1950 m
	Ferme de Froideau	760 m

Tableau 3 : Distance entre les habitations et les aérogénérateurs

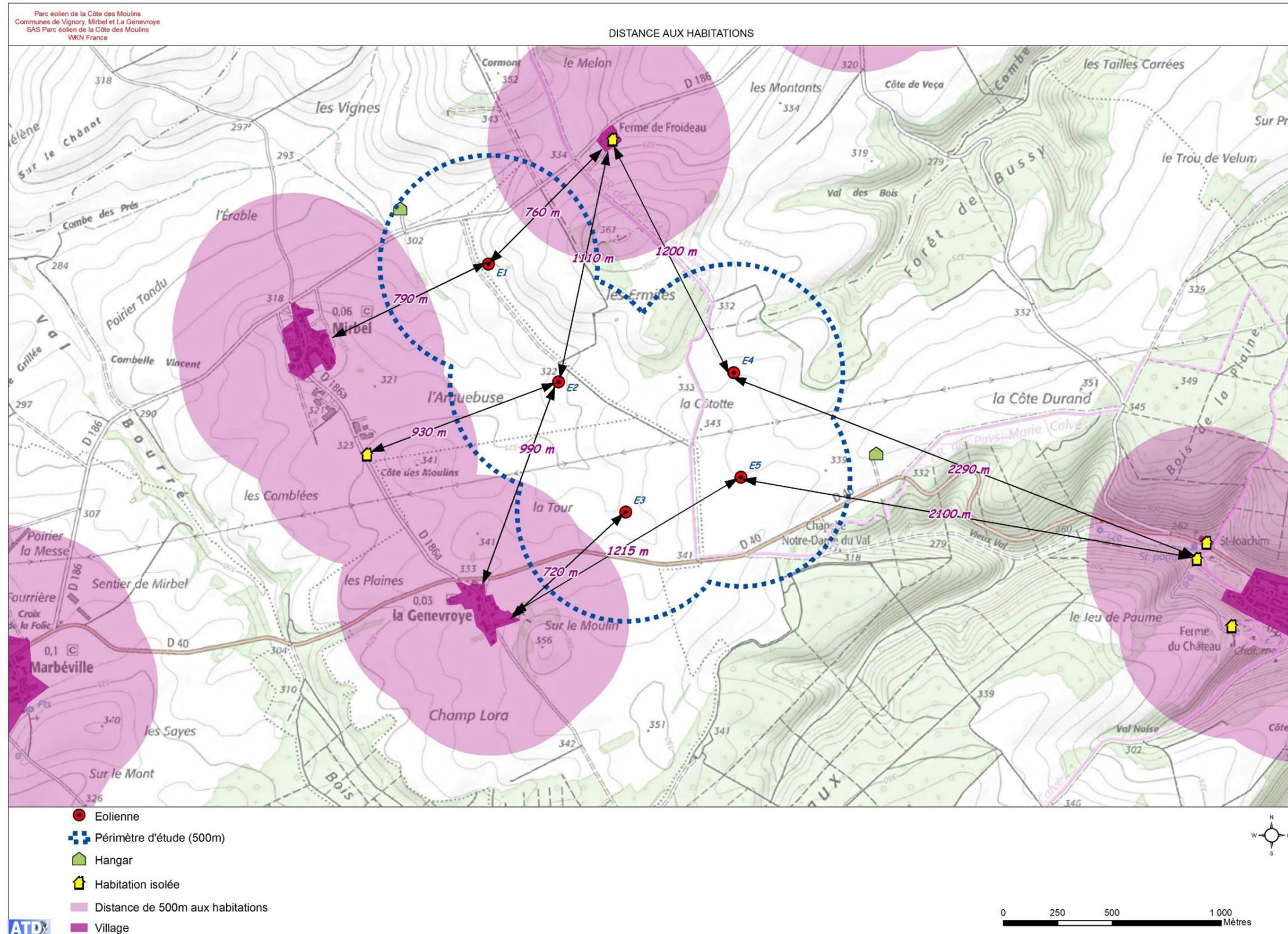
##### 3.1.2 Établissement Recevant du Public (ERP)

Aucun ERP n'est présent à l'échelle du périmètre d'étude (500m).

##### 3.1.3 Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et installations nucléaires de base

D'après le site « [installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr](http://installationsclassees.developpement-durable.gouv.fr) », une seule Installation Classée pour la Protection de l'Environnement se trouve sur une des communes concernées par le périmètre de l'étude de dangers (500 m). Il s'agit de la carrière « SNC Matériaux Concassés Ardennais » située sur la commune de Vignory. Cette carrière est cependant située à environ 3 km à l'Est du périmètre de l'étude de dangers.

Aucune ICPE ou site nucléaire (INB) ne se trouve dans le périmètre d'étude (500 m) de l'étude de dangers.



Carte 4 : Localisation des habitations proches

### 3.1.4 Autres activités

#### ❖ Agriculture

L'agriculture occupe une place importante dans l'activité économique locale. A l'échelle des communes concernées par le périmètre de l'étude de dangers (Vignory, Mirbel, La Genevroye, et Cerisières), on dénombre 6 exploitations en 2010 pour une surface agricole utile (SAU) de 1 092 ha.

	Indicateur	2000	2010	Evolution entre 2000 et 2010
Vignory	Nombre d'exploitation	2	1	- 50%
	Surface Agricole Utile par commune (SAU en ha)	308	184	- 41%
	Surface Agricole Utile par exploitation (SAU en ha)	154	184	+ 19,5%
Mirbel	Nombre d'exploitation	4	4	=
	Surface Agricole Utile par commune (SAU en ha)	564	639	+ 13%
	Surface Agricole Utile par exploitation (SAU en ha)	141	159,8	+ 13%
La Genevroye	Nombre d'exploitation	0	0	=
	Surface Agricole Utile par commune (SAU en ha)	0	0	=
	Surface Agricole Utile par exploitation (SAU en ha)	0	0	=
Cerisières	Nombre d'exploitation	3	1	- 66,6 %
	Surface Agricole Utile par commune (SAU en ha)	459	269	- 41,4 %
	Surface Agricole Utile par exploitation (SAU en ha)	153	269	+ 75,8 %

Tableau 4 : Répartition de la surface agricole utile sur les communes de l'aire d'étude immédiate

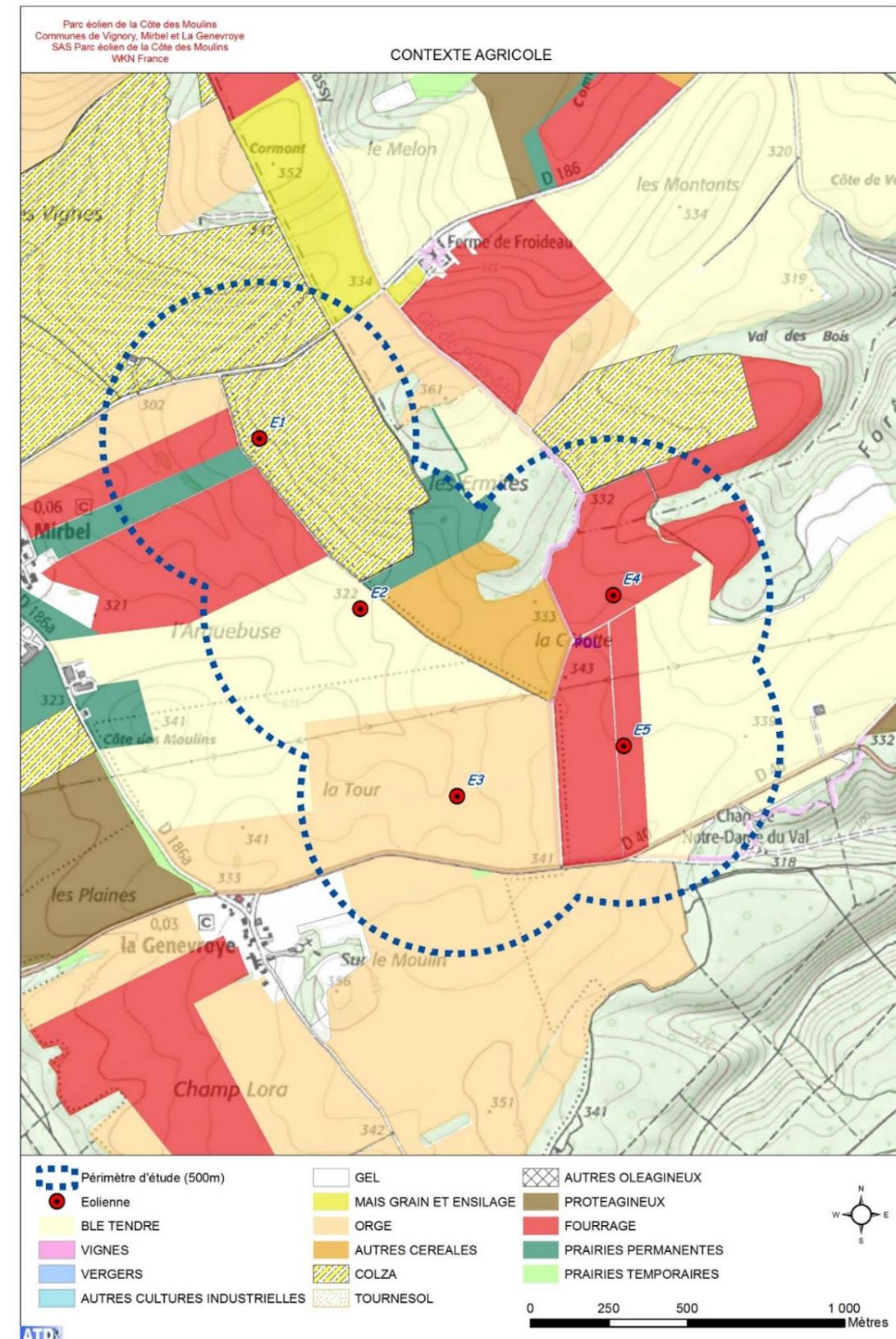
(Source : Recensement AGRESTE 2010)

Selon les données du recensement agricole, la commune de La Genevroye n'est concernée par aucune activité agricole en raison de sa faible superficie (2,8 km<sup>2</sup>). L'activité agricole est concentrée principalement sur Mirbel. Cette répartition s'explique notamment par le relief. En effet, Mirbel est située sur le plateau calcaire. Son territoire offre donc une grande superficie plane favorable à la mise en place de cultures. A l'inverse, Vignory et Cerisières sont situées à la jonction entre le plateau et la vallée de la Marne. Une partie de leur territoire est accidentée et n'est par conséquent pas favorable à l'activité agricole.

Entre 2000 et 2010, Vignory, Cerisières et Mirbel ont connu des évolutions différentes : l'activité agricole sur Vignory et Cerisières a diminué avec la perte de 3 exploitations, tandis que sur Mirbel, le nombre d'exploitation est resté identique avec 4 exploitations. Pour toutes les communes, la SAU par exploitation a augmenté.

Les principales cultures à l'échelle du périmètre de l'étude de dangers sont :

- Le Colza ;
- L'orge ;
- Le blé tendre ;
- Le fourrage.



Carte 5 : Le contexte agricole à l'échelle du périmètre de l'étude de dangers

(Source : Registre parcellaire graphique, 2016)

#### ❖ Sylviculture

Etant constituée de terrain à vocation agricole, le périmètre d'étude ne fait l'objet d'aucune activité sylvicole. Seule une activité liée à l'exploitation de bois de chauffage est présente au niveau du boisement situé à proximité du lieu-dit « **Les Ermites** » (cf. Carte 3).

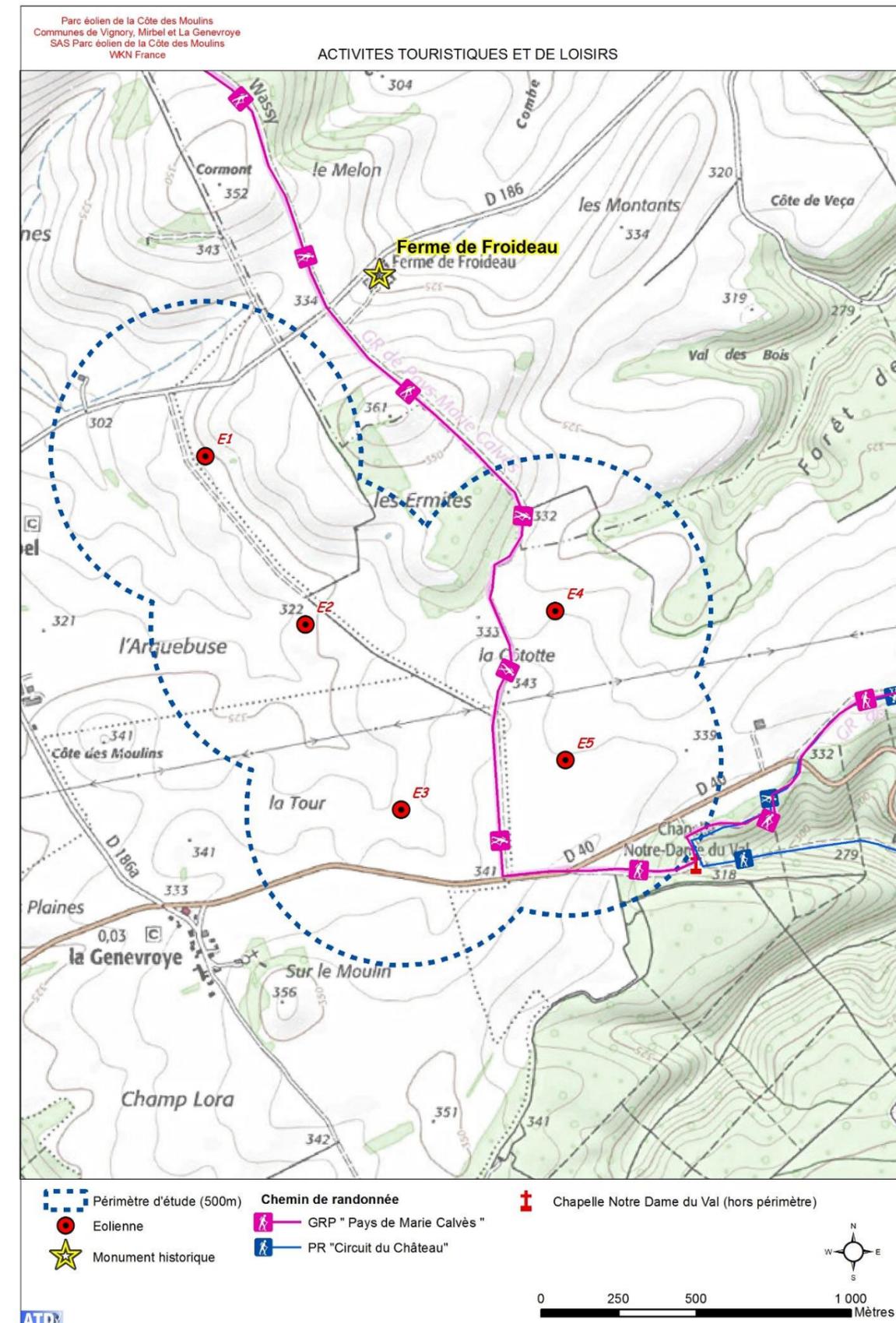
Cette activité ne représente pas d'enjeu particulier pour le projet.

Une zone de stockage de bois est également présente en limite sud de l'aire de l'étude de dangers, à proximité de la chapelle Notre-Dame-du-Val (cf. Carte 3).

#### ❖ Activités touristiques et de loisirs

A l'échelle du périmètre de l'étude de dangers, l'offre touristique et de loisirs concerne (cf. Carte 6):

- 2 chemins de randonnées :
  - Le **GR de Pays Marie Calvès** qui traverse le périmètre en son centre ;
  - Le **PR 109 – Circuit du Château** qui passe au sud du périmètre.
- La **Ferme de Froideau** classée Monument Historique. Cette ferme se trouve néanmoins à plus de 200 m du périmètre d'étude ;
- La **Chapelle Notre Dame du Val** au Sud-Est du périmètre d'étude et en dehors de celui-ci.



Carte 6 : Activités touristiques et de loisirs

## 3.2 ENVIRONNEMENT NATUREL

### 3.2.1 Contexte climatique

Les communes de Vignory, Mirbel et La Genevroye sont soumises à un climat de type océanique à influence continentale marqué par un hiver long et rigoureux, un été doux et une pluviométrie relativement importante.

La station météorologique de référence utilisée dans ce chapitre est la station de Saint-Dizier à environ 40 km au nord du site, à une altitude de 139 m NGF. Les données enregistrées concernent la période allant de 1981 à 2010, ainsi que les records.

#### 3.2.1.1 Précipitation

Les précipitations enregistrées sont présentées dans le tableau suivant et illustrées sur le graphique ci-après :

Tableau 5 : Données de précipitation à la station de Saint-Dizier

Paramètres	Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Moyenne des hauteurs de précipitations mensuelles (mm)		71,8	60,5	66,2	60,2	72,4	65,9	70,4	68,8	74,2	78,6	69,5	85,2	843,7
Nombre moyen de jours avec hauteurs de précipitations supérieures à 10 mm		1,9	1,6	1,6	1,6	2,3	1,9	2,2	2,1	2,1	2,3	1,8	2,8	24,3

(Source : Météo France – données sur la période 1992-2010)

Les précipitations sont bien réparties tout au long de l'année avec cependant un maximum pluvial enregistré au moins de décembre (85,2 mm). Cette distribution témoigne de la tendance océanique du climat. Le secteur est dans l'ensemble bien arrosé avec une moyenne annuelle des précipitations de 543,7 mm, et 131 jours de pluie par an.

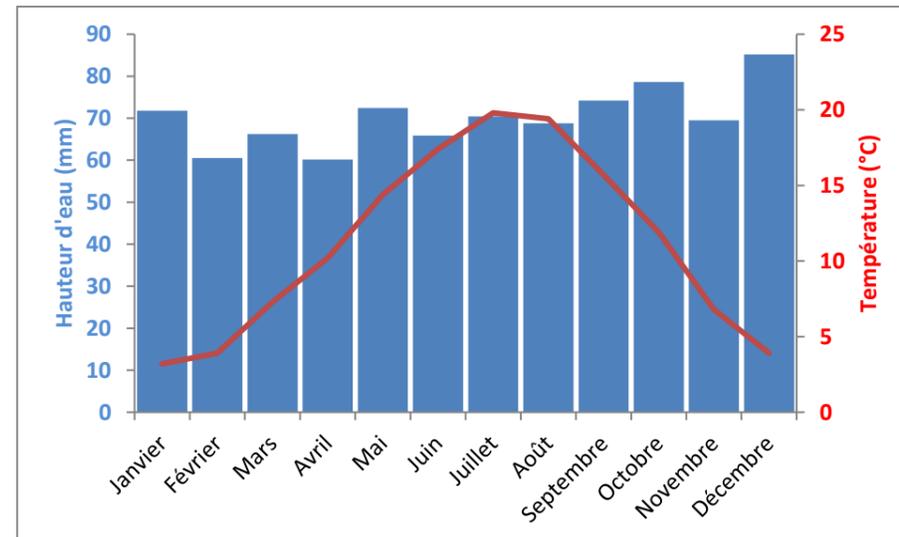


Figure 1 : Histogramme pluviométrique et thermique de la station de Saint-Dizier

#### 3.2.1.2 Température

Les températures enregistrées sont présentées dans le tableau suivant et illustrées sur le graphique dessous :

Tableau 6 : Données de températures à la station de Saint-Dizier

Paramètres	Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne
Moyenne des températures maximales quotidiennes (°C)		6,1	7,6	11,7	15,4	19,7	22,8	25,5	25,1	20,8	16	10	6,6	15,7
Moyenne des températures quotidiennes (°C)		3,2	3,9	7,3	10,2	14,4	17,4	19,8	19,4	15,7	11,9	6,8	3,9	11,2
Moyenne des températures minimales quotidiennes (°C)		0,3	0,3	2,8	4,9	9,1	12	14,1	13,7	10,6	7,7	3,6	1,3	6,7

(Source : Météo France)

Les températures moyennes sont relativement fraîches avec une moyenne annuelle de 11,2°C et un écart important entre les mois de juillet (période estivale) et janvier (période hivernale) de 16,2°C (cf. Figure 1).

L'hiver est relativement rigoureux avec des températures moyennes les plus froides durant les mois de décembre, janvier et février (3,9°C, 3,2°C et 3,9°C), tandis que les moyennes des températures minimales restent supérieures à 0°C avec une minimale de 0,3 °C.

L'été est relativement doux avec des températures avoisinants 20°C en juillet et août (19,8°C et 19,4°C).

Le régime thermique est marqué par un écart de température important en été et hiver avec une différence de 16,2°C soulignant le caractère continental du climat.

La température la plus basse est de -22,5 °C et a été enregistrée le 14 février 1956.

Tableau 7 : Données de températures les plus basses à la station de Saint-Dizier

Paramètres	Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Record
Température la plus basse (°C)		-20,5	-22,5	-13,6	-6,0	-3,0	2,2	3,2	3,7	0,2	-5,1	-11,7	-17,3	-22,5

(Source : Météo France)

#### 3.2.1.3 Gel

L'hiver froid et rigoureux est marqué par un nombre de jour de gel important (60,6 jours) ainsi que la présence de gelée tardive au mois d'avril.

Le mois de janvier constitue le mois où il gèle le plus souvent avec 14,1 jours.

Tableau 8 : Nombre de jours avec une température minimale inférieure à 0°C à la station de Saint-Dizier

Paramètres	Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne
Nombre de jours avec une température minimale égale ou inférieure à 0°C		14,1	13,3	8,9	3,2	0,1	-	-	-	-	1,7	7,0	12,4	60,6

(Source : Météo France)

#### 3.2.1.4 Neige

Bien que les données disponibles à la station de Saint-Dizier soient incomplètes (absence de données pour février), l'hiver est marqué par la présence de neige avec plus de 9,3 jours de neige par an et un maximum de 4,4 jours de neige en janvier.

#### 3.2.1.5 Grêle

De la même manière, les données disponibles à la station de Saint-Dizier sont incomplètes (absence de données pour décembre). Cependant, il est possible d'observer la présence de grêle durant presque la totalité de l'année (seuls janvier, août et octobre ne compte pas de jours de grêle) mais dans des proportions relativement faibles puisque le maximum enregistré est de 0,6 jours de grêle en mars et une moyenne annuelle de 1,9 jours.

#### 3.2.1.6 Orage et Foudre

L'activité orageuse semble peu marquée sur le secteur avec une moyenne annuelle de 16,1 jours d'orage. Notons que la station de Saint-Dizier ne dispose pas de données pour les mois d'avril, mai et septembre.

La meilleure représentation de l'activité orageuse est la Densité d'Arcs (Da) qui est le nombre d'arcs de foudre au sol par km<sup>2</sup> et par an. Le réseau de détection de la foudre utilisé par Météorage permet une mesure directe de cette grandeur. Pour Vignory, cette valeur est de **1,47 arcs / km<sup>2</sup> / an** sachant que la valeur moyenne en France est de 1,57 arcs / km<sup>2</sup> / an.

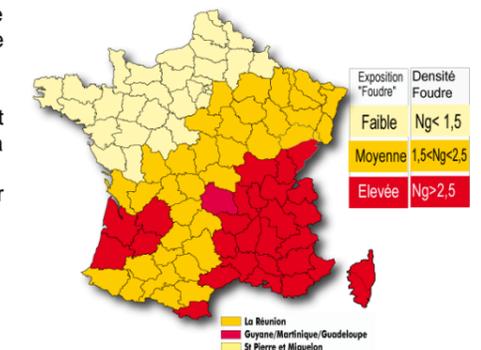


Figure 2 : Densité de foudroiement (Ng) en France

#### 3.2.1.7 Brouillard

Le secteur comptabilise environ 40 jours de brouillard par an enregistrés à la station de Saint-Dizier (sauf pour le mois de décembre où aucune donnée n'est disponible), notamment durant les saisons d'hiver et d'automne avec des moyennes mensuelles de l'ordre de 4 à plus de 5 jours de brouillard.

### 3.2.1.8 Vent

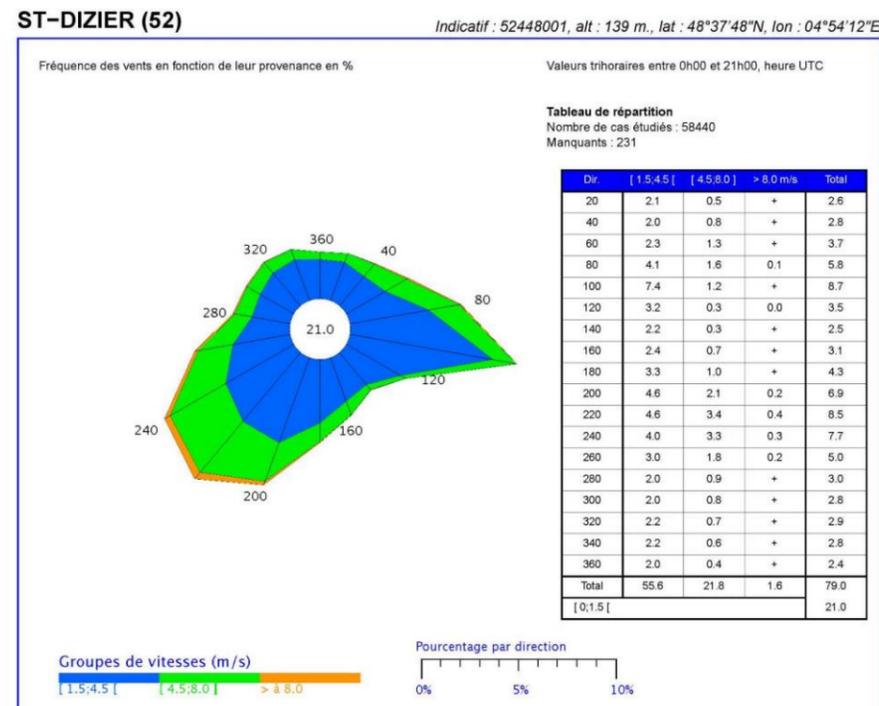
Les données présentées ci-dessous ont été enregistrées à une altitude de 10 m.

**Tableau 9 : Vitesses de vent et rafales à la station de Saint-Dizier**

Paramètres	Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moyenne
Vitesse du vent moyennée sur 10 mn en m/s		3,7	3,7	3,6	3,4	3,1	2,9	2,8	2,6	2,8	3,1	3,2	3,5	3,2
Nombre de jours avec des rafales de plus de 16 m/s		4,9	4,1	3,9	2,2	2,0	1,9	1,9	1,1	1,3	2,5	2,6	-	-
Nombre de jours avec des rafales de plus de 28 m/s		0,1	0,2	0,1	0	.	0	0,1	.	.	.	0,0	-	-
Records		30,0	33,0	29,0	28,0	25,0	28,0	40,1	26,0	23,0	26,0	33,0	44,0	44,0

(Source : Météo France)

Les moyennes de vents enregistrées sont de l'ordre de 3,2 m/s à 10 m et sont relativement homogènes au cours de l'année. L'hiver et le début du printemps représentent les périodes où les vents sont les plus forts.

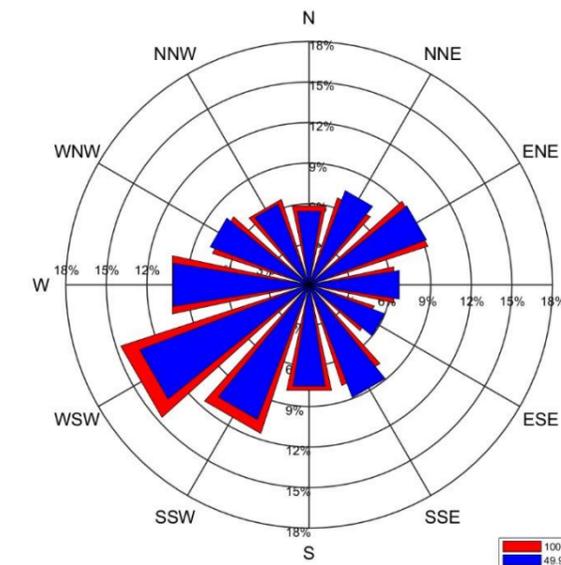


**Figure 3 : Rose des vents de la station de Saint-Dizier**

Selon la figure ci-dessus, les vents dominants du secteur viennent du sud-ouest et dans une moindre mesure de l'est.

#### Campagne de mesures sur site

Un mât de mesure a été mis en place depuis avril 2014 afin de connaître précisément les conditions de vents sur le site. Le mât d'une hauteur totale de 100 m, dispose de deux girouettes et de deux anémomètres disposés à 49,9 m et 100 m mesurant en continu le vent présent.



**Figure 4 : Rose des vents sur site pour la période novembre 2014/mai 2019**

(Source : WKN France)

Il ressort de cette campagne de mesures toujours en cours qu'à 100 m, il est mesuré une vitesse moyenne proche de 6 m/s.

#### 3.2.1.9 Insolation et fraction d'insolation

La durée d'insolation moyenne est présentée dans le tableau suivant :

**Tableau 10 : Durée mensuelle d'ensoleillement à la station de Saint-Dizier**

Paramètres	Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
Durée d'insolation (moyenne en heure)		66,4	80,3	136,8	174,2	210,7	220,0	228,0	220,5	166,3	117,7	58,4	47,6	1726,9

(Source : Météo France)

La durée d'insolation annuelle moyenne mesurée est de 1726,9 heures.

La mesure de fraction d'insolation correspond au rapport entre la durée réelle d'insolation mesurée et la durée théorique du jour (valeur maximale pendant laquelle le soleil peut être observé du lever au coucher du soleil). Le tableau suivant présente le nombre de jour où ce rapport est nul, inférieure ou égale à 20 % (correspondant à une mauvaise visibilité) et supérieure ou égale à 80 % (correspondant à une bonne visibilité).

**Tableau 11 : Nombre de jour avec fraction d'insolation à la station de Saint-Dizier**

Paramètres	Mois	Jan.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Total
= 0%		12,7	9,2	6,3	2,7	2,6	1,6	0,8	1,3	3,0	5,6	11,5	16,2	73,4
≤ 20 %		19,7	15,8	13,8	10,3	9,4	7,9	7,8	7,5	10,1	13,9	19,4	22,7	158,2
≥ 80 %		3,9	3,7	6,5	6,4	6,7	6,0	6,5	8,0	7,4	5,3	2,4	3,0	65,6

(Source : Météo France)

Le ciel apparaît donc comme couvert environ 158 jours par an et bien dégagé environ 65 jours par an.

#### 3.2.1.10 Conditions météorologiques extrêmes

Les conditions météorologiques extrêmes rencontrées à la station de Saint-Dizier sont récapitulées dans le tableau suivant :

Température minimale	-22,5 °C le 14/02/1956
Nombre de jours avec une température minimale inférieure à 0 °C	60,6
Nombre de jour de grêle	1,9
Nombre de jour de neige	9,3 <sup>2</sup>
Nombre de jour de d'orage	16,1 <sup>2</sup>
Densité d'arcs (foudre)	1,47
Vitesse de vent maximale	44 m/s le 29/12/1999

Tableau 12 : Les conditions météorologiques extrêmes

### 3.2.2 Les risques naturels

Selon le Dossier Départemental des Risques Majeurs 2017 (DDRM) de Haute-Marne et les informations de la base de données **Prim.net**, les communes du périmètre d'étude ne sont soumises qu'au risque de sismicité de niveau 1.

