Demande d'autorisation unique du parc éolien des Portes de la Brenne

ETUDE DE DANGERS

Département : Indre

Communes: Vigoux, Celon, Argenton-sur-Creuse.

Maître d'Ouvrage : CENTRALE EOLIENNE DES PORTES DE LA BRENNE (CEBRE)

Assistant au Maître d'Ouvrage / Porteur de projet : VOL-V

Contact:

VOL-V

1350, avenue Albert Einstein

PAT Bât. 2

34 000 MONTPELLIER

Bureau d'études : ENCIS Environnement

Auteurs du document : VOL-V, SOLATERRA

Contact:

ENCIS Environnement

Ester Technopole

1, avenue d'Ester

87 069 LIMOGES

Tél.: 05.55.36.28.39



Fichier n° 5.1 : Etude de dangers



environnement

Bureau d'études en environnement
energies renouvelables et aménagement durable







Auteurs de l'étude de dangers

LOGOS	SOCIETES	DOMAINES D'INTERVENTION
	Centrale éolienne des Portes de la Brenne 1025 Avenue Henri Becquerel Parc Club Millénaire Bât. 4 34000 Montpellier	Maîtrise d'ouvrage
V O L - V	VOL-V SAS 1025 Avenue Henri Becquerel Parc Club Millénaire Bât. 4 34000 Montpellier Mail: info@vol-v.com Tél.: +33 (0)4 11 95 00 30 Fax: +33 (0)4 11 95 00 31	Assistance à maîtrise d'ouvrage Référents : - Arnaud GUYOT, Directeur Général - Loïc Alleaume
SOLATERRA L'énergie du soleil à la terre	SOLATERRA 9 allée Pierre de Fermat 63170 Aubière Mail: contact@solaterra.fr Tél.: +33 (0)4 73 28 77 02	Bureau d'études <u>Référent :</u> - Julien CALABRE



En cas de questions au sujet du présent dossier, contacter :







۹.	Etude	de dangers	10
1	. Intr	oduction	12
	1.1.	Objectif de l'étude de dangers	12
	1.2.	Contexte législatif et réglementaire	12
	1.3.	Nomenclature des installations classées	12
2	. Info	rmations générales concernant l'installation	13
	2.1.	Renseignements administratifs	13
	2.2.	Localisation du site	13
	2.3.	Définition de l'aire d'étude	13
3	. Des	cription de l'environnement de l'installation	15
	3.1.	Environnement humain	15
	3.1.1	L. Zones urbanisées	15
	3.1.2	2. Etablissements recevant du public (ERP)	17
	3.1.3	3. Installations ouvertes au public (IOP)	17
	3.1.4	1. Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et installations nucléaires de base.	17
	3.1.5	5. Autres activités	18
	3.2.	Environnement naturel	18
	3.2.2	L. Contexte climatique	18
	3.2.2	2. Risques naturels	18
	3.3.	Environnement matériel	19
	3.3.2	L. Voies de communication	19
	a.	Etat des lieux en situation normale	19
	b.	Etat des lieux en situation particulière	19
	3.3.2	2. Réseaux publics et privés	20
	3.3.3	3. Autres ouvrages publics	20
	3.4.	Choix méthodologique de prise en compte des enjeux	20
	3.5.	Cartographies de synthèse	21
	3.5.1	L. Situation normale	23
	3.5.2	2. Cas particulier 1	24
	3.5.3	3. Cas particulier 2	25
	3.5.4	1. Cas particulier 3	26
	3.5.5	5. Cas particulier 4	27
	3.5.6	5. Cas particulier 5	28

	3.5.7.	Cas particulier 6	29
1.	Descri	otion de l'installation	30
4	4.1. C	aractéristiques de l'installation	30
	4.1.1.	Caractéristiques générales d'un parc éolien	30
	a.	Eléments constitutifs d'un aérogénérateur	30
	b.	Emprise au sol	30
	c.	Chemins d'accès	31
	d.	Autres installations	31
	4.1.2.	Activité de l'installation	31
	4.1.3.	Considération d'un gabarit d'éolienne	31
	4.1.4.	Composition de l'installation	31
4	4.2. F	onctionnement des aérogénérateurs de l'installation	34
	4.2.1.	Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur	34
	4.2.2.	Sécurité de l'installation	34
	4.2.3.	Opérations de maintenance de l'installation	35
	4.2.4.	Stockage et flux de produits dangereux	35
4	4.3. F	onctionnement des réseaux de l'installation	35
	4.3.1.	Raccordement électrique	35
	a.	Réseau inter-éolien (RIE)	35
	b.	Poste(s) de livraison	35
	c.	Réseau électrique externe	35
	4.3.2. l'énerg	RIE et demande d'approbation de projet d'ouvrage privé au titre de l'article L. 323-11 du code de le	35
	a.	Caractéristiques techniques du RIE	36
	b.	Création du RIE	36
	c.	Prescriptions techniques à respecter	38
	d.	Prises en compte de l'environnement	39
	4.3.3.	Autres réseaux	39
5.	Identii	ication des potentiels de dangers de l'installation	39
!		otentiels de dangers liés aux produits	
!	5.2. P	otentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation	39
!	5.3. R	éduction des potentiels de dangers à la source	40
	5.3.1.	Principales actions préventives	40
	a.	Choix des caractéristiques des éoliennes	40
	b.	Choix de l'emplacement des installations	40
	5.3.2.	Utilisation des meilleures techniques disponibles	40
õ.	Analys	e des retours d'expérience	41



6.1.	Inventaire des accidents et incidents en France	41
6.1.	1. Retours d'expériences (mars 2012)	41
6.1.	2. Autres accidents et incidents plus récents	41
6.2.	Inventaire des accidents et incidents à l'international	41
6.3.	Accidents survenus sur les sites de l'exploitant	42
6.4.	Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience	42
6.4.	1. Analyse de l'évolution des accidents en France	42
6.4.	2. Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents	43
6.5.	Limites d'utilisation de l'accidentologie	43
7. Ana	alyse préliminaire des risques	43
7.1.	Objectif de l'analyse préliminaire des risques	43
7.2.	Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques	43
7.3.	Recensement des agressions externes potentielles	43
7.3.		
7.3.	2. Agressions externes liées aux phénomènes naturels	44
7.4.	Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques	44
7.5.	Effets dominos	46
7.6.	Mise en place des mesures de sécurité	46
7.7.	Conclusion de l'analyse préliminaire des risques	50
, , , ,	constasson ac . analyse p.cac acs risques	
	de détaillée des risques	
	de détaillée des risques	51
8. Etu	de détaillée des risques	51
8. Etu 8.1.	de détaillée des risques Rappel des définitions 1. Cinétique	515151
8. Etu 8.1. 8.1.	de détaillée des risques Rappel des définitions 1. Cinétique 2. Intensité	515151
8. Etu 8.1. 8.1. 8.1.	Rappel des définitions 1. Cinétique 2. Intensité 3. Gravité	51515151
8. Etu 8.1. 8.1. 8.1.	Rappel des définitions 1. Cinétique 2. Intensité 3. Gravité	5151515151
8. Etu 8.1. 8.1. 8.1. 8.1.	Rappel des définitions 1. Cinétique 2. Intensité 3. Gravité 4. Probabilité Situation normale - caractérisation des scénarios retenus 1. S1 - Effondrement de l'éolienne	5151515151515153
8. Etu 8.1. 8.1. 8.1. 8.1. 8.2.	Rappel des définitions 1. Cinétique 2. Intensité 3. Gravité 4. Probabilité Situation normale - caractérisation des scénarios retenus	5151515151515153
8. Etu 8.1. 8.1. 8.1. 8.1. 8.2.	Rappel des définitions 1. Cinétique 2. Intensité 3. Gravité 4. Probabilité Situation normale - caractérisation des scénarios retenus 1. S1 - Effondrement de l'éolienne 2. Zone d'effet	515151515151515153
8. Etu 8.1. 8.1. 8.1. 8.1. 8.2.	Rappel des définitions 1. Cinétique 2. Intensité 3. Gravité 4. Probabilité Situation normale - caractérisation des scénarios retenus 1. S1 - Effondrement de l'éolienne 2. Juntensité 3. Gravité 4. Probabilité 5. Juntensité	51515151515151515153
8. Etu 8.1. 8.1. 8.1. 8.2. 8.2.	Rappel des définitions 1. Cinétique 2. Intensité 3. Gravité 4. Probabilité Situation normale - caractérisation des scénarios retenus 1. S1 - Effondrement de l'éolienne 2. Intensité 3. Gravité 4. Probabilité 5. Gravité	5151515151515151515353
8. Etu 8.1. 8.1. 8.1. 8.2. a b	Rappel des définitions 1. Cinétique 2. Intensité 3. Gravité 4. Probabilité Situation normale - caractérisation des scénarios retenus 1. S1 - Effondrement de l'éolienne 2. Intensité 3. Gravité 4. Probabilité 5. Gravité 6. Probabilité	
8. Etu 8.1. 8.1. 8.1. 8.2. a b c	Rappel des définitions 1. Cinétique 2. Intensité 3. Gravité 4. Probabilité 5. Situation normale - caractérisation des scénarios retenus 6. Zone d'effet 7. Intensité 8. Intensité 9. Intensité 9. Intensité 9. Intensité 9. Acceptabilité	
8. Etu 8.1. 8.1. 8.1. 8.2. 6 6 6	Rappel des définitions 1. Cinétique 2. Intensité 3. Gravité 4. Probabilité 5ituation normale - caractérisation des scénarios retenus 1. S1 - Effondrement de l'éolienne 2. Intensité 3. Gravité 4. Probabilité 5. Intensité 6. Probabilité 7. Acceptabilité 7. S2 - Chute de glace	
8. Etu 8.1. 8.1. 8.1. 8.2. 6 6 6 8.2.	Rappel des définitions 1. Cinétique 2. Intensité 3. Gravité 4. Probabilité 5. Situation normale - caractérisation des scénarios retenus 1. S1 - Effondrement de l'éolienne 1. Zone d'effet 1. Intensité 1. Intensité 1. Probabilité 1. Acceptabilité 1. Acceptabilité 1. Considérations générales	
8. Etu 8.1. 8.1. 8.1. 8.2. 6 6 6 8.2.	Rappel des définitions 1. Cinétique 2. Intensité 3. Gravité 4. Probabilité 5. Situation normale - caractérisation des scénarios retenus 1. S1 - Effondrement de l'éolienne 1. Zone d'effet 1. Intensité 1. Gravité 1. Probabilité 1. Acceptabilité 1. Acceptabilité 1. S2 - Chute de glace 1. Considérations générales 1. Considérations générales 1. Zone d'effet	

e.	Probabilité	54
f.	Acceptabilité	54
8.2.3.	S3 - Chute d'éléments de l'éolienne	55
a.	Zone d'effet	55
b.	Intensité	55
с.	Gravité	55
d.	Probabilité	55
e.	Acceptabilité	55
8.2.4.	S4 - Projection de pales ou de fragments de pales	56
a.	Zone d'effet	56
b.	Intensité	56
c.	Gravité	56
d.	Probabilité	56
e.	Acceptabilité	57
8.2.5.	S5 - Projection de glace	57
a.	Zone d'effet	57
b.	Intensité	57
с.	Gravité	57
d.	Probabilité	58
e.	Acceptabilité	58
f.	Décote de la probabilité de survenance et mesures complémentaires pour l'acceptabilité du risque	58
8.3. C	as particulier 1 - caractérisation des scénarios retenus	61
8.3.1.		
	S1 - Effondrement de l'éolienne	61
a.	S1 - Effondrement de l'éolienne	
a. b.		61
	Gravité	61
b.	Gravité	61 61
b. 8.3.2.	Gravité	616161
b. 8.3.2. a.	Gravité	61616161
b. 8.3.2. a. b.	Gravité Acceptabilité S2 - Chute de glace Gravité Acceptabilité	61 61 61 62
b. 8.3.2. a. b. 8.3.3.	Gravité	61 61 61 62 62
b. 8.3.2. a. b. 8.3.3.	Gravité	616161626262
b. 8.3.2. a. b. 8.3.3. a. b.	Gravité	61616162626262
b. 8.3.2. a. b. 8.3.3. a. b. 8.3.4.	Gravité	6161616262626262
b. 8.3.2. a. b. 8.3.3. a. b. 8.3.4.	Gravité	61616262626262
b. 8.3.2. a. b. 8.3.3. a. b. 8.3.4. a. b.	Gravité	6161626262626363



c.	Décote de la probabilité de survenance et mesures complémentaires pour l'acceptabilité du risque64	b.	Acceptabilité
8.4.	Cas particulier 2 - caractérisation des scénarios retenus	8.6.2	. S2 - Chute de glace .
8.4.1	S1 - Effondrement de l'éolienne66	a.	Gravité
a.	Gravité66	b.	Acceptabilité
b.	Acceptabilité	8.6.3	. S3 - Chute d'élémen
8.4.2	S2 - Chute de glace66	a.	Gravité
a.	Gravité66	b.	Acceptabilité
b.	Acceptabilité67	8.6.4	. S4 - Projection de pa
8.4.3	S3 - Chute d'éléments de l'éolienne67	a.	Gravité
a.	Gravité67	b.	Acceptabilité
b.	Acceptabilité67	8.6.5	. S5 - Projection de gl
8.4.4	S4 - Projection de pales ou de fragments de pales67	a.	Gravité
a.	Gravité67	b.	Acceptabilité
b.	Acceptabilité68	c.	Décote de la probabilit
8.4.5	S5 - Projection de glace68	8.7.	Cas particulier 5 - caracté
a.	Gravité68	8.7.1	. S1 - Effondrement d
b.	Acceptabilité68	a.	Gravité
c.	Décote de la probabilité de survenance et mesures complémentaires pour l'acceptabilité du risque69	b.	Acceptabilité
8.5.	Cas particulier 3 - caractérisation des scénarios retenus	8.7.2	. S2 - Chute de glace .
8.5.1	. S1 - Effondrement de l'éolienne71	a.	Gravité
a.	Gravité71	b.	Acceptabilité
b.	Acceptabilité	8.7.3	. S3 - Chute d'élémen
8.5.2	S2 - Chute de glace71	a.	Gravité
a.	Gravité71	b.	Acceptabilité
b.	Acceptabilité	8.7.4	. S4 - Projection de pa
8.5.3	S3 - Chute d'éléments de l'éolienne	a.	Gravité
a.	Gravité	b.	Acceptabilité
b.	Acceptabilité	8.7.5	. S5 - Projection de gl
8.5.4	. S4 - Projection de pales ou de fragments de pales72	a.	Gravité
a.	Gravité72	b.	Acceptabilité
b.	Acceptabilité	с.	Décote de la probabilit
8.5.5	S5 - Projection de glace	8.8.	Cas particulier 6 - caracté
a.	Gravité	8.8.1	. S1 - Effondrement d
b.	Acceptabilité	a.	Gravité
8.6.	Cas particulier 4 - caractérisation des scénarios retenus	b.	Acceptabilité
8.6.1	S1 - Effondrement de l'éolienne	8.8.2	. S2 - Chute de glace .
a.	Gravité75	a.	Gravité

D.	Acceptubilite	/3
8.6.2.	S2 - Chute de glace	75
a.	Gravité	75
b.	Acceptabilité	76
8.6.3.	S3 - Chute d'éléments de l'éolienne	76
a.	Gravité	76
b.	Acceptabilité	76
8.6.4.	S4 - Projection de pales ou de fragments de pales	76
a.	Gravité	76
b.	Acceptabilité	77
8.6.5.	S5 - Projection de glace	77
a.	Gravité	77
b.	Acceptabilité	77
с.	Décote de la probabilité de survenance et mesures complémentaires pour l'acceptabilité du risque	78
8.7. C	as particulier 5 - caractérisation des scénarios retenus	80
8.7.1.	S1 - Effondrement de l'éolienne	80
a.	Gravité	80
b.	Acceptabilité	80
8.7.2.	S2 - Chute de glace	80
a.	Gravité	80
b.	Acceptabilité	81
8.7.3.	S3 - Chute d'éléments de l'éolienne	81
a.	Gravité	81
b.	Acceptabilité	81
8.7.4.	S4 - Projection de pales ou de fragments de pales	81
a.	Gravité	81
b.	Acceptabilité	82
8.7.5.	S5 - Projection de glace	82
a.	Gravité	82
b.	Acceptabilité	82
с.	Décote de la probabilité de survenance et mesures complémentaires pour l'acceptabilité du risque	83
8.8. C	as particulier 6 - caractérisation des scénarios retenus	85
8.8.1.	S1 - Effondrement de l'éolienne	85
a.	Gravité	85
b.	Acceptabilité	85
8.8.2.	S2 - Chute de glace	85
a.	Gravité	85

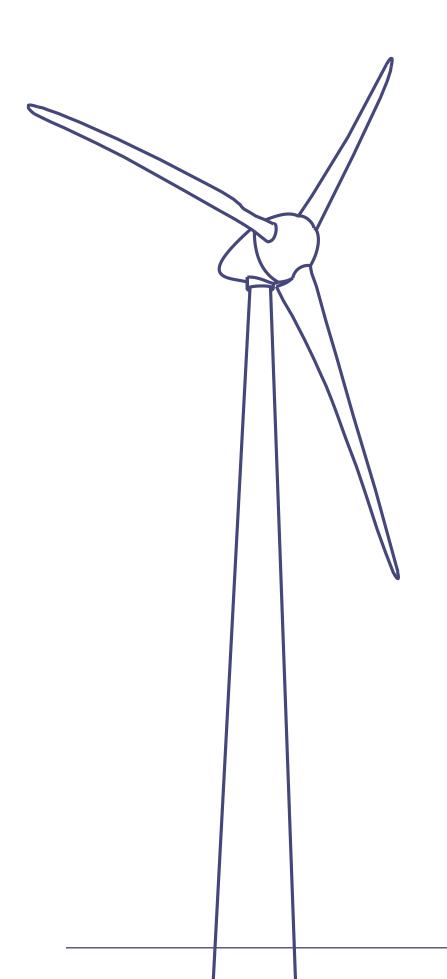


b.	Acceptabilité	86
8.8.3.	S3 - Chute d'éléments de l'éolienne	86
a.	Gravité	86
b.	Acceptabilité	86
8.8.4.	S4 - Projection de pales ou de fragments de pales	86
a.	Gravité	86
b.	Acceptabilité	87
8.8.5.	S5 - Projection de glace	87
a.	Gravité	87
b.	Acceptabilité	87
c.	Décote de la probabilité de survenance et mesures complémentaires pour l'acceptabilité du risque	88
8.9. S	ynthèse de l'étude détaillée des risques	90
8.9.1.	Tableaux de synthèse des scénarios étudiés	90
a.	Situation normale	90
b.	Cas particulier 1	90
C.	Cas particulier 2	90
d.	Cas particulier 3	91
e.	Cas particulier 4	91
f.	Cas particulier 5	92
g.	Cas particulier 6	92
h.	Synthèse majorante pour les différentes situations	93
8.9.2.	Synthèse de l'acceptabilité des risques	93
a.	Situation normale	94
b.	Cas particulier 1	94
С.	Cas particulier 2	94
d.	Cas particulier 3	95
e.	Cas particulier 4	95
f.	Cas particulier 5	96
g.	Cas particulier 6	96
h.	Synthèse majorante des différentes situations	97
8.9.3.	Cartographies des risques	97
a.	Situation normale	98
b.	Cas particulier 1	99
С.	Cas particulier 2	100
d.	Cas particulier 3	101
e.	Cas particulier 4	102
f.	Cas particulier 5	103

	g	Cas particulier 6	104
9	. Con	clusion	105
В.	Annex	es à l'étude de dangers	107
1	. ANI	NEXE 1 – Méthode et détails par éolienne de comptage du nombre de personnes exposées	109
	1.1.	Méthode de comptages	109
	1.1.	1. Terrains non bâtis	109
	1.1.2	2. Voies de circulation	109
	а	Voies de circulation automobiles	109
	b	Voies ferroviaires	109
	c.	Voies navigables	109
	d	Chemins et voies piétonnes	109
	1.1.3	3. Logements	109
	а	Etablissements recevant du public (ERP)	109
	b	Zones d'activités	109
2	. ANI	NEXE 2 – Cartographies et calculs détaillés des risques par éolienne et situation	110
	2.1.	Situation normale	110
	2.2.	Cas particulier 1	118
	2.3.	Cas particulier 2	123
	2.4.	Cas particulier 3	128
	2.5.	Cas particulier 4	133
	2.6.	Cas particulier 5	138
	2.7.	Cas particulier 6	143
3	. ANI	NEXE 3 — Tableau de l'accidentologie française	148
4	. ANI	NEXE 4 – Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques	151
	4.1.	Scénarios relatifs aux risques liés à la glace (G01, G02)	151
	4.1.3	1. Scénario G01	151
	4.1.2	2. Scénario G02	151
	4.2.	Scénarios relatifs aux risques d'incendie (I01 à I07)	151
	4.3.	Scénarios relatifs aux risques de fuites (F01 à F02)	151
	4.3.	1. Scénario F01	151
	4.3.2	2. Scénario F02	152
	4.4.	Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments (CO1 à CO3)	
	4.5.	Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales (P01 à P06)	
	4.5.		
	4.5.2		
	4.5.3		
	4.6.	Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E01 à E10)	152



5.	Annexe 5 – Probabilité d'atteinte et risque individuel	152
6.	ANNEXE 6 –Glossaire et bibliographie	154
6	6.1. Définitions	154
6	6.2. Sigles	155
6	6.3. Bibliographie et références utilisées	155
7.	ANNEXE 7: Accidents et incidents depuis mars 2012 (base ARIA)	156
	ANNEXE 8 : Modélisation du risque de chute et de projection de glace « IceFa	
9.	ANNEXE 9 : Plan(s) détaillé(s) du réseau inter-éolien, dont coupes types de trans	chées166







1. Introduction

1.1. Objectif de l'étude de dangers

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

Cette étude est proportionnée aux risques présentés par les éoliennes en projet. Le choix de la méthode d'analyse utilisée et la justification des mesures de prévention, de protection et d'intervention sont adaptés à la nature et la complexité des installations et de leurs risques.

Elle précise l'ensemble des mesures de maîtrise des risques mises en œuvre sur le parc éolien étudié 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 législatif et réglementaire

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

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

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

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

- Description de l'environnement et du voisinage
- Description des installations et de leur fonctionnement

- Identification et caractérisation des potentiels de danger, estimation des conséquences de la concrétisation des dangers, réduction des potentiels de danger
- Enseignements tirés du retour d'expérience (des accidents et incidents représentatifs)
- Analyse préliminaire des risques
- Etude détaillée de réduction des risques : quantification et hiérarchisation des différents scénarios en termes de gravité, de probabilité et de cinétique de développement en tenant compte de l'efficacité des mesures de prévention et de protection, représentation cartographique
- Résumé non technique de l'étude des dangers : il figure en pièce jointe n°6 « Résumés non technique ».

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

Enfin, comme stipulé dans le CERFA n° 15293*01 de la Demande d'Autorisation Unique, l'étude des dangers comporte les éléments justifiant de la conformité des liaisons électriques intérieures avec la réglementation technique en vigueur [II de l'art.6 du décret n° 2014-450], dès lors que le projet nécessite une approbation de projet d'ouvrage privé au titre de l'article L. 323-11 du code de l'énergie (cf. chapitre 4.3 du présent document).

1.3. Nomenclature des installations classées

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

	A Nomenclature des installations classées			
N°	DÉSIGNATION DE LA RUBRIQUE	A, E, D, S, C (1)	RAYON (2)	
2980	Installation terrestre de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs : 1. Comprenant au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m	A A D	6	
L. 512-11 du	risation, E : enregistrement, D : déclaration, S : servitude d'utilité publique, C : code de l'environnement. d'affichage en kilomètres.	soumis au contrôle pério	odique prévu par l'article	

Figure 1 : Extrait de la nomenclature des installations classées (source : rubrique 2980 de la nomenclature des installations classées)

Le parc éolien étudié comprend au moins un aérogénérateur dont le mât (nacelle comprise) a une hauteur supérieure ou égale à 50 m : cette installation est donc soumise à autorisation (A) au titre des installations classées pour la protection de l'environnement et doit présenter une étude de dangers au sein de sa demande d'autorisation d'exploiter. Il nécessite de plus une approbation de construction et de l'exploitation des ouvrages de transport et de distribution d'électricité (art. L 323-11 code de l'énergie).



2. Informations générales concernant l'installation

2.1. Renseignements administratifs

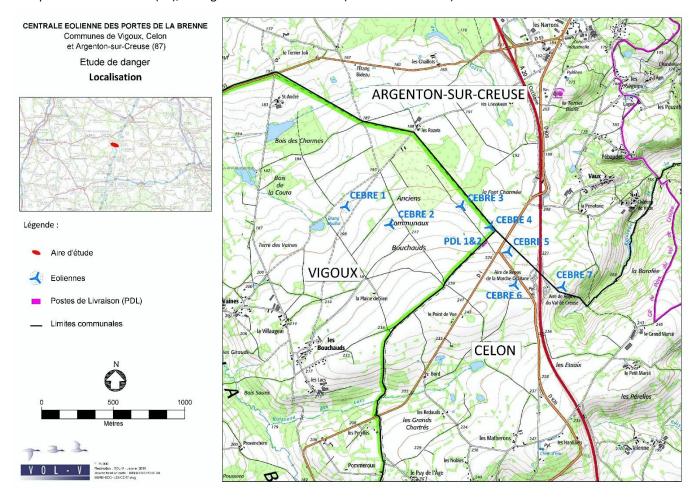
Les renseignements administratifs concernant le projet éolien étudié sont détaillés en pièce jointe n°1 « Description de la demande ». Les caractéristiques de la société mère et de la société projet sont résumées dans le tableau suivant :

Société mère contrôlant la société projet : SAS VOL-V						
Statut juridique	Société par actions simplifiées					
Capital	18 901 667 € - RCS Montpellier 521 686 064					
Code APE	7112B					
N° SIRET	512 686 064 00019					
Effectif	13 salariés (holding) + 22 salariés (filiale)					
Nombre de jours ouvrés / an	253 jours					
Horaires	9h-13h et 14h-18h et 17h le vendredi					
Adresse du siège social	1350, avenue Albert Einstein, PAT Bât 2, 34000 MONTPELLIER					
Téléphone	04 11 95 00 30					
Fax	04 11 95 00 31					
Nom et qualité du signataire de la demande	M. Arnaud GUYOT, Directeur Général					
Nom et coordonnées de la personne ayant réalisé l'étude de dangers	M. Julien CALABRE, chef de projet <u>j.calabre@solaterra.fr</u> 04 73 28 77 02					
Société projet, exploitante du p	arc éolien : Centrale Eolienne des Portes de la Brenne					
Statut juridique	Société par Actions Simplifiées					
Capital	10 000 € - RCS Montpellier 810 757 542					
Code APE	3511Z : Production d'électricité					
N° SIRET	810 757 542 00016					
Adresse	1350, avenue Albert Einstein, PAT Bât 2, 34000 MONTPELLIER					
Téléphone	04 11 95 00 30					
Fax	04 11 95 00 31					

Tableau 1 : Présentation de la société mère et de la société projet (source : Vol-V)

2.2. Localisation du site

Le parc éolien, composé de 7 aérogénérateurs, est localisé sur les communes de Vigoux, Celon et Argenton-sur-Creuse, dans le département de l'Indre (36), en région Centre Val de Loire (cf. carte ci-dessous).



Carte 1 : Localisation du projet éolien (source : VOL-V)

2.3. Définition de l'aire d'étude

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

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

L'aire d'étude n'intègre pas les environs du poste de livraison, qui sera néanmoins représenté sur la carte. Les expertises réalisées dans le cadre de la présente étude ont en effet montré l'absence d'effet à l'extérieur du poste de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter.

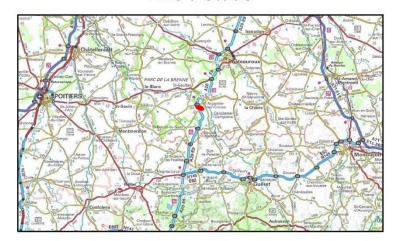
Chaque éolienne de l'installation étudiée est identifiée par son numéro d'équipement : CEBRE 01 à CEBRE 07.