**Aucune des communes n'est concernée par un plan de prévention des risques.**

#### 3.2.2.1 Arrêtés de catastrophes naturelles

Les arrêtés de catastrophes naturelles pour les communes du périmètre de l'étude de dangers sont :

Vignory				
Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain : 1				
Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
52PREF19990426	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999
Inondations et coulées de boue : 1				
Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
52PREF19830305	25/05/1983	30/05/1983	20/07/1983	26/07/1983
Mirbel				
Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
52PREF19990271	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999
La Genevroie				
Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
52PREF19990183	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999
Cerisières				
Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain : 1				
Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
52PREF19990084	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999	30/12/1999
Inondations et coulées de boue : 2				
Code national CATNAT	Début le	Fin le	Arrêté du	Sur le JO du
52PREF19830019	08/12/1982	31/12/1982	04/02/1983	06/02/1983
52PREF19830114	08/04/1983	11/04/1983	16/05/1983	18/05/1983

Figure 5 : Les arrêtés de catastrophes naturelles sur les communes concernées

#### 3.2.2.2 Risque inondation

D'après le DDRM (Dossier Départemental des Risques Majeurs) de Haute-Marne et l'Atlas des zones inondables (2017), la commune de Vignory est concernée par un risque inondation en raison de crue de la Marne mais le périmètre d'étude n'est pas concerné par ce risque.

#### 3.2.2.3 Risque remontées de nappe

D'après la base de données du BRGM (Bureau de Recherche Géologiques et Minières) sur le risque de remontées de nappes ([www.inondationsnappes.fr](http://www.inondationsnappes.fr)), le périmètre d'étude est soumis à **une sensibilité de remontées de nappes par les sédiments très faible**.

#### 3.2.2.4 Risque feux de forêt

Les communes du périmètre d'étude **ne sont pas soumises au risque feux de forêt**.

#### 3.2.2.5 Risque mouvements de terrain

D'après la base de données du BRGM sur le risque de mouvements de terrain ([www.bdmvt.net](http://www.bdmvt.net)), **les communes du périmètre d'étude ne sont pas concernées par ce risque**.

#### 3.2.2.6 Risque sismique

Les communes sont concernées par une **zone de sismicité de niveau 1, soit un aléa très faible**. A l'inverse des zones de sismicités de niveau 2 à 5, aucune prescription parasismique particulière ne s'applique pour la zone de sismicité de niveau 1.

#### 3.2.2.7 Risque tempête

Toutes les communes du département sont concernées par le risque tempête.

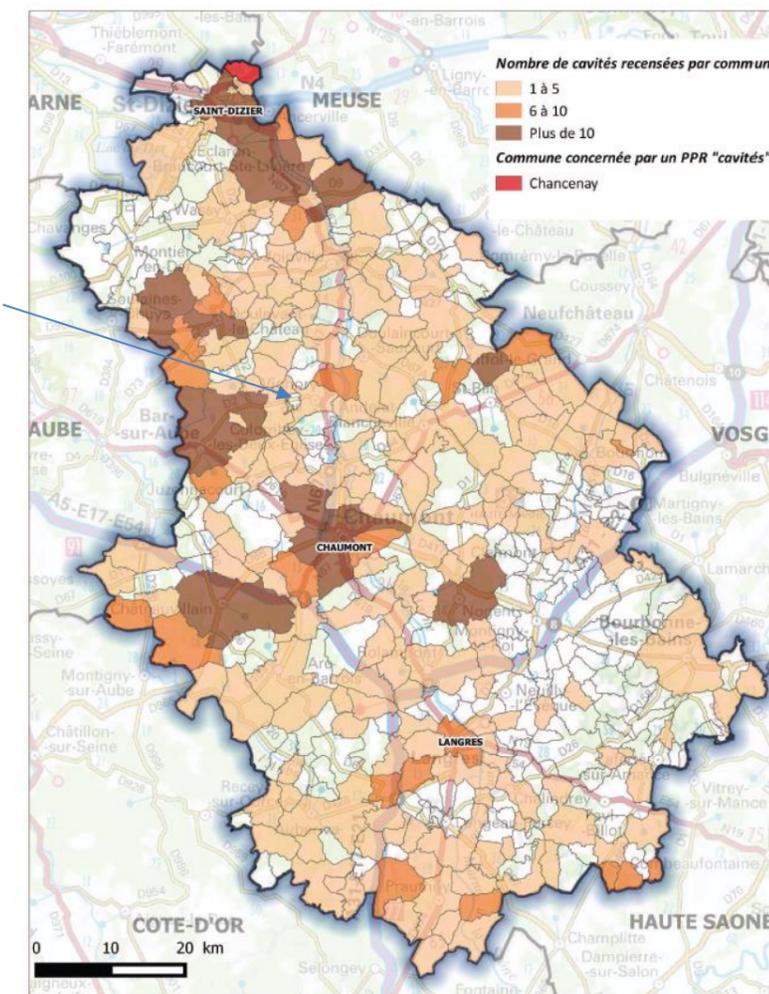
#### 3.2.2.8 Risque retrait et gonflement des argiles

D'après la base de données du BRGM sur le risque de mouvements de terrain ([www.argiles.fr](http://www.argiles.fr)), **le périmètre d'étude est soumis à un aléa nul à faible** (cf. Carte 8).

#### 3.2.2.9 Risque cavités

D'après le DDRM, les communes de Vignory et Mirbel sont concernées par le risque de cavités.

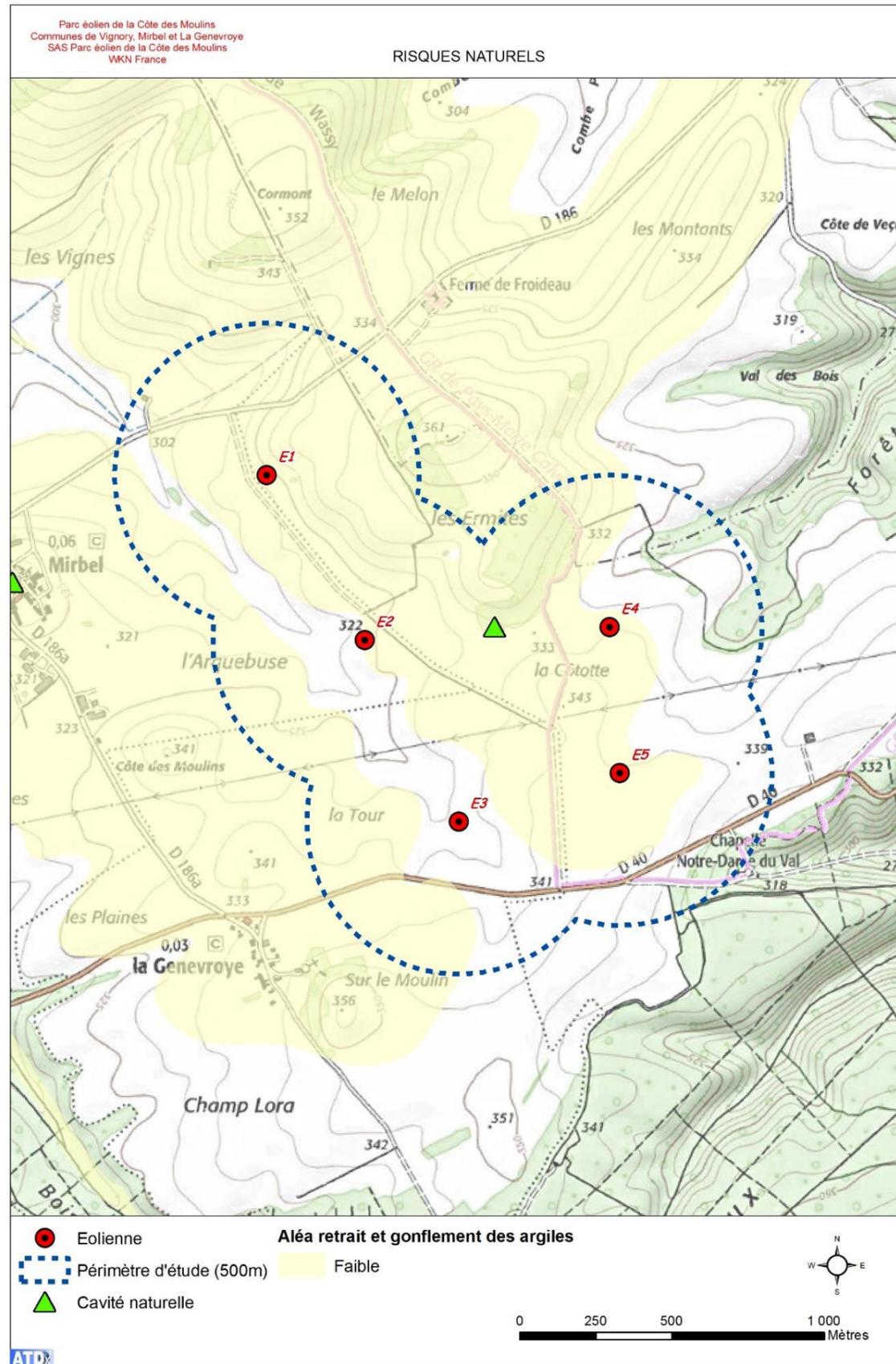
Aire d'étude immédiate



Carte 7 : Risques de cavités dans le département de la Haute-Marne  
(Source : DDRM Haute Marne, 2017)

D'après la base de données du BRGM, **le périmètre d'étude est concerné par la présence d'une cavité d'origine naturelle**.

⇒ voir carte en page suivante



Carte 8 : Risques naturels

### 3.3 ENVIRONNEMENT MATERIEL

#### 3.3.1 Voies de communications et chemins

Le périmètre de l'étude de dangers ne comprend aucun :

- Transport ferroviaire (voies de chemin de fer, gares, passages à niveau,...) ;
- Transport fluvial (cours d'eau navigables, canaux, écluses,...) ;
- Transport aérien (aéroports, aérodromes, ...).

En revanche, il est coupé au Nord par la **RD 186** et au Sud par la **RD 40** (cf. Carte 9). Il comprend également des chemins non goudronnés desservant les parcelles agricoles. Le Conseil départemental préconise un **recul d'une fois la hauteur totale de l'éolienne** (soit 150 m) par rapport à ces deux axes.

Les distances minimales entre les éoliennes et les routes départementales sont précisées ci-dessous :

- **E1 et RD 186** : 220 m ;
- **E3 et RD 40** : 200 m ;

Les données de trafic des axes concernés par le périmètre de l'étude de dangers sont présentées dans le tableau suivant. Nous noterons qu'aucun trafic n'est supérieur à 2000 véhicules/jour. **Par conséquent, aucune voie ne sera considérée comme structurante.** A noter également qu'il n'existe pas de données de fréquentation pour les chemins communaux et les voies de desserte des parcelles agricoles.

Voirie	Nombre de véhicule (Moyenne journalière annuelle)	Dont poids-lourds	Source	Année du comptage routier
RD40	877	11,4%	Conseil général de Haute-Marne	2011
RD186	368	14,3%	Conseil général de Haute-Marne	2010

Tableau 13 : Données de trafic des axes concernés par le périmètre d'étude



Photo 1 : Chemin communal C3

Photo 2 : D186 en direction de Cerisières

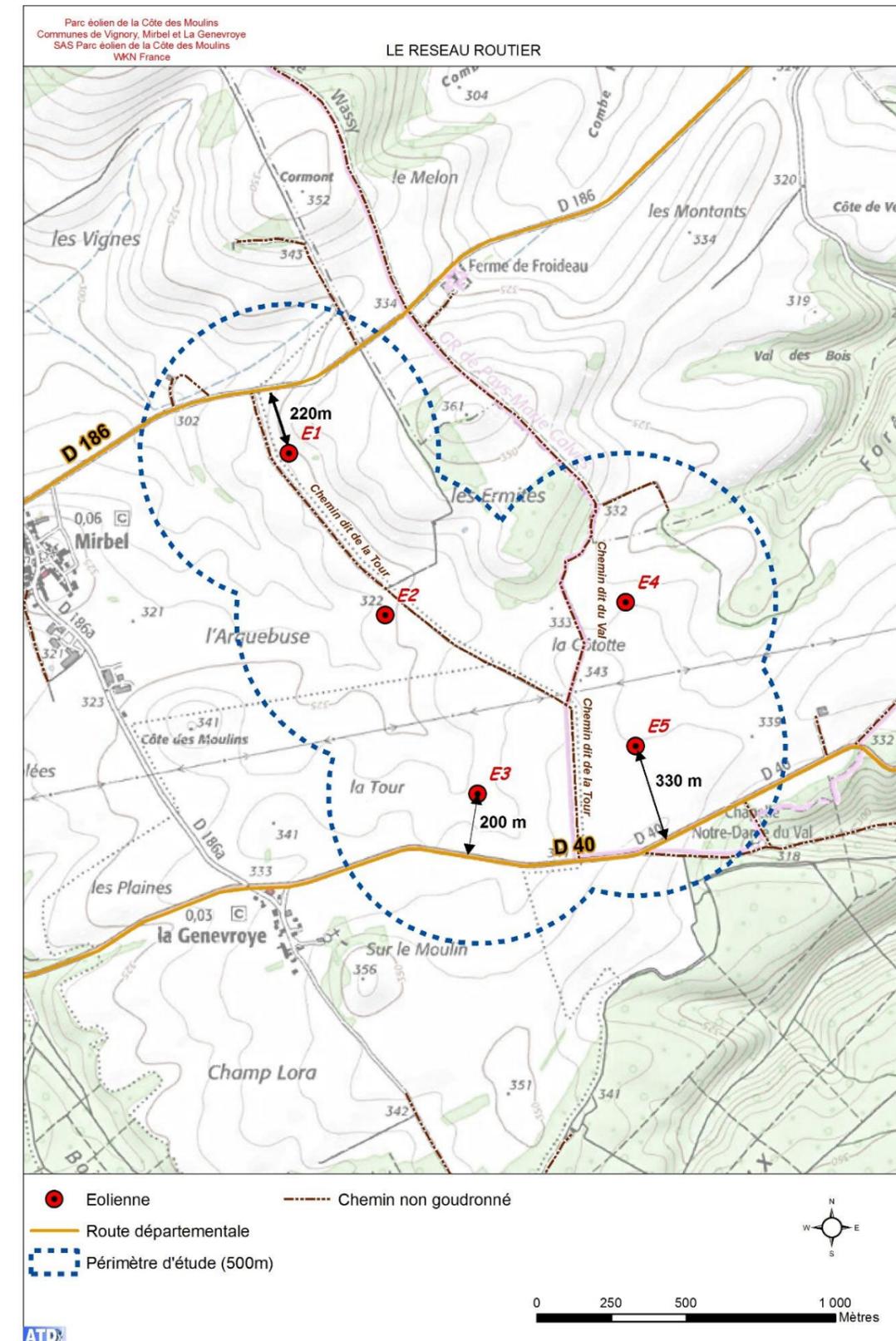
Photo 3 : Jonction entre la D40 et le chemin communal n°3



Photo 4 : Chemin d'exploitation depuis la D186

Photo 5 : Chemin d'exploitation depuis la D40

Photo 6 : D40



Carte 9 : Réseau routier et les chemins agricoles

### 3.3.2 Réseaux publics et privés

#### 3.3.2.1 Le réseau électrique

Le périmètre de l'étude de dangers est traversé dans un sens est/ouest par la **ligne électrique 63 kV aérienne « Ailleville-Froncles »** gérée par RTE mais aussi par **plusieurs lignes électriques aériennes et souterraines 20 kV** gérées par ENEDIS (cf. Carte 10).



Photo 7 : Ligne électrique 20 kV desservant le hangar agricole au sud de l'aire d'étude



Photo 8 : Ligne électrique 20 kV à proximité de Mirbel

#### 3.3.2.2 Les servitudes et recommandations liées aux réseaux électriques

Les prescriptions des gestionnaires vis-à-vis des réseaux sont les suivantes :

- ⇒ **Ligne électrique 63 kV Ailleville-Froncles gérée par RTE :**
  - Respect d'un recul entre les éoliennes et la ligne correspondant à une hauteur d'éolienne **153m** (soit la hauteur de l'éolienne envisagée + 3m) ;
  - Respect d'un ensemble de préconisation en phase travaux;
- ⇒ **Lignes 20 kV gérées par ENEDIS :**
  - **Absence de survol des lignes électriques aériennes 20 kV**
  - Respect d'une distance de recul des fondations par rapport aux lignes électriques souterraines 20 kV d'au moins 1,5 m ;
  - Respect d'un ensemble de préconisations en phase travaux concernant les lignes électriques aériennes et souterraines présentées en annexe de l'étude d'impact (Volet 4b du dossier de Demande d'Autorisation Environnementale).

### 3.3.3 Réseaux de télécommunication

Aucune antenne de radiocommunication ni aucun autre faisceau hertzien n'est présent au sein du périmètre de l'étude de dangers.

### 3.3.4 Captage d'Alimentation en Eau Potable

Aucun captage d'alimentation en eau potable ni aucun périmètre de protection ne concerne le périmètre de l'étude de dangers.

### 3.3.5 Les servitudes aéronautiques civiles, militaires et les radars

Les aérodromes les plus proches du parc éolien sont l'aérodrome de Joinville-Mussey situé à environ 10 km au Nord et l'aérodrome de Chaumont situé à environ 21 km au Sud.

#### 3.3.5.1 Les servitudes aéronautiques civiles

Le périmètre de l'étude de dangers n'est concerné par aucune servitude aéronautique civile.

#### 3.3.5.2 Les servitudes aéronautiques militaires

Le périmètre de l'étude de dangers est localisé sur le **tracé du tronçon du réseau de vol à très basse altitude de la Défense LFR 69 (RTBA)**.

**Il en résulte une hauteur des éoliennes limitée à 150 m en bout de pale.**

#### 3.3.5.3 Les radars

##### Radars METEO FRANCE :

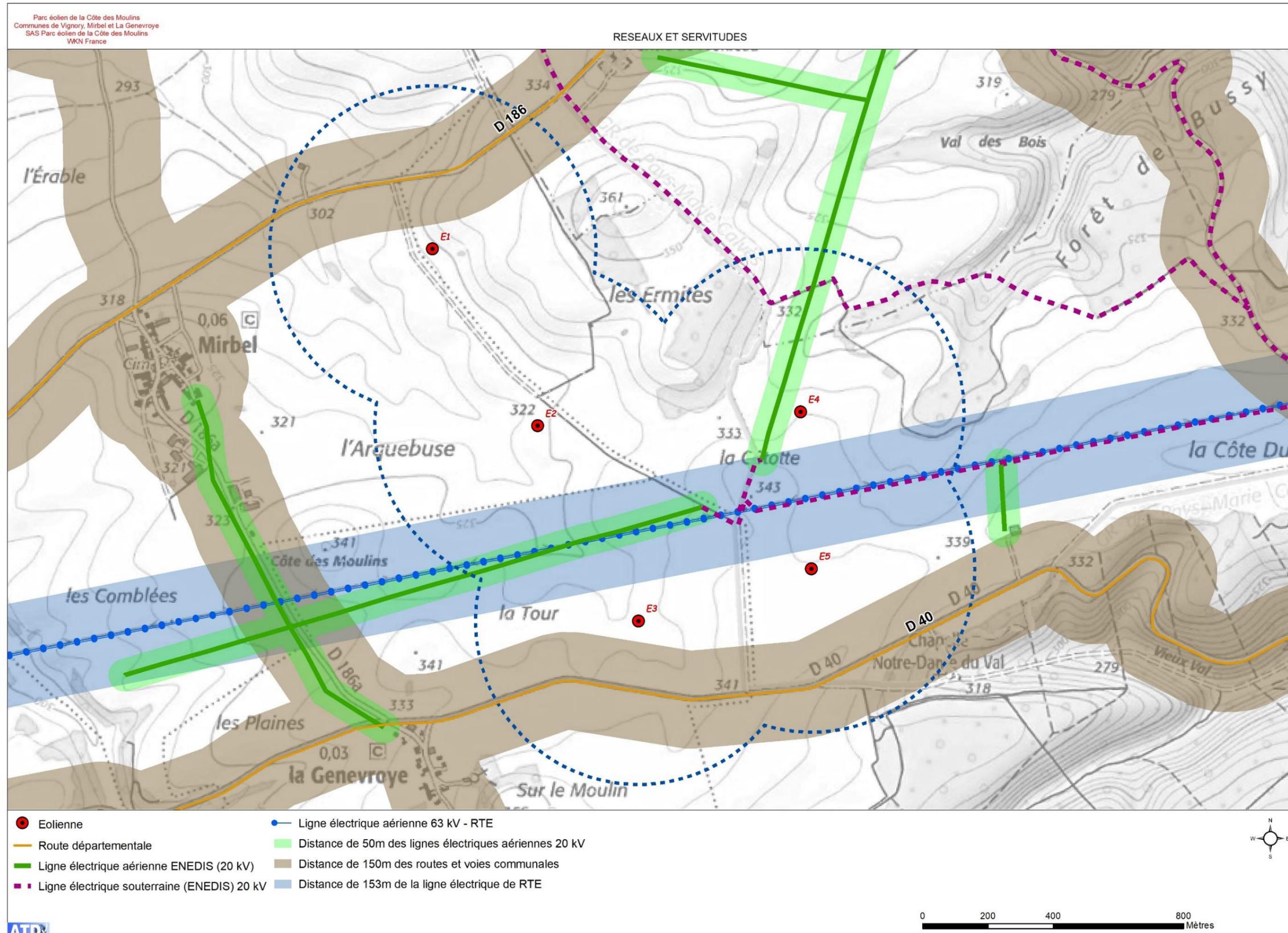
Le radar le plus proche est situé à 57 km du projet, sur la commune d'Arcis-sur-Aube (10). Par conséquent, **aucune servitude ou contrainte ne s'applique.**

##### Radars aviation civile :

Le périmètre de l'étude de dangers n'est concerné par **aucune servitude ou contrainte liée à la présence d'un radar de l'aviation civile.**

##### Radars militaires :

Le périmètre de l'étude de dangers est localisé sous le volume de sécurité radar de la Base aérienne 113 de Saint-Dizier. **La hauteur des éoliennes est limitée à 150 m en bout de pale.**



Carte 10 : Réseaux et servitudes

### 3.4 CARTOGRAPHIE DE SYNTHÈSE

Les cartes ci-après localisent pour chaque éolienne les enjeux à prendre en compte dans le périmètre de l'étude de dangers de 500 m. Elles indiquent notamment la localisation des biens, infrastructures et autres établissements.

Le tableau ci-dessous synthétise les enjeux par éolienne dans le périmètre de l'étude de dangers de 500 m. La méthode de comptage des enjeux humains dans chaque secteur est présentée en Annexe 1 : Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne. Elle se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de danger.

Dans le périmètre d'étude, on repère :

- **un hangar agricole**: Il correspond à un terrain aménagé et potentiellement fréquenté ou très fréquenté (10 pers/ha) ;
- **la RD40, la RD186 (voies non structurantes car trafic inférieur à 2000 véhicules/an), les chemins et la plateforme de stockage de bois** : Ils correspondent à des terrains aménagés mais peu fréquentés (1 pers/10 ha) ;
- **des zones agricoles et bois**: Ils correspondent à des terrains non aménagés et très peu fréquentés (1 pers/100 ha) ;
- **des chemins de randonnées** (GRP de Marie Calvès et PR 109 Circuit du Château) : 0.03 pers / km et 0.06 pers/km respectivement<sup>1</sup>.

Éolienne	Terrains aménagés et potentiellement fréquentés ou très fréquentés (10 pers/ha) (hangar)		Terrains aménagés mais peu fréquentés 1 pers / 10 ha (plateforme de stockage, chemins, voies de circulation non structurantes)		Terrains non aménagés et très peu fréquentés 1 pers/100ha (champs, forêt...)		Chemin de randonnée GRP Marie Calvès 0.03 pers / km		Chemin de randonnée PR Circuit du Château 0.06 pers / km		Total personnes
	Surface (ha)	Nb pers	Surface (ha)	Nb pers	Surface (ha)	Nb pers	Linéaire (km)	Nb pers	Linéaire (km)	Nb pers	
E1	0,05	0,50	0,85	0,09	77,64	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	1,36
E2	0,00	0,00	0,30	0,03	78,24	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81
E3	0,00	0,00	0,66	0,07	77,13	0,77	0,75	0,02	0,00	0,00	0,86
E4	0,00	0,00	0,18	0,02	77,327	0,77	1,03	0,03	0,00	0,00	0,82
E5	0,00	0,00	0,97	0,10	75,996	0,76	1,52	0,05	0,05	0,00	0,91

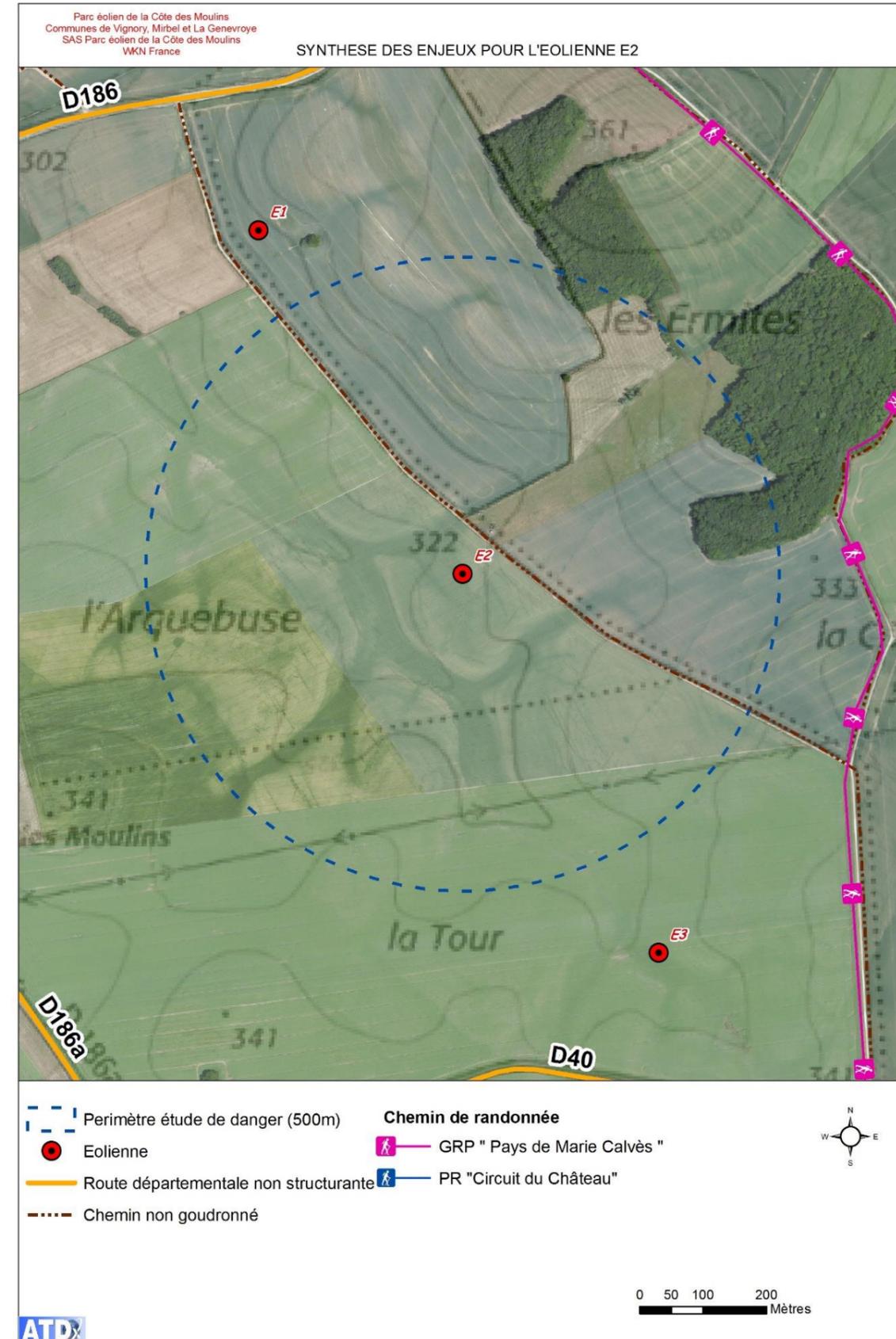
Tableau 14 : Personnes potentiellement concernées dans l'aire d'étude de chaque éolienne

<sup>1</sup> D'après les informations communiquées par la communauté de communes, la fréquentation du GRP Marie Calvès est évaluée à **500 personnes par an**. Aucune donnée n'est cependant disponible pour le PR *Circuit du Château* car celui-ci reste un circuit de pays utilisé à toute occasion de

visites touristiques de la Chapelle du Val ou du Château de Vignory. Il sera donc pris une valeur maximisante de fréquentation de **1000 personnes par an** pour ce chemin de randonnée.



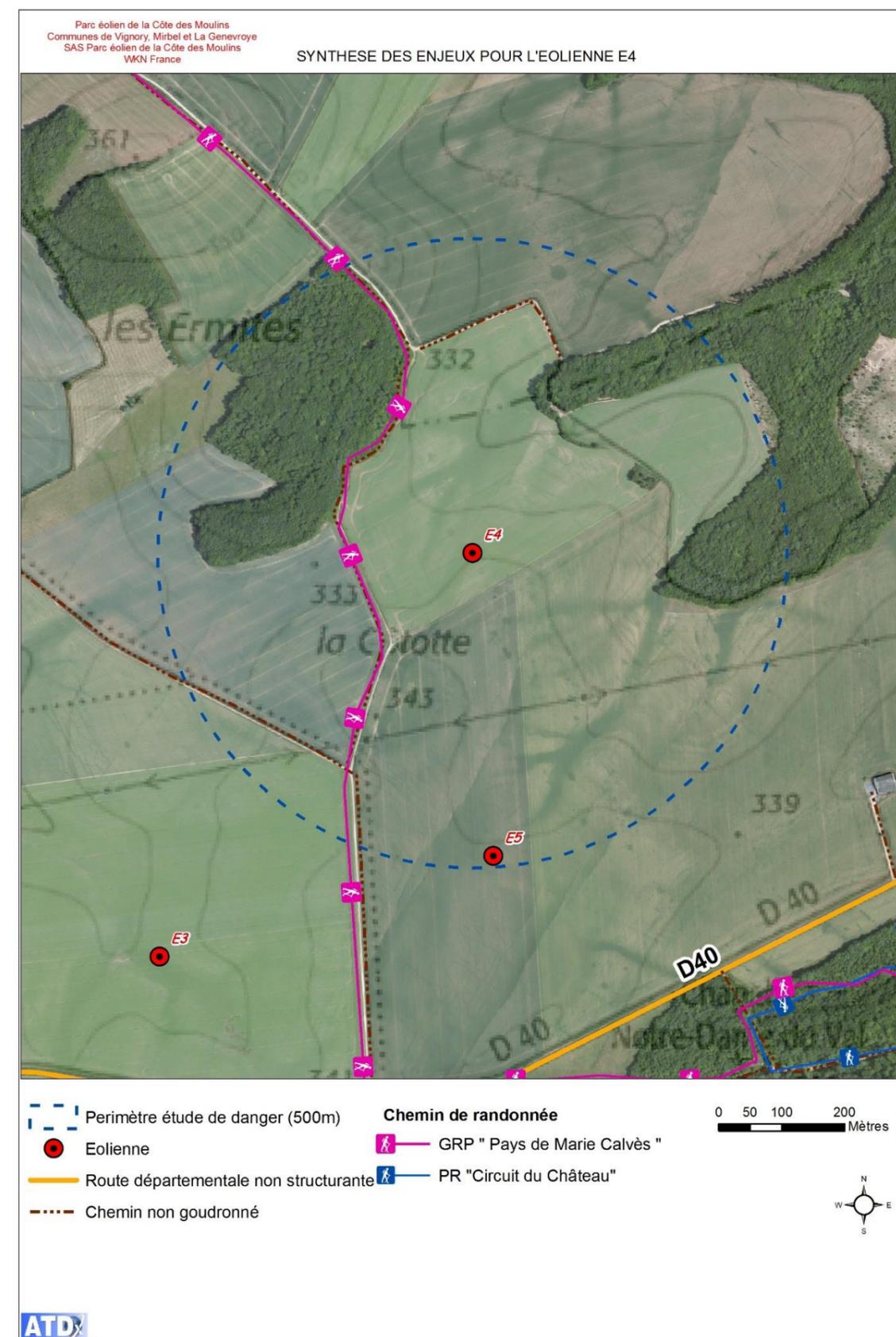
Carte 11 : Synthèse des enjeux pour l'éolienne E1



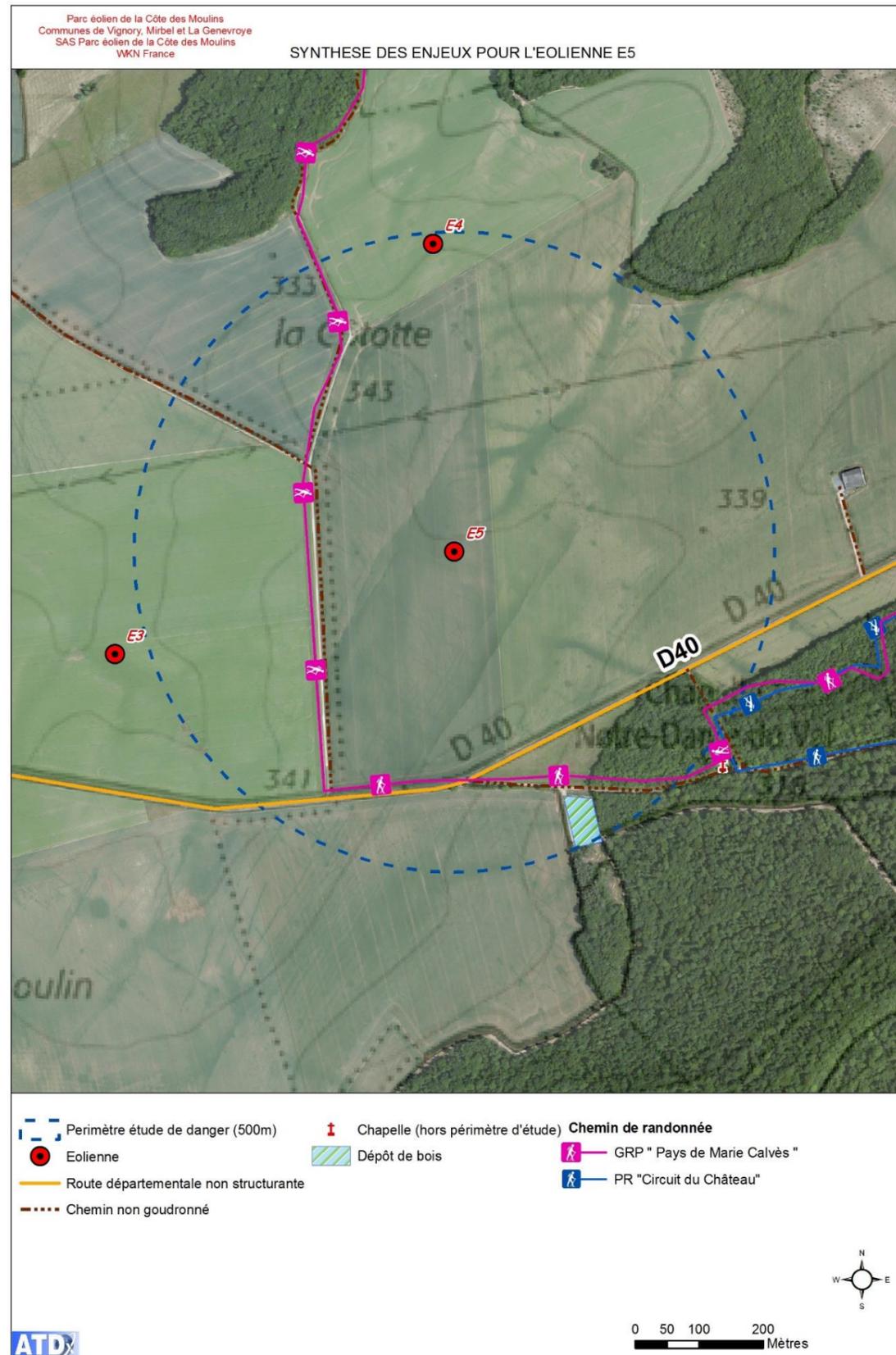
Carte 12 : Synthèse des enjeux pour l'éolienne E2



Carte 13 : Synthèse des enjeux pour l'éolienne E3



Carte 14 : Synthèse des enjeux pour l'éolienne E4



Carte 15 : Synthèse des enjeux pour l'éolienne E5

## 4 DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

Ce chapitre a pour objectif de décrire 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.

### 4.1 CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION

#### 4.1.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien

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

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

##### 4.1.1.1 Éléments constitutifs d'un aérogénérateur

Au sens de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement, les aérogénérateurs (ou éoliennes) sont définis comme un dispositif mécanique destiné à convertir l'énergie du vent en électricité, composé des principaux éléments suivants : un mât, une nacelle, le rotor auquel sont fixées les pales, ainsi que, le cas échéant, un transformateur.

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

- Le rotor 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 ou 15 à 20 anneaux de béton surmonté d'un ou plusieurs tronçons en acier. Dans la plupart des éoliennes, il abrite le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique.
- La nacelle abrite plusieurs éléments fonctionnels :
  - Le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique ;
  - Le multiplicateur (certaines technologies n'en utilisent pas) ;
  - Le système de freinage mécanique ;
  - Le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent pour une production optimale d'énergie ;
  - Les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette) ;
  - Le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique.

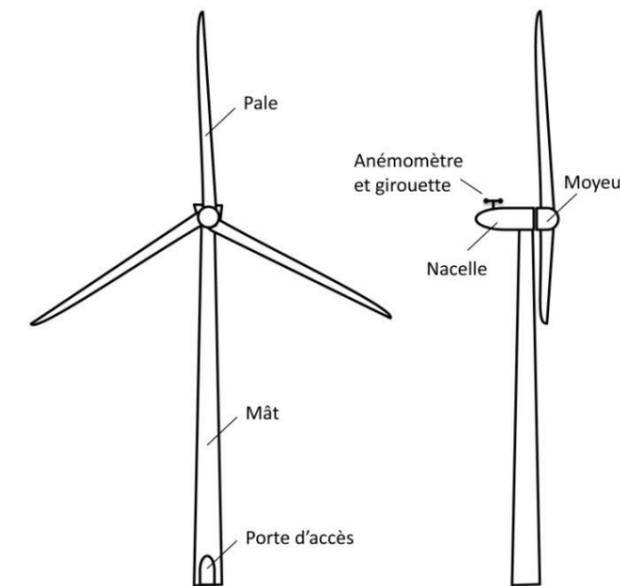


Figure 6 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

#### ❖ Emprise au sol

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

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

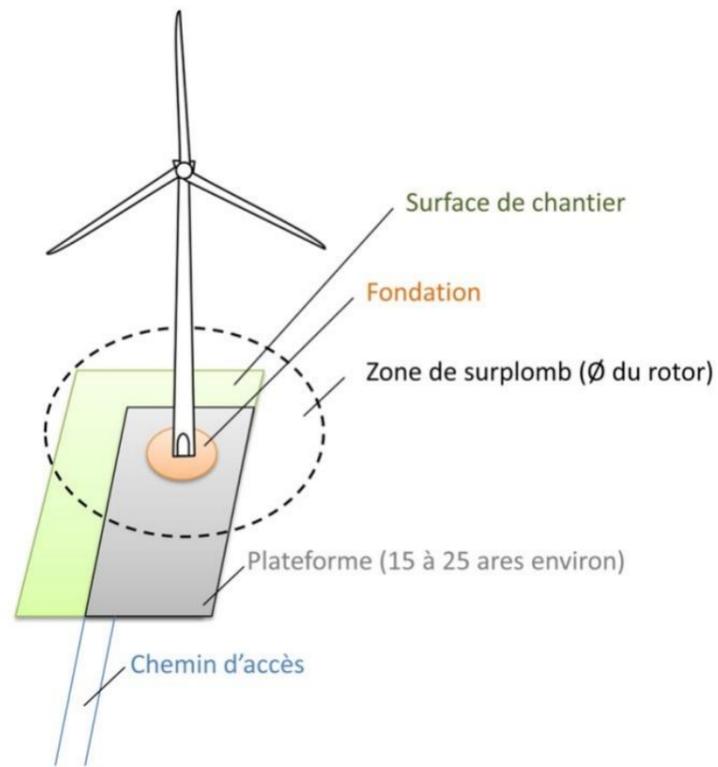


Figure 7 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne  
(Source : Guide de l'étude d'impact éolien, 2010)

#### 4.1.1.2 Chemins d'accès

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 existants qui sont réaménagés si nécessaire ;
- Si nécessaire, de nouveaux chemins sont créés.

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

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

#### 4.1.2 Activité de l'installation

L'activité principale du parc éolien implanté sur les communes de Vignory, Mirbel et La Genevroye est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur (mât + pales) de 150 m maximum. Cette installation est soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

#### 4.1.3 Composition de l'installation

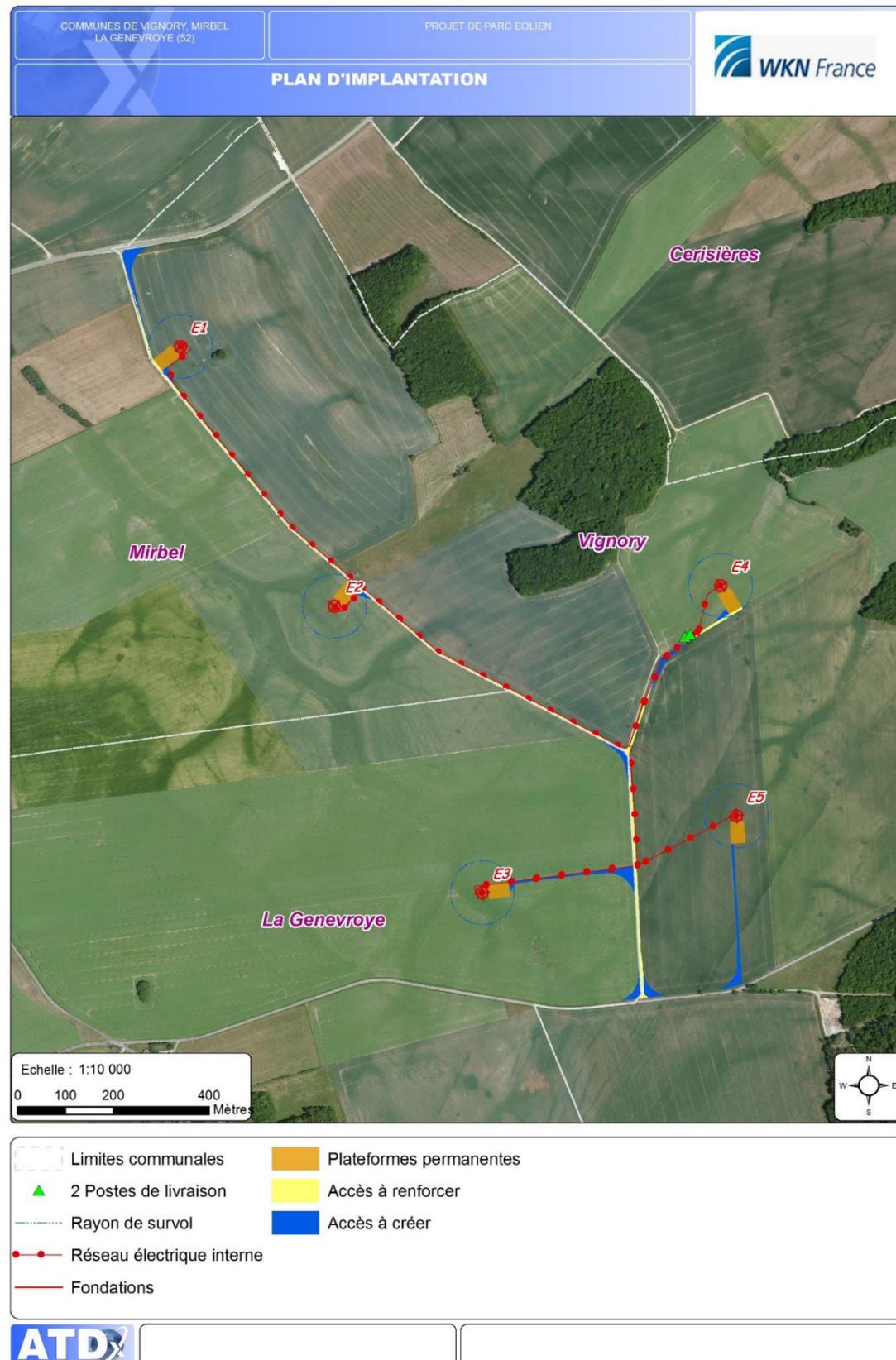
Le modèle d'éolienne qui sera installé sur le Parc Eolien de la Côte des Moulins sera défini précisément après l'obtention des autorisations. Au stade de la réalisation de la présente Demande d'Autorisation environnementale, un gabarit machine est considéré avec les caractéristiques maximales suivantes :

- Hauteur en bout de pale : 150 m
- Diamètre rotor : 132 m
- Largeur de pale à la base : 5 m
- Largeur du mât à la base : 5 m
- Hauteur du mât : 87 m

Le tableau suivant présente les coordonnées géographiques des éoliennes suivant les référentiels Lambert 93 et WGS 84 :

Installation	Lambert 93		WGS 84		Hauteur du terrain (m NGF)	Commune
	X	Y	N	E	Z	
E1	852 344	6 801 172	5°3'15.46" E	48°17'34.95" N	324	Vignory
E2	852 666	6 800 630	5°3'30.40" E	48°17'17.13" N	323	Mirbel
E3	852 975	6 800 032	5°3'44.63" E	48°16'57.50" N	331	La Genevroye
E4	853 472	6 800 673	5°4'9.56" E	48°17'17.84" N	334	Vignory
E5	853 505	6 800 192	5°4'10.55" E	48°17'2.23" N	340	Vignory
Poste de Livraison 1	853 398	6 800 566	5°4'5.83" E	48°17'14.43" N	337	Vignory
Poste de livraison 2	853 408	6 800 572	5°4'6.33" E	48°17'14.62" N	337	Vignory

Tableau 15 : Coordonnées géographiques des éoliennes et des postes de livraison



Carte 16 : Plan d'implantation

## 4.2 FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

### 4.2.1 Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur

Les instruments de mesure de vent placés au-dessus de la nacelle conditionnent le fonctionnement de l'éolienne. Grâce aux informations transmises par 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, et c'est seulement à partir de la vitesse de couplage au réseau que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. La puissance électrique produite varie en fonction de la vitesse de rotation du rotor. Dès que le vent atteint environ 50 km/h à hauteur de nacelle, l'éolienne fournit sa puissance maximale. Cette puissance est dite « nominale ».

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

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

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

Les caractéristiques du gabarit d'éolienne envisagé sont présentées dans le tableau suivant.

Élément de l'installation	Fonction	Caractéristiques
Fondation	Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol	<p>Profondeur : De l'ordre de 3 mètres            Rayon : De l'ordre de 12 mètres            Surface : environ 453 m<sup>2</sup>            Un système constitué de tiges d'ancrage, dit « anchor cage » disposé au centre du massif de fondation, permet la fixation de la bride inférieure de la tour.</p> <p>Ces dimensions seront confirmées lors de l'étude géotechnique réalisée avant le lancement des travaux et dépendent de plusieurs facteurs :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Le type d'éolienne,</li> <li>• La nature des sols,</li> <li>• Les conditions météorologiques extrêmes,</li> <li>• Les conditions de fatigue.</li> </ul> <p>Avant l'érection de l'éolienne, le socle est recouvert de remblais naturels qui sont compactés et nivelés afin de reconstituer le sol initial, seuls 10 à 50 cm de la fondation restent à l'air libre afin d'y fixer le mât de la machine.</p> <p>L'emprise au sol de cet ouvrage, une fois le chantier terminé, se réduit donc à cette partie d'un diamètre de l'ordre de 5 m maximum. Les matériaux utilisés proviennent de l'excavation qui aura été réalisée pour accueillir le socle.</p>
Mât	Supporter la nacelle et le rotor	<p>Il s'agit d'une tour tubulaire conique fixée sur le socle. Son emprise au sol réduite permet de limiter la consommation de surface agricole, Caractéristiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Matière : plusieurs sections tubulaires métalliques (en acier), de plusieurs dizaines de millimètres d'épaisseur et de forme tronconique, assemblées entre elles par brides</li> <li>- Diamètre en partie basse du mât : 5 m maximum</li> <li>- Couleur : blanc cassé (réglementaire)</li> <li>- Porte d'accès en partie basse, verrouillage manuel avec détecteur de présence</li> </ul>

Elément de l'installation	Fonction	Caractéristiques
Nacelle	Supporter le rotor Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice, etc.) ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité	Elle contient les différents organes mécaniques et électriques permettant de convertir l'énergie mécanique de la rotation de l'axe en énergie électrique à une tension électrique de 400 ou 650 V. Un mouvement de rotation vertical par rapport au mât permet d'orienter nacelle et rotor face au vent lors des variations de direction de celui-ci. Ce réajustement est réalisé de façon automatique grâce aux informations transmises par les girouettes situées sur la nacelle. La nacelle est constituée d'une structure métallique habillée de panneaux composites en fibre de verre. Les éléments principaux sont disposés sur un châssis en acier qui assure le transfert des forces et charges du rotor vers la tour. Les instruments de mesures de vent placés au-dessus de la nacelle conditionnent le fonctionnement de l'éolienne.
Rotor / pales	Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice	Les éoliennes sont équipées d'un rotor tripale à pas variable. Son rôle est de « capter » l'énergie mécanique du vent et de la transmettre à la génératrice par son mouvement de rotation. Caractéristiques : - Nombre de pales : 3 - Diamètre du rotor : 132 m maximum - Diamètre base de la pale : 5 m maximum - Couleur : blanc cassé (réglementaire) - Hauteur maximale en bout de pale : 150 m
Transformateur	Elever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau	Les éoliennes sont équipées d'un système générateur/transformateur fonctionnant à vitesse variable (et donc à puissance mécanique fluctuante). Le générateur, de type asynchrone, convertit l'énergie mécanique en énergie électrique. Le transformateur est installé soit dans le mât de chacune des éoliennes soit dans un local situé à proximité du pied du mât.
Poste de livraison	Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public	Le Parc Eolien de la Côte des Moulins comprendra deux postes de livraison. Chaque éolienne est ainsi reliée aux postes de livraison par un réseau de câble souterrain où transite l'électricité à une tension de 20 000V. Chaque poste de livraison sera un monobloc en béton armé, dont les dimensions sont les suivantes : - Longueur : 9 m environ - Largeur : 2,5 m environ - Hauteur : 2,6 m environ - Surface : 22,5 m <sup>2</sup> environ Les postes de livraison seront fermés à clés

Tableau 16 : Description des différents éléments de l'installation

Les tensions électriques dans l'installation sont :

- Dans la nacelle où la tension est de 690 à 20 000 V ;
- Au pied du mât au niveau des cellules de découplage, la tension est de 20 000 V ;
- Au niveau des postes de livraison, la tension est de 20 000 V.

#### 4.2.2 Sécurité de l'installation

Le projet de Parc Eolien de la Côte des Moulins sera conforme à la réglementation en vigueur en matière de sécurité concernant les éoliennes terrestres.

Le modèle d'éolienne qui sera choisi pour la construction du parc respectera les normes suivantes :

- La norme EIC 61400-1 intitulée « Exigences 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 ;
- La génératrice est construite suivant le standard IEC 60034 et les équipements mécaniques répondent aux règles fixées par la norme ISO 81400-4 ;
- La protection contre la foudre de l'éolienne répond au standard IEC 61400-24 (version de juin 2010) et aux standards non spécifiques aux éoliennes comme IEC 62305-1, IEC 62305-3 (version de décembre 2006) et IEC 62305-4 ;

- Les éoliennes répondent aux réglementations qui concernent les ondes électromagnétiques, notamment la Directive 2004/108/EC du 15 décembre 2004 ;
- Le traitement anticorrosion des éoliennes répond à la norme ISO 12944 ;
- Les divers types d'éoliennes font l'objet d'évaluation de conformité (tant lors de la conception que lors de la construction), de certifications de type certification CE par un organisme agréé et de déclarations de conformité aux standards et directives applicables.

Il sera mis à disposition sur demande de l'administration les documents certifiant de la conformité concernant notamment : les installations électriques extérieures aux éoliennes, conformément aux normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NFC 13-100 (version 2001) et NFC 13-200 (version 2009).

Ces installations électriques sont entretenues et maintenues en bon état et sont contrôlées avant la mise en service industrielle puis à une fréquence annuelle, après leur installation.

Le système de sécurité des éoliennes sélectionnées garantit un fonctionnement sûr des éoliennes, conformément aux conditions réglementaires requises :

- Système de freinage ;
- Système parafoudre ;
- Système de capteurs ;
- Surveillance à distance.

#### 4.2.3 Moyens de secours et d'intervention

##### 4.2.3.1 Moyens de secours internes

⇒ **Moyens de détection :**

Les installations sont équipées d'un système SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) qui permet le pilotage à distance à partir des informations fournies par les capteurs.

En cas de dysfonctionnement ou de panne, une alerte en temps réel est envoyée au centre de télésurveillance afin de faire intervenir les services et moyens compétents.

Conformément à l'article 24 de l'arrêté du 26 août 2011, chaque éolienne est dotée de moyens de détection d'incendie conformes aux normes en vigueur, notamment d'un système d'alarme et qui informe l'exploitant à tout moment d'un fonctionnement anormal.

⇒ **Moyens d'intervention :**

Sur le parc éolien, conformément à la réglementation, des extincteurs adaptés aux feux d'origine électrique seront installés près des transformateurs et dans chaque éolienne (au moins deux extincteurs situés à l'intérieur de l'aérogénérateur, au sommet et au pied de celle-ci). Ces extincteurs pourront notamment être utilisés par les équipes de maintenances si un départ de feu a lieu durant leur présence sur site.

Le personnel intervenant sur le parc éolien, et dans les éoliennes plus particulièrement, est formé à l'utilisation des dispositifs de secours et d'évacuation. Lorsqu'une personne non formée à ces dispositifs doit intervenir sur les éoliennes, cette dernière est systématiquement accompagnée par un nombre adéquat de personnes formées.

Concernant les premiers secours, lors d'intervention sur le parc, le personnel intervenant sera formé aux premiers secours, ainsi qu'aux procédures d'urgence.

Des boîtes de premiers secours seront disponibles au niveau de chaque éolienne.

Les mesures réglementaires classiques seront mises en œuvre, conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011. Ainsi des consignes affichées sur support inaltérable au niveau des mâts des éoliennes et du poste de livraison, indiqueront :

- Le numéro d'appel des sapeurs-pompiers (18 ou 112) ;
- Les dispositions immédiates à prendre en cas de sinistre ;
- Le numéro d'appel du service chargé de l'entretien de ces structures.

##### 4.2.3.2 Moyens de secours externes

Au moment de la mise en service du parc éolien, il sera transmis au SDIS les informations suivantes :

- Plans des installations ;
- Coordonnées du personnel d'astreinte.

Conformément aux recommandations émises dans l'avis du SDIS 52 en date du 14 mars 2019, une coopération sera mise en place entre l'exploitant et le SDIS 52. Cela se traduira par la signature d'une convention qui précisera les points suivants :

- Mise à disposition pour le SDIS par l'exploitant de lots d'intervention éoliens composés de harnais, casque avec lampe, stop-chute, sangle, et sacs spéléo en rapport avec le nombre d'éoliennes ;
- Formation des primo-intervenants éoliens conjointement avec le SDIS ;
- Fournir en partenariat avec les autres exploitants éoliens d'un brancard de type spéléo secours.

Le Centre d'Incendie et de Secours (CIS) le plus proche du site est celui de **Froncles** à 8,4 km du site du projet. Le temps d'intervention est estimé à environ 10/15 minutes.

#### 4.2.4 Opérations de maintenance de l'installation

Avant la mise en service industrielle du Parc Eolien de la Côte des Moulins, puis suivant une périodicité annuelle, l'exploitant réalisera des essais permettant de s'assurer du fonctionnement correct de l'ensemble des équipements. Ces essais comprennent notamment :

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

##### 4.2.4.1 Conduite du système

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

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

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

Par contre, en cas d'arrêt liés à des déclenchements de capteurs de sécurité (déclenchement VOG, déclenchement détecteur d'arc ou température haute, pression basse huile...), une intervention humaine sur l'éolienne est nécessaire pour examiner l'origine du défaut et acquiescer l'alarme avant de pouvoir relancer un démarrage.

En cas d'intervention, des équipes de techniciens interviendront rapidement (équipe de deux personnes au minimum).

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

Toute intervention dans le rotor n'est réalisée qu'après mise à l'arrêt de celui-ci. De plus, des dispositifs de sectionnement sont répartis sur l'ensemble de la chaîne électrique afin de pouvoir isoler certaines parties et protéger ainsi le personnel intervenant. Au-delà de certaines vitesses de vent, les interventions sur les équipements ne sont pas autorisées.

##### 4.2.4.2 Formation des personnels

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

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

L'inspection et l'entretien du matériel sont effectués par des opérateurs formés pour ces interventions.

La liste des opérations à effectuer sur les diverses machines ainsi que leur périodicité est définie par des procédures standardisées.

Composants	Opérations
Etat général	Vérification de la propreté de l'intérieur de l'éolienne Vérification qu'aucun matériau combustible ou inflammable n'est entreposé dans l'éolienne
Moyeu	Inspection visuelle du moyeu Vérification des boulons entre le moyeu et les supports de pale* Vérification des boulons maintenant la coque du moyeu
Pales	Vérification des roulements et du jeu Inspection visuelle des pales, de l'extérieur et de l'intérieur Vérification des boulons de chaque pale* Vérification des bandes paratonnerres
Système de transfert de courant foudre Moyeu / nacelle	Vérification des boulons et de l'absence d'impacts de foudre,
Arbre principal	Vérification des boulons fixant l'arbre principal et le moyeu* Inspection visuelle des joints d'étanchéité Vérification des dommages au niveau des boulons de blocage du rotor
Système d'orientation de la nacelle (Yaw system)	Vérification des boulons fixant le haut du palier d'orientation et la tour* Vérification du système de lubrification
Tour	Vérification de l'état du béton à l'intérieur et à l'extérieur de la tour Vérification des boulons entre la partie fondation et la tour, entre les sections de la tour et sur l'échelle* Vérification des brides et des cordons de soudure Vérification des plateformes Vérification du câble principal
Bras de couple	Vérification boulons
Système d'inclinaison des pales (Pitch System)	Vérification des boulons du cylindre principal et du bras de manivelle Vérification des boulons de l'arbre terminal et des roulements
Multiplicateur	Vérification du niveau d'huile Vérification du niveau sonore lors du fonctionnement du multiplicateur Vérification des joints, de l'absence de fuite, etc...
Générateur	Vérification des câbles électriques dans le générateur Vérification des boulons
Système de refroidissement par eau	Vérification du fonctionnement des pompes à eau Vérifications des tubes et des tuyaux
Vestas Top™ Cooler	Vérification des boulons Inspection visuelle de la surface Vérification des ailettes et nettoyage si nécessaire Vérification du niveau de liquide de refroidissement
Système hydraulique	Vérification d'absence de fuites dans la nacelle, l'arbre principal et le moyeu
Onduleur	Vérification du fonctionnement de l'onduleur,
Nacelle	Vérification des boulons Vérification d'absence de fissures autour des raccords Vérification des points d'ancrage et des fissures autour de ceux-ci
Extérieur	Vérification de la protection de surface Nettoyage des têtes de boulons et d'écrous, des raccords, etc.
Transformateur	Inspection du transformateur
Sécurité générale	Inspection des câbles électriques Vérification du système antichute Test du système de freinage Test du capteur de vibrations Test des boutons d'arrêt d'urgence**

Tableau 17 : Principaux contrôles effectués sur les éoliennes : l'exemple de VESTAS

(Source VESTAS)

\*Ces vérifications sont effectuées au bout de trois mois, puis d'un an de fonctionnement, puis tous les trois ans, conformément à l'arrêté du 26 août 2011.

\*\*Ces tests sont ensuite effectués tous les ans, conformément à l'arrêté du 26 août 2011.

Ces opérations de maintenance courante seront répétées régulièrement selon un calendrier de maintenance. Les principales opérations de maintenance supplémentaire sont présentées ci-après.

Dans l'ensemble, ces vérifications seront conformes à l'arrêté du 26 août 2011. Les principaux contrôles effectués sur les éoliennes sont les suivants :

	Composants	Opérations	Inspection après 6 mois et 1 an	
			6 mois	1 an
Inspection après 6 mois et 1 an	Moyeu	Vérification de l'état de la fibre de verre Vérification des boulons Vérification des blocs parafoudre		x x x
	Pales	Vérification des tubes de graissage et du bloc de distribution de graisse Vérification du système de lubrification Remplacement des bidons collecteurs de graisse usagée Vérification des bandes anti-foudre		x x x x
	Arbre principal	Vérification du niveau sonore et vibratoire Vérification, lubrification des roulements principaux tous les 5 ans Lubrification des boulons de blocage du rotor	x x x	x x x
	Générateur	Vérification du bruit des roulements Lubrification des roulements	x x	x x
	Système d'inclinaison des pales (Pitch System)	Vérification du bon fonctionnement du système d'inclinaison des pales Vérification des boulons tous les 3 ans Vérification des pistons des vérins hydrauliques		x x x
	Bras de couple	Vérification des boulons entre le bras de couple et le bâti tous les 4 ans		
	Multiplicateur	Vérification de l'absence de débris métalliques Vérification et remplacement (si nécessaire) des filtres à air Remplacement des filtres à air Inspection du multiplicateur Changement de l'huile Extraction d'un échantillon d'huile pour analyse Remplacement des tuyaux tous les 7 ans	x	x
			x	x
			x	x
			x	x
			x	x
	Système de refroidissement par eau	Remplacement du liquide de refroidissement tous les 5 ans		
	Système hydraulique	Changement d'huile selon les rapports d'analyse tous les 4 ans Remplacement des filtres (tous les ans, tous les 2 ans ou tous les 4 ans, selon le filtre) Vérification de la pression dans le système de freinage Extraction d'un échantillon d'huile pour analyse		x x
	Vestas Cooler Top™	Inspection visuelle du Vestas Cooler Top™ et des systèmes parafoudres	x	x
	Onduleur	Vérification du bon fonctionnement de l'onduleur Remplacement des différents filtres des ventilateurs Remplacement des différents ventilateurs tous les 5 ans Remplacement de la batterie tous les 5 ans		x x
	Capteur de vent	Inspection visuelle du capteur de vitesse de vent		x
	Système de détection d'arc électrique	Test du capteur de détection d'arc électrique du jeu de barres et dans la salle du transformateur		x
	Tour	Vérification des filtres de ventilation Maintenance de l'élévateur de personnes		x x
	Armoire de contrôle en pied de tour	Test des batteries des processeurs et remplacement si nécessaire Remplacement des batteries de secours tous les 5 ans Remplacement des filtres à air	x	
	Sécurité générale	Test d'arrêt en cas de survitesse Vérification des équipements de sécurité Vérification de la date d'inspection des extincteurs Inspection du système de freinage		x
			x	
			x	
			x	

Tableau 18 : Opérations de maintenance : l'exemple de VESTAS  
(Source VESTAS)

#### 4.2.4.1 Contrôles réglementaires périodiques

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

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

#### 4.2.4.2 Maintenance curative

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

#### 4.2.4.3 Prise en compte du retour d'expérience

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

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

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

Tous ces contrôles sont décrits en détail dans des procédures spécifiques et font l'objet de formulaires d'enregistrement des opérations effectuées. Le contenu des rapports relatifs aux dites vérifications sont tenus à disposition de l'administration.