CENTRALE EOLIENNE DES PORTES DE LA BRENNE Communes de Vigoux, Celon et Argentonsur-Creuse (36)

Etude de danger

Aire d'étude



Légende :

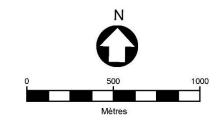


Aire d'étude (500 m)

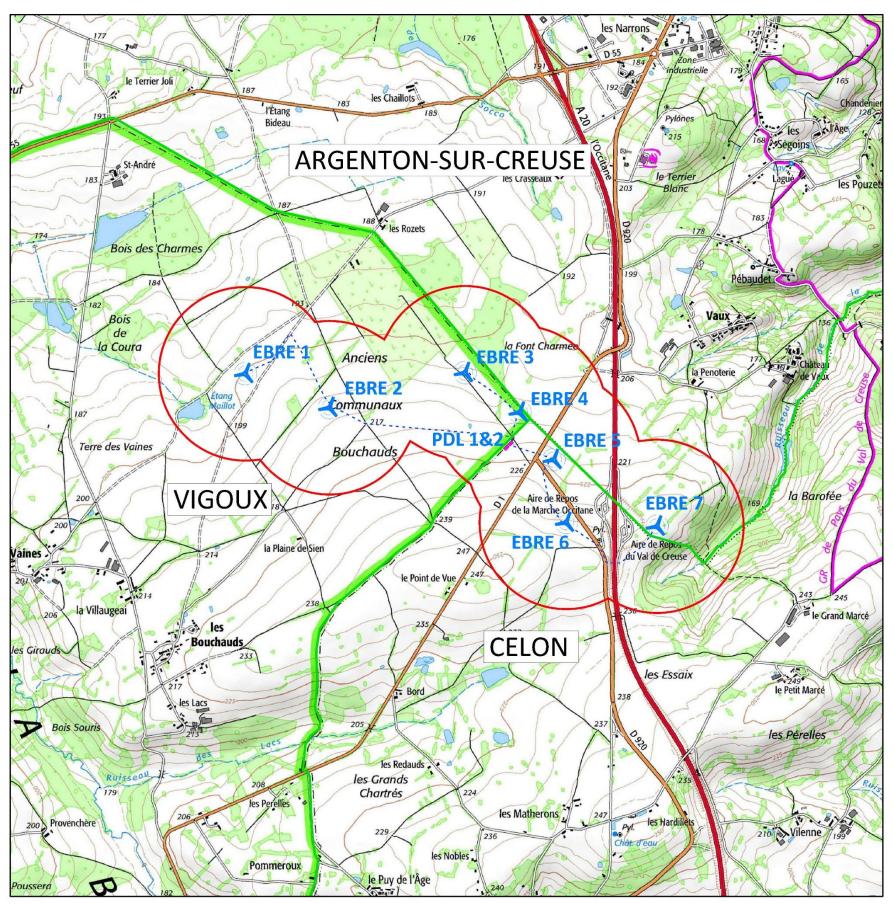


Eoliennes

- ---- Réseau Electrique sous terrain Inter-éolienne
- Postes de Livraison (PDL)
- Limites communales







Carte 2 : Localisation du projet éolien et de l'aire d'étude (source : VOL-V)



3. Description de l'environnement de l'installation

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

3.1. Environnement humain

3.1.1. Zones urbanisées

Il n'y a aucune zone urbanisée au sein de l'aire d'étude de l'installation. Les zones urbanisées situées à proximité concernent les communes de Vigoux, Celon et Argenton-sur-Creuse. L'organisation spatiale des populations est marquée principalement par un regroupement des habitations au sein de bourgs et hameaux. Toutefois, quelques habitations isolées persistent comme La Plaine de Sien, Les Rozets et Le Point de Vue.

Population	Vigoux	Celon	Argenton- sur-Creuse
Nombre d'habitants	460	402	5021
Densité de la population (hab./km²)	12,3	23,6	171,1
Superficie (en km²)	37,5	17,0	29,3
Taux moyen annuel de variation de la population entre 2007 et 2012 (en %)	-0,2	0,9	-0,6

Tableau 2 : Nombre d'habitants dans les communes (source : INSEE 2012)

L'ensemble des communes dispose d'un document d'urbanisme, à savoir une carte communale pour Vigoux et un plan local d'urbanisme pour les communes de Celon et Argenton-sur-Creuse.

Les distances entre les éoliennes de l'installation et les habitations ou zones urbanisées/urbanisables les plus proches (Cf. fichier 4.1. Etude d'impact sur l'environnement, au chapitre « 6.2.2.5. Impact de l'exploitation sur l'habitat ») sont présentées ci-dessous (cf. carte ci-après) :

Eolienne	Habitation/hameau ou zone urbanisée/urbanisable la plus proche de l'éolienne	Distance (m)
CEBRE 01	Habitation isolée au sud du hameau « Les Rozets »	851
CEBRE 02	La Plaine de Sien	762
CEBRE 03	Les Rozets	869
CEBRE 04	Vaux	1028
CEBRE 05	Le Point de Vue	872
CEBRE 06	Le Point de Vue	671
CEBRE 07	La Penoterie	813

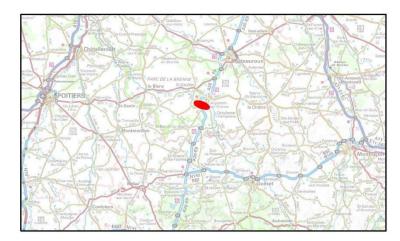
Tableau 3: Distance aux habitations ou aux zones urbanisables les plus proches (source : VOL-V)



CENTRALE EOLIENNE DES PORTES DE LA BRENNE Communes de Vigoux, Celon et Argentonsur-Creuse (87)

Etude de danger

Distance aux habitations



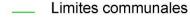
Légende :

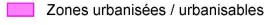


Aire d'étude



Eoliennes

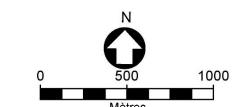




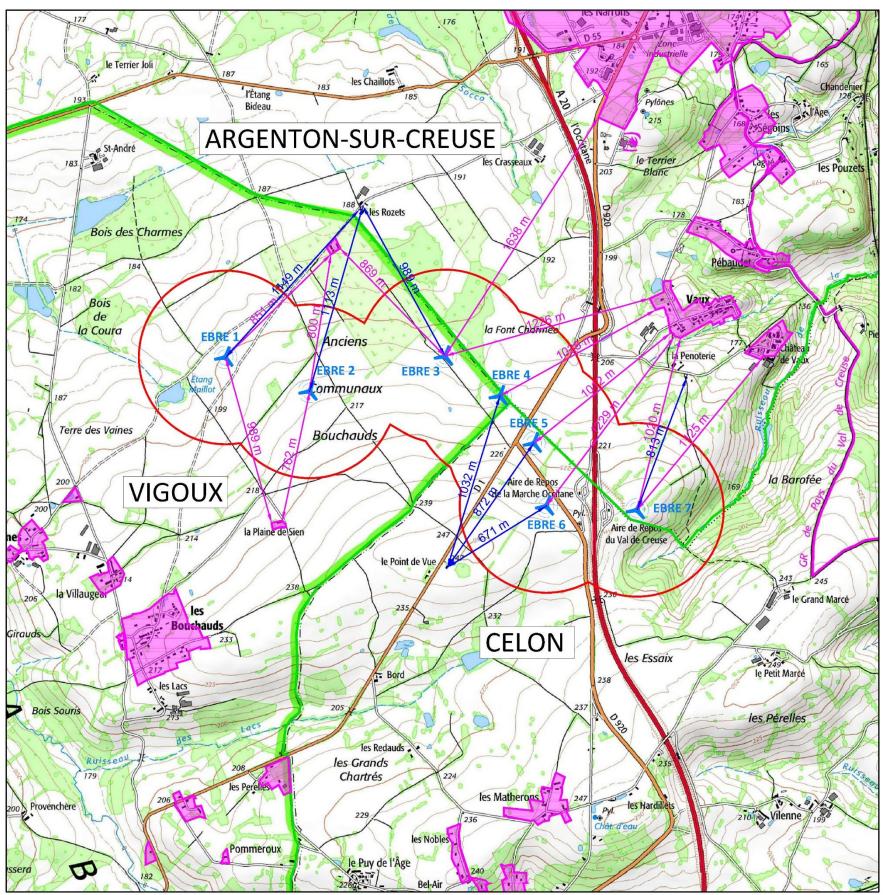
Distance de la zone

urbanisée/urbanisable la plus proche

Distance de l'habitation la plus proche







Carte 3 : Distances aux habitations et zones urbanisées/urbanisables les plus proches (source : VOL-V)



3.1.2. Etablissements recevant du public (ERP)

Conformément à l'article R.123-2 du Code de la Construction et de l'Habitation, constituent des établissements recevant du public (ERP) tous bâtiments, locaux et enceintes dans lesquels des personnes sont admises, soit librement, soit moyennant une rétribution ou une participation quelconque, ou dans lesquels sont tenues des réunions ouvertes à tout venant ou sur invitation, payantes ou non. Cette classification a pour objectif l'application de règles de sécurité permettant de limiter les risques d'incendie, d'alerter les occupants lorsqu'un sinistre se déclare, de favoriser l'évacuation des personnes tout en évitant la panique ainsi que d'alerter les services de secours et faciliter leur intervention. Tous les ERP ne présentent pas les mêmes caractéristiques de taille, de destination, d'usage et de risques. Ils sont donc répartis en types selon la nature de leur exploitation, classés en catégories d'après l'effectif du public et du personnel (article R.123-14 du Code de la Construction et de l'Habitation). Ils sont soumis à des dispositions générales communes ainsi qu'à des dispositions particulières qui leur sont propres issues du Règlement de sécurité contre l'incendie et relatif aux établissements recevant du public.

Aucun établissement recevant du public (ERP) n'est localisé à l'intérieur de l'aire d'étude de l'installation projetée.

3.1.3. Installations ouvertes au public (IOP)

A l'intérieur de l'aire d'étude de l'installation projetée sont localisés deux équipements accessibles au public : il s'agit de l'aire de repos de la Marche Occitane (sens de circulation Vierzon à Montauban ; située à l'ouest de l'A20) et l'aire de repos du Val de Creuse (sens de circulation Montauban à Vierzon ; située à l'est de l'A20). Ces deux aires de repos sont constituées d'aires de stationnement de véhicules ainsi que de locaux sanitaires. Aucune autre installation n'est répertoriée au sein de ces aires de repos.

Considérant la jurisprudence en la matière (« Toilettes publiques » : Cour administrative d'appel de Bordeaux, <u>Arrêt n°10BX02183</u>, 14 février 2012 / « Les espaces extérieurs - non clôts - d'une station-service » : Cour administrative d'appel de Bordeaux, <u>Arrêt du 20 décembre 2011</u>, n°11BX00342 / « Aires d'accueil des gens du voyage » : Cour administrative d'appel de Bordeaux, <u>Arrêt du 8 juillet 2008</u>, n°07BX00172 ; Cour administrative d'appel de Nantes, <u>Arrêt du 17 février 2012</u>, n°11NT01410), ces deux aires de repos ne sont pas considérées comme des ERP mais relèvent de la notion d'Installation Ouverte au Public (IOP). Une IOP n'a pas de définition précise mais on peut retenir le fait qu'il s'agit d'un équipement non concerné par les règles de sécurité incendie mais uniquement par celles relatives à l'accessibilité aux personnes à mobilité réduite.

La capacité d'accueil du public de ces aires de repos n'est pas définie et connue. D'après la Direction Interrégionale des Routes Centre Ouest (DIRCO), le nombre de stationnements disponibles se répartit de la manière suivante :

Aire de repos	Nombre de stationnements pour véhicules légers	Nombre de stationnements pour caravanes	Nombre de stationnements pour poids-lourds
Marche occitane	43	5	14
Val de creuse	43	5	14
Total	86	10	28

Tableau 4 : Capacité maximale de stationnement pour les aires de repos (source : Vol-V)

Il a donc été choisi de retenir une approche majorante qui considère la capacité d'accueil maximale des deux aires de repos. Par hypothèse, la capacité maximale d'accueil du public de ces deux aires de repos est calculée comme suit :

- Pour le stationnement de véhicules légers : on considère 5 personnes par véhicule, soit un total de 430 personnes présentes simultanément et au maximum sur les deux aires de repos ;
- Pour le stationnement de caravanes : on considère 5 personnes par véhicule, soit un total de 50 personnes présentes simultanément et au maximum sur les deux aires de repos ;
- Pour le stationnement de poids-lourds : on considère 1 personne par véhicule, soit un total de 28 personnes présentes simultanément et au maximum sur les deux aires de repos.

La capacité maximale d'accueil des deux aires de repos est donc estimée à 508 personnes. Sachant que la superficie cadastrale des deux aires de repos est d'environ 10,5 hectares, on définit le nombre maximal de personnes exposées à 48

personnes à l'hectare. On précise que ces deux aires de repos ne sont pas ouvertes au stationnement de transport de matières dangereuses.

La distance entre les éoliennes les plus proches (à savoir CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07) et les deux aires de repos est présentée dans le tableau ci-dessous. Ainsi, on distingue les distances minimales aux limites cadastrales des aires de repos et celles aux aires de stationnement les plus proches des éoliennes.

Eolienne	Aire de repos de la	a Marche Occitane	Aire de repos du Val de Creuse		
Loneinie	Limite cadastrale	Aire de stationnement	Limite cadastrale	Aire de stationnement	
CEBRE05	280 m	333 m	-	540 m	
CEBRE06	85 m	180 m	-	326 m	
CEBRE07	-	302 m	70 m	140 m	

Tableau 5 : Distance des éoliennes les plus proches aux aires de repos (source : Vol-V)

A noter que dans le cadre d'une gestion de crise routière sur l'autoroute A20, ces deux aires de repos peuvent être mobilisées pour le stockage de véhicules même si elles ne correspondent pas à des aires officielles inscrites dans le Plan de Gestion du Trafic A20 (PGT A20) mais seulement à des aires de fait. En plus des places de stationnement existantes au sein même des aires de repos sont utilisées pour le stationnement des véhicules les bretelles d'accès aux aires ainsi qu'une des deux voies du tronçon de l'autoroute A20. Ce cas particulier intervient principalement dans le cas d'épisode neigeux associé à une interdiction de circulation des poids-lourds. Aucune information relative aux statistiques (nombre, fréquence) de survenance de cette mesure ne nous a été transmis par la Direction Interrégionale des Routes Centre Ouest (DIRCO). On rappelle qu'il ne s'agit pas d'aires officielles inscrites dans le Plan de Gestion du Trafic A20 (PGT A20).

Ainsi, pour ce cas particulier, le nombre de personnes exposées a été estimé en prenant en compte la capacité maximale d'accueil de chaque aire de repos ainsi que la capacité maximale de stockage de poids-lourds sur la voie dédiée à ce stationnement au niveau des bretelles d'accès et du tronçon de l'autoroute A20 compris dans la zone d'étude. La capacité maximale de stockage de poids-lourds sur la voie dédiée à ce stationnement au niveau des bretelles d'accès et du tronçon de l'autoroute A20 est calculée selon l'approche majorante suivante :

1 personne exposée pour 66 m² de surface de stationnement

Sachant qu'on considère :

1 chauffeur par poids-lourd, soit 1 personne exposée

Une longueur maximale de 17 mètres et une largueur maximale de 4 mètres pour un poids-lourd, soit une surface de 66 m²

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

Il n'y a aucune installation classée pour la protection de l'environnement et aucune installation nucléaire de base à l'intérieur de l'aire d'étude du projet de parc éolien.

NB: D'après la consultation de la base de données du Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, seule la commune d'Argenton-sur-Creuse compte 3 établissements relevant du régime ICPE et ne relevant pas du statut SEVESO. Les zones de dangers potentielles de ces installations ne touchent pas l'aire d'étude du parc éolien projeté et les deux installations les plus proches sont les suivantes :

- Pâtisserie Michel Kremer (SAS), ICPE soumise à Enregistrement, en fonctionnement, activité « Fabrication de produits alimentaires », situé à plus de 2,3 km au Nord-est de CEBRE 03 ;
- Lenzi, ICPE soumise à Autorisation, en fonctionnement, activité « Fabrication d'équipements électriques », situé à plus de 2 km au Nord de CEBRE 03.



3.1.5. Autres activités

L'ensemble de l'aire d'étude est uniquement concerné par une activité agricole liée à l'élevage extensif bovin et aux grandes cultures (céréales). Aucun circuit de randonnée n'y est présent.