De manière générale, l'exploitant dispose d'un manuel d'entretien de l'installation dans lequel sont précisés la nature et les fréquences des opérations d'entretien. Il tient également à jour pour chaque installation un registre dans lequel sont consignées les opérations de maintenance ou d'entretien et leur nature, les défaillances constatées et les opérations correctives engagées.

#### 4.2.5 Stockage et flux de produits dangereux

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011, aucun matériel inflammable ou combustible ne sera stocké dans les éoliennes du Parc Eolien de la Côte des Moulins.

### 4.3 FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE L'INSTALLATION

La description du fonctionnement des réseaux de l'installation du Parc Eolien de la Côte des Moulins a été réalisée dans l'**Etude d'Impact sur l'environnement** du dossier de Demande d'Autorisation Environnementale. Ainsi, ne seront faits ici que quelques rappels.

Chaque éolienne possède un transformateur élévateur de tension. La tension en sortie de transformateur sera élevée à 20 000 volts. L'énergie en sortie d'éolienne sera amenée dans un premier temps aux postes de livraison installés sur le site (servant d'interface entre le réseau électrique et l'énergie produite par les éoliennes). Ensuite des câbles électriques seront posés (en souterrain) jusqu'au poste source<sup>2</sup>.

Remarque : Chaque câble électrique utilisé sera équipé de fibre optique, permettant d'assurer la télégestion du parc éolien.

<sup>2</sup> Le choix définitif du poste de livraison retenu pour l'injection de l'électricité produite par le parc éolien n'est pas encore réalisé

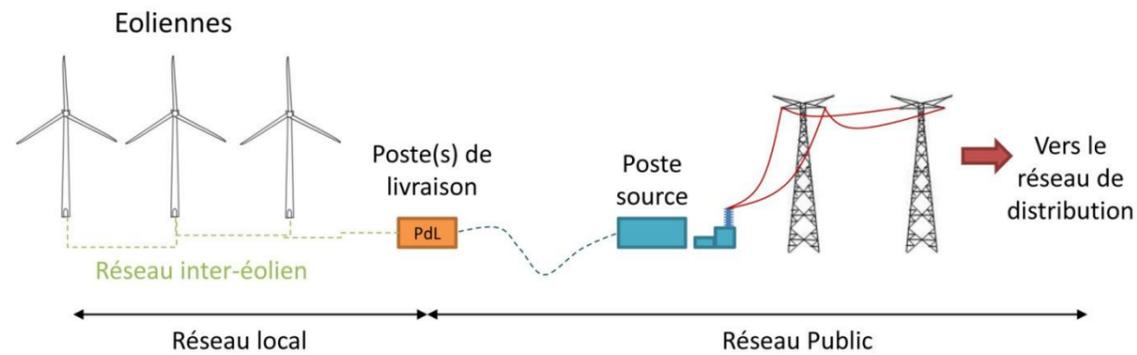


Figure 8 : Raccordement électrique des installations

#### 4.3.1 Réseau inter-éolien

##### 4.3.1.1 Description du raccordement électrique interne du parc

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur, intégré dans la nacelle de chaque éolienne, au point de raccordement avec le réseau public. Ce réseau comporte également une liaison de télécommunication qui relie chaque éolienne au terminal de télésurveillance. Ces câbles constituent le réseau interne de la centrale éolienne (câble calibré pour une tension de 20 000 Volts).

Le réseau inter-éoliennes sera réalisé par le maître d'ouvrage, au moyen de câbles HTA et fibres optiques. Le câblage électrique souterrain longera les chemins d'accès aux éoliennes.

Les câbles seront enterrés à une profondeur comprise entre 0,8 et 1,2 m. La largeur des tranchées pour le passage des câbles sont différentes suivant la nature du terrain au-dessus.

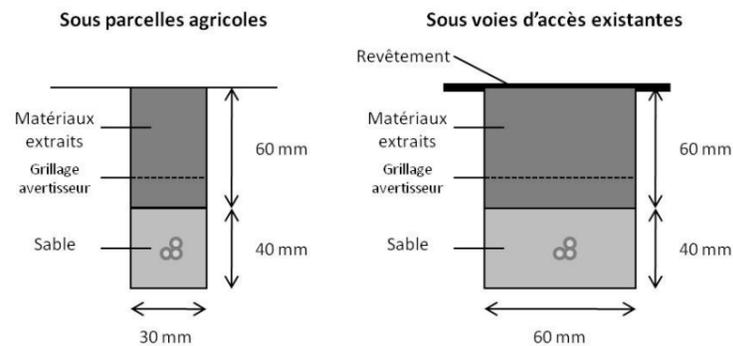


Figure 9 : Exemples de tranchée pour le raccordement du parc au poste source

Les câbles sont entourés de gaines blindées pour assurer la protection et réduire le niveau de rayonnement électromagnétique.

##### 4.3.1.2 Dispositions pour réduire l'impact des ouvrages

Les tranchées seront réalisées au moyen d'une trancheuse et de pelles mécaniques. Les câbles seront déposés entre 0,8 et 1,2 m sous terre et recouverts de remblai approprié (matériaux existants) sauf en accotement à une profondeur de 1m. Les grillages avertisseurs rouges et verts seront déposés au-dessus de la dernière couche de déblais. Un décapage de la terre végétale ou terre fertile sera réalisé sur environ 1m de largeur et profondeur de 0.4m et remise en place après remblais.

Pour les travaux autour des ouvrages concernés ci-dessus la méthode préconisée par les représentants des propriétaires des réseaux sera mise en œuvre.

Avant les travaux un sondage sera effectué en présence et collaboration des représentants des propriétaires des réseaux.

Les travaux autour des ouvrages seront effectués en présence et sous les directives des représentants des propriétaires des réseaux.

##### 4.3.1.3 Répartition des longueurs et liaisons

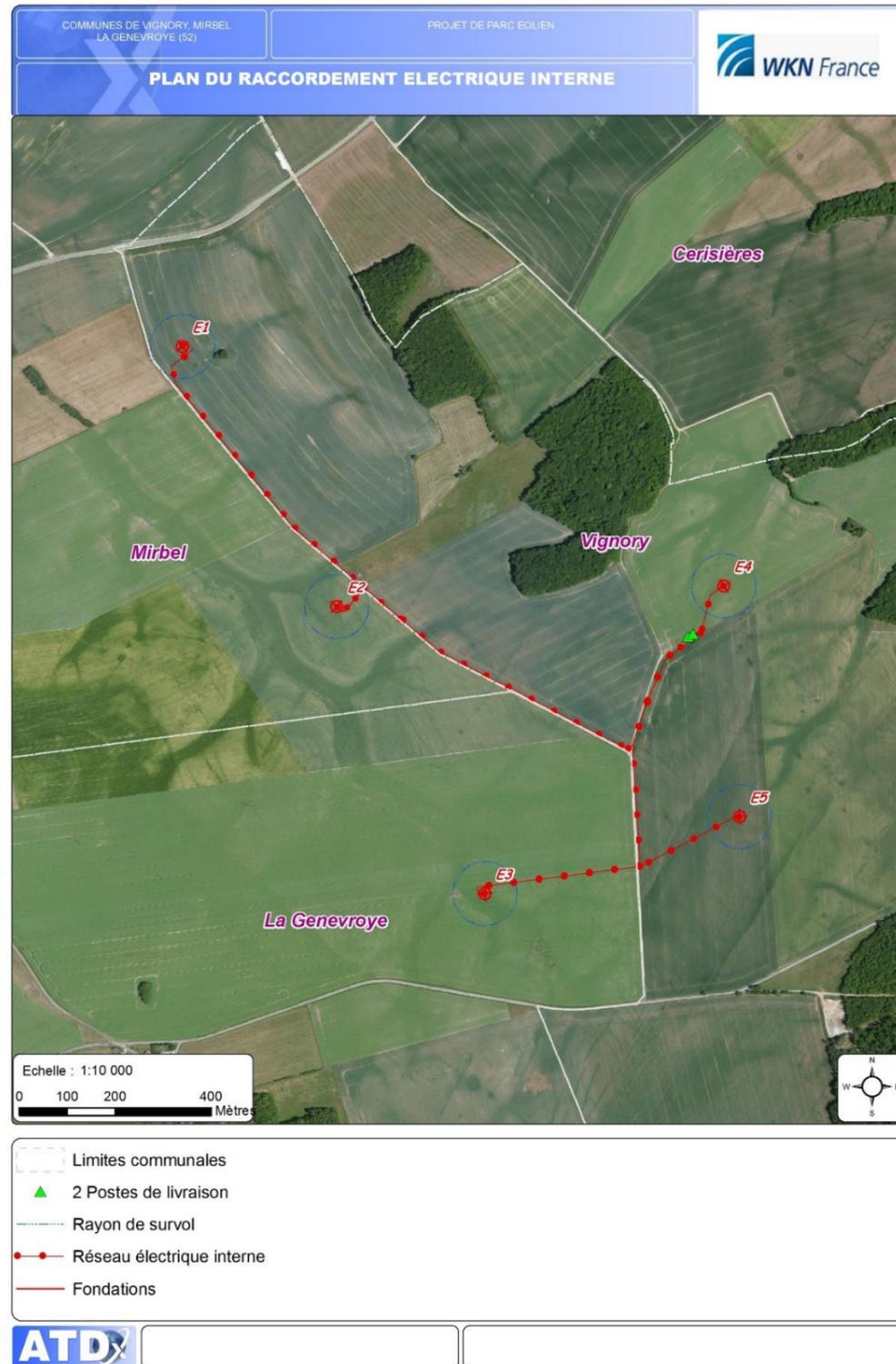
Le tracé de raccordement interne empruntera principalement des parcelles agricoles et des chemins existants ou à créer. Ce réseau sera d'une longueur d'environ **3 450 mètres** pour le raccordement des 5 éoliennes aux postes de livraison.

Liaison	Type de réseau	Longueur sur plan	300 mm <sup>2</sup>	150 mm <sup>2</sup>
E1/E2	TR2	795 m	-	795 m
E2/PDL1	TR2	1 010 m	1 010 m	-
PDL2/E4	TR2	135 m	-	135 m
E5/E3	TR2	605 m	-	605 m
E3/PDL2	TR2	905 m	905 m	-
Longueur de câbles 300 mm <sup>2</sup>			1 915 m	-
Longueur de câbles 150 mm <sup>2</sup>			-	1 535 m
Longueur totale			3 450 m	

Tableau 19 : Description des différentes liaisons

Type de réseau :  
TR2 : HTA C33-226

Le tracé du raccordement interne est rappelé sur la carte suivante.



Carte 17 : Plan du raccordement électrique interne

#### 4.3.1.4 Schémas unifilaires des 5 éoliennes aux postes de livraison

Les schémas unifilaires sont disponibles en Annexe 3 : Schémas unifilaires des 5 éoliennes.

#### 4.3.1.5 Prise en compte de l'environnement

Les chutes ou déposes de câbles ainsi que les supports métalliques seront récupérés et évacués par l'entreprise pour dépôt sur le site de l'entreprise prévu à cet effet pour recyclage.

Les tourets de câbles déposés seront recyclés par une entreprise habilitée et homologuée. Les déblais seront réutilisés au maximum en remblais sur chantier, le reste sera évacué en décharge agréée.

#### 4.3.1.6 Préparation du chantier

Pour garantir la sécurité des personnes et des biens, un plan de prévention sera été établi entre la S.A.S. Parc Eolien de la Côte des Moulins et l'entreprise chargée des travaux conformément au décret du 20 février 1992.

Ceci suivant les dispositions réglementaires contenues dans le Code du Travail, le Code de la Route, les réglementations spécifiques (UTE C18-510 – carnet de prescriptions électriques), les CCAG<sup>3</sup>, CCAP et CCTP, les arrêtés en matières de circulation et de stationnement ainsi que les décrets et arrêtés concernant la destruction des déchets.

La protection du public sera assurée contre les risques de chutes d'objets ou de chutes en fouille. Le passage de tiers aux abords et dans l'environnement d'engins manœuvrant sera sécurisé.

#### 4.3.1.7 Qualification des personnels

##### **Habilitations des personnels et monteurs électriciens :**

Avant tout commencement de travaux, le Titulaire présentera une liste nominative des titres d'habilitation et niveaux de qualification des personnels appelés à intervenir.

Habilitations des personnels et monteurs électriciens : ACTIVITE	DOCUMENT DEMANDE
<ul style="list-style-type: none"> <li>Travail non électrique au voisinage d'installations sous tension</li> <li>Accès aux locaux réservés aux électriciens</li> </ul>	Titre d'habilitation au sens de l'UTE C 18 510 ou présence d'un surveillant de sécurité électrique sous la responsabilité du Titulaire
<ul style="list-style-type: none"> <li>Travail électrique hors ou sous tension</li> </ul>	Titre d'habilitation au sens de l'UTE C 18 510

Les personnels auront suivi au préalable une formation spécifique sur les textes en vigueur et devront éventuellement avoir suivi avec succès les épreuves exigées.

##### **Utilisation d'engins :**

Le Titulaire veille à ce que son personnel dispose des formations, qualifications et permis requis pour qu'en toute circonstance l'utilisation des engins réponde aux conditions normales prescrites, en garantissant la sécurité des personnes et des biens, ainsi que le respect des clauses environnementales.

#### 4.3.1.8 Conformité du réseau électrique interne

L'ensemble des systèmes électriques est construit dans les règles de l'art et le respect des normes internationales affiliées et vise à éviter toute dégradation liée à une surtension.

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

Les installations électriques extérieures à l'aérogénérateur sont conformes aux normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NFC 13-100 (version de 2001) et NFC 13-200 (version de 2009). Ces installations sont entretenues et maintenues en bon état et sont contrôlées avant la mise en service industrielle puis à une fréquence annuelle, après leur installation ou leur modification par une personne compétente.

La périodicité, l'objet et l'étendue des vérifications des installations électriques ainsi que le contenu des rapports relatifs aux dites vérifications sont fixés par l'arrêté du 10 octobre 2000 susvisé.

3 CCAG : cahier des clauses administratives générales  
CCTP : cahier des clauses techniques particulières  
CCAP : cahier des clauses administratives particulières

#### 4.3.2 Postes de livraison

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

Le Parc Eolien de la Côte des Moulins sera muni de deux postes de livraison aux coordonnées précisées dans le Tableau 15 p.22. Chaque poste de livraison aura les caractéristiques suivantes :

- Surface au sol : 22,5 m<sup>2</sup> ;
- Longueur : 9 m ;
- Largeur : 2,5 m ;
- Hauteur : 2,6 m hors sol ;
- Vide sanitaire : 0,7 m.

#### 4.3.3 Réseau électrique externe

Le réseau électrique externe relie le ou les postes de livraison avec le poste source (réseau public de transport d'électricité). Ce réseau est réalisé par le gestionnaire du réseau de distribution (généralement ENEDIS). Il est lui aussi entièrement enterré. Un câble de 20 000 Volts sera enterré jusqu'au **poste source**.

Il ne peut être présagé aujourd'hui du tracé de raccordement du réseau électrique externe.

#### 4.3.4 Autres réseaux

Le projet de Parc Eolien de la Côte des Moulins ne comporte aucun réseau d'alimentation en eau potable ni aucun réseau d'assainissement. De même, les éoliennes ne seront reliées à aucun réseau de gaz.

## 5 IDENTIFICATION DES DANGERS ET DES EVENEMENTS INDESIRABLES

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

Il est réalisé notamment sur la base des Fiches de Données de Sécurité (FDS) des produits, de la nature et les caractéristiques techniques des éoliennes, des procédures d'exploitation.

A l'issue de cette étape, les événements redoutés liés à chaque installation ou équipement d'exploitation peuvent être mis en évidence et les dangers localisés au sein des parcs éoliens.

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

Notons que les modélisations réalisées dans le cadre du guide de l'INERIS ont démontré l'absence d'effet à l'extérieur des postes de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter.

### 5.1 POTENTIELS DE DANGERS LIES AUX PRODUITS

Le fonctionnement d'un parc éolien ne nécessite pas l'utilisation de l'eau et ne met pas en œuvre des produits ou substances dans son mode de fonctionnement. De même, cette activité ne génère pas de déchet, ni d'émission atmosphérique, ni d'effluent potentiellement dangereux pour l'environnement.

Toutefois, même si aucun produit n'entre, à proprement parler, dans le processus de fonctionnement d'une éolienne, le risque lié à la présence de produits potentiellement dangereux (combustibles : graisse, huile moteurs...) est possible.

Les produits utilisés pour le bon fonctionnement des éoliennes, leur maintenance et leur entretien, sont :

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

Rappelons à ce niveau que les quantités de produits potentiellement dangereux pour les milieux aquatiques (liquides des dispositifs de transmissions mécaniques, huiles des postes électriques) sont très faibles.

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

### 5.2 POTENTIEL DE DANGERS LIES AUX PROCÉDES

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

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

- des déchets industriels banals : ces déchets concernent les pièces usagées non souillées, carton usagers d'emballage, etc.
- des déchets industriels spéciaux : ces déchets concernent les huiles usagées (transmission), graisses, bombes à graisse usagées vides, etc.

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

Le contrôle et la traçabilité des déchets jusqu'à leur élimination finale sont assurés grâce à l'édition d'un BSD (Bordereau de Suivi des Déchets).

### 5.3 POTENTIEL DE DANGERS LIES AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

Les dangers liés au fonctionnement du Parc Eolien de la Côte des Moulins sont de cinq types :

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

Tableau 20 : Dangers potentiellement induits par les éoliennes du Parc Eolien de la Côte des Moulins

## 5.4 REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS A LA SOURCE

### 5.4.1 Principales actions préventives

#### 5.4.1.1 Choix et optimisation de la variante

Différentes variantes ont été étudiées par la S.A.S. Parc Eolien de la Côte des Moulins dans l'optique notamment de réduire les potentiels de dangers identifiés et de garantir une sécurité optimale de l'installation.

En effet, en fonction des préconisations des différents experts environnementalistes, paysagistes et acousticiens, le porteur de projet a sélectionné plusieurs variantes d'implantation. Celles-ci tenaient compte des paramètres environnementaux, humains et paysagers mis à jour par les experts :

Ainsi, parmi les choix qui ont permis de réduire l'exposition à d'éventuels dangers, il convient de noter :

- L'évitement de la cavité naturelle ;
- Le recul de la ligne électrique 63 kV ;
- Le recul d'une longueur des pales des lignes 20kV afin d'éviter tout survol de ces dernières ;
- Le recul de 150 m des routes départementales ;
- Le recul réglementaire d'au moins 500 m aux habitations ;
- Une hauteur d'éolienne maximale de 150 m ;
- Pas de survol des chemins de randonnée.

#### 5.4.1.2 Substitution des produits par des produits moins dangereux et réduction des quantités

Les produits présents sur chaque éolienne (huile, fluide de refroidissement) sont des produits classiques utilisés dans ce type d'activité. Ils ne présentent pas de caractère dangereux marqué et les quantités mises en œuvre sont adaptées aux volumes des équipements.

#### 5.4.1.3 Substitution des équipements

Les dangers des équipements sont principalement dus au caractère mobile de ceux-ci (pièces en rotation) et à leur situation (à plusieurs dizaines de mètres au-dessus du sol). Ceci peut entraîner des chutes ou projection de pièces au sol.

Un autre danger est lié à la présence d'installations électriques avec des tensions élevées (jusqu'à 20 000 volts), dont le dysfonctionnement peut être à l'origine d'incendies.

Les équipements qui constituent à ce jour l'éolienne sont tous indispensables à son fonctionnement. Il n'est donc pas possible à priori de les substituer.

Depuis les débuts du développement de l'éolien, des évolutions technologiques ont permis de mettre en place des équipements plus performants en termes d'optimisation des rendements et de diminution des risques :

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

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

#### **5.4.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles**

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

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

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

## 6 ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE

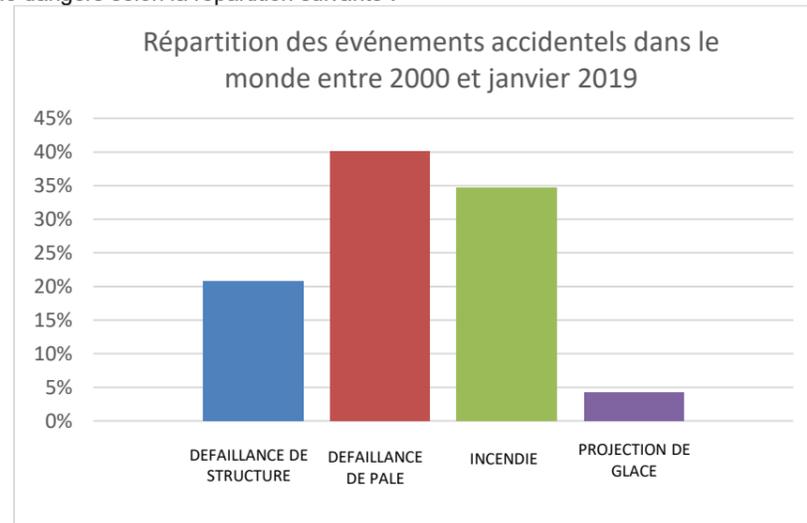
Il n'existe actuellement aucune base de données officielle recensant l'accidentologie dans la filière éolienne. Néanmoins, il a été possible d'analyser les informations collectées en France et dans le monde par plusieurs organismes divers (associations, organisations professionnelles, littérature spécialisée,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

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

### 6.1 INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS A L'INTERNATIONAL

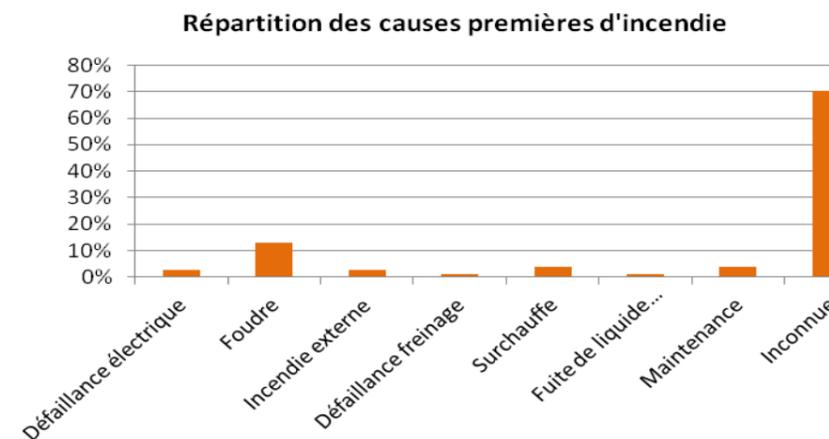
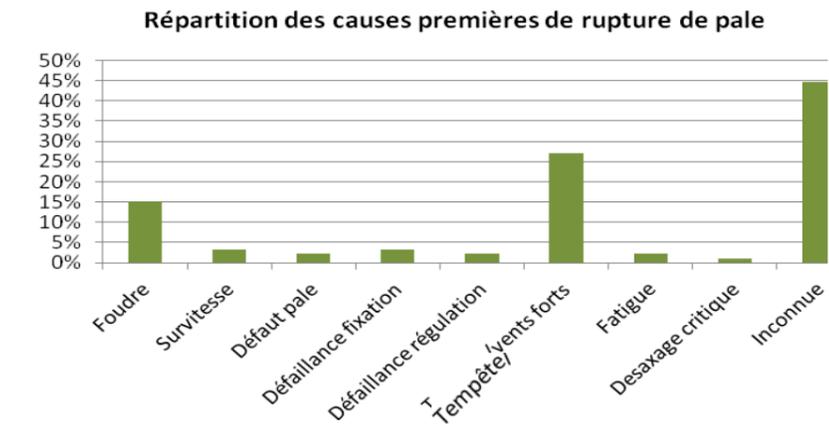
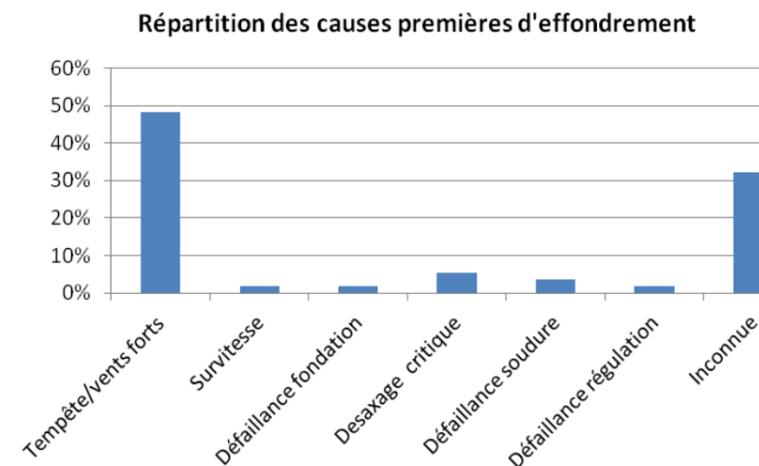
Le nombre total d'accidents recensés dans le rapport « Summary of Wind Turbine Accident data to 31 Décembre 2017 » (source : <http://www.calthnesswindfarms.co.uk/AccidentStatistics.htm>), en date du 31 mars 2018, est de 2231 dont 137 sont recensés comme des accidents fatals ayant engendré 183 décès (111 décès parmi le personnel direct de l'industrie éolienne et 72 personnes extérieures).

Sur les 2231 accidents décrits dans le rapport, 941 accidents sont considérés comme des « accidents majeurs » et pris en compte dans l'étude de dangers selon la répartition suivante :



Les autres accidents concernent plutôt des accidents du travail, des presque-accidents, des incidents, etc. et ne sont donc pas pris en compte dans l'analyse suivante.

Ci-après est présenté le recensement des causes premières pour chacun des événements accidentels recensés (données en répartition par rapport à la totalité des accidents analysés), issu du Guide technique "Elaboration de l'étude de danger dans le cadre des projets éoliens", rédigé par la FEE en partenariat avec l'INERIS, et publié en 2012.



Ce retour d'expérience montre l'importance des causes « tempêtes et vents forts » dans les accidents. Il souligne également le rôle de la foudre dans les accidents.

### 6.2 INVENTAIRE DES INCIDENTS ET ACCIDENTS EN FRANCE

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

Plusieurs sources ont été utilisées pour effectuer le recensement des incidents et accidents 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 (<http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr>) ;
- Communiqués de presse du SER-FEE et/ou des exploitants éoliens ;
- Site Internet de l'association « Vent de Colère » ;
- Site Internet de l'association « Fédération Environnement Durable » ;
- Articles de presse divers ;
- Données diverses fournies par les exploitants de parcs éoliens en France.

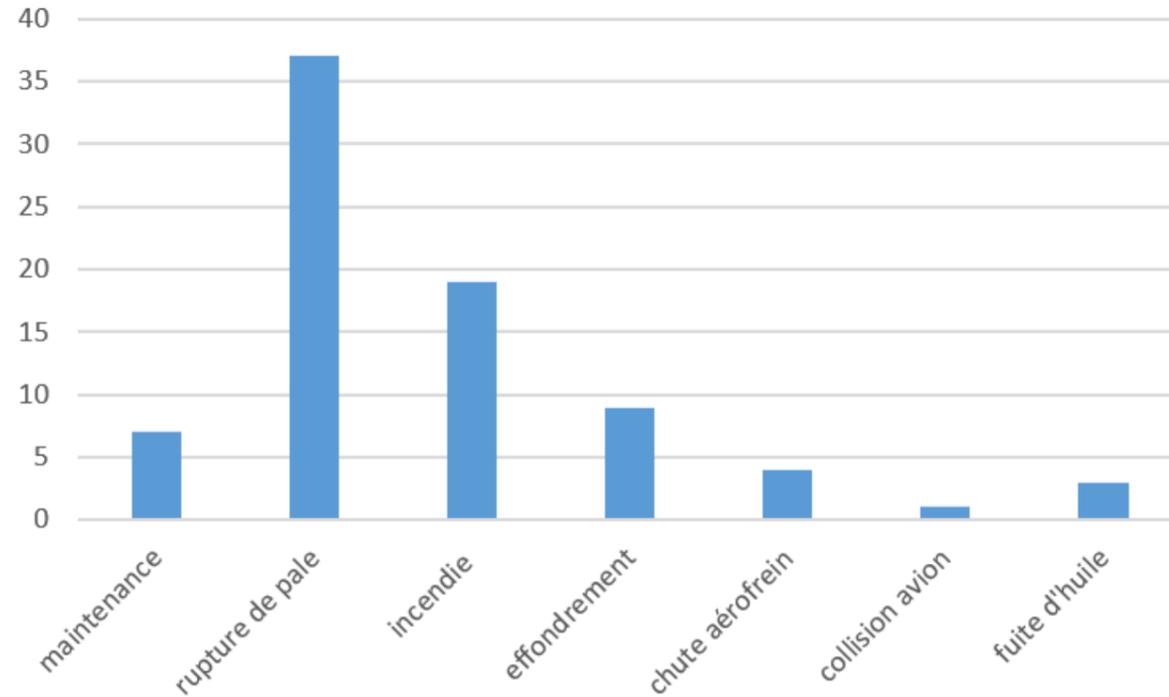
Dans le cadre de ce recensement, il n'a pas été réalisé d'enquête exhaustive directe auprès des exploitants de parcs éoliens français. Cette démarche pourrait augmenter le nombre d'incidents recensés, mais cela concernerait essentiellement les incidents les moins graves.

Dans l'état actuel, la base de données produite par le groupe de travail de SER/FEE (qui a élaboré le guide technique d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens) et actualisée par le pétitionnaire apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis l'année 2000. L'ensemble de ces sources permet d'arriver à un inventaire aussi complet que possible des incidents survenus en France.

Un total de 84 incidents a pu être recensé entre 2000 et décembre 2019.

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

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

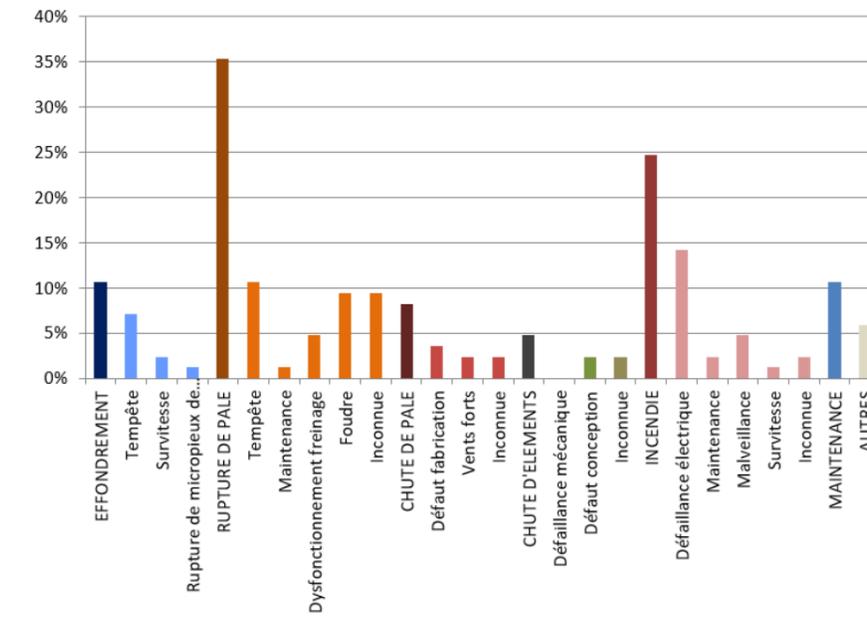


**Figure 10 : Principaux événements accidentels sur le parc éolien français entre 2000 et 2019**  
(Source : ATDx)

Dans ce graphique sont présentés :

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

**Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et juillet 2019**



**Figure 11 : Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et juillet 2019**

(Source : ATDx)

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

**Il est à noter qu'aucun accident d'exploitation ou de maintenance n'est à ce jour recensé pour les parcs de la société WKN France.**

## 6.3 SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTES ISSUS DU RETOUR D'EXPERIENCE

### 6.3.1 Analyse de l'évolution des accidents en France

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

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.

### Evolution du nombre d'incidents annuels en France et capacité éolienne installée

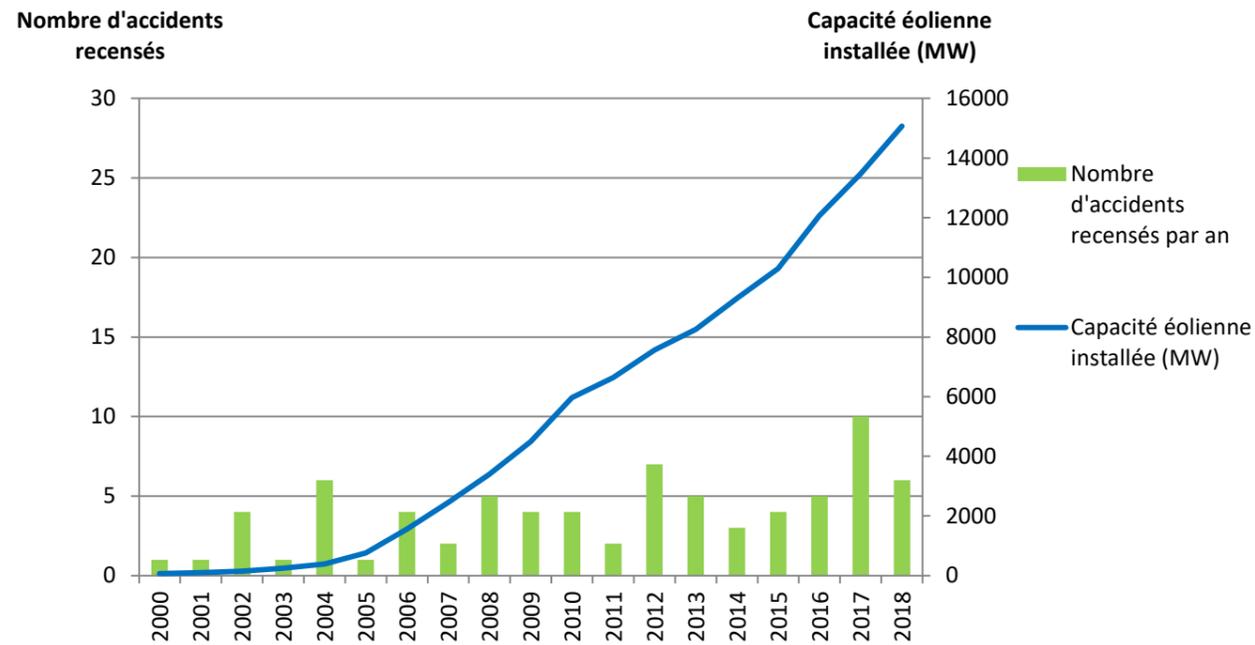


Figure 12 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées<sup>4</sup>

- **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.

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

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

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

#### 6.4 LIMITES D'UTILISATION DE L'ACCIDENTOLOGIE

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

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

<sup>4</sup> On note bien l'essor de la filière française à partir de 2005, alors que le nombre d'accidents reste relativement constant

## 7 ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

### 7.1 OBJECTIF DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

Les outils d'analyse des risques sont nombreux (ex : AMDEC<sup>5</sup>, APR, HAZOP<sup>6</sup> etc.). La présente étude propose l'utilisation de la méthode Analyse Préliminaire des Risques (APR) qui est souple d'utilisation, adaptée et plus facile à mettre en œuvre et à instruire dans le contexte des éoliennes.

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

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

### 7.2 RECENSEMENT DES EVENEMENTS INITIATEURS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES

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

- Les chutes de météorite ;
- Les séismes, crues et événements climatiques d'amplitude supérieure aux événements maximum de référence ;
- Les chutes d'avion hors des zones de proximité d'aéroport ou aérodrome (rayon de 2 km des aéroports et aérodromes) ;
- La rupture de barrage de classe A ou B au sens de l'article R. 214-112 du Code de l'environnement ou d'une digue de classe A, B ou C au sens de l'article R. 214-113 du même code ;
- Les actes de malveillance.

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

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

### 7.3 RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES

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

Traditionnellement, deux types d'agressions externes sont identifiés :

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

#### 7.3.1 Agressions externes liées aux activités humaines

Le tableau ci-contre synthétise les principales agressions externes liées aux activités humaines :

<sup>5</sup> AMDEC : Analyse des Modes de Défaillance, de leurs effets et de leur criticité

Infrastructure	Fonction	Evénement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Distance (m) par rapport au mât des éoliennes				
					E1	E2	E3	E4	E5
Voies de circulation (RD)	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	-	-	-	-	-
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2 000 m	-	-	-	-	-
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	-	-			-
Autres aérogénérateurs	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m				480 m de E5	480 m de E4

- - : pas d'agression potentielle (infrastructure) dans le périmètre étudié

Tableau 21 : Principales agressions externes liées aux activités humaines

Notons qu'il n'existe pas de parc éolien existant à moins de 500 m du projet de Parc Eolien de la Côte des Moulins. De même, aucun aéroport, ni aérodrome n'est présent dans un rayon de 2 km par rapport aux aérogénérateurs.

Les distances d'éloignement entre les éoliennes du Parc Eolien de la Côte des Moulins sont fournies dans le tableau ci-dessous.

	E1	E2	E3	E4	E5
E1	-	> 500 m	> 500 m	> 500 m	> 500 m
E2	> 500 m	-	> 500 m	> 500 m	> 500 m
E3	> 500 m	> 500 m	-	> 500 m	> 500 m
E4	> 500 m	> 500 m	> 500 m	-	480 m
E5	> 500 m	> 500 m	> 500 m	480 m	-

Tableau 22 : Distance d'éloignement entre les éoliennes du parc éolien de la Côte des Moulins

Notons que la distance d'éloignement minimale entre 2 éoliennes du parc est de **480 m**.

#### 7.3.2 Agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

Aggression externe	Intensité
<b>Vents et tempête</b>	<p>Les moyennes de vents enregistrées sont de l'ordre de 3,2 m/s à 10 m et homogène au cours de l'année.</p> <p>Les dernières tempêtes majeures ont eu lieu, comme dans de nombreuses parties du territoire français :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• En décembre 1999 (tempête Martin),</li> <li>• En Février 2009 (tempête Klaus),</li> <li>• En janvier 2010 (tempête Xynthia).</li> </ul> <p>Les vents violents sont pris en compte dans le dimensionnement des éoliennes. Les cas de charge sont décrits dans la norme IEC 61400.</p>

<sup>6</sup> HAZOP : HAZard OPerability study

<p><b>Foudre</b></p>	<p>La foudre est un phénomène électrique de très courte durée, véhiculant des courants de forte intensité, 20 kA en moyenne avec des maximas de l'ordre de 100 Hz, se propageant avec des fronts de montée extrêmement raides entre deux masses nuageuses ou entre une masse nuageuse et le sol.</p> <p>Les dangers liés à la foudre sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• les effets thermiques pouvant être à l'origine :             <ul style="list-style-type: none"> <li>– d'un incendie ou d'une explosion, soit au point d'impact, soit par l'énergie véhiculée par les courants de circulation conduits ou induits ;</li> <li>– de dommages aux structures et construction ;</li> </ul> </li> <li>• les perturbations électromagnétiques qui entraînent la formation de courants induits pouvant endommager les équipements électroniques, en particulier les équipements de contrôle commande et/ou de sécurité ;</li> <li>• les effets électriques pouvant induire des différences de potentiel.</li> </ul> <p>De par leur taille, les éoliennes sont particulièrement vulnérables au risque foudre. L'éolienne est équipée d'un système parafoudre fiable afin d'éviter que l'éolienne ne subisse de dégâts.</p> <p>La protection contre la foudre des éoliennes répond au standard IEC 61400-24 (version de juin 2010) et aux standards non spécifiques aux éoliennes comme IEC 62305-1, IEC 62305-3 (version de décembre 2006) et IEC 62305-4.</p>
<p><b>Glissement de sols/ affaissement miniers</b></p>	<p>Un mouvement de terrain pourrait être à l'origine d'une chute d'éolienne.</p> <p>Il n'est pas recensé de mouvement de terrain sur l'aire d'étude de dangers. En revanche, il existe une cavité naturelle. L'aléa retrait-gonflement des argiles y est estimé comme nul à faible.</p> <p>Avant la mise en place des éoliennes une étude géotechnique sera réalisée. Son but est de garantir un bon dimensionnement des installations au vu de la géologie du site d'implantation, ceci afin d'écartier le risque de mouvement de terrain hors séisme et de définir le type de fondation à mettre en place en fonction des caractéristiques du milieu.</p>

Tableau 23 : Agressions externes liées aux phénomènes naturels

Les cas spécifiques des effets directs de la foudre et du risque de tension ne sont pas traités dans l'analyse des risques et dans l'étude détaillée des risques dès lors qu'il est vérifié que la norme IEC 61400-24 (Juin 2010) ou la norme EN 62 305-3 (Décembre 2006) est respectée. Ces conditions sont reprises dans la fonction de sécurité n°6 ci-après.

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

## 7.4 SCENARIOS ETUDIES DANS L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES (APR)

Le tableau ci-dessous (Source : Guide Technique de l'INERIS) présente une analyse générique des risques. Celui-ci est construit de la manière suivante :

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

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

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

Les différents scénarios listés dans le tableau générique de l'APR sont regroupés et numérotés par thématique, en fonction des typologies d'événement redoutés centraux identifiés grâce au retour d'expérience par le groupe de travail (« 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).

**Nota :** Les fonctions de sécurité numérotées de n°1 à n°11 seront détaillées à la suite de ce tableau générique des risques au § 7.6

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité	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-a	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
I01-b	Foudre	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les effets de la foudre Prévenir les courts-circuits (N°6)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I02	Dysfonctionnement électrique	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I03	Survitesse	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3) Prévenir la survitesse (N°4)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I04	Désaxage de la génératrice / Pièce défectueuse / Défaut de lubrification	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I05	Conditions climatiques humides	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I06	Rongeur	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I07	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2
F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur Fuite transformateur	Ecoulement hors de la nacelle et le long du mât, puis sur le sol avec infiltration	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Ecoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
C01	Défaut de fixation	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	1
C02	Défaillance de 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

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
C03	Défaut fixation nacelle – pivot central – mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop importantes sur les pales	Projection de tout ou partie de pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie de 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 de pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	2
E01	Effets dominos autres installations	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E02	Glissement de sol	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E05	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E07	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du plan de prévention (N°13)	Chute fragments et chute mât	2
E08	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°12) Dans les zones cycloniques, mettre en place un système de prévisions cyclonique et équiper les éoliennes d'un dispositif d'abattage et d'arrimage au sol (N°13)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

Tableau 24 : Tableau d'analyse générique des risques (Source INERIS)

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.

Annexe 4 : Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques

## 7.5 EFFETS DOMINOS

On entend par effet domino, au sens de la circulaire DGPR du 10 mai 2010 : « 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 ». Il s'agit donc d'un accident initié par un autre accident.

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

Dans le cadre des études de dangers relatives aux parcs éoliens, l'INERIS propose de limiter l'évaluation de la probabilité d'impact d'un élément de l'aérogénérateur sur une autre installation ICPE que lorsque celle-ci se situe dans un rayon de 100 m.

Les phénomènes susceptibles d'effets dominos sur d'autres installations sont donc essentiellement des phénomènes dangereux de projection de pales ou de parties de pales qui pourraient conduire à des dommages eux-mêmes facteurs de risques. C'est notamment les cas d'installations renfermant des substances dangereuses (installations fixes, réseaux ou véhicules de transport de matières dangereuses).

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

Phénomène dangereux	Cible impactée	Effet sur la cible impacté	Phénomène(s) dangereux engendré(s)
<b>Effets dominos internes</b>			
Projection d'une pale de l'éolienne A	Eolienne B du champ	Dégradation d'une pale de l'éolienne B	- Projection d'une pale de l'éolienne B - Projection d'un fragment de pale de l'éolienne B
Projection d'un fragment de pale de l'éolienne A	Eolienne B du champ	Dégradation d'une pale de l'éolienne B	- Projection d'un fragment de pale de l'éolienne B
Projection de débris enflammés	Poste de livraison		- Incendie des postes de livraison
<b>Effets dominos externes</b>			
Effets de surpression (200 mbar) depuis une installation industrielle ou une canalisation voisine	Eolienne(s) du champ	Arrachement d'une ou plusieurs pales, de fragments de pale, pliage de pale, pliage du mât	- Projection d'une pale d'éolienne - Projection d'un fragment de pale d'éolienne - Chute du mât d'une éolienne
	Poste de livraison	Endommagement sérieux des postes de livraison	- Incendie des postes de livraison - Fuite d'huile et pollution du sol
Effets thermiques (8 kW/m <sup>2</sup> ) depuis une installation industrielle ou une canalisation voisine	Eolienne(s) du champ	Dégradation, pliage des pales d'éolienne	- Projection d'un fragment de pale d'éolienne
	Nacelle	Départ d'incendie dans la nacelle	- Incendie dans la nacelle
	Poste de livraison	Départ d'incendie dans le poste de livraison	- Incendie des postes de livraison

Tableau 25 : Analyse des effets dominos

Pour rappel, aucune industrie ICPE, SEVESO ou site nucléaire, ni de canalisation de gaz n'est présent dans l'aire de l'étude de dangers du projet de Parc Eolien de la Côte des Moulins soit dans un rayon de 500 m autour des aérogénérateurs.

L'effet domino externe n'est donc pas envisageable et inversement (une éolienne ne pourra pas « agresser » une installation industrielle voisine ou une canalisation de transport de fluides dangereux).

Le seul effet domino possible serait la projection d'une pale, d'un fragment de pale sur les lignes aériennes ENEDIS et RTE traversant le périmètre de l'étude de dangers.

Ces scénarios restent cependant très improbables étant donné les dispositifs de sécurité, les opérations de maintenance et les moyens de prévention mis en place par l'exploitant.

Notons que les distances d'éloignement entre 2 éoliennes rendent impossible le risque d'une chute d'éolienne sur une éolienne adjacente. En effet, la distance d'éloignement minimale entre 2 éoliennes du Parc Eolien de la Côte des Moulins est 480 m.

De même, les reculs vis-à-vis des routes départementales sont supérieurs à la hauteur totale de l'éolienne et il n'y a aucun survol des chemins.

Au vue de l'analyse précédente, il est proposé de négliger les conséquences des effets dominos dans le cadre de la présente étude.

## 7.6 MISE EN PLACE DES MESURES DE SECURITE – METHODE ET MOYENS D'INTERVENTION

Les éoliennes qui seront sélectionnées pour l'aménagement du Parc Eolien de la Côte des Moulins seront conçues, fabriquées, installées et certifiées selon les exigences de la norme IEC 61400-1.

Pour limiter les risques particuliers liés aux phases d'édification et aux interventions en grande hauteur, ces travaux doivent se faire dans des conditions climatiques favorables.

Le montage des éoliennes est réalisé par les équipes du constructeur de l'éolienne. Ces équipes sont spécialement formées et sensibilisées aux risques liés au montage d'éoliennes.

Ces dispositions s'appliqueront également pour le chantier de démantèlement du parc éolien, en fin d'exploitation.

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les fonctions de sécurité identifiées et mises en œuvre sur les éoliennes du Parc Eolien de la Côte des Moulins. Dans le cadre de la présente étude de dangers, les aspects relatifs aux fonctions de sécurité sont détaillés selon les critères suivants :

- **Fonction de sécurité** : il est proposé ci-dessous un tableau par fonction de sécurité. Cet intitulé décrit l'objectif des mesures de sécurité : il s'agira principalement de « empêcher, éviter, détecter, contrôler ou limiter » et sera en relation avec un ou plusieurs événements conduisant à un accident majeur identifié dans l'analyse des risques. Plusieurs mesures de sécurité peuvent assurer une même fonction de sécurité.
- **Numéro de la fonction de sécurité** : cette ligne vise à simplifier la lecture de l'étude de dangers en permettant des renvois à l'analyse de risque par exemple.
- **Mesures de maîtrise des risques** : 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 devront être présentés (détection + traitement de l'information + action). Il n'est pas demandé de décrire dans le détail la marque ou le fonctionnement de l'équipement considéré, simplement de mentionner leur existence.
- **Description** : cette ligne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires, pour permettre à l'inspection de comprendre leur fonctionnement.
- **Indépendance (« oui » ou « non »)** : cette caractéristique décrit le niveau d'indépendance d'une mesure de maîtrise des risques vis-à-vis des autres systèmes de sécurité et des scénarios d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner « oui ») ou non (renseigner « non »). Dans le cadre des études de dangers éoliennes, il sera mesuré cette indépendance à travers les questions suivantes :
  - Est-ce que la mesure de sécurité décrite a pour unique but d'agir pour la sécurité ? Il s'agit en effet ici de distinguer ces dernières de celles qui ont un rôle dans la sécurité mais aussi dans l'exploitation de l'aérogénérateur ;
  - Cette mesure est-elle indépendante des autres mesures intervenant sur le scénario ?
- **Temps de réponse** (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité. Il s'agit ici de vérifier que la mesure de maîtrise des risques agira « à temps » pour prévenir ou pour limiter les accidents majeurs. Dans le cadre de cette étude de dangers éolienne, l'estimation de ce temps de réponse peut être simplifiée et se contenter d'une estimation d'un temps de réponse maximum qui doit être atteint. Néanmoins, et pour rappel, la réglementation impose les temps de réponse suivants :
  - Une mesure de maîtrise des risques remplissant la fonction de sécurité « limiter les conséquences d'un incendie » doit permettre de détecter un incendie et de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes ;

- Une seconde mesure de maîtrise des risques remplissant la fonction de sécurité « limiter les conséquences d'un incendie » doit permettre de détecter un incendie et de mettre en œuvre une procédure d'arrêt d'urgence dans un délai maximal de 60 minutes ;
- Une mesure de maîtrise des risques remplissant la fonction de sécurité « limiter les conséquences d'une survitesse » doit permettre de détecter une survitesse et de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes ;
- Si applicable, une mesure de maîtrise des risques remplissant la fonction de sécurité « Prévenir les projections de glace » doit permettre de détecter la formation importante de glace sur les pales et de mettre en œuvre une procédure d'arrêt d'urgence dans un délai maximal de 60 minutes.
- **Efficacité (100% ou 0%)** : l'efficacité mesure la capacité d'une mesure de maîtrise des risques à remplir la fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation. Il s'agit de vérifier qu'une mesure de sécurité est bien dimensionnée pour remplir la fonction qui lui a été assignée. En cas de doute sur une mesure de maîtrise des risques, une note de calcul de dimensionnement peut être produite.
- **Test (fréquence)** : Il s'agit ici de reporter les tests/essais qui seront réalisés sur les mesures de maîtrise des risques. Pour rappel, la réglementation demande qu'à minima un essai d'arrêt, d'arrêt d'urgence et d'arrêt à partir d'une situation de survitesse doivent être réalisés avant la mise en service de l'aérogénérateur. Cette information, si elle est connue au moment de la réalisation de l'étude de dangers, pourra être indiquée pour chacune des fonctions de sécurité. Dans tous les cas, les tests effectués sur les mesures de maîtrise des risques seront tenus à la disposition de l'inspection des installations classées pendant l'exploitation de l'installation.
- **Maintenance (fréquence)** : Il s'agit ici de fournir la périodicité des contrôles qui permettront de vérifier la performance de la mesure de maîtrise des risques dans le temps. Pour rappel, la réglementation demande qu'à minima : un contrôle tous les ans soit réalisé sur la performance des mesures de sécurité permettant de mettre à l'arrêt, à l'arrêt d'urgence et à l'arrêt à partir d'une situation de survitesse et sur tous les systèmes instrumentés de sécurité.

### 7.6.1 Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace

Dans certaines conditions météorologiques, les pales peuvent se recouvrir de glace, de givre ou d'une couche de neige. Les dépôts de glace ou de givre peuvent réduire le rendement et accroître la sollicitation du matériel (déséquilibre du rotor) et la nuisance sonore. La glace formée peut également présenter un danger pour les personnes et les biens en cas de chute ou de projection.

Il est donc nécessaire de détecter la production de givre sur les pales pour éviter la projection de glace, éviter une influence négative sur l'aérodynamisme et limiter la création de vibration du rotor.

La commande de l'éolienne mesure, à l'aide de sondes de température indépendantes (2 sondes à minima par éolienne) la température de l'air sur la nacelle et en pied du mât, afin de détecter si les conditions sont propices à la formation de givre.

#### ➤ Fiche de synthèse n° 1 de la fonction de sécurité pour prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
<b>Mesures de sécurité</b>	Système de déduction de la formation de glace et de mise à l'arrêt de la machine Procédure adéquate de redémarrage		
<b>Description</b>	Système de déduction redondant de la formation de glace permettant, en cas de détection de glace, une mise à l'arrêt immédiate de l'aérogénérateur (par exemple : analyse des données de fonctionnement de l'éolienne + système de mesure des oscillations et des vibrations). Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site.		
<b>Indépendance</b>	Non Les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. En cas de danger particulièrement élevé sur site (survol d'une zone fréquentée sur site soumis à des conditions de gel importantes), des systèmes additionnels peuvent être envisagés.		
<b>Temps de réponse</b>	Quelques minutes (<60 min.) conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne		
<b>Maintenance</b>	Vérification du système suivant une périodicité qui ne peut excéder un an, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

#### ❖ Principe de fonctionnement

A noter que le principe de fonctionnement des éoliennes varie d'un modèle à l'autre. Est donc reporté ci-dessous le fonctionnement général d'une éolienne, en sachant que certains constructeurs proposent des modèles d'éolienne avec des techniques différentes.

Les caractéristiques aérodynamiques des pales de rotor sont très sensibles aux modifications des contours et de la rugosité des profils de pale causées par le givre ou la glace. Le système de détection de givre/glace utilise la modification importante des caractéristiques de fonctionnement de l'éolienne (rapport vent/vitesse de rotation/ puissance/angle de pale) en cas de formation de givre ou de glace sur les pales du rotor.

Lorsque la température dépasse +2 °C sur la nacelle, les rapports de fonctionnement spécifiques à l'éolienne (vent/puissance/angle des pales) sont identifiés comme étant des valeurs moyennes à long terme. Pour des températures inférieures à +2 °C (conditions de givre), les données de fonctionnement mesurées sont comparées aux valeurs moyennes à long terme.

Pour cela, une plage de tolérance, déterminée de manière empirique, est définie autour de la courbe de puissance et de la courbe d'angle de pale. Celle-ci se base sur des simulations, des essais et plusieurs années d'expérience sur un grand nombre d'éoliennes de types variés. Si les données de fonctionnement concernant la puissance ou l'angle de pale sont hors de la plage de tolérance, l'éolienne est stoppée en mode « détection de glace ».

Grâce à l'étroitesse de la plage de tolérance, la coupure a lieu en moins d'une heure, avant que l'épaisseur de la couche de glace ne constitue un danger pour l'environnement de l'éolienne. La plausibilité de toutes les mesures liées à l'éolienne est contrôlée en permanence par la commande de l'éolienne. Une modification non plausible d'une valeur de mesure est interprétée comme un dépôt de glace par la commande et l'éolienne est stoppée.

#### ❖ Redémarrage de l'éolienne

Il n'est possible de redémarrer automatiquement l'éolienne qu'une fois le dégivrage terminé, lorsque la température est repassée de manière permanente au-dessus de +2°C.

Le temps nécessaire pour le dégivrage est estimé, de façon empirique, en fonction de la température extérieure. L'éolienne ne démarrera automatiquement qu'une fois le temps de dégivrage requis écoulé. Lors du redémarrage, les risques de formation de glace sur les pales sont réduits. Il est également possible de programmer la machine pour que cette dernière fasse un redémarrage de contrôle toutes les 6 heures afin de vérifier la présence de glace sur les pales.

Un ré-enclenchement prématuré manuel ne sera possible que directement sur l'éolienne, après avoir procédé au contrôle visuel requis. L'exploitant est ainsi responsable des éventuels dangers encourus.

❖ Limites

Le rotor doit tourner pour que la courbe de puissance puisse être analysée. Ce système de déduction ne peut donc pas fonctionner lorsque l'éolienne est à l'arrêt.

En cas de vitesses de vent faibles (inférieures à 3 m/s), la sensibilité du système de déduction de la formation de givre/glace est réduite. Dans ces cas, une chute de glace ne peut pas être totalement exclue. Cependant, à vitesse faible, la formation de glace est plus limitée et un dépôt de glace/ givre éventuel n'est par conséquent pas projeté sur une grande distance.

Des panneaux de prévention seront installés sous les éoliennes afin d'informer les promeneurs des éventuels dangers.

❖ Exemple de système de détection ou de déduction de formation de givre/glace VESTAS

Vestas propose trois systèmes de détection ou de déduction de formation de givre / glace :

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

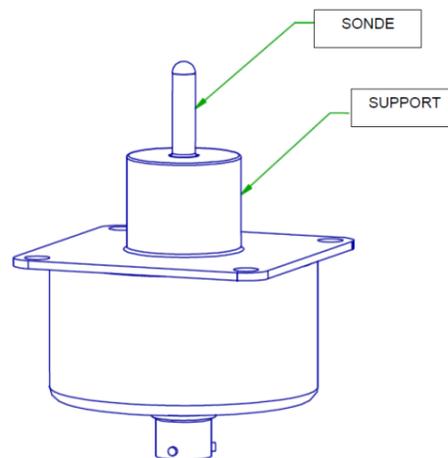


Figure 13 : Détecteur de glace  
(Source : Vestas)

## 7.6.2 Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace

➤ **Mesures de sécurité**

La projection de morceaux de pales ou de glace est très peu probable, car l'éolienne s'arrête si elle est endommagée ou surchargée de glace. En cas de conditions météorologiques propices à la formation de glace, les éoliennes seront mises à l'arrêt.

De plus le parc éolien est éloigné de plus de 500 m des habitations.

Notons, que chaque aérogénérateur est équipé d'office d'un système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur (cf. fonction de sécurité 1).

Enfin, les chemins d'accès aux éoliennes, les chemins de randonnées proches, et les zones de survols des éoliennes pourront être munis de panneaux d'avertissement de chute de glace.

➤ **Fiche de synthèse n° 2 de la fonction de sécurité pour prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace**

Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité	2
Mesures de sécurité	Signalisation (Panneaux) du risque en pied de machine Eloignement des zones habitées et fréquentées		
Description	Mise en place de panneaux de signalisation en pied de machines du risque de chute de glace (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011).		
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.		

## 7.6.3 Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques

➤ **Mesures de sécurité**

Les évolutions de température ambiante peuvent perturber le fonctionnement de l'éolienne. Ainsi, une température trop élevée peut limiter l'efficacité des systèmes de refroidissement (mauvaise évacuation des énergies) ou affecter le fonctionnement de certains composants. De même, une température trop basse peut limiter l'efficacité des systèmes de lubrification ou affecter le fonctionnement des systèmes hydrauliques (augmentation de la viscosité de l'huile).

Les systèmes de sécurité garantissent un fonctionnement sûr de l'éolienne, conformément aux conditions requises par les standards internationaux et aux exigences des instituts d'essais indépendants.

Ils seront activés à la suite d'un défaut dans le système de contrôle, à la suite de défauts externes ou dans le cas de situations dangereuses où les limites du dispositif sont dépassées :

- Sur-régime ;
- Surcharge ou défaillance du générateur ;
- Vibrations excessives ;
- Par défaillance des réseaux suivants :
  - Panne de courant,
  - Perte de puissance ;
  - Torsion anormale des câbles.

Le système est conçu pour pouvoir mettre les éoliennes à l'arrêt en sécurité en toute condition. Le système de sécurité a priorité sur le système de contrôle.

Les machines et les parties dangereuses sont munies de dispositifs de protection et de sécurité. Les principes de base concernant ces dispositifs sont les suivants :

- Système de freinage ;
- Système de capteurs ;
- Système de commande.

➤ **Fiche de synthèse n° 3 de la fonction de sécurité pour prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques**

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

**7.6.4 Prévenir la survitesse**

➤ **Mesures de sécurité**

Il est essentiel de pouvoir arrêter l'éolienne en cas de survitesse liée aux conditions atmosphériques, à la déconnexion du réseau électrique ou en cas de détection d'une anomalie (surchauffe ou défaillance d'un composant).  
Si les 3 pales de l'éolienne ne peuvent pas être mises en position drapeau en cas de survitesse, le freinage aérodynamique n'est plus assuré et l'éolienne ne peut pas être arrêtée.

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

❖ **Arrêt automatique**

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

L'éolienne s'arrête également automatiquement en cas de dérangement ou en présence de certains événements. Certains dérangements entraînent une coupure rapide par les alimentations de secours des pales, d'autres pannes conduisent à un arrêt normal de l'éolienne.

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

❖ **Arrêt manuel**

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

❖ **Arrêt manuel d'urgence**

Si nécessaire, l'éolienne peut être stoppée immédiatement, en appuyant sur le bouton d'arrêt d'urgence (armoire de commande). Ce bouton déclenche un freinage d'urgence sur le rotor, avec une inclinaison rapide par l'intermédiaire des unités de réglage des

pales et de freinage d'urgence. Le frein d'arrêt mécanique est actionné simultanément. L'alimentation électrique de tous les composants reste assurée.

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

➤ **Fiche de synthèse n°4 de la fonction de sécurité pour prévenir la survitesse**

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage.		
Description	Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande. NB : Le système de freinage est constitué d'un frein aérodynamique principal (mise en drapeau des pales) et / ou d'un frein mécanique auxiliaire.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection < 1 minute L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011.		
Efficacité	100 %		
Tests	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procédure d'arrêt en cas de survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011.		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 (notamment de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence.) Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

**7.6.5 Prévenir les courts-circuits**

➤ **Mesures de sécurité**

Les éoliennes font l'objet de certifications internationales très strictes en ce qui concerne les systèmes de protection vis-à-vis de la machinerie, de l'incendie et des risques électriques.

Les éoliennes qui équiperont le Parc Eolien de la Côte des Moulins rempliront également les conditions suivantes :

- Les éoliennes seront conçues, fabriquées, installées et certifiées selon les exigences de la norme IEC 61400-1 ;
- Les installations électriques à l'intérieur des éoliennes respecteront les dispositions de la directive du 17 mai 2006 ;
- Les installations électriques extérieure aux éoliennes seront conformes aux normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NFC 13-100 (version 2001) et NFC 13-200 (version 2009).

Les systèmes de sécurité garantiront un fonctionnement sûr de l'éolienne, conformément aux conditions requises par les standards internationaux et aux exigences des instituts d'essais indépendants.

➤ **Fiche de synthèse n°5 de la fonction de sécurité pour prévenir les courts-circuits**

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

**7.6.6 Prévenir les effets de la foudre**

➤ **Mesures de sécurité**

Les éoliennes sont souvent touchées par la foudre en raison de leur grande hauteur dans un milieu ouvert.