Aucune autre activité n'est recensée au sein de l'aire d'étude, comme par exemple une activité de loisir. Pour information, l'étang Maillot, situé à l'intérieur de l'aire d'étude, est une propriété privée appartenant à un exploitant agricole engagé dans le projet de parc éolien des Portes de la Brenne et son utilisation ne relève pas d'une activité halieutique de loisir. L'étang Maillot a pour principal usage l'abreuvement des bovins pâturant sur les prairies contiguës exploitées par le même exploitant agricole.

3.2. Environnement naturel

3.2.1. Contexte climatique

Les données climatiques locales sont détaillées dans le fichier 4.1 « Etude d'impact sur l'environnement », au chapitre « 3.1.1 Contexte climatique ». Elles sont issues de deux stations météorologiques, la station de Châteauroux à environ 44 km au Nordest de l'aire d'étude et celle de La Souterraine située au Sud-Est de l'aire d'étude, à environ 30 km. Dans le cas présent, on présentera uniquement les données météorologiques issues de la station de Châteauroux qui se trouve à une altitude de 158 m NGF, comparable à l'altitude de l'aire d'étude. Un mât de mesure a également été installé sur le site depuis mars 2015 afin d'évaluer précisément le gisement éolien. Il culmine à 101 mètres de hauteur et est équipé de 2 girouettes (placées à 80 et 99 mètres de hauteur) et de 4 anémomètres (placés à 60, 80, 99 et 101 mètres de hauteur). La campagne de mesure durera de 18 à 36 mois.

En résumé, l'aire d'étude bénéficie d'un climat tempéré avec des influences océaniques.

- La température moyenne annuelle est de 11,8°C sur la période 1981-2010. 40,5°C est la température maximale enregistrée. -22,8°C est la température minimale enregistrée. L'amplitude thermique moyenne est d'environ 16°C. On compte, en moyenne, 50,8 jours de gel.
- **Les précipitations** sont relativement importantes tout au long de l'année, avec une hauteur moyenne annuelle de 737 mm. On compte plus de 7 jours de neige par an. La grêle est peu fréquente (1,4 jours/an) et le brouillard est présent en moyenne 37,8 jours/an.
- Le gisement éolien peut être qualifié de moyen (environ 5 m/s à 80 m selon la Schéma Régional Eolien). Il s'agit d'un régime atlantique, avec un régime principal Sud-Ouest et un régime secondaire Nord-Est. A partir des données issues du mât de mesure sur la période de mars à fin décembre 2015, on observe une vitesse moyenne du vent de 6,24 m/s à 101 mètres de hauteur. La rose des vents en fréquence présentée ci-dessous illustre la présence des deux régimes de vent évoqués plus haut.

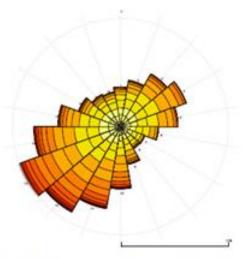


Figure 2: rose des vents des données Merra, EBRE, 1995-2014

Rose des vents en fréquence (source : VOL-V d'après données MERRA)

3.2.2. Risques naturels

Les risques naturels sont détaillés dans le fichier 4.1 « Etude d'impact sur l'environnement », au chapitre « 3.1.6. Risques naturels » selon la base de données Prim.net. Ils sont résumés ci-après.

- **Sismicité**: le risque sismique est faible sur l'aire d'étude (niveau 2, selon le classement défini par le décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010). D'après la base de données SisFrance, sur les 6 séismes enregistrés depuis 1950 et dont l'épicentre est situé à moins de 20 km du site, le plus proche de l'aire d'étude concerne la commune d'Argenton-sur-Creuse: son épicentre était situé à 4,5 km au nord-est de l'aire d'étude et il a présenté une intensité de 5.
- **Mouvements de terrain :** aucun mouvement de terrain et aucune cavité souterraine n'ont été recensé au sein de l'aire d'étude (d'après les bases de données du BRGM).
- Aléa retrait-gonflement des argiles : ce risque est moyen sur l'aire d'étude (d'après les bases de données du BRGM).
- **Foudre**: le département de l'Indre présente un niveau kéraunique (nombre moyen annuel de jours d'orages, c'est-à-dire des jours où l'on entend le tonnerre en un lieu donné) inférieur à 25. Il enregistre une densité d'arc de foudre de l'ordre d'environ 1,7 arcs/km²/an, soit une valeur relativement similaire à la moyenne nationale.
- **Tempête**: la vitesse des rafales de vent à 10 m enregistrées à Châteauroux entre 1996 et 2010 sont au maximum de 36,7 m/s (le 28/02/2010).
- Incendies de forêts et de cultures : aucun risque « incendie » n'a été enregistré sur l'aire d'étude.
- Inondations: le risque inondation par débordement d'un cours d'eau est nul, du fait de l'absence de cours d'eau à proximité. Le risque d'inondation par remontée de nappe est faible à très faible pour l'aire d'étude dans la mesure où celle-ci n'est située sur aucune nappe affleurante.

Les risques naturels sont nuls à faibles, à l'exception de l'aléa de retrait-gonflement des argiles pour lequel des sondages géotechniques permettront, en amont de la construction, de préciser la nature argileuse des sols et seront pris en compte pour le dimensionnement des fondations. Seule la commune d'Argenton-sur-Creuse dispose d'un Plan de Prévention du Risque inondation (PPRi).



3.3. Environnement matériel

3.3.1. Voies de communication

L'aire d'étude comprend un ensemble de voies routières dont l'autoroute A20 qui fait l'objet d'un Plan de Gestion du Trafic (PGT) qui consiste à la gestion des perturbations de circulation routière. En fonction du mode d'exploitation de l'autoroute A20 (fermeture partielle ou complète du tronçon concerné par l'aire d'étude), la caractérisation du réseau routier varie et en particulier au niveau des routes départementales servant d'itinéraire de déviation de l'autoroute A20. A ce titre, on va donc considérer une situation normale et une situation particulière de fonctionnement du réseau routier en présence.

a. Etat des lieux en situation normale

D'après le fichier 4.1 « Etude d'impact sur l'environnement », au chapitre « 3.2.8. Sécurité publique : servitudes, règles et contraintes », l'aire d'étude du projet comprend uniquement un ensemble de voies routières. Aucun axe ferroviaire ou fluvial n'est compris à l'intérieur de l'aire d'étude. De même, aucune servitude ou contrainte relative à la circulation aérienne n'a été relevée. Aucun aéroport ou aérodrome privé n'est situé à l'intérieur ou à proximité de l'aire d'étude. La voie ferroviaire la plus proche de l'aire d'étude (ligne des Aubrais - Orléans à Montauban-Ville-Bourbon) est localisée à l'est et est distante de 1,9 km de l'éolienne CEBRE07.

Parmi les voies routières en présence, l'autoroute A20 est le seul axe routier structurant, avec un trafic moyen journalier annuel tous véhicules mesuré entre 20 000 et 30 000 véhicules (deux sens de circulation compris). D'après la Direction Interrégionale des Routes Centre Ouest (DIRCO), plusieurs stations de comptage ont mesuré le trafic routier, pour l'année 2015, sur le tronçon situé au niveau d'Argenton-sur-Creuse. Les données de ces stations sont présentées dans le tableau cidessous :

Station de comptage et localisation	Trafic Moyen Journalier Annuel tous véhicules	Trafic Moyen Journalier Annuel Poids lourds	Part du trafic Moyen Journalier Annuel Poids lourds	
Argenton-sur-Creuse	22 716	-	-	
Nord d'Argenton-sur-Creuse	24 420	4 347	17,8%	
Sud d'Argenton-sur-Creuse	20 935	4 501	21,5%	

Tableau 6 : Comptage du trafic moyen journalier annuel tous véhicules sur le tronçon de l'A20 au niveau d'Argenton-sur-Creuse

Pour l'estimation des risques et des personnes exposées, on considère le trafic moyen journalier annuel tous véhicules mesuré au niveau d'Argenton-sur-Creuse, soit 22 716 véhicules tous confondus par jour.

L'aire d'étude du projet compte également deux routes départementales, la RD 1 et la RD 920, définies comme des axes non structurants car le trafic moyen journalier annuel tous véhicules y est inférieur à 2 000 véhicules. D'après la Direction des Routes du Conseil Départemental de l'Indre, un comptage temporaire a été réalisé pour l'année 2015 sur ces routes départementales : la RD 1 présente un trafic moyen journalier annuel tous véhicules de 1 238 véhicules dont 5,3% de poids-lourds et la RD 920 présente un trafic moyen journalier annuel tous véhicules de 671 véhicules dont 4,8% de poids-lourds.

Un réseau de chemins communaux sont également situés dans l'aire d'étude (cf. carte suivante). La distance minimale entre chaque éolienne et le réseau de voies routières est présentée dans le tableau ci-dessous.

Voies de communication	Type de transport	Trafic journalier	CEBRE01	CEBRE02	CEBRE03	CEBRE04	CEBRE05	CEBRE06	CEBRE07
A20	Local, régional, national et international	Elevé	> 500m	> 500m	> 500m	> 500m	337m	260m	230m

RD 1	Local et agricole	Faible	> 500m	> 500m	> 500m	207m	89m	338m	> 500m
RD 920	Local et agricole	Faible	> 500m	> 500m	> 500m	285m	67m	66m	340m
Réseau de chemins	agricole	Très faible*	77m	142m	19m	119m	136	144m	295m

^{*}trafic non comptabilisé, inférieur dans tous les cas à 500 véhicules/jour

Tableau 7: Distance des éoliennes aux voies de communication dans l'aire d'étude (source: VOL-V)

b. Etat des lieux en situation particulière

En termes de voies de communication, l'aire d'étude du projet comprend uniquement un ensemble de voies routières dont l'autoroute A20. Celle-ci fait l'objet d'un Plan de Gestion du Trafic (PGT) qui consiste à la gestion des perturbations de circulation routière, qu'elles soient aléatoires ou prévisibles, nécessitant une action coordonnée des acteurs participants à l'exploitation de l'autoroute A20. Le volet technique du PGT permet la mise en œuvre de mesures d'exploitation coordonnées de gestion de trafic et d'information routière, comme en cas de coupure de l'autoroute.

D'après le volet technique du PGT A20 Indre, deux mesures ont été définies en cas de fermeture du tronçon de l'autoroute A20 compris entre Argenton-sur-Creuse Sud (échangeur n°18) et Celon (échangeur n°19) et celles-ci consistent à la mise en œuvre d'un itinéraire de déviation empruntant les routes départementales RD920 et RD1 comprises dans l'aire d'étude du projet. Les deux mesures sont détaillées dans le tableau ci-dessous :

Mesure	Coupure sens de circulation	Itinéraire de déviation	Signalisation et information
N°12 – Fermeture et Déviation par S21	Nord-Sud	Itinéraire S21 : A20 sortie n°18 à Argenton-sur-Creuse > RD 55 > RD 920 > A20 échangeur n°19 à Celon	Information diffusée sur les radios locales informant les usagers circulant sur l'A20 en sens Nord-Sud d'une perturbation et de la mise en place d'une déviation via l'itinéraire jalonné S21 à partir de l'échangeur n°18-
N°17 bis – Fermeture et Déviation par S6	Sud-Nord	Itinéraire S6 : A20 sortie Celon n°19 > RD 133 > RD 920 > RD 55 > A20 échangeur n°18 à Argenton-sur-Creuse Sud	Information diffusée sur les radios locales informant les usagers circulant sur l'A20 en sens Sud-Nord d'une perturbation et de la mise en place d'une déviation via l'itinéraire jalonné S6 à partir de l'échangeur n°19-

Tableau 8 : Description des mesures n°12 et n°17 bis du volet technique du PGT A20 (source : VOL-V)

Ainsi, en cas de coupure de l'autoroute A20 et d'une déviation via les RD920 et RD1, le trafic moyen journalier annuel tous véhicules pour ces deux routes départementales augmente très fortement et peut être considéré équivalent à celui de l'autoroute A20. Dans ce cas, les routes RD920 et RD1 sont à prendre en compte en tant qu'axe routier structurant dans la mesure où le trafic moyen journalier annuel tous véhicules y est très supérieur à 2 000 véhicules.



Situation de fonctionnement de l'A20	Trafic Moyen Journalier Annuel tous véhicules A20	Trafic Moyen Journalier Annuel tous véhicules RD920 et RD1 (déviation A20 PGT)	Trafic Moyen Journalier Annuel tous véhicules RD1 (hors déviation A20)
Fermeture partielle tronçon A20 (un seul sens de circulation)	11 358	13 267-	1 238
Fermeture totale tronçon A20 (deux sens de circulation)	0	24 625	1 238

Tableau 9 : Evaluation du trafic moyen journalier annuel tous véhicules sur le tronçon de l'A20 ainsi que les RD1 et 920 en fonction de l'état de fonctionnement de l'A20 (PGT A20)

En résumé, la mise en œuvre des mesures n°12 et n°17 bis du PGT A20 Indre entraîne un surclassement temporaire des routes départementales RD920 et RD1 en route structurante. A l'inverse, elles peuvent induire un déclassement de l'autoroute A20 en route non structurante dans le cas d'une combinaison des deux mesures. Toutefois, la mise en œuvre de ces mesures est principalement aléatoire, à l'exception de certains travaux d'entretien de la chaussée nécessitant une coupure complète d'un sens de circulation, et sa fréquence de survenance est surtout très faible. Aucune information relative aux statistiques (nombre, fréquence) de survenance de ces mesures ne nous a été transmis par la Direction Interrégionale des Routes Centre Ouest (DIRCO). Toutefois, d'après les mairies concernées par ce tronçon de l'autoroute A20, il semble que cette mesure ne soit appliquée en moyenne que tous les 5 à 10 ans.

Pour ces raisons, il n'est pas justifié de considérer la qualification en axe structurant des RD920 et RD1 comme permanente et une étude pourra être réalisée selon une approche de cas particuliers.

3.3.2. Réseaux publics et privés

Les principales installations publiques et privées non enterrées présentes dans les limites de l'aire d'étude sont présentées dans le tableau ci-dessous. La distance minimale de chaque éolienne à ces réseaux est précisée dans le tableau ci-dessous :

Installations publiques et privées non enterrées de l'aire d'étude		CEBRE01	CEBRE02	CEBRE03	CEBRE04	CEBRE05	CEBRE06	CEBRE07
Transports d'électricité	Ligne aérienne 20 kV	> 500m	325m	242m	> 500m	> 500m	> 500m	> 500m
Canalisations de transport	AUCUN	> 500m						
Réseaux d'assainissement	AUCUN	> 500m						
Réseaux d'alimentation en eau potable	Aqueduc *	> 500m	> 500m	> 500m	225m	68m	90m	343m
Réseaux de télécommunication	Ligne de téléphonie*	> 500m	> 500m	> 500m	205m	90m	68m	358m

^{*}canalisation enterrée

Tableau 10 : Distance des éoliennes aux installations publiques et privées non enterrées (source : VOL-V)

Concernant les autres réseaux enterrés, on constate qu'il n'y a aucun réseau de distribution de gaz naturel à l'intérieur ou à proximité de l'aire d'étude. Certaines parcelles agricoles comprises dans l'aire d'étude comportent un réseau de drainage.