Pour éviter les jets de morceaux ou parties du rotor dus à l'impact de la foudre, les éoliennes sélectionnées seront équipées d'un système parafoudre fiable afin d'éviter qu'elles ne subissent de dégâts et seront mises à la terre conformément à la norme NF EN 61400-24 (protection contre la foudre).

Compte tenu de leur situation et des matériaux de construction, les pales sont les éléments les plus sensibles à la foudre.

En effet, le point haut de l'éolienne est constitué du sommet de la pale et représente donc un point singulier en cas d'orage. De plus, les matériaux constituant la pale sont des matériaux synthétiques mauvais conducteurs électriques et donc ne facilitant pas l'écoulement des charges en cas de coup de foudre.

Le système de protection foudre de l'éolienne est dimensionné pour prévenir toute dégradation des pales de l'éolienne conformément à la norme IEC 61400.

Les éoliennes sont équipées de paratonnerres qui permettent de protéger la machine de ce phénomène naturel. Les pales sont elles-mêmes équipées de systèmes spécifiques de collecte et d'évacuation des décharges électriques. Ainsi la foudre est dirigée vers le châssis de la nacelle, puis la ceinture en fond de fouille.

Egalement, sur sa partie supérieure, la nacelle est équipée d'une protection contre la foudre reliée à son châssis. Tous les composants de la nacelle, tel que le générateur, le multiplicateur, les paliers, la station hydraulique, les armoires de contrôle/commande, sont reliés au châssis par des tresses de masse. Les anémomètres sont protégés par des cages de Faraday.

Tous ces dispositifs permettent d'évacuer les décharges électriques à la terre. Les fondations des éoliennes et des postes de livraison sont reliées à la terre par des ceintures en fond de fouille. La continuité électrique entre les différents éléments de l'éolienne est assurée par un conducteur d'équipotentialité. Par ailleurs, en cas de foudre ou de montée inhabituelle de tension (surtension), le système électrique et électronique entier est protégé par des composants absorbeurs d'énergie qui seront reliés à la terre par basse impédance. Les boîtiers électroniques de commande et les processeurs sont également protégés par un système de blindage efficace. Tous ces dispositifs et leur opérationnalité sont télésurveillés et vérifiés périodiquement. Pour la protection parafoudre extérieure, la pointe de la pale est en aluminium moulé, le bord d'attaque et le bord de fuite de la pale du rotor sont équipés de profilés aluminium, reliés par un anneau en aluminium à la base de la pale. Un coup de foudre est absorbé en toute sécurité par ces profilés et le courant de foudre est dévié vers la terre entourant la base de l'éolienne. 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 telecom est protégée par des parasurtenseurs de lignes et une protection galvanique. Enfin, une liaison de communication telecom en fibre optique entre les machines permet une insensibilité à ces surtensions atmosphériques ou du réseau.

De même, l'anémomètre est protégé et entouré d'un arceau.

Enfin, une maintenance préventive du système parafoudre sera régulièrement opérée, à savoir :

- Contrôle périodique tous les 4 ans de la mise à la terre (mesure) ;

- Inspection visuelle du système foudre 3 fois par an et une mesure annuelle.

➤ **Fiche de synthèse n°6 de la fonction de sécurité pour prévenir les effets de la foudre**

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Mise à la terre et système de protection contre la foudre conçu pour répondre à la classe de protection I de la norme internationale IEC 61400.		
Description	Le système peut varier selon le modèle d'éolienne retenu, cependant il sera systématiquement conforme au principe suivant : <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Respect de la norme IEC 61 400 – 24 (juin 2010)</li> <li>○ Dispositif de capture + mise à la terre</li> <li>○ Parasurtenseurs sur les circuits électriques</li> </ul> Voici un exemple de système permettant de prévenir le risque foudre : Compte tenu de leur situation et des matériaux de construction, les pales sont les éléments les plus sensibles à la foudre. Des pastilles métalliques en acier inoxydable permettant de capter les courants de foudre sont disposées à intervalles réguliers sur les deux faces des pales. Elles sont reliées entre elles par une tresse en cuivre, interne à la pale. Le pied de pale est muni d'une plaque métallique en acier inoxydable, sur une partie de son pourtour, raccordée à la tresse de cuivre. Un dispositif métallique flexible (nommé LCTU – Lightning Current Transfer Unit) assure la continuité électrique entre la pale et le châssis métallique de la nacelle (il s'agit d'un système de contact glissant comportant deux points de contact par pale). Ce châssis est relié électriquement à la tour, elle-même reliée au réseau de terre disposé en fond de fouille.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat, dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	Avant la première mise en route de l'éolienne, une mesure de mise à la terre est effectuée.		
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011.		

**7.6.7 Protection et intervention incendie**

➤ **Mesures de sécurité**

Les risques d'incendie internes c'est-à-dire provenant des éoliennes elles-mêmes sont très rares et dépendent de la présence de courant électrique fort.

Ils concernent d'une part la nacelle (présence d'huile et de courants forts) et le transformateur. Ce risque en fonctionnement normal est très limité et est encore fortement diminué par la surveillance effectuée (surveillance des températures dans la génératrice, des niveaux d'huile...) (cf. fonctions de sécurité 3, 4 et 5).

Comparés à d'autres activités industrielles, ces risques d'incendie sont effectivement très faibles. Les éoliennes sont conçues de manière à réduire les probabilités d'incendie.

Conformément à la réglementation, des extincteurs adaptés aux feux d'origine électrique seront installés près des transformateurs et dans chaque éolienne.

Les dispositifs relatifs au risque foudre sont détaillés dans la fonction de sécurité n°6.

Enfin, les vérifications de maintenance et dispositifs de sécurité mis en place réduiront ce risque.

En cas de détection d'un début d'incendie, l'éolienne est mise à l'arrêt (« emergency stop »), une alarme est envoyée au centre de télésurveillance qui prévient les équipes locales, et la machine est découplée du réseau principal par ouverture de la cellule en pied de mât.

De même, si un incendie venait à se déclarer sur le poste transformateur ou au niveau de la nacelle ou en pied de l'éolienne, la propagation de l'incendie vers d'autres éoliennes ou aux installations voisines s'avérerait difficile du fait de l'éloignement de chaque structure.

De plus, la nature des aménagements autour de chaque emprise (pistes et plates-formes entretenues) ainsi qu'un débroussaillage réglementaire réduisent d'autant plus le risque de propagation. L'intérieur des aérogénérateurs est maintenu propre. Aucun entreposage à l'intérieur de ceux-ci de matériaux combustibles ou inflammables ne sera opéré.

Les déchets produits seront éliminés, dans des conditions propres à prévenir tout risque pour l'environnement, vers une filière adéquate.

Les déchets non dangereux (par exemple bois, papier, verre, textile, plastique, caoutchouc) et non souillés par des produits toxiques ou polluants sont récupérés, valorisés ou éliminés dans des installations autorisées.  
Le brûlage des déchets à l'air libre est interdit.

**Les communes concernées par le projet de parc éolien de la Côte des Moulins ne sont pas soumises à un risque de feu de forêt particulier.**

Les mesures réglementaires classiques seront cependant mises en œuvre. Ainsi des consignes affichées sur support inaltérable indiqueront :

- Le numéro d'appel des sapeurs-pompiers (18 ou 112) ;
- Les dispositions immédiates à prendre en cas de sinistre ;
- Le numéro d'appel du service chargé de l'entretien de ces structures.

Le Centre d'Incendie et de Secours (CIS) le plus proche du site est celui de **Froncles** à 8,4 km du site du projet. Le temps d'intervention est estimé à environ 10/15 minutes.

➤ **Fiche de synthèse n°7 de la fonction de sécurité pour la protection et l'intervention incendie**

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

**7.6.8 Prévention et rétention des fuites**

➤ **Mesures de sécurité**

Les produits présents sur l'éolienne sont nécessaires au bon fonctionnement du procédé (lubrification). Il s'agit de produits classiques utilisés dans ce type d'activité (huile, graisse, fluide de refroidissement).  
Ils ne présentent pas de caractère dangereux marqué et les quantités mises en œuvre sont adaptées aux volumes des équipements. Aucun stockage de produits dangereux n'aura lieu sur le site du parc éolien.

Ainsi pendant la phase d'exploitation du parc éolien, les risques de pollution des eaux tant souterraines que superficielles seront quasiment nuls. Le fonctionnement des éoliennes ne nécessite pas l'utilisation d'eau et les quantités de produits potentiellement dangereux pour les milieux aquatiques (liquides des dispositifs de transmissions mécaniques, huiles des postes électriques) sont très faibles.

L'ensemble des équipements du Parc Eolien de la Côte des Moulins fera l'objet d'un contrôle périodique par les techniciens chargés de la maintenance. Ce contrôle permettra de détecter d'éventuelles fuites et d'intervenir rapidement.

Chaque éolienne sera équipée d'un kit anti-pollution.



Figure 14 : Exemple d'utilisation d'un kit anti-pollution

➤ **Fiche de synthèse n°8 de la fonction de sécurité pour la prévention et la rétention des fuites**

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	Détecteurs de niveau d'huiles Procédure d'urgence Kit antipollution		
Description	Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert d'huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange. Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin : - de contenir et arrêter la propagation de la pollution - d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools, ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants, ...) - de récupérer les déchets absorbés. Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, une société spécialisée récupèrera et traitera le gravier souillé via les filières adéquates, puis le remplacera par un nouveau revêtement.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection de l'ordre de la seconde Mise en pause de la turbine < 1 min		
Efficacité	100%		
Tests	/		
Maintenance	Les vérifications d'absence de fuites sont effectuées à chaque service planifié. Inspection des niveaux d'huile plusieurs fois par an. Inspection et maintenance curative en fonction du type de déclenchement d'alarme.		

**7.6.9 Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage**

➤ **Mesures de sécurité**

Un défaut de construction, conception, montage, d'entretien, le vieillissement ou la corrosion peuvent être à l'origine d'un pliage ou chute du mât. Ce risque a par ailleurs été intégré très tôt dans le cadre des études techniques, en termes d'éloignement par rapport aux habitations (à plus de 500 m) et aux axes de circulation principaux, ainsi que par rapport aux lignes électriques aériennes.

Les éoliennes choisies pour la constitution du parc seront conformes aux dispositions de la norme IEC 61400-11 dans sa version de 2005.

D'un point de vue technique, les éoliennes installées sur le Parc Eolien de la Côte des Moulins sont dotées de systèmes de sécurité entraînant la mise à l'arrêt à la suite d'un défaut dans le système de contrôle, à la suite de défauts externes ou dans le cas de situation dangereuses où les limites du dispositif sont dépassées.

La vitesse du rotor de l'éolienne est variable et est réglée par les freins aérodynamiques. Bien que mettre une seule pale en drapeau soit suffisant pour stopper l'éolienne, elle possède 3 freins aérodynamiques (1 par pale). En cas de défaillance de ce

système de régulation de la vitesse, l'éolienne dispose d'un système de freinage mécanique qui peut amener l'éolienne à l'arrêt complet via un système de frein à disques.

De plus, les vérifications de maintenance et dispositifs de sécurité énumérés précédemment réduiront ce risque.

➤ **Fiche de synthèse n°9 de la fonction de sécurité pour prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction-exploitation)**

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'assemblage (ex : brides, joints, etc.) Procédures et contrôle qualité Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)		
Description	La norme IEC 61400-1 « 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 aux standards IEC 61400-1. Les pales respecteront le standard IEC 61400 -1 ; 12 ; 23. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Non applicable		
Efficacité	100%		
Tests	Non applicable		
Maintenance	Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du pitch system, couronne du Yam Gear, boulons de fixation de la nacelle...) sont vérifiés au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011.		

**7.6.10 Prévenir les erreurs de maintenance**

➤ **Mesures de sécurité**

○ **Surveillance des principaux paramètres et opérations de maintenance**

Les opérations réalisées tant dans le cadre du montage, de la mise en service que des opérations de maintenance périodique sont effectuées suivant des procédures qui définissent les tâches à réaliser, les équipements d'intervention à utiliser et les mesures à mettre en place pour limiter les risques d'accident. Des check-lists sont établies afin d'assurer la traçabilité des opérations effectuées.

○ **Formation du personnel**

Le personnel intervenant sur les installations (monteurs, personnel affecté à la maintenance) est formé au poste de travail, informé des risques présentés par l'activité 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 le feu et l'incendie ;
- les habilitations électriques.

➤ **Fiche de synthèse n°10 de la fonction de sécurité pour prévenir les erreurs de maintenance**

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

**7.6.11 Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort**

➤ **Mesures de sécurité**

De très fortes rafales de vent, voire une tornade, pourraient être à l'origine d'une détérioration des éoliennes et créer des dégâts à leurs abords. Toutefois, les éléments constituant une éolienne, notamment les turbines et les pales sont dimensionnés selon le standard IEC 61400-1.

Les constructeurs conçoivent leurs éoliennes pour résister à des conditions météorologiques extrêmes (vents de 250 km/h pendant 5 secondes, ou 180 km/h en continu). Par ailleurs, les machines disposent d'un mécanisme de régulation permettant d'équilibrer la charge lors de coups de vent particulièrement forts.

Enfin, lorsque le vent est trop fort, ou que les conditions climatiques peuvent paraître dangereuses, l'arrêt préventif de l'éolienne permet de limiter un éventuel accident.

En cas de nécessité (défaillance réseau, arrêt normal de l'éolienne ou tempête par exemple), le freinage de l'éolienne doit être rapide et efficace. Les éoliennes qui seront implantées sont équipées de trois systèmes de freinage incorporés constituant une sécurité éprouvée :

- Un système de freinage aérodynamique ;
- Un système de freinage mécanique électrique ;
- Un système de freinage d'urgence mécanique, hydraulique.

En général, la stratégie retenue pour arrêter une éolienne consiste à activer successivement les deux premiers systèmes pour assurer un freinage en douceur qui n'applique pas une charge nuisible aux roulements et aux engrenages.

L'éolienne ne démarre pas si elle se trouve à l'arrêt ou en fonctionnement au ralenti lorsque la vitesse du vent dépasse la vitesse de vent de coupure. L'éolienne s'arrête également si l'angle maximum admis pour les pales est dépassé. Dans tous les cas, l'éolienne passe en fonctionnement au ralenti. L'éolienne démarre automatiquement lorsque la vitesse du vent tombe en dessous de la vitesse de vent de coupure pendant 10 minutes consécutives.

➤ **Fiche de synthèse n°11 de la fonction de sécurité pour prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort**

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	Temps de détection de l'ordre de la seconde. Mise drapeau des pales < 1 min		
Efficacité	100%		
Tests	Pitch system testé tous les ans lors des maintenances préventives.		
Maintenance	Tous les ans.		

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

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

## 7.7 CONCLUSION DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

Dans le cadre de l'analyse préliminaire des risques, trois catégories de scénarios sont exclues de l'étude détaillée, en raison de leur faible intensité :

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques) I01 à I03	En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques. Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.
Incendie des postes de livraison ou du transformateur I04 à I06	En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (postes de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton. Il est également noté que la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 Août 2011 impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200)
Infiltration d'huile dans le sol F01 et F02	En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérés dans le sol restent mineurs. Ce scénario peut ne pas être détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques. Toutefois, il devra être identifié et cité en conclusion de l'étude.

Tableau 26 : Scénarios exclus de l'étude détaillée des risques

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

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

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

## 8 ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

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

### 8.1 RAPPEL DES DÉFINITIONS

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

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

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

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

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

Afin de pouvoir présenter des éléments au sein de cette étude de dangers, il est proposé de recourir à la méthode ad hoc préconisée par le guide technique nationale relatif à l'étude de dangers dans le cadre d'un parc éolien dans sa version de mai 2012. Cette méthode est inspirée des méthodes utilisées pour les autres phénomènes dangereux des installations classées, dans l'esprit de la loi du 30 juillet 2003.

Cette première partie de l'étude détaillée des risques consiste donc à rappeler les définitions de chacun de ces paramètres, en lien avec les références réglementaires correspondantes.

#### 8.1.1 Cinétique

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

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

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

#### 8.1.2 Intensité

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

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

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

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

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

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

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

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

Tableau 27 : Degré d'exposition

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

#### 8.1.3 Gravité

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

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

Tableau 28 : Seuils de gravité

#### 8.1.4 Probabilité

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

Niveaux	Echelle qualitative	Echelle quantitative (probabilité annuelle)
A	<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> Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité.	$10^{-4} < P \leq 10^{-3}$

Niveaux	Echelle qualitative	Echelle quantitative (probabilité annuelle)
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.	$\leq 10^{-5}$

Tableau 29 : Classes de probabilité

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 8.2 PRESENTATION DES PARAMETRES DES CALCULS D'INTENSITE DES SCENARIOS

Le modèle d'éolienne qui sera installé sur le Parc Eolien de la Côte des Moulins sera défini précisément après l'obtention des autorisations. Au stade de la réalisation de la présente Demande d'Autorisation environnementale, un gabarit machine est considéré avec les caractéristiques maximales suivantes :

- Hauteur en bout de pale : 150 m
- Diamètre rotor : 132 m
- Largeur de pale à la base : 5 m
- Largeur du mât à la base : 5 m
- Hauteur du mât : 87 m

## 8.3 CARACTERISATION DES SCENARIOS RETENUS

### 8.3.1 Effondrement de l'éolienne

#### ❖ 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 (H+R), soit 150 m** dans le cas des éoliennes du Parc Eolien de la Côte des Moulins.

Cette méthodologie se rapproche de celles utilisées dans la bibliographie (références [5] et [6] – cf. Annexe 7 : Bibliographie et références utilisées). 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 de l'éolienne dans le cas du Parc Eolien de la Côte des Moulins. R est un demi diamètre rotor (R= 66 m), H la hauteur du mât (H= 87 m), L la largeur du mât dans sa partie basse (L= 5 m) et LB la largeur de pale à la base (LB= 5 m).

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale (R=150 m))			
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
$Z_I = (H) \times L + 3 \times R \times LB/2$ 930 m <sup>2</sup>	$Z_E = \pi \times (H+R)^2$ 73542 m <sup>2</sup>	$Z_I / Z_E = 1.26 \%$	forte

Tableau 30 : Intensité du phénomène d'effondrement

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

#### ❖ Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe 8.1.3), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène d'effondrement, dans le rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne :

- Plus de 1000 personnes exposées → « Désastreux »
- Entre 100 et 1000 personnes exposées → « Catastrophique »
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Important »
- Moins de 10 personnes exposées → « Sérieux »

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

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale (R=150m))		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,08	Sérieux
E2	0,08	Sérieux
E3	0,07	Sérieux
E4	0,07	Sérieux
E5	0,07	Sérieux

Tableau 31 : Nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène d'effondrement et la gravité associée

Rappel : La méthode de comptage des enjeux humains dans chaque secteur est présentée en Annexe 1 : Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne. Elle se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de danger.

Le tableau ci-dessous, illustre le détail des calculs du nombre de personnes potentiellement concernées dans un rayon de 150 m autour de chaque aérogénérateur :

Eolienne	Terrains aménagés et potentiellement fréquentés ou très fréquentés 10 pers/ha (hangar)		Terrains aménagés mais peu fréquentés 1 pers / 10 ha (plateforme de stockage, chemins, voies de circulation non structurantes)		Terrains non aménagés et très peu fréquentés 1 pers/100ha (champs, forêt...)		Chemin de randonnée GRP Marie Calvès 0.03 pers / km		Chemin de randonnée PR Circuit du Château 0.06 pers / km	
	Surface (ha)	Nb pers	Surface (ha)	Nb pers	Surface (ha)	Nb pers	Linéaire (km)	Nb pers	Linéaire (km)	Nb pers
E1	0,00	0,00	0,09	0,01	6,98	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
E2	0,00	0,00	0,08	0,01	6,98	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
E3	0,00	0,00	0,00	0,00	7,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
E4	0,00	0,00	0,00	0,00	7,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00
E5	0,00	0,00	0,00	0,00	7,07	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00

Tableau 32 : Détails du nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène d'effondrement

#### ❖ 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<sup>7</sup>, 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 : « 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 ».

<sup>7</sup> Une année d'expérience correspond à une éolienne observée pendant une année. Ainsi, si on a observé une éolienne pendant 5 ans et une autre pendant 7 ans, on aura au total 12 années d'expérience.

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 :

- le respect intégral des dispositions de la norme IEC 61400-1 ;
- des contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages ;
- un système de détection des survitesse et un système redondant de freinage ;
- un système de détection des vents forts et un système redondant de freinage et de mise en sécurité des installations – un système adapté est installé en cas de risque cyclonique.

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

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

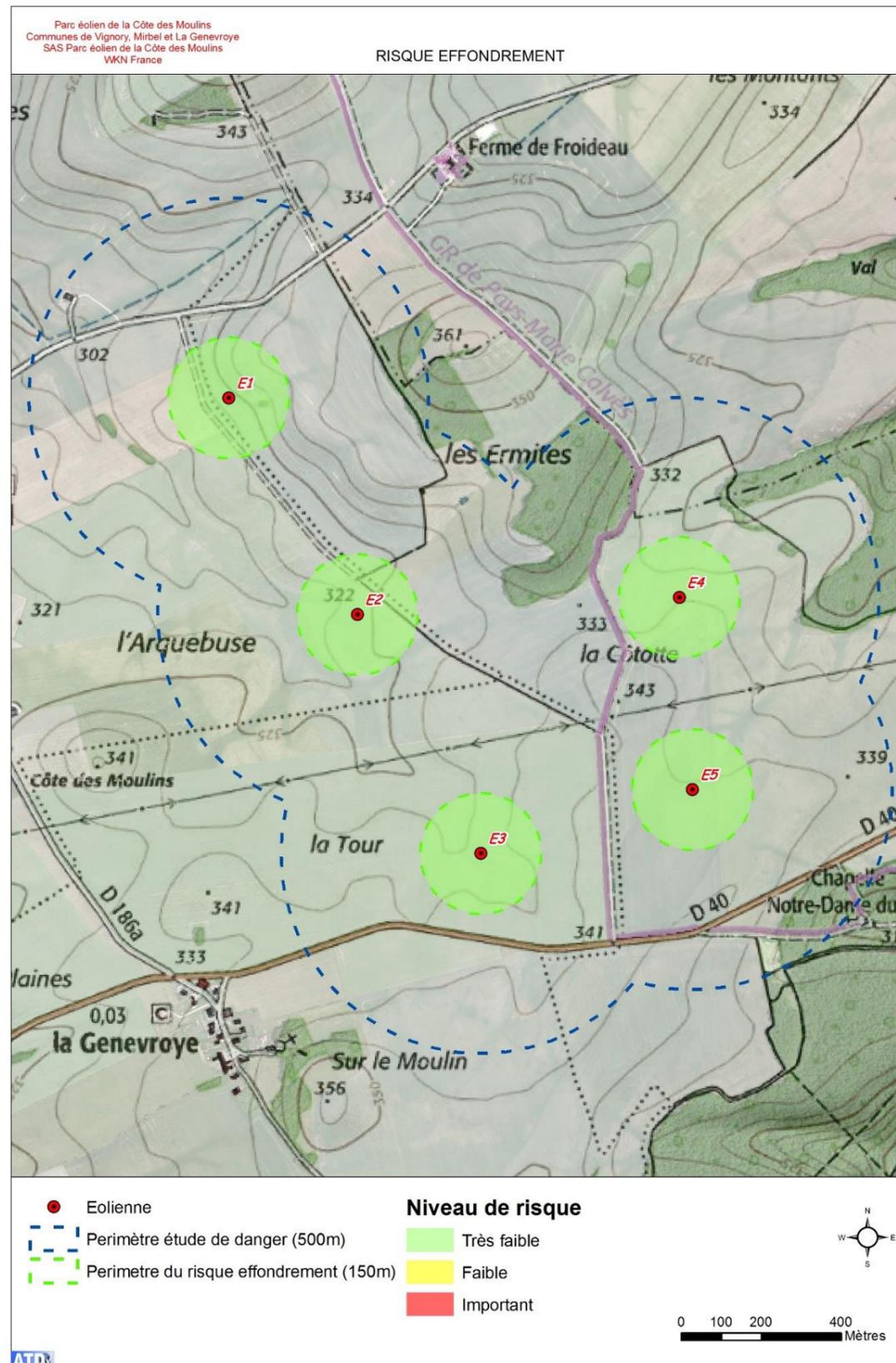
#### ❖ Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du Parc Eolien de la Côte des Moulins, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale (R=150 m))		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Sérieux	Très faible Acceptable
E2	Sérieux	
E3	Sérieux	
E4	Sérieux	
E5	Sérieux	

Tableau 33 : Niveau de risque du phénomène d'effondrement

Ainsi, pour le Parc Eolien de Côte des Moulins, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes et le niveau de risque est considéré comme très faible.



Carte 18 : Synthèse du risque effondrement

### 8.3.2 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 [15] (cf. annexe 7), une grande partie du territoire français (hors zones de montagne) est concerné par moins d'un jour de formation de glace par an. Certains secteurs du territoire comme les zones côtières affichent des moyennes variant entre 2 et 7 jours de formation de glace par an.

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

La température annuelle moyenne sur le secteur de Saint Dizier est de 15,7 °C.

**Le nombre moyen de jours de gel enregistrés à la station Météo France de Saint Dizier est de 60,6 jours.** Le mois durant lequel il gèle le plus souvent est le mois de janvier, avec environ 14,1 jours de gel.

#### ❖ Zone d'effet

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne. Pour le Parc Eolien de La Côte des Moulins, la zone d'effet a donc un rayon de **66 m**. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

#### ❖ Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace dans le cas du Parc Eolien de La Côte des Moulins. ZI est la zone d'impact, ZE est la zone d'effet, R équivaut à un demi diamètre rotor (R= 66 m), SG est la surface du morceau de glace majorant (SG= 1 m<sup>2</sup>).

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol (R = 66 m))			
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
ZI= SG 1 m <sup>2</sup>	Z <sub>E</sub> = π x R <sup>2</sup> 13 684 m <sup>2</sup>	d=Z <sub>I</sub> /Z <sub>E</sub> (0,007%)	Modérée

Tableau 34 : Intensité du phénomène de chute de glace

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 (voir paragraphe 8.1.3), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute de glace, dans la zone de survol de l'éolienne :

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

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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol (R = 66 m))		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,02	Modéré
E2	0,01	Modéré
E3	0,01	Modéré
E4	0,01	Modéré
E5	0,01	Modéré

Tableau 35 : Nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de chute de glace et la gravité associée

Le tableau ci-après détaille les calculs du nombre de personnes potentiellement présentes dans un rayon de 66 m autour de chaque aérogénérateur :

Éolienne	Terrains aménagés et potentiellement fréquentés ou très fréquentés 10 pers/ha (hangar)		Terrains aménagés mais peu fréquentés 1 pers / 10 ha (plateforme de stockage, chemins, voies de circulation non structurantes)		Terrains non aménagés et très peu fréquentés 1 pers/100ha (champs, forêt...)		Chemin de randonnée GRP Marie Calvès 0.03 pers / km		Chemin de randonnée PR Circuit du Château 0.06 pers / km	
	Surface (ha)	Nb pers	Surface (ha)	Nb pers	Surface (ha)	Nb pers	Linéaire (km)	Nb pers	Linéaire (km)	Nb pers
E1	0,00	0,00	0,02	0,00	1,35	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
E2	0,00	0,00	0,00	0,00	1,37	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
E3	0,00	0,00	0,00	0,00	1,37	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
E4	0,00	0,00	0,00	0,00	1,37	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
E5	0,00	0,00	0,00	0,00	1,37	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Tableau 36 : Détails du nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de chute de glace

#### ❖ Probabilité

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

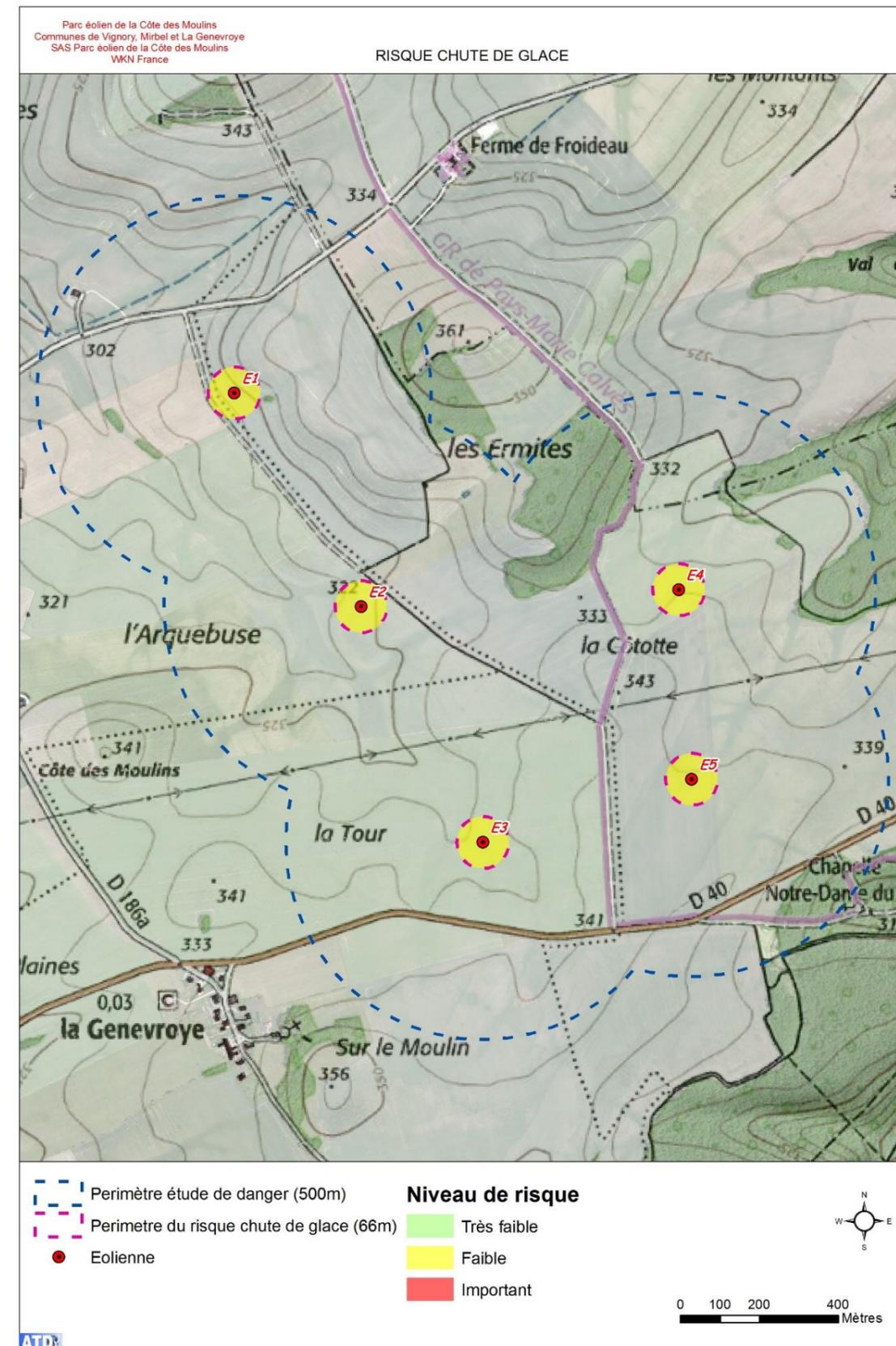
#### ❖ Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du Parc Eolien de La Côte des Moulins, 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 (R = 66m))		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modéré	Faible
E2	Modéré	
E3	Modéré	
E4	Modéré	
E5	Modéré	

Tableau 37 : Niveau de risque du phénomène de chute de glace

Ainsi, pour le Parc Eolien de La Côte des Moulins, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes et le niveau de risque est considéré comme faible.