3.3.3. Autres ouvrages publics

Aucun autre ouvrage public n'est identifié à l'intérieur et à proximité de l'aire d'étude.

3.4. Choix méthodologique de prise en compte des enjeux

Au sein de la zone d'étude, la prise en compte des enjeux humains ne peut être réalisée dans le cadre d'une seule et unique approche du fait de la présence de l'autoroute A20 et des deux aires de repos soumises à un Plan de Gestion du Trafic (PGT). En effet, ce dernier influe sur leur mode de fonctionnement et donc sur le nombre de personnes exposées.

Conformément à 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 et en particulier le paragraphe « A.7 Cas spéciaux (occupations extrêmement temporaires) » de la Partie 1 « Règles méthodologiques applicables pour l'élaboration des études de dangers », il est stipulé une méthodologie spécifique pour la prise en compte de ces cas d'occupation très variables.

Extrait: A.7. Cas spéciaux (occupations extrêmement temporaires)

Ce genre de cas, tels que les manifestations regroupant un très grand nombre de personnes pendant quelques jours par an (festival des interceltiques de Lorient, Francofolies de La Rochelle...) est à compter à part.

Il est en effet très difficile de tenir compte de ces variations d'occupation très fortes. De manière intuitive, il est peu satisfaisant (et ingérable) de prendre la moyenne d'occupation comme de prendre le maximum d'occupation.

Il est conseillé de ne pas les évaluer en tant que tel dans la gravité, mais de consacrer un paragraphe spécial à la manifestation considérée, en prévoyant des mesures spéciales (pré-activation du PPI ou arrêt/activité réduite de l'entreprise pendant la durée de la manifestation (pas de dépotage par exemple) ou interdiction de la manifestation...).

Les mesures mises en oeuvre lors de cet événement doivent toutefois être soigneusement et précisément décrites dans l'étude de dangers, et il conviendra de chercher à éviter que de telles manifestations importantes se déroulent à proximité de l'installation à risques.

Dans notre cas, la méthodologie retenue consiste à considérer plusieurs situations de fonctionnement de l'autoroute A20 et des deux aires de repos, en fonction des mesures prévues dans le Plan de Gestion du Trafic (PGT A20). Pour chaque situation considérée, une étude détaillée des risques a été réalisée et on retiendra pour chaque scénario de risque et pour chaque éolienne le niveau de risque le plus élevé qui ressort de la combinaison de l'ensemble des situations considérées.

Pour l'étude détaillée des risques, les situations considérées sont les suivantes :

- Situation normale (SN): fonctionnement normal du tronçon de l'autoroute A20 et des deux aires de repos
- ✓ <u>Cas particulier 1 (CP1):</u> fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans le sens de circulation Nord-Sud et de l'aire de repos de la Marche Occitane
- ✓ <u>Cas particulier 2 (CP2):</u> fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans le sens de circulation Sud-Nord et de l'aire de repos du Val de Creuse
- ✓ Cas particulier 3 (CP3): fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans les 2 sens de circulation et des 2 aires de repos
- ✓ <u>Cas particulier 4 (CP4)</u>: fonctionnement normal du tronçon de l'autoroute A20 ainsi que des aires de repos et stockage temporaire des poids-lourds aux abords des aires de repos en situation de crise routière (épisode de neige et interdiction de circulation PL)
- ✓ <u>Cas particulier 5 (CP5)</u>: fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans le sens de circulation Nord-Sud ainsi que de l'aire de repos de la Marche Occitane et stockage temporaire des poids-lourds aux abords de l'aire de repos du Val de Creuse en situation de crise routière (épisode de neige et interdiction de circulation PL)
- ✓ <u>Cas particulier 6 (CP6)</u>: fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans le sens de circulation Sud-Nord ainsi que de l'aire de repos du Val de Creuse et stockage temporaire des poids-lourds aux abords de l'aire de repos de la Marche Occitane en situation de crise routière (épisode de neige et interdiction de circulation PL)

Le tableau ci-dessous décrit l'état de fonctionnement de l'autoroute A20, des itinéraires de déviation (RD1 et RD920) et des deux aires de repos en fonction de chaque situation considérée.



Situation	A 20	RD 1 / RD 920 (itinéraire de déviation)	Aire de repos de la Marche Occitane	Aire de repos du Val de Creuse	Voies de stockage temporaire de poids-lourds
SN	2 sens de circulation	Circulation normale	Ouverte au public	Ouverte au public	Mesure non active
CP1	Sens de circulation Sud- Nord	Itinéraire de déviation	Fermée au public	Ouverte au public	Mesure non active
CP2	Sens de circulation Nord- Sud	Itinéraire de déviation	Ouverte au public	Fermée au public	Mesure non active
CP3	Fermée à la circulation	Itinéraire de déviation	Fermée au public	Fermée au public	Mesure non active
CP4	2 sens de circulation	Circulation normale	Ouverte au public	Ouverte au public	Mesure active pour les 2 sens de circulation
CP5	Sens de circulation Sud- Nord	Itinéraire de déviation	Fermée au public	Ouverte au public	Mesure active pour le sens de circulation Sud- Nord
CP6	Sens de circulation Nord- Sud	Itinéraire de déviation	Ouverte au public	Fermée au public	Mesure active pour le sens de circulation Nord- Sud

Tableau 11 : Etat de fonctionnement de l'A20, des itinéraires de déviation et des deux aires de repos en fonction de chaque situation considérée (source : VOL-V)

Le tableau suivant présente la méthodologie de comptage des enjeux humains au niveau de l'autoroute A20, des aires de repos et des itinéraires de déviation (RD1 et RD920), en fonction de chaque situation considérée.

Situation	Etat de fonctionnement	Type d'ensemble homogène	Nombre de personnes exposées ou ratio par unité de calcul	
	2 sens de circulation ouverts	Voie automobile	22 716 véhicules / jour	
	1 sens de circulation ouvert	Voie automobile	11 358 véhicules / jour	
A 20	1 sens de circulation fermé	Terrain aménagé peu fréquenté	0,1 personne exposée / ha	
	2 sens de circulation fermés	Terrain aménagé peu fréquenté	0,1 personne exposée / ha	
RD 1 / RD 920 (itinéraire de déviation)	Déviation n°12 ou n°17 bis active	Voie automobile	13 267 véhicules / jour	
	Déviation n°12 et déviation n°17 bis actives	Voie automobile	24 625 véhicules / jour	
	Déviation n°12 et déviation n°17 bis non actives	Terrain aménagé peu fréquenté	0,1 personne exposée / ha	
Aires de repos	Ouverte au public	Terrain aménagé fréquenté	48 personnes exposées / ha	
	Fermée au public	Terrain aménagé peu fréquenté	0,1 personne exposée / ha	
Voies de stockage temporaire de poids- lourds	Actif sur 1 sens de circulation	Terrain aménagé fréquenté	151 personnes exposées / ha	
	Actif sur 2 sens de circulation	Terrain aménagé fréquenté	151 personnes exposées / ha	

Tableau 12: Méthodologie de comptage des enjeux humains en fonction des différents situations considérées (source: VOL-V)

Pour les autres types d'occupation du sol au sein de la zone d'étude, la méthode de comptage des enjeux humains présents dans chaque secteur est présentée en annexe 1. Celle-ci est basée sur la Partie 1 « Règles méthodologiques applicables pour l'élaboration des études de dangers » de 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.

En conclusion, la méthodologie retenue pour l'étude détaillée des risques du projet de parc éolien de la Brenne consiste à la prise en compte de 7 situations différentes. Pour chaque situation considérée, une étude détaillée des risques a été réalisée et on retiendra pour chaque scénario de risque et pour chaque éolienne le niveau de risque le plus élevé qui ressort de la combinaison de l'ensemble des situations considérées.

3.5. Cartographies de synthèse

En conclusion de ce chapitre de l'étude de dangers, les cartographies présentées en pages suivantes permettent d'identifier géographiquement les enjeux à protéger dans l'aire d'étude en fonction de chaque situation considérée :

- Le nombre de personnes exposées par secteur (champs, routes, habitations...);
- La localisation des biens, infrastructures et autres établissements.



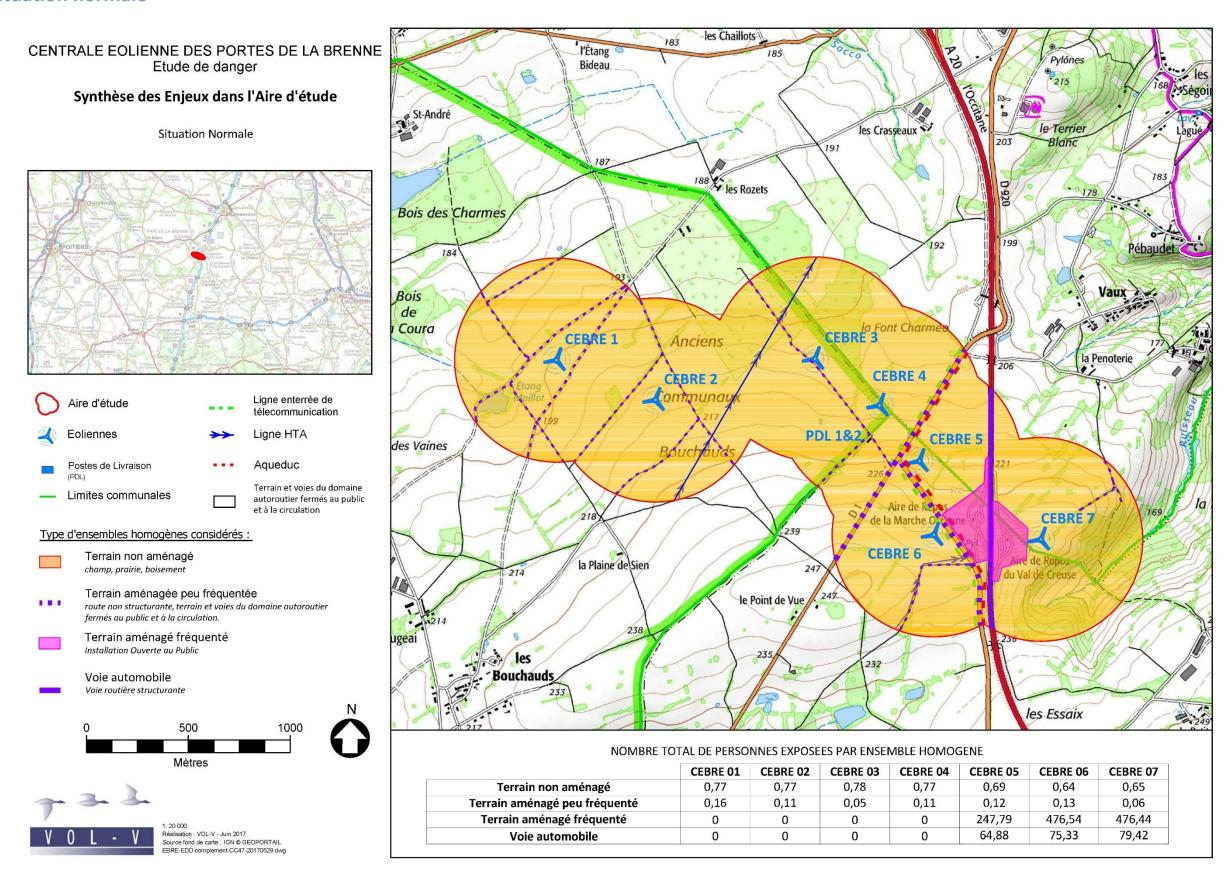
Pour chaque situation et chaque éolienne du projet du parc éolien des Portes de la Brenne, une cartographie de synthèse des risques et un calcul détaillé des personnes exposées sont consultables en annexe 2. Ces cartographies permettent de disposer d'un descriptif des personnes exposées par ensemble homogène.

Pour l'étude détaillée des risques, les situations considérées sont les suivantes :

- ✓ <u>Situation normale (SN):</u> fonctionnement normal du tronçon de l'autoroute A20 et des deux aires de repos
- ✓ <u>Cas particulier 1 (CP1) :</u> fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans le sens de circulation Nord-Sud et de l'aire de repos de la Marche Occitane
- ✓ <u>Cas particulier 2 (CP2):</u> fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans le sens de circulation Sud-Nord et de l'aire de repos du Val de Creuse
- ✓ <u>Cas particulier 3 (CP3):</u> fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans les 2 sens de circulation et des 2 aires de repos
- ✓ <u>Cas particulier 4 (CP4)</u>: fonctionnement normal du tronçon de l'autoroute A20 ainsi que des aires de repos et stockage temporaire des poids-lourds aux abords des aires de repos en situation de crise routière (épisode de neige et interdiction de circulation PL)
- ✓ <u>Cas particulier 5 (CP5)</u>: fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans le sens de circulation Nord-Sud ainsi que de l'aire de repos de la Marche Occitane et stockage temporaire des poids-lourds aux abords de l'aire de repos du Val de Creuse en situation de crise routière (épisode de neige et interdiction de circulation PL)
- ✓ <u>Cas particulier 6 (CP6)</u>: fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans le sens de circulation Sud-Nord ainsi que de l'aire de repos du Val de Creuse et stockage temporaire des poids-lourds aux abords de l'aire de repos de la Marche Occitane en situation de crise routière (épisode de neige et interdiction de circulation PL)



3.5.1. Situation normale



Carte 4 : Synthèse des enjeux de l'aire d'étude de l'installation – Situation normale (source : VOL-V)



3.5.2. Cas particulier 1

les Chaillots 183 CENTRALE EOLIENNE DES PORTES DE LA BRENNE l'Étang Pylônes Etude de danger Bideau Synthèse des Enjeux dans l'Aire d'étude St-André Cas particulier 1: Fermeture A20 dans le sens de circulation le Terrier les Crasseaux Nord-Sud 188 les Rozets Bois des Charmes Bois de CEBRE 3 Coura CEBRE 1 Anciens la Penoterie CEBRE 4 CEBRE 2 Communa Ligne enterrée de Aire d'étude télecommunication Ligne HTA Eoliennes PDL 1&2 **CEBRE 5** des Vaines Aqueduc Postes de Livraison Terrain et voies du domaine Limites communales autoroutier fermés au public Aire de CEBRE 7 239 Type d'ensembles homogènes considérés : CEBRE 6 Terrain non aménagé la Plaine de Sien champ, prairie, boisement Terrain aménagée peu fréquentée le Point de Vue route non structurante, terrain et voies du domaine autoroutier fermés au public et à la circulation. Terrain aménagé fréquenté les Installation Ouverte au Public Bouchauds Voie automobile Voie routière structurante les Essaix 500 NOMBRE TOTAL DE PERSONNES EXPOSEES PAR ENSEMBLE HOMOGENE CEBRE 01 | CEBRE 02 | CEBRE 03 | CEBRE 04 CEBRE 05 | CEBRE 06 | CEBRE 07 Terrain non aménagé 0,77 0,77 0,78 0,78 0,69 0,67 0,67 Terrain aménagé peu fréquenté 0,16 0,06 0,59 0,11 0,05 0,69 0,66 Terrain aménagé fréquenté 30,62 220,66 220,66 0 0 0 0 45,37 69,11 0 90,87 94,92 Réalisation : VOL-V - Juin 2017 Source fond de carte : IGN © GEOPORTAIL EBRE-EDD complement-CC47-20170529.dwg Voie automobile 0 0

Carte 5 : Synthèse des enjeux de l'aire d'étude de l'installation – Cas particulier 1 (source : VOL-V)



3.5.3. Cas particulier 2

les Chaillots 183 CENTRALE EOLIENNE DES PORTES DE LA BRENNE l'Étang Pylônes Etude de danger Bideau Synthèse des Enjeux dans l'Aire d'étude St-André le Terrier les Crasseaux Cas particulier 2 : Fermeture A20 dans le sens de circulation Sud-Nord 188 les Rozets Bois des Charmes Bois de CEBRE 3 Coura CEBRE 1 Anciens la Penoterie CEBRE 4 CEBRE 2 Commune Ligne enterrée de Aire d'étude Ligne HTA Eoliennes PDL 1&2 **CEBRE 5** des Vaines Aqueduc Postes de Livraison Terrain et voies du domaine Limites communales autoroutier fermés au public Aire de 239 Type d'ensembles homogènes considérés : CEBRE 6 Terrain non aménagé la Plaine de Sien champ, prairie, boisement Terrain aménagée peu fréquentée le Point de Vue route non structurante, terrain et voies du domaine autoroutier fermés au public et à la circulation. Terrain aménagé fréquenté les Installation Ouverte au Public Bouchauds Voie automobile Voie routière structurante les Essaix 500 NOMBRE TOTAL DE PERSONNES EXPOSEES PAR ENSEMBLE HOMOGENE CEBRE 01 | CEBRE 02 | CEBRE 03 CEBRE 04 | CEBRE 05 | CEBRE 06 CEBRE 07 Terrain non aménagé 0,77 0,77 0,78 0,78 0,69 0,67 0,67 Terrain aménagé peu fréquenté 0,16 0,11 0,05 0,06 0,21 0,62 0,59 Terrain aménagé fréquenté 0 0 217,16 255,88 255,78 0 0 0 45,37 90,87 94,92 69,11 Voie automobile 0 0 Réalisation : VOL-V - Juin 2017 Source fond de carte : IGN © GEOPORTAIL EBRE-EDD complement-CC47-20170529.dwg

Carte 6 : Synthèse des enjeux de l'aire d'étude de l'installation – Cas particulier 2 (source : VOL-V)



3.5.4. Cas particulier 3

Réalisation : VOL-V - Juin 2017 Source fond de carte : IGN © GEOPORTAIL EBRE-EDD complement-CC47-20170529.dwg

les Chaillots 183 CENTRALE EOLIENNE DES PORTES DE LA BRENNE l'Étang Pylônes Etude de danger Bideau Synthèse des Enjeux dans l'Aire d'étude St-André Cas particulier 3 : Fermeture A20 dans les deux sens sens de le Terrier les Crasseaux circulation. 188 les Rozets Bois des Charmes Bois de CEBRE 3 Coura CEBRE 1 Anciens la Penoterie CEBRE 4 CEBRE 2 Communa Ligne enterrée de Aire d'étude télecommunication Ligne HTA Eoliennes PDL 1&2 **CEBRE 5** des Vaines Aqueduc Postes de Livraison Terrain et voies du domaine Limites communales autoroutier fermés au public Aire de 239 Type d'ensembles homogènes considérés : **CEBRE 6** Terrain non aménagé la Plaine de Sien champ, prairie, boisement Terrain aménagée peu fréquentée le Point de Vue route non structurante, terrain et voies du domaine autoroutier fermés au public et à la circulation. Terrain aménagé fréquenté les Installation Ouverte au Public Bouchauds Voie automobile Voie routière structurante les Essaix 500 NOMBRE TOTAL DE PERSONNES EXPOSEES PAR ENSEMBLE HOMOGENE CEBRE 01 | CEBRE 02 | CEBRE 03 | CEBRE 04 | CEBRE 05 | CEBRE 06 | CEBRE 07 Terrain non aménagé 0,77 0,77 0,78 0,78 0,71 0,66 0,66 Terrain aménagé peu fréquenté 0,16 0,11 0,05 0,06 0,74 1,25 1,23 Terrain aménagé fréquenté 0 0 0 0 0 0

Carte 7 : Synthèse des enjeux de l'aire d'étude de l'installation – Cas particulier 3 (source : VOL-V)

Voie automobile

0

84,22

108,45

106,28

54,57



3.5.5. Cas particulier 4

les Chaillots CENTRALE EOLIENNE DES PORTES DE LA BRENNE 183 l'Étang Pylônes Etude de danger Bideau Synthèse des Enjeux dans l'Aire d'étude St-André Cas particulier 4: le Terrier les Crasseaux Stationnement PL aux abords des aires de repos en situation de crise routière (épisode de neige et interdiction de circulation PL) 188 les Rozets Bois des Charmes Bois de CEBRE 3 Coura CEBRE 1 Anciens la Penoterie CEBRE 4 CEBRE 2 Commune Ligne enterrée de Aire d'étude télecommunication Ligne HTA Eoliennes PDL 1&2. **CEBRE 5** des Vaines Aqueduc Postes de Livraison Terrain et voies du domaine Limites communales autoroutier fermés au public Aire de Repo CEBRE 7 239 Type d'ensembles homogènes considérés : CEBRE 6 Terrain non aménagé la Plaine de Sien champ, prairie, boisement Terrain aménagée peu fréquentée le Point de Vue Terrain aménagé fréquenté Installation Ouverte au Public, Zone de les stationnement Poid Lourd Bouchauds Voie automobile Voie routière structurante les Essaix 500 NOMBRE TOTAL DE PERSONNES EXPOSEES PAR ENSEMBLE HOMOGENE CEBRE 01 CEBRE 02 CEBRE 03 CEBRE 04 CEBRE 05 CEBRE 06 CEBRE 07 0,64 Terrain non aménagé 0,77 0,77 0,78 0,77 0,69 0,63 Terrain aménagé peu fréquenté 0,16 0,11 0,05 0,11 0,12 0,13 0,06 562,95 571,9 Terrain aménagé fréquenté 0 0 0 0 325,82 Réalisation : VOL-V - Juin 2017 Source fond de carte : IGN © GEOPORTAIL EBRE-EDD complement-CC47-20170529.dwg 64,88 75,33 79,42 Voie automobile 0 0 0

Carte 8 : Synthèse des enjeux de l'aire d'étude de l'installation – Cas particulier 4 (source : VOL-V)



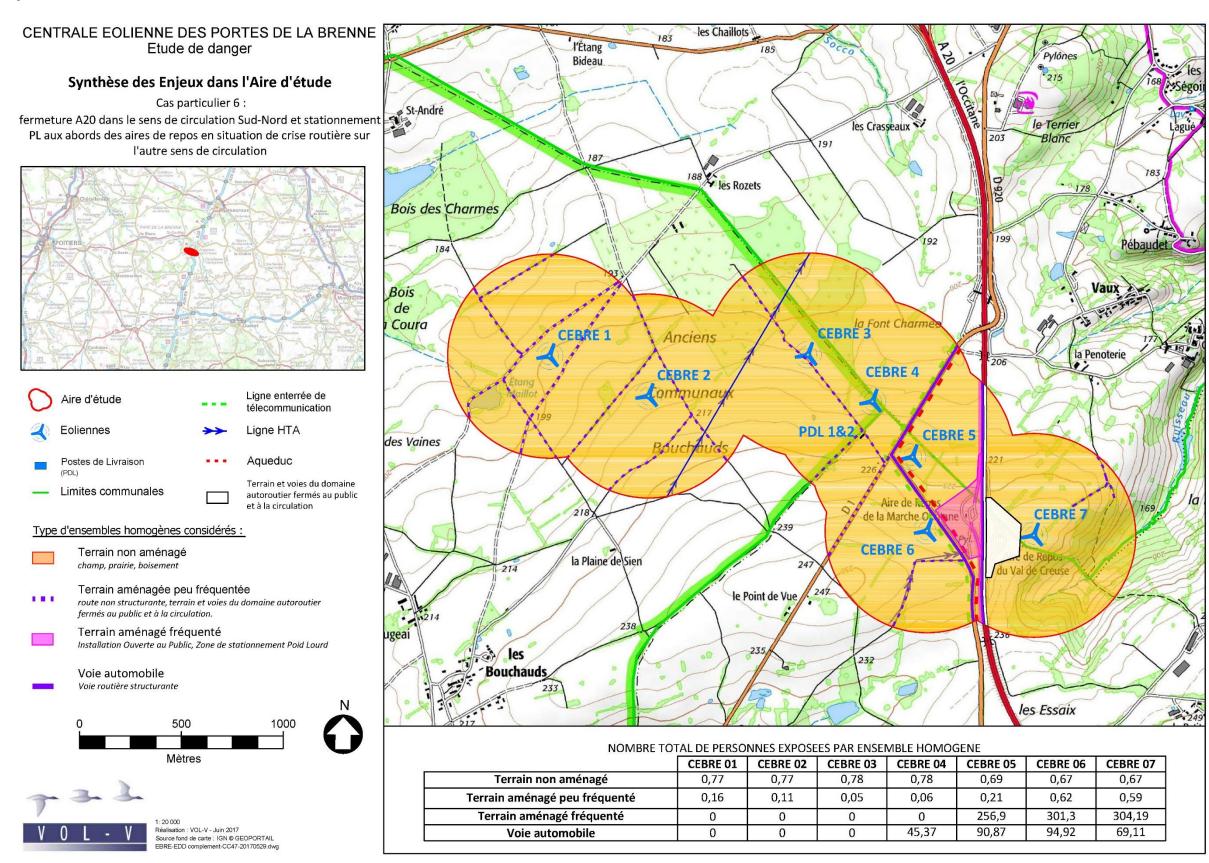
3.5.6. Cas particulier 5

les Chaillots CENTRALE EOLIENNE DES PORTES DE LA BRENNE 183 l'Étang Etude de danger Bideau Synthèse des Enjeux dans l'Aire d'étude St-André Cas particulier 5: fermeture A20 dans le sens de circulation Nord-Sud et le Terrier les Crasseaux stationnement PL aux abords des aires de repos en situation de crise routière sur l'autre sens de circulation 188 les Rozets Bois des Charmes Bois de CEBRE 3 Coura CEBRE 1 Anciens la Penoterie CEBRE 4 CEBRE 2 Commune Ligne enterrée de Aire d'étude Eoliennes PDL 1&2 **CEBRE 5** des Vaines Aqueduc Postes de Livraison Terrain et voies du domaine Limites communales autoroutier fermés au public Aire de CEBRE 7 Type d'ensembles homogènes considérés : CEBRE 6 Terrain non aménagé la Plaine de Sien champ, prairie, boisement Terrain aménagée peu fréquentée le Point de Vue route non structurante, terrain et voies du domaine autoroutier fermés au public et à la circulation. Terrain aménagé fréquenté Installation Ouverte au Public, Zone de stationnement Poid Lourd les Bouchauds Voie automobile Voie routière structurante les Essaix 500 NOMBRE TOTAL DE PERSONNES EXPOSEES PAR ENSEMBLE HOMOGENE CEBRE 01 CEBRE 02 CEBRE 03 CEBRE 04 CEBRE 05 CEBRE 06 CEBRE 07 Terrain non aménagé 0,77 0,78 0,69 0,67 0,78 0,67 0,59 Terrain aménagé peu fréquenté 0,16 0,11 0,05 0,06 0,69 0,66 Terrain aménagé fréquenté 68,92 261,64 267,71 0 0 0 0 Voie automobile 45,37 90,87 94,92 69,11 Réalisation : VOL-V - Juin 2017 Source fond de carte : IGN © GEOPORTAIL EBRE-EDD complement-CC47-20170529.dwg 0 0 0

Carte 9 : Synthèse des enjeux de l'aire d'étude de l'installation – Cas particulier 5 (source : VOL-V)



3.5.7. Cas particulier 6



Carte 10 : Synthèse des enjeux de l'aire d'étude de l'installation – Cas particulier 6 (source : VOL-V)



4. Description de l'installation

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

4.1. Caractéristiques 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 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.

a. Eléments constitutifs d'un aérogénérateur

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

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

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

- Les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette),
- Le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique.

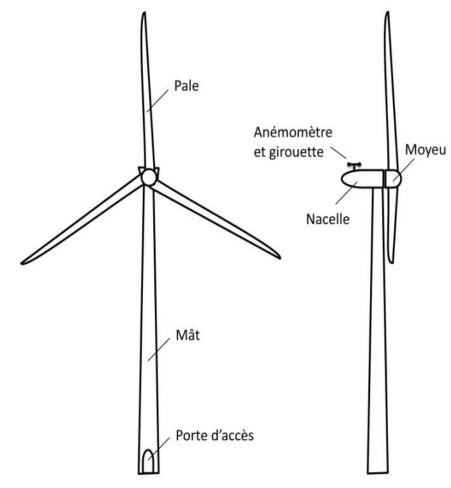


Figure 2 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur

b. 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.

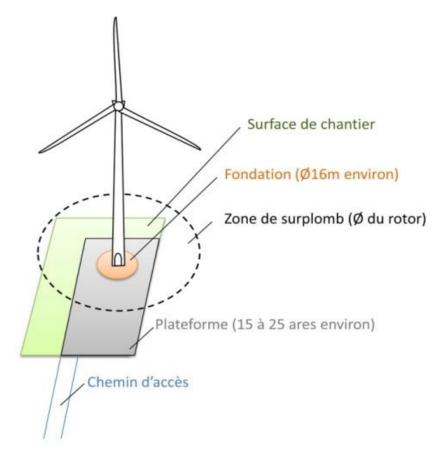


Figure 3 : Illustration des emprises au sol d'une éolienne (Les dimensions sont données à titre d'illustration pour une éolienne d'environ 150m de hauteur totale)

c. Chemins d'accès

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

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

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

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

d. Autres installations

Aucune aire d'accueil pour informer le public, parkings (hors plateforme), ou parcours pédagogiques n'est envisagé.

4.1.2. Activité de l'installation

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

Sachant qu'à ce stade du projet aucun modèle d'éolienne n'a été retenu (cf paragraphe « 4.1.3. Considération d'un gabarit d'éolienne »), la hauteur « mât + nacelle » maximale est de 130 m et est, quel que soit le modèle d'éolienne finalement retenu, supérieur à 50 m.

4.1.3. Considération d'un gabarit d'éolienne

A ce stade, le modèle d'éolienne qui sera installé sur le parc éolien des Portes de la Brenne n'est pas défini. En effet, les projets éoliens ont des cycles de développement relativement longs en termes de réalisation des expertises préalables, de conception du projet, de montage des dossiers de demande, d'instruction de ces derniers en vue d'obtenir les autorisations. Plusieurs années sont ainsi nécessaires pour franchir ces différentes étapes. Pendant ce temps, les caractéristiques techniques et économiques des machines sont susceptibles d'évoluer.