Carte 19 : Synthèse du risque chute de glace

### 8.3.3 Chute d'éléments d'une éolienne

#### ❖ Zone d'effet

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

Le risque de chute d'élément est cantonné à la zone de survol des pales, c'est-à-dire une zone d'effet correspondant à un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor (66 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 de l'éolienne dans le cas du Parc Eolien de la Côte des Moulins, d est le degré d'exposition, ZI la zone d'impact, ZE la zone d'effet, R un demi diamètre rotor (R= 66 m), LB la largeur de la base de la pale (LB = 5 m) et D est le diamètre du rotor (D = 132 m).

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol (R=66m))			
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
$Z_I = R \times LB/2$ 165 m <sup>2</sup>	$Z_E = \pi \times R^2$ 13 684 m <sup>2</sup>	$d = Z_I/Z_E = 1.2\%$	Forte

Tableau 38 : Intensité du phénomène de chute d'éléments d'une éolienne

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 (voir paragraphe 9.1.3), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute de glace, dans la zone de survol de l'éolienne :

**Si le phénomène de chute d'élément engendre une zone d'exposition forte, ce qui est le cas ici :**

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

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

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol (R = 66m))		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0.02	Sérieux
E2	0.01	Sérieux
E3	0.01	Sérieux
E4	0.01	Sérieux
E5	0.01	Sérieux

Tableau 39 : Nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de chute d'éléments d'une éolienne et la gravité associée

Le tableau ci-après détaille les calculs du nombre de personnes potentiellement présentes dans un rayon de 66 m autour de chaque aérogénérateur :

Éolienne	Terrains aménagés et potentiellement fréquentés ou très fréquentés 10 pers/ha (hangar)		Terrains aménagés mais peu fréquentés 1 pers / 10 ha (plateforme de stockage, chemins, voies de circulation non structurantes)		Terrains non aménagés et très peu fréquentés 1 pers/100ha (champs, forêt...)		Chemin de randonnée GRP Marie Calvès 0.03 pers / km		Chemin de randonnée PR Circuit du Château 0.06 pers / km	
	Surface (ha)	Nb pers	Surface (ha)	Nb pers	Surface (ha)	Nb pers	Linéaire (km)	Nb pers	Linéaire (km)	Nb pers
E1	0,00	0,00	0,02	0,00	1,35	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
E2	0,00	0,00	0,00	0,00	1,37	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
E3	0,00	0,00	0,00	0,00	1,37	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
E4	0,00	0,00	0,00	0,00	1,37	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
E5	0,00	0,00	0,00	0,00	1,37	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00

Tableau 40 : Détails du nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de chute d'éléments d'une éolienne

#### ❖ Probabilité

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

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

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

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

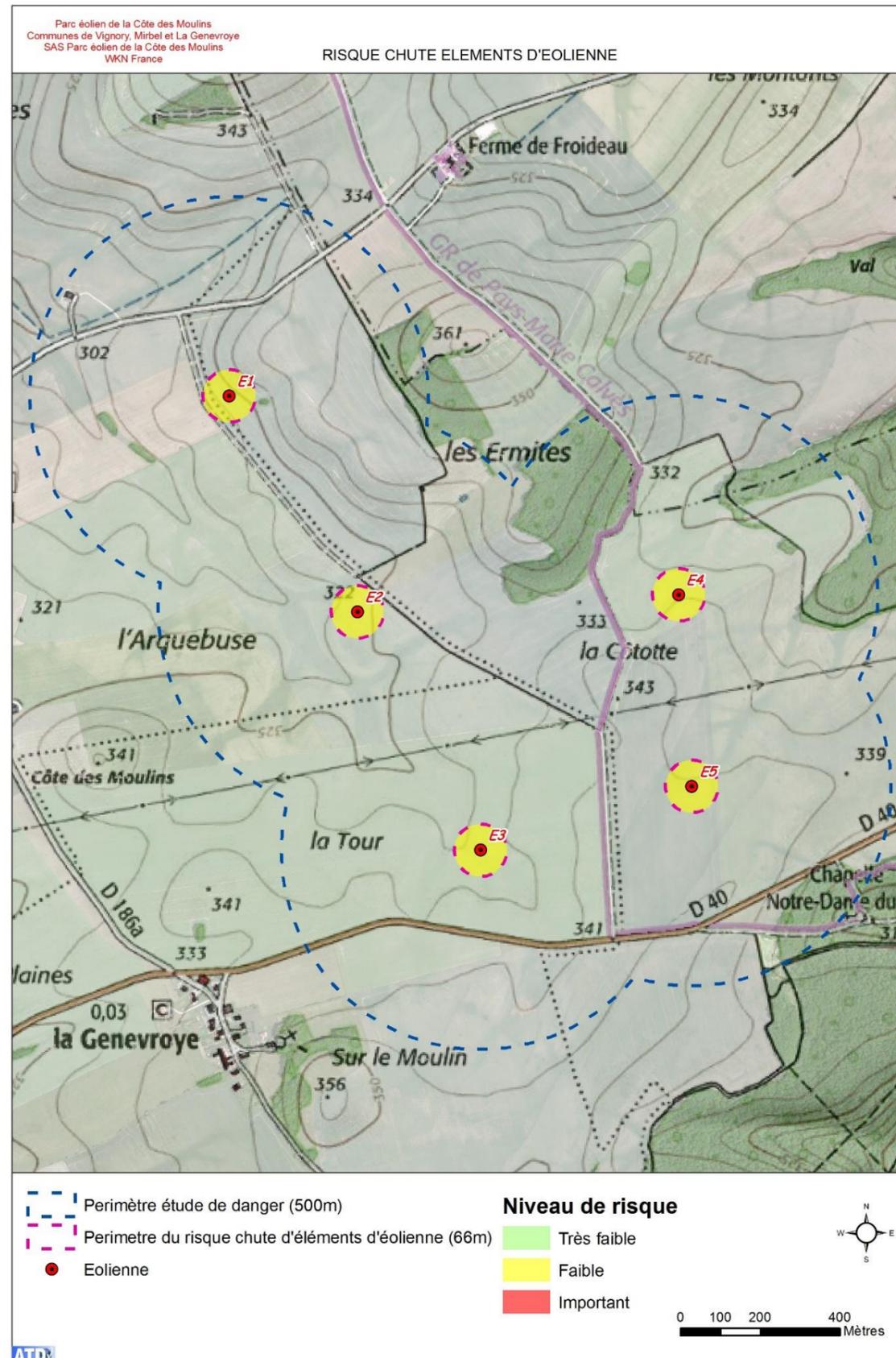
#### ❖ Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du Parc Eolien de la Côte des Moulins, 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 (R = 66m))		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Sérieux	Faible Acceptable
E2	Sérieux	
E3	Sérieux	
E4	Sérieux	
E5	Sérieux	

Tableau 41 : Niveau de risque du phénomène de chute d'éléments d'une éolienne

Ainsi, pour le Parc Eolien de la Côte des Moulins, le phénomène de chute d'éléments des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes et le niveau de risque est considéré comme faible.



Carte 20 : Synthèse du risque chute d'éléments de l'éolienne

### 8.3.4 Projection de pales ou de fragments de pales

#### ❖ Zone d'effet

Dans l'accidentologie française rappelée en Annexe 2 : Tableau de l'accidentologie française, la distance maximale relevée et vérifiée par le groupe de travail précédemment mentionné pour une projection de fragment de pale est de 380 mètres par rapport au mât de l'éolienne. On constate que les autres données disponibles dans cette accidentologie montrent des distances d'effet inférieures.

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

Pour autant, des études de risques déjà réalisées dans le monde ont utilisé une distance de 500 mètres, en particulier les études [5] et [6] (cf. Annexe 7 : Bibliographie et références utilisées)

Sur la base de ces éléments et de façon conservatrice, une distance d'effet de 500 mètres 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 danger des parcs éoliens.

#### ❖ Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du Parc Eolien de la Côte des Moulins. d est le degré d'exposition, ZI la zone d'impact, ZE la zone d'effet, R un demi diamètre rotor (R= 66 m) et LB la largeur de la base de la pale (LB= 5 m).

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
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
$Z_i = R \cdot LB / 2$ 165 m <sup>2</sup>	$Z_E = \pi \times 500^2$ 785 398	$D = Z_i / Z_E = 0,02$	Modérée

Tableau 42 : Intensité du phénomène de projection de pale ou de fragment de pale

#### ❖ Gravité

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

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

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

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	1,36	Sérieux
E2	0,81	Modéré
E3	0,86	Modéré
E4	0,82	Modéré
E5	0,91	Modéré

Tableau 43 : Nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de projection de pale ou de fragment de pale et la gravité associée

Le tableau ci-après détaille les calculs du nombre de personnes potentiellement présentes dans un rayon de 500 m autour de chaque aérogénérateur :

Éolienne	Terrains aménagés et potentiellement fréquentés ou très fréquentés 10 pers/ha (hangar)		Terrains aménagés mais peu fréquentés 1 pers / 10 ha (plateforme de stockage, chemins, voies de circulation non structurantes)		Terrains non aménagés et très peu fréquentés 1 pers/100ha (champs, forêt...)		Chemin de randonnée GRP Marie Calvès 0.03 pers / km		Chemin de randonnée PR Circuit du Château 0.06 pers / km		Total personnes
	Surface (ha)	Nb pers	Surface (ha)	Nb pers	Surface (ha)	Nb pers	Linéaire (km)	Nb pers	Linéaire (km)	Nb pers	
	E1	0,05	0,50	0,85	0,09	77,64	0,78	0,00	0,00	0,00	
E2	0,00	0,00	0,30	0,03	78,24	0,78	0,00	0,00	0,00	0,00	0,81
E3	0,00	0,00	0,66	0,07	77,13	0,77	0,75	0,02	0,00	0,00	0,86
E4	0,00	0,00	0,18	0,02	77,327	0,77	1,03	0,03	0,00	0,00	0,82
E5	0,00	0,00	0,97	0,10	75,996	0,76	1,52	0,05	0,05	0,00	0,91

Tableau 44 : Détails du nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de projection de pale ou de fragment de pale

#### ❖ Probabilité

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

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

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

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

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 Septembre 2005 d'une probabilité « C » : « 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 61400-1 ;
- les dispositions des normes IEC 61400-24 et EN 62305-3 relatives à la foudre ;

- un système de détection des survitesses et un système redondant de freinage ;
- un 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 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation permet de s'assurer que les éoliennes font l'objet de mesures réduisant significativement la probabilité de projection.

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

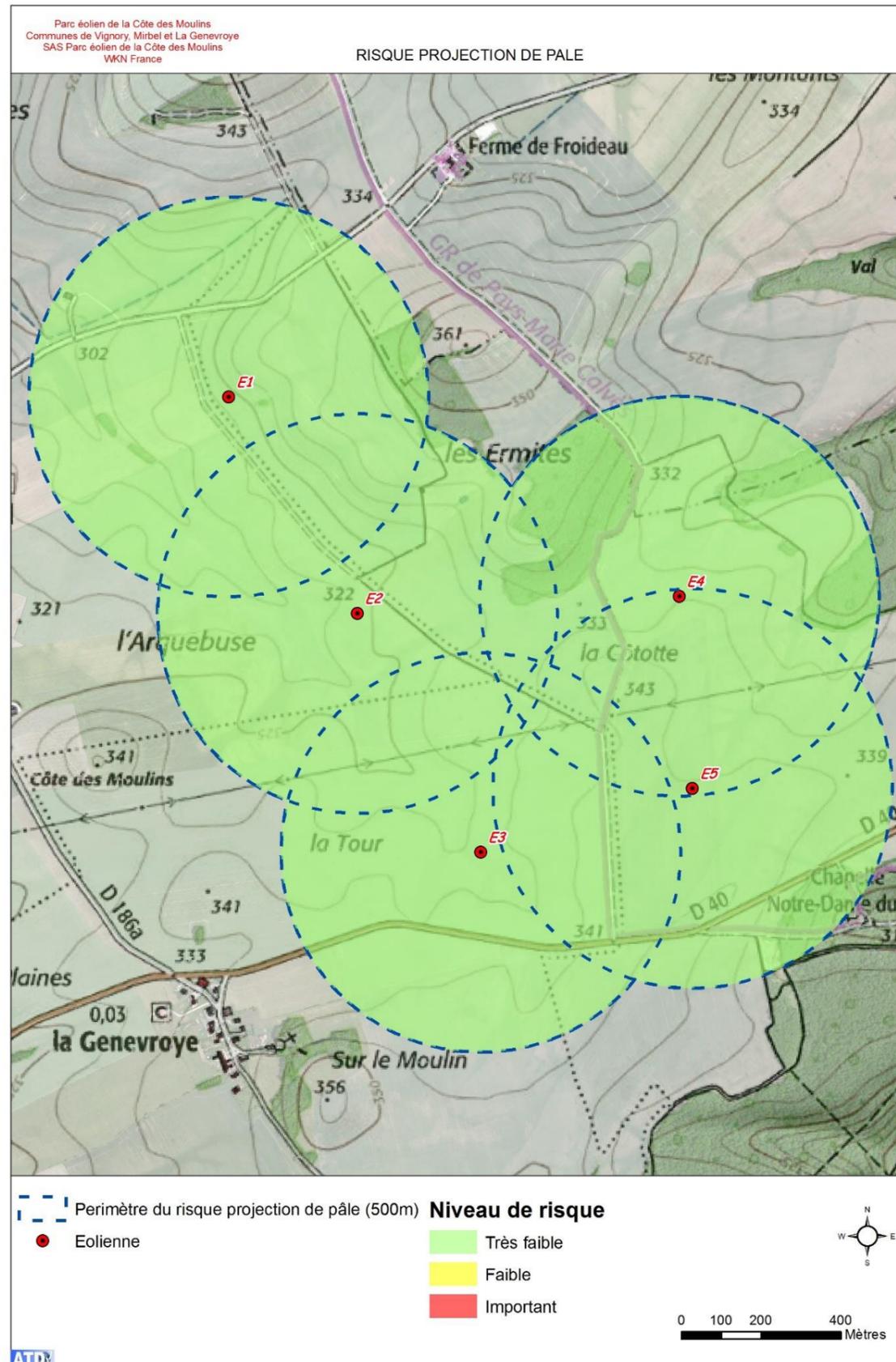
#### ❖ Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du Parc Eolien de la Côte des Moulins, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

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

Tableau 45 : Niveau de risque du phénomène de projection de pale ou de fragment de pale

Ainsi, pour le Parc Eolien de la Côte des Moulins, le phénomène de projection de tout ou partie de pale des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes et le niveau de risque est considéré comme très faible.



Carte 21 : Synthèse du risque projection de pale

### 8.3.5 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] (cf. Annexe 7 : Bibliographie et références utilisées) propose une distance d'effet fonction de la hauteur et du diamètre de l'éolienne, dans les cas où le nombre de jours de glace est important et où l'éolienne n'est pas équipée de système d'arrêt des éoliennes en cas de givre ou de glace :

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

Cette distance de projection est jugée conservatrice dans des études postérieures [17] (cf. Annexe 7 : Bibliographie et références utilisées). 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 dans le cas du Parc Eolien de La Côte des Moulins. d est le degré d'exposition, ZI la zone d'impact, ZE la zone d'effet, R un demi diamètre rotor (R= 66m), H la hauteur au moyeu (H= 87 m), et SG la surface majorante d'un morceau de glace.

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de RPG = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne = 328.5m)			
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
ZI= SG 1m <sup>2</sup>	ZE = π x R <sub>PG</sub> <sup>2</sup> = π x (1,5 x (H + 2R)) <sup>2</sup> 338 845 m <sup>2</sup>	D=ZI / ZE = 0.0003%	Modérée

Tableau 46 : Intensité du phénomène de projection de glace

#### ❖ Gravité

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

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

Il a été observé dans la littérature disponible [17] (cf. Annexe 7 : Bibliographie et références utilisées) qu'en cas de projection, les morceaux de glace se cassent en petits fragments dès qu'ils se détachent de la pale. La possibilité de l'impact de glace sur des personnes abritées par un bâtiment ou un véhicule est donc négligeable et ces personnes ne doivent pas être comptabilisées pour le calcul de la gravité.

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

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de RPG = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne = 328.5m)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,38	Modéré
E2	0,36	Modéré
E3	0,32	Modéré
E4	0,36	Modéré
E5	0,41	Modéré

Tableau 47 : Nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de projection de glace et la gravité associée

Le tableau ci-après détaille les calculs du nombre de personnes potentiellement présentes dans un rayon de 328,5 m autour de chaque aérogénérateur :

Éolienne	Terrains aménagés et potentiellement fréquentés ou très fréquentés 10 pers/ha (hangar)		Terrains aménagés mais peu fréquentés 1 pers / 10 ha (plateforme de stockage, chemins, voies de circulation non structurantes)		Terrains non aménagés et très peu fréquentés 1 pers/100ha (champs, forêt...)		Chemin de randonnée GRP Marie Calvès 0.03 pers / km		Chemin de randonnée PR Circuit du Château 0.06 pers / km	
	Surface (ha)	Nb pers	Surface (ha)	Nb pers	Surface (ha)	Nb pers	Linéaire (km)	Nb pers	Linéaire (km)	Nb pers
E1	0,00	0,00	0,45	0,05	33,45	0,33	0,00	0,00	0,00	0,00
E2	0,00	0,00	0,06	0,01	33,84	0,34	0,00	0,00	0,00	0,00
E3	0,00	0,00	0,15	0,02	33,55	0,34	0,20	0,01	0,00	0,00
E4	0,00	0,00	0,00	0,00	33,27	0,33	0,63	0,02	0,00	0,00
E5	0,00	0,00	0,09	0,01	33,30	0,33	0,51	0,02	0,00	0,00

Tableau 48 : Détails du nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de projection de glace

#### ❖ Probabilité

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

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

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

#### ❖ Acceptabilité

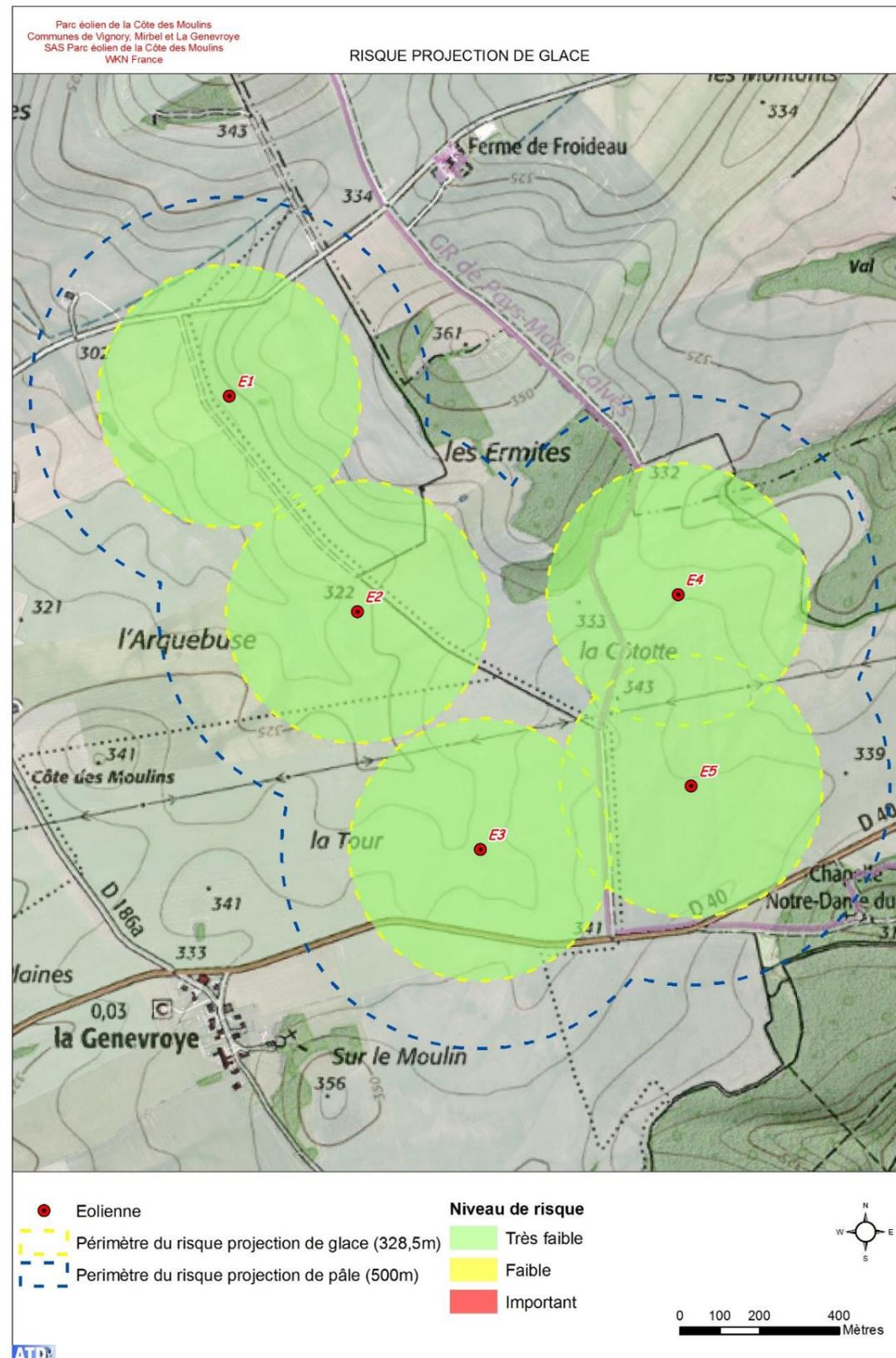
Le risque de projection pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un niveau de gravité « sérieux ». Cela correspond pour cet événement à un nombre équivalent de personnes permanentes inférieures à 10 dans la zone d'effet.

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du Parc Eolien de la Côte des Moulins, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Projection de glace (zone de 328.5 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modéré	Très faible Acceptable
E2	Modéré	
E3	Modéré	
E4	Modéré	
E5	Modéré	

Tableau 49 : Niveau de risque du phénomène de projection de glace

Ainsi, pour le Parc Eolien de la Côte des Moulins, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes et le niveau de risque est très faible.



Carte 22 : Synthèse du risque projection de glace

## 8.4 SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

### 8.4.1 Tableaux de synthèse des scénarios étudiés

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

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale (R=150 m)	Rapide	Exposition Forte	D (pour des éoliennes récentes)	Sérieux pour les 5 éoliennes
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol (R=66 m)	Rapide	Exposition forte	C	Sérieux pour les 5 éoliennes
Chute de glace	Zone de survol (R=66 m)	Rapide	Exposition modérée	A	Modéré pour les 5 éoliennes
Projection de fragment de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes)	Sérieux pour 1 éolienne et Modéré pour 4 éoliennes
Projection de glace	1,5 x (H + 2R) autour de l'éolienne (R=328,5 m)	Rapide	Exposition modérée	B	Modéré pour les 5 éoliennes

Tableau 50 : Tableau de synthèse des scénarios étudiés

### 8.4.2 Synthèse de l'acceptabilité des risques

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

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

Gravité des conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux	Yellow	Red	Red	Red	Red
Catastrophique	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
Important	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
Sérieux	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
Modéré	Green	Green	Green	Green	Yellow

#### Légende de la matrice :

Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible	Green	acceptable
Risque faible	Yellow	acceptable
Risque important	Red	non acceptable

Tableau 51 : Matrice de criticité

Afin de faciliter la compréhension de la matrice, la criticité de chacun des scénarios a été détaillée dans le tableau suivant :

Conséquence	Classe de Probabilité				
	D Effondrement de l'éolienne (150 m)	D Projection de pale ou de fragment de pale (500 m)	C Chute d'éléments (66 m)	B Projection de glace (328,5m)	A Chute de glace (66 m)
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux	Toutes les éoliennes	E1	Toutes les éoliennes		
Modéré		E2, E3, E4 et E5		Toutes les éoliennes	Toutes les éoliennes

**Les risques induits par l'implantation du Parc Eolien de la Côte des Moulins apparaissent tous acceptables.**

Aucun incident ne présente un risque important.

Pour les cas présentant un risque faible (cases jaunes du tableau ci-avant qui correspondent aux scénarios d'accident « Chute d'éléments de l'éolienne », « Chute de glace » et « Projection de glace »), le choix d'aérogénérateurs récents et les fonctions de sécurité détaillés dans la partie 7.6 suffisent à rendre le **risque acceptable**.

## 9 CONCLUSION

L'étude de dangers a recensé l'ensemble des infrastructures et activités présentes dans un rayon de 500 m autour des éoliennes. Elle s'est également attachée à présenter les principales dispositions ayant permis de concevoir le projet éolien, de recenser et d'analyser les différents dangers possibles, et à présenter les mesures de sécurité qui seront prises.

Ainsi, parmi les risques d'accident identifiés par l'étude de dangers concernant les éoliennes, les scénarios retenus pour l'analyse détaillée des risques sont :

- **L'effondrement** de l'éolienne dont la probabilité d'occurrence est de classe D (rare) et la gravité sérieuse ;
- **La chute de glace** dont la probabilité d'occurrence est de classe A (courant) et la gravité modérée ;
- **La chute d'élément de l'éolienne** dont la probabilité d'occurrence est de classe C (improbable) et la gravité sérieuse ;
- **La projection de pale ou de fragment de pale** dont la probabilité d'occurrence est de classe D (rare) et la gravité modérée à sérieuse ;
- **La projection de glace** dont la probabilité d'occurrence est de classe B (probable) et la gravité modérée ;

Un ensemble de mesure de sécurité permet de prévenir ou limiter les conséquences de ces dangers potentiels, telles que :

- Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace ;
- Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace ;
- Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques ;
- Prévenir la survitesse ;
- Prévenir les courts-circuits ;
- Prévenir les effets de la foudre Protection et intervention incendie ;
- Prévention et rétention des fuites ;
- Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) ;
- Prévenir les erreurs de maintenance
- Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort ;
- Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de cyclones dans les zones cycloniques.

L'analyse des dangers montre que, réalisée dans le respect de l'environnement et de la réglementation en vigueur et notamment le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011, l'exploitation du Parc Eolien de La Côte des Moulins présente des risques limités.

Les niveaux de risques engendrés par les scénarios de dangers relevés sont faibles à très faibles, et par conséquent entièrement acceptables.

## ANNEXES

- ANNEXE 1 : METHODE DE COMPTAGE DES PERSONNES POUR LA DETERMINATION DE LA GRAVITE POTENTIELLE D'UN ACCIDENT A PROXIMITE D'UNE EOLIENNE
- ANNEXE 2 : TABLEAU DE L'ACCIDENTOLOGIE FRANÇAISE
- ANNEXE 3 : SCHEMAS UNIFILAIRES DES 5 EOLIENNES
- ANNEXE 4 : SCENARIOS GENERIQUES ISSUS DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES
- ANNEXE 5 : PROBABILITE D'ATTEINTE ET RISQUE INDIVIDUEL
- ANNEXE 6 : GLOSSAIRE
- ANNEXE 7 : BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES UTILISEES

**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 danger. 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 (Chapitre 3), 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 (Chapitre 8).

❖ **Terrains non bâtis**

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

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

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

❖ **Voies de circulation**

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

Voies de circulation automobiles

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

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

**Voies ferroviaires**

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

**Voies navigables**

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

Chemins et voies piétonnes

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

❖ **Logements**

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

❖ **Etablissements recevant du public (ERP)**

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

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

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

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

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

❖ **Zones d'activité**

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

Annexe 2 : Tableau de l'accidentologie française

Le tableau ci-dessous a été établi par le groupe de travail constitué pour la réalisation du guide d'élaboration des études de dangers des parcs éoliens en 2011, puis actualisé par le pétitionnaire. Il recense l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne entre 2000 et décembre 2019. L'analyse de ces données est présentée dans la partie 6 de l'étude de dangers.