Pour ces raisons, et pour garantir une mise en concurrence des fabricants d'éoliennes, VOL-V a défini un projet compatible avec des modèles de plusieurs fabricants, sachant qu'il n'existe aucun standard en termes de dimensions et de caractéristiques de fonctionnement des éoliennes.

Dans le cadre de la présente étude de dangers, VOL-V a déterminé les paramètres dimensionnels des éoliennes susceptibles d'influencer les impacts, dangers ou inconvénients de l'installation et a retenu les valeurs les plus impactantes des modèles éligibles pour ce projet afin de présenter une évaluation majorante des dits impacts, dangers ou inconvénients. Il s'agit de la hauteur totale de l'éolienne mais aussi du diamètre du rotor, de la hauteur au moyeu, de la hauteur libre sous le rotor et de la puissance nominale de l'éolienne. Ces caractéristiques sont listées ci-dessous. Ces mêmes données seront reprises dans l'ensemble du dossier de Demande d'Autorisation Unique.

Les caractéristiques acoustiques influencent également les impacts, dangers ou inconvénients de l'installation. Toutefois, chaque type de machine ayant ses propres caractéristiques acoustiques, il est difficile de définir un scénario de synthèse majorant. Pour cette raison, le porteur de projet a simulé 5 modèles d'éoliennes différentes pour l'étude d'impact. Le porteur de projet s'engage à faire actualiser cette expertise si la machine finalement retenue pour le projet de parc éolien des Portes de la Brenne différait des machines simulées dans l'étude acoustique.

Sont considérés les modèles d'éolienne suivants : Siemens SWT130, Siemens SWT113, Senvion M122, Senvion M114 et Enercon E115.

Les paramètres dimensionnels retenus sont les suivants :

- Hauteur totale de l'éolienne en bout de pale : 184 m max.

Diamètre du rotor : 131 m max.Hauteur au moyeu : 127,5 m max.

- Hauteur libre sous le rotor : 48,5 m min.

Puissance nominale de l'éolienne : 3,6 MW max.

Ces paramètres constituent des paramètres maximum et sont cumulatifs. Ainsi, la hauteur totale sera quoi qu'il en soit de 184 m maximum en bout de pale. Ainsi, à titre d'exemple, pour un rotor qui atteindrait la dimension maximum de 131 m, la hauteur de moyeu ne pourrait être supérieure à 118,5 m pour respecter les 184 m maximum en bout de pale.

Réciproquement, si la hauteur de moyeu maximum de 127,5 m était retenue, alors le rotor aurait un diamètre qui ne pourrait excéder 113 m pour respecter les 184 m maximum en bout de pale.

4.1.4. Composition de l'installation

Le parc éolien est composé de 7 aérogénérateurs et de 2 postes de livraison. Chaque aérogénérateur a une hauteur de moyeu maximale de 127,5 mètres et un diamètre de rotor maximal de 131 mètres, soit une hauteur totale maximale en bout de pale de 184 mètres.



Le tableau suivant indique l'emplacement et les coordonnées géographiques des aérogénérateurs (CEBRE) et des postes de livraison (PDL) :

Eoliennes et PDL	Communes	Coordonnées en Lambert 93		Coordonnées en WGS84		Altitude NGF (m)	
		Х	Υ	Latitude	Longitude	Au sol	En bout de pale
CEBRE 01	VIGOUX	583420 ,30	6607217,17	46° 33' 18"	1° 28' 42"	201	385
CEBRE 02	VIGOUX	583906,13	6607021,56	46° 33' 11"	1° 29' 5"	213	397
CEBRE 03	VIGOUX	584688,06	6607223,34	46° 33' 19"	1° 29' 41"	206	390
CEBRE 04	VIGOUX	585004,47	6606994,53	46° 33' 11"	1° 29' 56"	213	397
CEBRE 05	CELON	585200,77	6606723,11	46° 33' 3"	1° 30' 6"	222	406
CEBRE 06	CELON	585272,13	6606360,77	46° 32' 51"	1° 30' 9"	233	417
CEBRE 07	ARGENTON-SUR- CREUSE	585796,23	6606338,62	46° 32' 51"	1° 30' 34"	232	416
PDL 1	CELON	584948,80	6606820,16	1° 29' 54"	46° 33' 6"	219	-
PDL 2	CELON	584957,94	6606829,40	1° 29' 54"	46° 33' 6"	219	-

Tableau 13 : Coordonnées géographiques des éoliennes et des postes de livraison (source : VOL-V)



CENTRALE EOLIENNE DES PORTES DE LA BRENNE

Communes de Vigoux, Celon et Argenton-sur-Creuse (87)

Etude de danger

Détails de l'installation



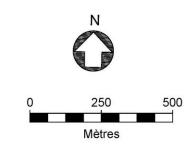
Projet de Parc Eolien :



Chemins à créer

Réseau Inter-Eolien

■ Postes de Livraison (PDL)







Carte 11 : Plan détaillé de l'installation : éoliennes, PDL, RIE, et chemins d'accès (source : VOL-V)





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

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

Pour un aérogénérateur de 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.

Elément de l'installation	Fonction	Caractéristiques	
Fondation	Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol	Fondation d'un diamètre d'environ 30 mètres et d'une profondeur d'environ 4 mètres.	
Mât	Supporter la nacelle et le rotor	Béton et acier tubulaire composés d'une vingtaine d'éléments en béton et d'un élément en acier. Ces éléments sont assemblés directement sur place. Diamètre : environ 8m. Hauteur max : 127,5m.	
Nacelle	Supporter le rotor et abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice, etc.) ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité	Comprend le moyeu sur lequel se positionne le rotor, le multiplicateur, le générateur électrique, le système parafoudre, le système d'orientation, l'arbre lent, l'arbre rapide, le refroidisseur, le frein mécanique, les outils de mesure, un système de commande.	
Rotor / pales	Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice	Pales en matériaux composites. Masse d'environ 8 à 10 tonnes par pale. Diamètre maximal du rotor : 131m	
Transformateur	Elever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau	Intégré au mât de l'éolienne (au pied). Tension électrique er sortie de génératrice : 680 V. Tension en sortie de transformateur : 20 000 V	
Poste de livraison	Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public	Raccordement privatif des éoliennes au poste de livraison en souterrain. Liaison publique jusqu'au poste source le plus proche. Tension : 20 000 V	

4.2.2. Sécurité de l'installation

Des consignes de sécurité seront établies et portées à la connaissance du personnel en charge de l'exploitation et de la maintenance. Ces consignes indiqueront :

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

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

L'aérogénérateur retenu sera doté d'un système de détection qui permet d'alerter, à tout moment, l'exploitant ou un opérateur qu'il aura désigné, en cas d'incendie ou d'entrée en survitesse de l'aérogénérateur. L'exploitant ou un opérateur qu'il aura désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de quinze minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur.

L'exploitant s'engage à dresser la liste de ces détecteurs avec leur fonctionnalité et détermine les opérations d'entretien destinées à maintenir leur efficacité dans le temps.

L'aérogénérateur retenu sera doté de moyens de lutte contre l'incendie appropriés aux risques et conformes aux normes en vigueur, notamment :

- D'un système d'alarme qui informe l'exploitant à tout moment d'un fonctionnement anormal. Ce dernier est en mesure de mettre en œuvre les procédures d'arrêt d'urgence mentionnées ci-dessus dans un délai de soixante minutes
- D'au moins deux extincteurs situés à l'intérieur de l'aérogénérateur, au sommet et au pied de celui-ci. Ils sont positionnés de façon bien visible et facilement accessible. Les agents d'extinction sont appropriés aux risques à combattre. Cette disposition ne s'applique pas aux aérogénérateurs ne disposant pas d'accès à l'intérieur du mât.

Chaque aérogénérateur est équipé d'un système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. En cas de formation importante de glace, l'aérogénérateur est mis à l'arrêt dans un délai maximal de soixante minutes. L'exploitant définit une procédure de redémarrage de l'aérogénérateur en cas d'arrêt automatique lié à la présence de glace sur les pales. Cette procédure figure parmi les consignes de sécurité mentionnées ci-dessus.

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

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

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

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

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



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

Suivant une périodicité qui ne peut excéder un an, l'exploitant réalisera 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. Le fonctionnement de l'installation sera assuré par un personnel compétent disposant d'une formation portant sur les risques présentés par l'installation, ainsi que sur les moyens mis en œuvre pour les éviter. Il connaît les procédures à suivre en cas d'urgence et procède à des exercices d'entraînement, le cas échéant, en lien avec les services de secours. Trois mois, puis un an après la mise en service industrielle, puis suivant une périodicité qui ne peut excéder trois ans, l'exploitant procèdera à un contrôle de l'aérogénérateur consistant en un contrôle des brides de fixations, des brides de mât, de la fixation des pales et un contrôle visuel du mât. Selon une périodicité qui ne peut excéder un an, l'exploitant procèdera à un contrôle des systèmes instrumentés de sécurité. Ces contrôles feront l'objet d'un rapport tenu à la disposition de l'inspection des installations classées.

En conclusion, les installations de production d'énergie éolienne retenues satisferont aux recommandations minimales prescrites dans l'arrêté ministériel relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées.

4.2.3. Opérations de maintenance de l'installation

Sachant qu'à ce stade du projet aucun modèle d'éolienne n'a été retenu (cf paragraphe « 4.1.3. Considération d'un gabarit d'éolienne »), aucun centre d'intervention n'est déterminé, tant en termes de localisation géographique, de distance d'éloignement au parc éolien des Portes de la Brenne et de temps d'intervention. En tout état de cause, toute intervention non programmée devra être réalisée sous un délai de 24 heures après la survenance d'un événement nécessitant une intervention physique.

L'exploitant disposera d'un manuel d'entretien de l'installation dans lequel sont précisées la nature et les fréquences des opérations d'entretien afin d'assurer le bon fonctionnement de l'installation. L'exploitant tiendra 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.

L'exploitant éliminera ou fera éliminer les déchets produits. Il s'assure que les installations utilisées pour cette élimination seront régulièrement autorisées à cet effet. L'exploitant s'engage à ne pas bruler des déchets à l'air libre. Les déchets non dangereux (par exemple bois, papier, verre, textile, plastique, caoutchouc) et non souillés par des produits toxiques ou polluants seront récupérés, valorisés ou éliminés dans des installations autorisées. Les seuls modes d'élimination autorisés pour les déchets d'emballage seront la valorisation par réemploi, recyclage ou toute autre action visant à obtenir des matériaux utilisables ou de l'énergie. Cette disposition n'est pas applicable aux détenteurs de déchets d'emballage qui en produisent un volume hebdomadaire inférieur à 1 100 litres et qui les remettent au service de collecte et de traitement des collectivités.

En conclusion, les installations de production d'énergie éolienne retenues satisferont aux recommandations minimales prescrites dans l'arrêté ministériel relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées.

4.2.4. 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.

4.3. Fonctionnement des réseaux de l'installation

4.3.1. Raccordement électrique

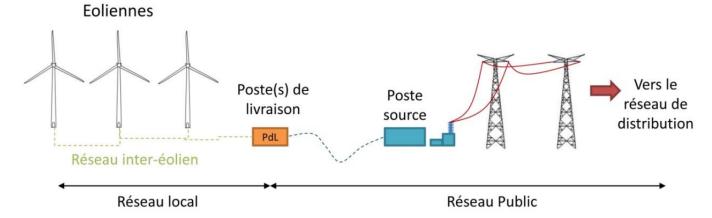


Figure 4 : Raccordement électrique des installations

a. Réseau inter-éolien (RIE)

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur, intégré ou non dans le mât de chaque éolienne¹, au point de raccordement avec le réseau public. Ce réseau comporte également une liaison de télécommunication qui relie chaque éolienne au terminal de télésurveillance. Ces câbles constituent le réseau interne de la centrale éolienne, ils sont tous enfouis à une profondeur minimale de 80 cm.

Dans le cadre de la demande d'approbation de projet d'ouvrage privé au titre de l'article L. 323-11 du code de l'énergie, le réseau électrique inter-éolien de l'installation est détaillé au chapitre 4.3.2., justifiant notamment de la conformité des liaisons électriques intérieures avec la réglementation technique en vigueur [II de l'art.6 du décret n° 2014-450].

b. Poste(s) de livraison

Les postes de livraison sont 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.

c. 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 ERDF- Électricité Réseau Distribution France). Il est lui aussi entièrement enterré.

4.3.2. RIE et demande d'approbation de projet d'ouvrage privé au titre de l'article L. 323-11 du code de l'énergie

La création du Réseau électrique Inter-Éolien (RIE) du parc est soumise aux prescriptions de l'article 24 du décret n° 2011-1697 du 1er décembre 2011 relatif aux ouvrages des réseaux publics d'électricité et des autres réseaux d'électricité et au dispositif de surveillance et de contrôle des ondes électromagnétiques.

¹ Si le transformateur n'est pas intégré au mât de l'éolienne, il est situé à l'extérieur du mât, à proximité immédiate, dans un local fermé.



Le présent paragraphe concerne la demande d'approbation pour la création de ce RIE de l'installation. Il doit justifier de la conformité des liaisons électriques intérieures avec la réglementation technique en vigueur [II de l'art.6 du décret n° 2014-450]. Il comprend :

- Une description des caractéristiques techniques du RIE et des méthodes utilisées pour sa création ;
- Une description des prescriptions techniques respectées ;
- Une carte sur laquelle figure le tracé de détail des réseaux électriques projetés et existants (Cf. annexe 7).

a. Caractéristiques techniques du RIE

Les éoliennes installées auront une puissance maximale unitaire de 3,6 MW. Le RIE est présenté ici, en prenant comme référence la SWT130 à 3,6 MW, soit pour une puissance globale de 25,2 MW.

Le plan de localisation du RIE figure en page suivante. Des plans détaillés sont également placés en annexe.

Nature	Descriptif		
Type de câble	Câbles HTA 20 kV (NF C 33 226) de 3 unipolaires disposés en trèfle, posés conformément à la norme NF C 13-200		
Branche CEBRE PDL n° 1 vers éoliennes CEBRE 01 et CEBRE 02 : 1967 m Branche CEBRE PDL n° 1 vers éoliennes CEBRE 04 et CEBRE 03 : 597 m Branche CEBRE PDL n° 2 vers éoliennes CEBRE 05, CEBRE 06 et CEBRE 07 : 14 Total : 4056 m			
Longueur de tranchées à réaliser Tranchées sur la commune de Vigoux : 2446 m Tranchées sur la commune de Celon : 1403 m Tranchées sur la commune d'Argenton-sur-Creuse : 53 m Total : 3902 m			
Nature du réseau	réseau Intégralement souterrain		
Conducteurs	lucteurs 2008 m en 3x150 mm² et 2048 m en 3x240 mm²		
Isolateurs	eurs PR		
Occupation des sols rencontrée	Principalement des prairies, des champs cultivés, des chemins ruraux, des voies communales		

Tableau 15 : Descriptif technique du réseau inter-éolien (source : VOL-V)

b. Création du RIE

Caractéristiques techniques des travaux

Des câbles HTA seront posés entre chaque éolienne et raccordés aux postes de livraison.