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Effondrement	Novembre 2000	Port la Nouvelle	Aude	0,5	1993	Non	Le mât d'une éolienne s'est plié lors d'une tempête suite à la perte d'une pale (coupure courant prolongée pendant 4 jours suite à la tempête)	Tempête avec foudre répétée	Rapport du CGM Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2001	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts)	?	Site Vent de Colère	Information peu précise
Effondrement	01/02/2002	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris d'hélice et mât plié	Tempête	Rapport du CGM Site Vent du Bocage	-
Maintenance	01/07/2002	Port la Nouvelle – Sigean	Aude	0,66	2000	Oui	Grave électrisation avec brûlures d'un technicien	Lors de mesures pour cartériser la partie haute d'un transformateur 690V/20kV en tension. Le mètre utilisé par la victime, déroulé sur 1,46m, s'est soudainement plié et est entré dans la zone du transformateur, créant un arc électrique.	Rapport du CGM	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	28/12/2002	Névian - Grande Garrigue	Aude	0,85	2002	Oui	Effondrement d'une éolienne suite au dysfonctionnement du système de freinage	Tempête + dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Site Vent de Colère Article de presse (Midi Libre)	-
Rupture de pale	25/02/2002	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pale en bois (avec inserts) sur une éolienne bipale	Tempête	Article de presse (La Dépêche du 26/03/2003)	Information peu précise
Rupture de pale	05/11/2003	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts) sur trois éoliennes. Morceaux de pales disséminés sur 100 m.	Dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Article de presse (Midi Libre du 15/11/2003)	-
Effondrement	01/01/2004	Le Portel – Boulogne sur Mer	Pas de Calais	0,75	2002	Non	Cassure d'une pale, chute du mât et destruction totale. Une pale tombe sur la plage et les deux autres dérivent sur 8 km.	Tempête	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (Windpower Monthly May 2004, La Voix du Nord du 02/01/2004)	-
Effondrement	20/03/2004	Loon Plage – Port de Dunkerque	Nord	0,3	1996	Non	Couchage du mât d'une des 9 éoliennes suite à l'arrachement de la fondation	Rupture de 3 des 4 micropieux de la fondation, erreur de calcul (facteur de 10)	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (La Voix du Nord du 20/03/2004 et du 21/03/2004)	-
Rupture de pale	22/06/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50 m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	-
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5m à 50m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	Incident identique à celui s'étant produit 15 jours auparavant
Rupture de pale	2004	Escales-Conilhac	Aude	0,75	2003	Non	Bris de trois pales		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale + incendie	22/12/2004	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne (survitesse de plus de 60 tr/min)	Survitesse due à une maintenance en cours, problème de régulation, et dysfonctionnement du système de freinage	Base de données ARIA Article de presse (La Tribune du 30/12/2004) Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2005	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris de pale		Site Vent de Colère	Information peu précise

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	08/10/2006	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2004	Non	Chute d'une pale de 20 m pesant 3 tonnes	Allongement des pales et retrait de sécurité (débridage), pas de REX suite aux précédents accidents sur le même parc	Site FED Articles de presse (Ouest France) Journal FR3	-
Incendie	18/11/2006	Roquetaillade	Aude	0,66	2001	Oui	Acte de malveillance: explosion de bonbonne de gaz au pied de 2 éoliennes. L'une d'entre elles a mis le feu en pieds de mât qui s'est propagé jusqu'à la nacelle.	Malveillance / incendie criminel	Communiqués de presse exploitant Articles de presse (La Dépêche, Midi Libre)	-
Effondrement	03/12/2006	Bondues	Nord	0,08	1993	Non	Sectionnement du mât puis effondrement d'une éolienne dans une zone industrielle	Tempête (vents mesurés à 137Kmh)	Article de presse (La Voix du Nord)	-
Rupture de pale	31/12/2006	Ally	Haute-Loire	1,5	2005	Oui	Chute de pale lors d'un chantier de maintenance visant à remplacer les rotors	Accident faisant suite à une opération de maintenance	Site Vent de Colère	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident pendant la phase chantier)
Rupture de pale	03/2007	Clitourps	Manche	0,66	2005	Oui	Rupture d'un morceau de pale de 4 m et éjection à environ 80 m de distance dans un champ	Cause pas éclaircie	Site FED Interne exploitant	-
Chute d'élément	11/10/2007	Plouvien	Finistère	1,3	2007	Non	Chute d'un élément de la nacelle (trappe de visite de 50 cm de diamètre)	Défaut au niveau des charnières de la trappe de visite. Correctif appliqué et retrofit des boulons de charnières effectué sur toutes les machines en exploitation.	Article de presse (Le Télégramme)	-
Emballlement	03/2008	Dinéault	Finistère	0,3	2002	Non	Emballlement de l'éolienne mais pas de bris de pale	Tempête + système de freinage hors service (boulon manquant)	Base de données ARIA	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (événement unique et sans répercussion potentielle sur les personnes)
Collision avion	04/2008	Plouguin	Finistère	2	2004	Non	Léger choc entre l'aile d'un bimoteur Beechcraftch (liaison Ouessant-Brest) et une pale d'éolienne à l'arrêt. Perte d'une pièce de protection au bout d'aile. Mise à l'arrêt de la machine pour inspection.	Mauvaise météo, conditions de vol difficiles (sous le plafond des 1000m imposé par le survol de la zone) et faute de pilotage (altitude trop basse)	Articles de presse (Le Télégramme, Le Post)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident aéronautique)
Rupture de pale	19/07/2008	Erize-la-Brûlée - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale et projection de morceaux de pale suite à un coup de foudre	Foudre + défaut de pale	Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain 22/07/2008)	-
Incendie	28/08/2008	Vauvillers	Somme	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Problème au niveau d'éléments électroniques	Dépêche AFP 28/08/2008	-
Rupture de pale	26/12/2008	Raival - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale		Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain)	-
Maintenance	26/01/2009	Clastres	Aisne	2,75	2004	Oui	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance	Accident électrique (explosion d'un convertisseur)	Base de données ARIA	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Rupture de pale	08/06/2009	Bollène	Vaucluse	2,3	2009	Oui	Bout de pale d'une éolienne ouvert	Coup de foudre sur la pale	Interne exploitant	Non utilisable dans les chutes ou les projections (la pale est restée accrochée)
Incendie	21/10/2009	Froidfond - Espinassière	Vendée	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit dans transformateur sec embarqué en nacelle ?	Article de presse (Ouest-France) Communiqué de presse exploitant Site FED	-
Incendie	30/10/2009	Freyssenet	Ardèche	2	2005	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit faisant suite à une opération de maintenance (problème sur une armoire électrique)	Base de données ARIA Site FED Article de presse (Le Dauphiné)	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Maintenance	20/04/2010	Toufflers	Nord	0,15	1993	Non	Décès d'un technicien au cours d'une opération de maintenance	Crise cardiaque	Article de presse (La Voix du Nord 20/04/2010)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	30/05/2010	Port la Nouvelle	Aude	0,2	1991	Non	Effondrement d'une éolienne	Le rotor avait été endommagé par l'effet d'une survitesse. La dernière pale (entière) a pris le vent créant un balourd. Le sommet de la tour a plié et est venu buter contre la base entraînant la chute de l'ensemble.	Interne exploitant	-
Incendie	19/09/2010	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Emballement de deux éoliennes et incendie des nacelles.	Maintenance en cours, problème de régulation, freinage impossible, évacuation du personnel, survitesse de +/- 60 tr/min	Articles de presse Communiqué de presse SER-FEE	-
Maintenance	15/12/2010	Pouillé-les-Côteaux	Loire Atlantique	2,3	2010	Oui	Chute de 3 m d'un technicien de maintenance à l'intérieur de l'éolienne. L'homme de 22 ans a été secouru par le GRIMP de Nantes. Aucune fracture ni blessure grave.		Interne SER-FEE	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Transport	31/05/2011	Mesvres	Saône-et-Loire	-	-	-	Collision entre un train régional et un convoi exceptionnel transportant une pale d'éolienne, au niveau d'un passage à niveau Aucun blessé		Article de presse (Le Bien Public 01/06/2011)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident de transport hors site éolien)
Rupture de pale	14/12/2011	Non communiqué	Non communiqué	2,5	2003	Oui	Pale endommagée par la foudre. Fragments retrouvés par l'exploitant agricole à une distance n'excédant pas 300 m.	Foudre	Interne exploitant	Information peu précise sur la distance d'effet
Incendie	03/01/2012	Non communiqué	Non communiqué	2,3	2006	Oui	Départ de feu en pied de tour. Acte de vandalisme : la porte de l'éolienne a été découpée pour y introduire des pneus et de l'huile que l'on a essayé d'incendier. Le feu ne s'est pas propagé, dégâts très limités et restreints au pied de la tour.	Malveillance / incendie criminel	Interne exploitant	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'incendie)
Rupture de pale	05/01/2012	Widehem	Pas-de-Calais	0,75	2000	Non	Bris de pales, dont des fragments ont été projetés jusqu'à 380 m. Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne).	Tempête + panne d'électricité	Article de presse (La Voix du Nord 06/01/2012) Vidéo DailyMotion Interne exploitant	-
Maintenance	06/02/2012	Lehaucourt	Aisne	2,5	2007	Non	Un arc électrique (690 V) blesse deux sous-traitants, l'un gravement (brûlures aux mains et au visage) et l'autre légèrement (brûlures aux mains).	Arc électrique		Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Rupture de pale	11/04/2012	Sigean	Aude	0,66	2000	Non	Les techniciens constatent la présence d'un impact sur le mât et la projection à 20 m d'un débris de pale long de 15 m	Foudre		

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute de pale	18/05/2012	Chemin d'Ablis	Eure et Loir	2	2008	Non	L'équipe de maintenance d'astreinte constate à 8 h la chute d'une pale (9 t, 46 m) au pied de l'installation et la rupture du roulement qui raccordait la pale au hub.	Corrosion et fort vent.	Actu-environnement	-
Effondrement	30/05/2012	Port-la-Nouvelle	Aude	0,2	1991	non	Des rafales de vent à 130 km/h observées durant la nuit ont provoqué l'effondrement de la tour en treillis de 30 m de haut.	Vents forts		
Chute d'élément	01/11/2012	Vieillespesse	Cantal	2,5	2011	non	Un élément de 400 g constitutif d'une pale d'éolienne est projeté à 70 m du mât, à l'intérieur de la parcelle clôturée du parc			
Incendie	05/11/2012	Sigean	Aude	0,66	2000	Non	Un feu se déclare sur une éolienne de 660 kW au sein d'un parc éolien. Des projections incandescentes enflamment 80 m <sup>2</sup> de garrigue environnante. A la suite de la chute d'une pale, un gardiennage 24 h / 24 est mis en place.	Court-circuit dans l'armoire électrique en pied d'éolienne		
Rupture de pale	06/03/2013	Conilhac-de-la-Montagne	Aude	0,66	2001	Non	A la suite d'un défaut de vibration détecté, une éolienne se met automatiquement à l'arrêt. Sur place le lendemain, des techniciens du constructeur trouvent au sol l'une des 3 pales qui s'est décrochée avant de percuter le mât.	Echauffement du frein et vitesse de rotation excessive		
Incendie	17/03/2013	Euvy	Marne	2,5	2011	Non	Un feu 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 de boîte de vitesse s'écoulent, conduisant l'exploitant à faire réaliser une étude de pollution des sols	Défaillance électrique		
Rupture de pale	20/06/2013	Labastide-sur-Besorgues	Ardèche	0,9	2008	Non	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.	foudre		
Maintenance	01/07/2013	Cambon-et-Salvergues	Hérault	1,3	2006	Non	Au cours d'une opération de maintenance dans le hub d'une éolienne (nez qui sert de local technique), un opérateur est blessé par la projection d'une partie amovible de l'équipement sur lequel il intervient.	Dépressurisation d'un accumulateur d'azote sous pression		Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Maintenance	03/08/2013	Moreac	Morbihan	-	-	-	Perte de 270 L d'huile hydraulique d'une nacelle élévatrice utilisée pour une intervention de maintenance. 25 t de terres polluées sont excavées et envoyées en filière spécialisée.	Défaillance technique	Base ARIA	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Incendie	09/01/2014	Antheny	Ardennes	2,5	2013	Non	Départ de feu en nacelle à 18h. Suite à l'isolement électrique du parc éolien le feu s'éteint de lui-même à 20h. Le rotor est resté intact mais la nacelle a été détruite, balisage aéronautique inclus. L'aviation civile en a donc été informée. L'éolienne fut par la suite démantelée.	Incident électrique	Base ARIA et presse	-

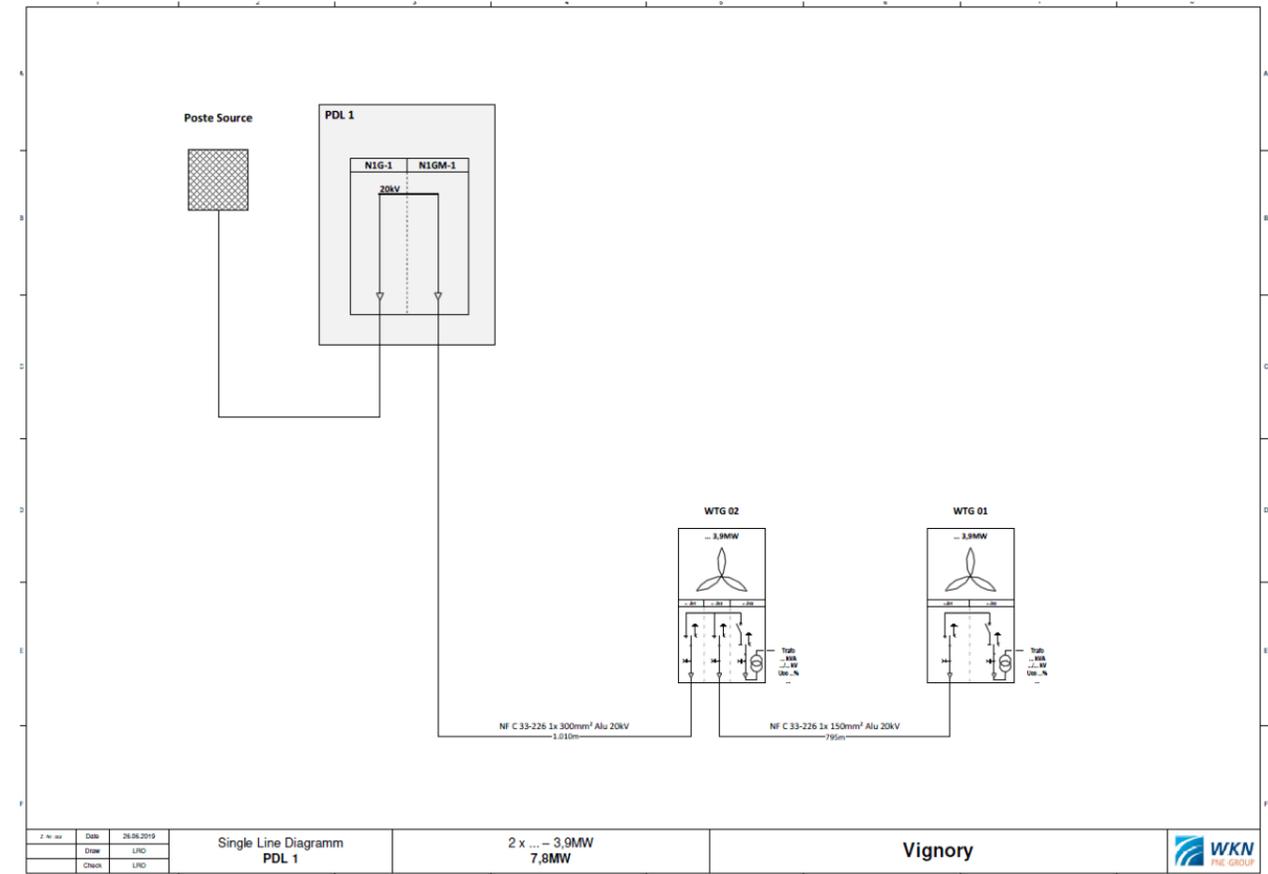
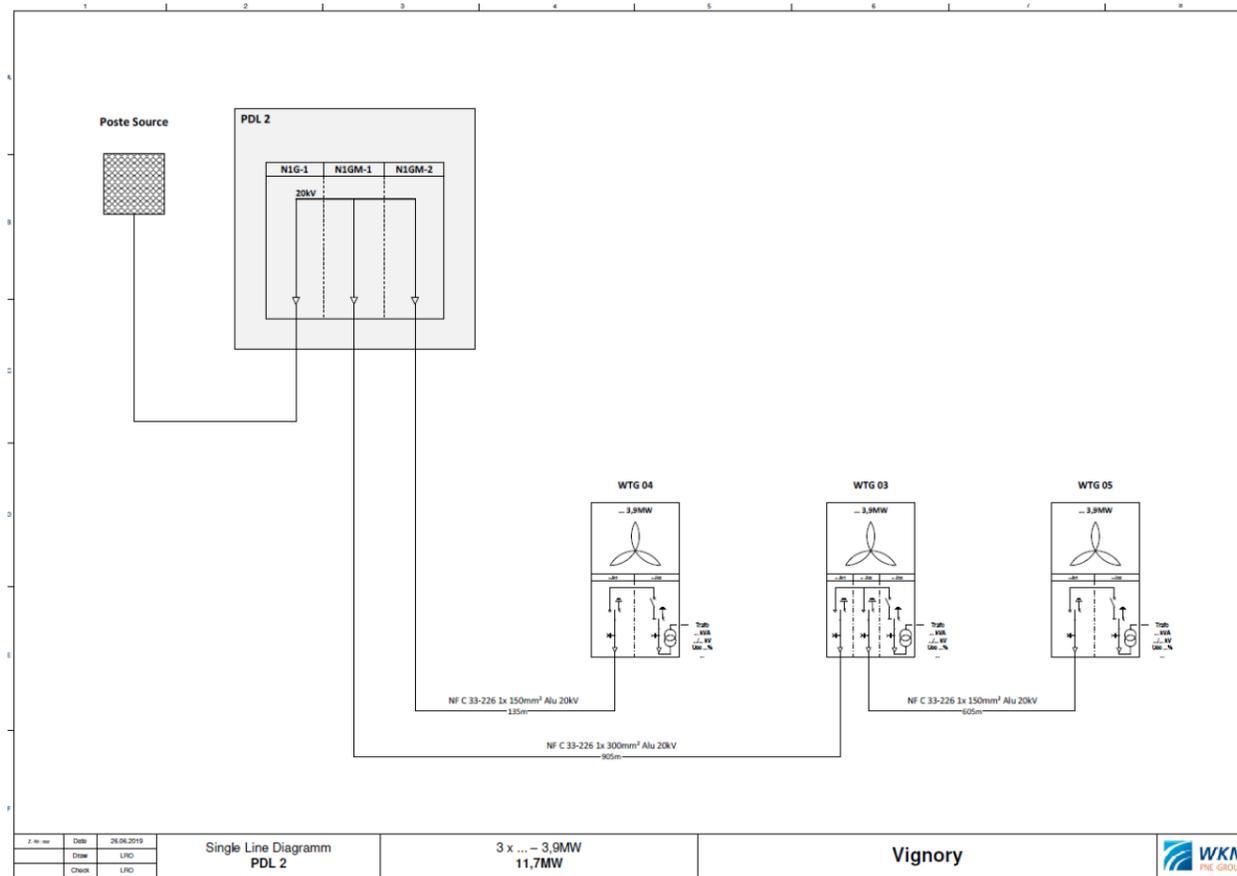
Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	14/11/2014	Saint-Cirgues-en-Montagne	Ardèche	2,05	2011	Non	La pale d'une éolienne chute lors d'un orage. Des rafales de vent atteignent les 130 km/h. L'élément principal chute au pied de l'éolienne. Certains débris sont projetés à 150 m.	Tempête		
Rupture de pale	05/12/2014	Fitou	Aude	1,3	2002	Non	A leur arrivée dans un parc éolien, des techniciens de maintenance constatent que l'extrémité d'une pale d'une éolienne est au sol. Il s'agit d'une des 2 parties de l'aérovein de la pale	Défaillance matérielle ou décollage sur les plaques de fibre de verre		
Incendie	29/01/2015	Remigny	Aisne	2,3	2015	Oui	Un feu se déclare dans une éolienne. Celle-ci est automatiquement mise à l'arrêt sur alarme du détecteur de fumée.	Défaut d'isolation au niveau des connexions des conducteurs de puissance		
Incendie	06/02/2015	Lusseray	Deux-Sèvres	2	2011	Non	Un feu se déclare dans une éolienne, au niveau d'une armoire électrique où interviennent 2 techniciens.	Défaillance électrique		
Incendie	24/08/2015	Santilly	Eure-et-Loire	2,5	2007	Non	Un feu se déclare sur le moteur d'une éolienne situé à 90 m de hauteur.			
Chute de pales	10/11/2015	Ménil-la-Horgne	Meuse	1,5	2007	Non	Chute d'un rotor et des trois pales au pied de l'éolienne.	« Défaut dans l'arbre primaire à l'origine de la rupture » du rotor et des pales.	Est Républicain	-
Chute d'éléments	07/02/2016	Conilhac-Corbieres	Aude	2,3	2014	Non	Rupture et chute au sol de l'aérovein de l'une des pales. Arrêt à distance de l'ensemble du parc suivi d'une campagne de contrôle des pales, aéroveins et chaînes de sécurité de chaque éolienne.	Rupture d'un point d'attache du système mécanique de commande de l'aérovein entraînant l'ouverture de l'aérovein. Rupture de l'axe maintenant l'aérovein à la pale en raison des fortes charges présentes sur le rotor	Base ARIA	
Rupture de pale	08/02/2016	Dineault	Finistère	0,3	1999	Non	Lors d'une tempête, des vents à 160 km/h endommagent une éolienne. Une pale chute au sol et une autre se déchire. La pale rompue est retrouvée à 40 m du pied du mat.	Tempête		
Chute de pale	05/03/2016	Calanhel	Côtes d'Armor	0,85	2009	Non	Chute de la pale au sol après une nuit de fort vent. Aucun blessé à déplorer, ni homme ni animaux	Défaillance du système d'orientation de la pale	L'Echo de l'Armor et l'Argoat	-
Maintenance	28/05/2016	Janville	Eure-et-Loire	2,3	2005	Non	un employé constate un écoulement d'huile sous la nacelle d'une éolienne. L'écoulement d'huile est récupéré avant d'avoir atteint le sol.	Défaillance d'un raccord sur le circuit de refroidissement de l'huile de la boîte de vitesse		Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Incendie	10/08/2016	Hescamps	Somme	1	2008	Non	Un feu se déclare dans la partie haute d'une éolienne, au niveau du rotor.	Défaillance électrique		
Incendie	18/08/2016	Dargies	Oise	2	2014	Non	Un technicien de maintenance d'un parc éolien constate 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	Défaillance électrique		
Maintenance	14/09/2016	Les Grandes Chapelles	Aube	2,3	2009	Non	Un employé est électrisé alors qu'il intervient dans le nez d'une éolienne			Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Fissure sur une pale	11/01/2017	Le Quesnoy	Nord	-	-	-	Une fissure est constatée sur une pale. L'exploitant arrête l'installation. Réparation de la pale en place.		Base ARIA BARPI, mot clef « éolienne »	
Rupture de pale	12/01/2017	Tuchan	Aude	0,6	2002	Non	Lors d'un épisode de vents violents (25m/s) les 3 pales d'une éolienne chutent au sol. Des morceaux de fibre de carbone sont récupérés à 40 m de l'éolienne. L'éolienne était à l'arrêt pour maintenance suite à la casse de son arbre lent.	Tempête	Base ARIA BARPI, mot clef « mat »	
Chute d'une pale	18/01/2017	Nurlu	Somme	-	-	-	Rupture de 2/3 de la pale. Des débris sont retrouvés à 90 m du mat, les débris les plus lourds sont à moins de 27 m. L'accident est constaté par un particulier. L'exploitant arrête les machines, met le site en sécurité et met en place un périmètre de sécurité autour de la zone.	Tempête	Base ARIA BARPI, mot clef « éolienne »	
Rupture de pale	27/02/2017	Lavallée	Meuse	0,2			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	Un orage violent		
Rupture de pale	27/02/2017	Trayes	Deux-Sèvres				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, haut lui-même de 78 m.	Impact de la foudre et vent violent		
Incendie	06/06/2017	-	Eure et Loir	-	-	-	Un incendie se déclare dans la nacelle d'une éolienne.  L'incendie s'éteint seul, à la fin de la combustion de la nacelle.  L'incendie a été causé par un défaut électrique dans la nacelle.	Défaut électrique	Base ARIA BARPI, mot clef « éolienne »	
Rupture de pale	08/06/2017	-	Charente	-	-	-	Chute d'une partie d'une pale d'une éolienne suite à un impact de foudre (à 35 cm de l'extrémité, il a entraîné la rupture du bord de fuite puis une déchirure du fragment). Les débris sont tombés dans une zone de 50 à 100m autour du mât de l'éolienne.	Impact de foudre	Base ARIA BARPI, mot clef « éolienne »	

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute de pale	24/06/2017	-	Pas de calais	-	-	-	Rupture d'une pale d'une éolienne au niveau de la jonction avec le rotor. La pale chute à la verticale, au pied du mat. Les quelques débris projetés sont présents dans un rayon de 20 m.		Base ARIA BARPI, mot clef « éolienne »	
Chute d'éléments	17/07/2017	-	Seine-Maritime	-	-	-	Un aérofrein se détache d'une pale d'éolienne au pied du mât de 49 m. L'aérofrein défectueux est remplacé. 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.	Desserrage d'une vis anti rotation ayant entraîné la chute de l'aérofrein Problème de montage ou vibration	Base ARIA BARPI, mot clef « éolienne »	
Rupture d'une pale	05/08/2017	-	Aisne	-	-	-	Une pale d'éolienne se brise en son milieu et tombe au sol.	-	Base ARIA BARPI, mot clef « éolienne »	
Effondrement	03/01/2018	Bouin	Vendée	2,5	2003	Non	Suite au passage de la tempête Carmen, l'une des éoliennes du parc a été fracturée à la base de son mât ce qui a entraîné l'effondrement total de l'aérogénérateur.	Tempête Carmen	Ouest-France	
Rupture d'une pale	04/01/2018	Rampont 1	Nixéville-Blécourt	2.0	2008	-	L'extrémité d'une pale d'éolienne se rompt et tombe au sol.	Episode venteux	<a href="https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/50905/">https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/50905/</a>	
Rupture d'une pale	10/04/2018	Dio-et-Valquières	Hérault	1,7	2006	Non	La pale d'une éolienne s'est tordue jusqu'à casser sous l'effet d'un orage de pluie et de grêle.	Probablement vent violent ou foudre.	<a href="https://france3-regions.francetvinfo.fr">https://france3-regions.francetvinfo.fr</a>	
Incendie éolienne	01/06/2018	Marsanne	Drôme	2.0	2008		Une éolienne a été entièrement détruite par l'incendie volontaire, et une deuxième semble avoir été également visée par une tentative de mise à feu	Acte criminel	<a href="https://www.francebleu.fr">https://www.francebleu.fr</a>	
Incendie éolienne	03/08/2018	Izenave	Ain	2.0	2018	Oui	Une éolienne a été endommagée par l'incendie volontaire. Le feu a totalement ravagé une nacelle d'éolienne.	Acte criminel	<a href="https://france3-regions.francetvinfo.fr/auvergne-rhone-alpes/ain/bourg-bresse/incendie-parc-eolien-monts-ain-nouvel-acte-volontaire-1521548.html">https://france3-regions.francetvinfo.fr/auvergne-rhone-alpes/ain/bourg-bresse/incendie-parc-eolien-monts-ain-nouvel-acte-volontaire-1521548.html</a>	
Incendie éolienne	28/09/2018	Sauveterre	Tarn	2.0	2009	Non	L'accident a provoqué la destruction du rotor d'une éolienne et d'une pale, ainsi que de 4 hectares de broussailles situés au-dessous.	EDF EN communique sur un dysfonctionnement électrique. La piste criminelle est étudiée, une enquête a été lancée.	<a href="https://france3-regions.francetvinfo.fr/occitanie/tarn/albi/tarn-eolienne-partie-brulee-incendie-1549324.html">https://france3-regions.francetvinfo.fr/occitanie/tarn/albi/tarn-eolienne-partie-brulee-incendie-1549324.html</a>	
Effondrement	06/11/2018	La Mardelle	Loiret	3.0	2010	Oui	Une des éoliennes du parc s'est effondrée. La réhausse en béton n'a pas été touchée.	Défaillance mécanique menant à une rotation trop rapide des pales, ce qui a provoqué une surcharge.	<a href="https://www.francebleu.fr/infos/climat-environnement/eolienne-effondree-en-beauce-c-etait-un-probleme-mecanique-1545320529">https://www.francebleu.fr/infos/climat-environnement/eolienne-effondree-en-beauce-c-etait-un-probleme-mecanique-1545320529</a>	

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Incendie éolienne	03/01/2019	La Limouzinière	Loire Atlantique	2.05	2010	Oui	Le moteur de l'éolienne a pris feu. Le feu a endommagé la nacelle.		<a href="https://www.ouest-france.fr/pays-de-la-loire/nantes-44000/au-sud-de-nantes-le-moteur-d-une-eolienne-prend-feu-6157734">https://www.ouest-france.fr/pays-de-la-loire/nantes-44000/au-sud-de-nantes-le-moteur-d-une-eolienne-prend-feu-6157734</a>	
Rupture d'une pale	17/01/2019	Bambesch	Moselle	2.0	2007		Bris et projection de morceaux de pales.		<a href="https://www.republicain-lorrain.fr/edition-de-saint-avold-creutzwald/2019/01/30/bambiderstroff-parc-eolien-a-l-arret-suite-a-la-chute-d-un-bout-de-pale">https://www.republicain-lorrain.fr/edition-de-saint-avold-creutzwald/2019/01/30/bambiderstroff-parc-eolien-a-l-arret-suite-a-la-chute-d-un-bout-de-pale</a>	
Effondrement	23/01/2019	Boutavent	Oise	1.0	2011	Oui	Lors d'une coupure de réseau, les pâles ne se sont pas mises en drapeau alors que le système de freinage était éteint, entraînant survitesse jusqu'à ce qu'une des pales commence à se délaminer, provoquant un balourd suffisant pour fatiguer le mât au point de finir par le plier en deux	Défaillance menant à une rotation trop rapide des pales, ce qui a provoqué une surcharge	<a href="http://www.courrier-picard.fr/161828/article/2019-01-23/le-mat-dune-eolienne-se-plie-en-deux">http://www.courrier-picard.fr/161828/article/2019-01-23/le-mat-dune-eolienne-se-plie-en-deux</a> <a href="https://actu.fr/hauts-de-france/boutavent_60096/le-mat-dune-eolienne-se-casse-deux-dans-loise-debris-retrouves-dans-rayon-300-m_21026616.html">https://actu.fr/hauts-de-france/boutavent_60096/le-mat-dune-eolienne-se-casse-deux-dans-loise-debris-retrouves-dans-rayon-300-m_21026616.html</a>	
Chute de pale	30/01/2019	Roquetaillade	Aude	0.8	2008	Oui	Une pale d'éolienne se rompt et chute au sol		<a href="https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/53139/">https://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/accident/53139/</a>	
Incendie	25/06/2019	Ambon	Morbihan	1.67	2008	Non	Un incendie s'est déclenché dans la nacelle de l'éolienne à la suite d'une opération de maintenance au niveau du tableau électrique.	Un court-circuit s'est produit dans la nacelle.	<a href="https://france3-regions.francetvinfo.fr/bretagne/morbihan/vannes/ambon-eolienne-80-m-feu-1690654.html">https://france3-regions.francetvinfo.fr/bretagne/morbihan/vannes/ambon-eolienne-80-m-feu-1690654.html</a> <a href="https://www.ouest-france.fr/bretagne/vannes-56000/morbihan-le-feu-d-eolienne-d-origine-accidentelle-6417997">https://www.ouest-france.fr/bretagne/vannes-56000/morbihan-le-feu-d-eolienne-d-origine-accidentelle-6417997</a>	

Annexe 3 : Schémas unifilaires des 5 éoliennes



#### Annexe 4 : Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques

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

Le tableau générique issu de l'analyse préliminaire des risques est présenté de l'étude de dangers (Tableau 24 p.38). Il peut être considéré comme représentatif des scénarios d'accident pouvant potentiellement se produire sur les éoliennes et pourra par conséquent être repris à l'identique dans les études de danger.

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

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

###### Scénario G01

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

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

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

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

###### Scénario G02

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

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

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

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

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

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

- Découper l'installation en plusieurs parties : rotor, nacelle, mât, fondation et postes 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...);

- Perte de communication : le système de communication entre le parc éolien et le superviseur à distance du parc peut être interrompu pendant une certaine durée.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

###### Scénario F01

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

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

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

Deux événements peuvent être aggravants :

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

###### Scénario F02

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

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

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

Ce scénario est à adapter en fonction des produits utilisés.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

##### Scénario P01

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

##### Scénario P02

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

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

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

##### Scénarios P03

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

#### ❖ Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes

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 5 : Probabilité d'atteinte et Risque individuel

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Evènement redouté central	Borne supérieure de la classe de probabilité de l'ERC (pour les éoliennes récentes)	Degré d'exposition	Probabilité d'atteinte
Effondrement	$10^{-4}$	$10^{-2}$	$10^{-6}$ (E)
Chute de glace	1	$5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$ (A)
Chute d'éléments	$10^{-3}$	$1,8 \cdot 10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$ (D)
Projection de tout ou partie de pale	$10^{-4}$	$10^{-2}$	$10^{-6}$ (E)
Projection de morceaux de glace	$10^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-6}$	$1,8 \cdot 10^{-8}$ (E)

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

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

## Annexe 6 : Glossaire

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- les mesures (ou barrières) de limitation : mesures visant à limiter l'intensité des effets d'un phénomène dangereux
- les mesures (ou barrières) de protection : mesures visant à limiter les conséquences sur les enjeux potentiels par diminution de la vulnérabilité.

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

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

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

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

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

Attention aux confusions possibles :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**ICPE** : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement  
**SER** : Syndicat des Energies Renouvelables  
**FEE** : France Energie Eolienne (branche éolienne du SER)  
**INERIS** : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques  
**EDD** : Etude de danger  
**APR** : Analyse Préliminaire des Risques  
**ERP** : Etablissement Recevant du Public

#### Annexe 7 : Bibliographie et références utilisées

- [1] L'évaluation des fréquences et des probabilités à partir des données de retour d'expérience (ref DRA-11-117406-04648A), INERIS, 2011
- [2] NF EN 61400-1 Eoliennes – Partie 1 : Exigences de conception, Juin 2006
- [3] Wind Turbine Accident data to 31 March 2011, Caithness Windfarm Information Forum
- [4] Site Specific Hazard Assessment for a wind farm project – Case study – Germanischer Lloyd, Windtest Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH, 2010/08/24
- [5] Guide for Risk-Based Zoning of wind Turbines, Energy research centre of the Netherlands (ECN), H. Braam, G.J. van Mulekom, R.W. Smit, 2005
- [6] Specification of minimum distances, Dr-ing. Veenker ingenieurgesellschaft, 2004
- [7] Permitting setback requirements for wind turbine in California, California Energy Commission – Public Interest Energy Research Program, 2006
- [8] Oméga 10: Evaluation des barrières techniques de sécurité, INERIS, 2005
- [9] Arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement
- [10] Arrêté du 29 Septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de danger des installations classées soumises à autorisation
- [11] Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de danger, 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 danger 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., Leteurtrois 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