Une tranchée sera ouverte en domaine privé, en accotement et en traversée de chemins afin de pouvoir réaliser cette liaison. Les câbles seront enterrés à une profondeur minimum de :

- 1,0 m en terres de labour ;
- 0,8 m en domaine privé hors labour, en accotement, ou sous chemin rural et route départementale.

Les coupes types de tranchées prévues selon l'occupation des sols sont présentées sur les plans en annexe.

Des fourreaux de protection seront posés aux croisements des canalisations existantes, aux points particuliers et sous chemins. Un grillage avertisseur de couleur rouge sera déroulé au-dessus des câbles HTA à 30 cm de ceux—ci.

Pour la partie RIE en labour, le réseau électrique sera posé à une profondeur minimale de 1,00m. Cette profondeur assure la sécurité et la longévité du réseau mais garantit également une sureté pour l'utilisation des terres de la couche supérieure. La largeur de la tranchée sera de 0.46 m en moyenne. Deux techniques pourront être utilisées pour la réalisation de la pose de ce réseau : travaux effectués à la pelleteuse ou à la trancheuse.

■ Travaux effectués à la pelleteuse

- Décapage de la terre végétale (TV) sur 10 m de large et mise en cordon sur le côté.
- Terrassement de la tranchée et mise en cordon des déblais sur la zone décapée. Ces derniers sont bien juxtaposés à la terre végétale. Une attention particulière est portée sur ce point afin de ne pas mélanger la terre végétale aux déblais évacués.
- Remblaiement et évacuation des déblais excédentaires.
- Remise en place de la terre végétale non souillée







Photo 1 : RIE à la pelleteuse : Travaux à la pelleteuse, enfouissement des câbles et remise en été de la terre végétale (source : VOL-V)

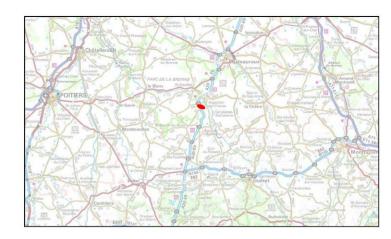


CENTRALE EOLIENNE DES PORTES DE LA BRENNE

Communes de Vigoux, Celon et Argenton-sur-Creuse (87)

Etude de danger

Les Réseaux électriques



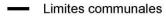
Légende :

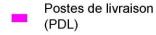


Aire d'étude



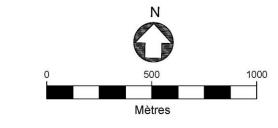
Eoliennes



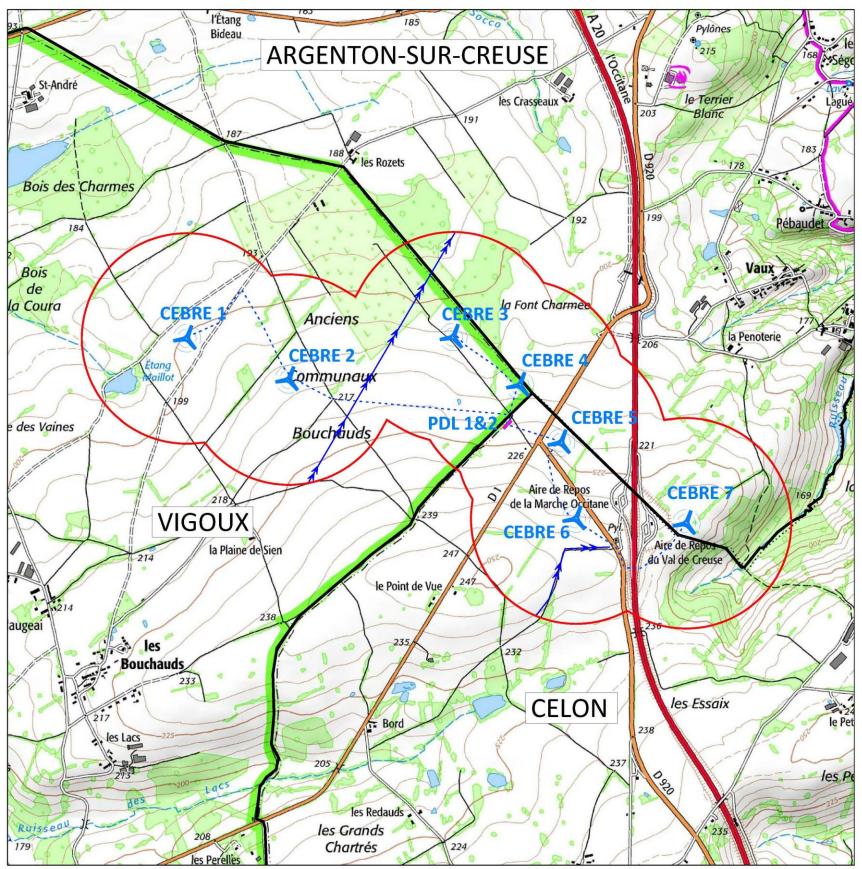


...... Réseau Inter-Eolien (enterré)

>>> Lignes électriques aériennes HTA







Carte 12 : Localisation du réseau inter-éolien (source : VOL-V)



Travaux effectués à la trancheuse

- Décapage de la terre végétale sur 4 m de large et mise en cordon de la terre végétale.
- Passage de la trancheuse dans la zone décapée.
- Remise en place de la terre végétale non souillée.









Photo 2 : RIE à la trancheuse : tranchée et mise en cordon TV, tranchée TV, enfouissement réseaux et remise en état TV (source : VOL-V)

Période et durée prévisionnelle des travaux

Pour des raisons climatique et de sécurité sur nos câbles, la période de mise en place du RIE est programmée juste avant le montage des éoliennes et la livraison des postes de livraison.

La durée prévisionnelle des travaux d'enfouissement des câbles HTA, est d'environ 8 semaines pour une pose effectuée à la pelleteuse et d'environ six semaines pour une pose effectuée à la trancheuse.

Respect des cultures

Parmi tous les jalons marquant la vie d'un parc éolien, la construction du réseau de haute tension est une étape sur laquelle nous portons toute notre attention.

La remise en état de la parcelle agricole est pour nous gage de qualité. Cette remise en état est assurée notamment par :

- Une concertation omniprésente avec les propriétaires et les exploitants des parcelles agricoles;
- Autant que possible et en l'absence de contraintes majeures, un planning de démarrage de cette phase chantier en adéquation avec les périodes appropriées de récolte des parcelles agricoles.
- Le respect du cahier des charges général associé à l'implantation de ce réseau nécessaire à l'enfouissement du réseau et de la bonne remise en état des parcelles agricoles ;
- Des méthodes d'enfouissement respectant la vocation du sol agricole pour lui permettre une bonne récupération de son utilité primaire après enfouissement du réseau ;

- La supervision des travaux par un « superviseur expérimenté chargé de faire respecter les prescriptions réglementaires des travaux selon la réglementation en vigueur.

Tous ces points permettent d'assurer l'implantation du réseau dans de bonnes conditions et assurer la bonne remise en état du site après travaux pour que les parcelles agricoles puissent retrouver leur utilisation d'origine.

Mise en service du réseau

Au regard de l'arrêté du 14 janvier 2013 relatif aux modalités du contrôle technique des ouvrages des réseaux d'électricité et afin de permettre la mise en service du réseau, un bureau de contrôle est missionné et s'assurera de la conformité électrique des ouvrages réalisés.

Au regard de l'article 7 du décret n°2011-1697 du 1^{er} décembre 2011, l'ensemble des informations permettant l'enregistrement des réseaux et son géoréférencement sera transmise à ERDF.

De même qu'en application des dispositions des articles L554-1 à L554-4 et R554-1 et suivants du code de l'environnement, il sera procédé à l'envoi de l'ensemble des informations permettant l'enregistrement des réseaux et son géoréférencement au guichet unique www.reseaux-et-canalisations.gouv.fr.

Une matérialisation du passage des réseaux sur site sera également réalisée par pose de bornes de repérage rouges, spécifiant la présence de câble électrique sous tension. Les bornes seront posées à chaque changement de direction du RIE.

c. Prescriptions techniques à respecter

Respect de la réglementation en vigueur

La Centrale Eolienne s'engage à respecter et faire respecter la réglementation en vigueur dans la conception, l'aménagement et la mise en œuvre du réseau inter-éolien.

Le texte principal est l'arrêté du 17 mai 2001 qui fixe les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique. Le décret du 23 avril 2008 relatif aux prescriptions générales de conception et de fonctionnement pour le raccordement d'installation de production aux réseaux publics d'électricité est également pris en compte.

Respect des réseaux existants

Durant les études réalisées et des consultations préliminaires, il a été identifié par la consultation du guichet unique et le retour de Déclarations de Travaux (DT), la présence ou l'absence de différents réseaux (cf. plan en annexe 9) :

- Une canalisation enterrée d'eau potable et une ligne téléphonique enterrée bordent les routes départementales RD1 et RD920 : ces deux réseaux croisent à trois reprises le RIE qui relient CEBRE07 à CEBRE06, CEBRE06 à CEBRE05 et CEBRE05 au PDL n°2;
- Un réseau d'eau de la Lyonnaise de Eaux passe à proximité de CEFAL 02 et des PDL;
- deux lignes aériennes électriques sont présentes sur le site, l'une traversant l'aire d'étude entre CEBRE02 et CEBRE03 et l'autre située au sud de CEBRE06 ;
- Aucun autre réseau n'a été identifié dans l'aire d'étude.

Les mesures prises pour le chantier vis-à-vis des réseaux identifiés sont les suivantes :

- Dans les 3 mois avant le démarrage des travaux, une Déclaration de Travaux (DT) sera transmises à tous les gestionnaires de réseaux lors d'une nouvelle consultation du guichet unique ;
- Les prescriptions spécifiques à prévoir seront ainsi intégrées dans le cahier des charges technique du chantier.

Respect des voiries existantes

Le RIE projeté :

- Traverse et longe différents chemins ruraux ;
- Traverse à deux reprises et longe la route départementale RD920 ;



- Traverse la route départementale RD1 et l'autoroute A20.

Les mesures prévues en conception et en phase chantier sont :

- Pour les chemins ruraux, une permission de voirie pour travaux sera demandée au service compétent des communes concernées. Les travaux sont susceptibles d'interrompre ou modifier temporairement la circulation.
- Pour les routes départementales, une permission de voirie pour travaux sera demandée à la direction des routes du Conseil Départemental de l'Indre. Dans la mesure où les travaux sont susceptibles d'interrompre ou modifier temporairement la circulation, un arrêté de circulation pourra être pris afin de permettre par exemple une circulation alternée par feux tricolores, voir une fermeture totale de la route à la circulation.
- Pour l'autoroute A20, une permission de voirie pour travaux sera demandée à la Direction Interdépartementale des Routes du Centre Ouest (DIRCO) qui est le gestionnaire de cet axe autoroutier. Aucune interruption ou modification de la circulation ne sera nécessaire, sachant que le passage du RIE sera réalisé par fonçage dirigée sous la voirie.

Les autorisations seront délivrées, avec des prescriptions qui seront intégrées dans le cahier des charges technique du chantier, l'objectif étant que les voiries soient restaurées après le chantier dans leur état initial.

d. Prises en compte de l'environnement

La mise en place du réseau inter-éolien a été prise en compte dans l'étude d'impact du parc éolien (Cf. pièce n°3A « Etude d'impact sur l'environnement »), afin de garantir le respect des règles de l'art, conformément à l'article 4 de l'arrêté du 17 mai 2001 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique.

Les études et mesures compensatoires prévues contribuent ainsi à assurer d'une façon générale le maintien de l'écoulement des eaux, de l'accès des maisons et des propriétés, des télécommunications, de la sécurité et de la commodité de la circulation sur les voies publiques empruntées, la sauvegarde de la flore, de la faune et des paysages, la sécurité des services publics, la sécurité des personnes et la santé.

4.3.3. Autres réseaux

L'installation du parc éolien ne nécessite aucun réseau d'alimentation en eau potable ni aucun réseau d'assainissement. De même, les éoliennes ne sont reliées à aucun réseau de gaz.

5. Identification des potentiels de dangers de l'installation

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

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

5.1. Potentiels de dangers liés aux produits

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

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

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

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 :

- Déchets industriels banals : ces déchets concernent les pièces usagées non souillés, carton usagers d'emballage, etc ;
- 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.

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

L'exploitant s'engage à fournir aux autorités compétentes la liste des produits utilisés ainsi que les risques associés à chacun de ses produits lors de la mise en service de l'installation.

5.2. Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

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

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



Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant :

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

Tableau 16 : Dangers potentiels liés au fonctionnement de l'installation (source : guide technique, mai 2012)

5.3. Réduction des potentiels de dangers à la source

5.3.1. Principales actions préventives

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

a. Choix des caractéristiques des éoliennes

Les éoliennes choisies dans le cadre de l'installation projetée ont les caractéristiques suivantes :

DONNEES GENERALES	
Fabricant	Non défini
Dénomination	Non défini
Puissance nominale	3,6 MW max.
Hauteur en bout de pale	184 m max.
ROTOR	
Diamètre	131 m max.
Surface	13′500 m² max.
Vitesse minimale de rotation	Environ 4 tours/minutes min.

Vitesse maximale de rotation	Environ 17 tours/minutes max.
Sens de rotation	Sens des aiguilles d'une montre
Système de limitation de puissance	3 systèmes autonomes de réglage des pales avec alimentation de secours
Matériaux	Résine d'époxyde renforcée à la fibre de verre / protection parafoudre intégrée
Vitesse de vent de démarrage	1,8 m/s min. environ
Vitesse de vent de mise en sécurité	32 m/s max.
Hauteur du moyeu	127,5 m max.
Hauteur minimale sous pale	48,5 m min.
NACELLE ET GENERATRICE	
Туре	Synchrone ou asynchrone
Système de freinage	frein à disque hydraulique
Matériaux nacelle	Matériaux composites
Matériaux génératrice	Acier, cuivre, aluminium
MAT	
Hauteur au moyeu	127,5 m max.
Matériaux	Acier ou béton + acier
Largeur base mât	9,7 m max. environ

Tableau 17 : Caractéristiques des éoliennes de l'installation (source : VOL-V)

Les éoliennes seront certifiées selon la norme IEC 61400-1 et adaptées aux conditions de vent évaluées préalablement sur le site. Dans le cadre cette norme, les éoliennes sont en effet rangées dans des classes définies en fonction de la vitesse moyenne de vent, de la vitesse maximale et des turbulences. L'adéquation de l'éolienne retenue au site sera également confirmée par le fournisseur d'éoliennes.

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

b. Choix de l'emplacement des installations

Les distances d'éloignement réglementaires aux habitations et aux infrastructures ont été respectées, et même augmentées lorsque la bonne insertion du projet dans son environnement le nécessitait (cf. fichier 4.1. Etude d'impact sur l'environnement). Les éoliennes sont ainsi situées, au plus près, à 671 m des habitations et/ou zones urbanisables, 242 m de la ligne électrique aérienne la plus proche (20 kV) et 66 m du réseau routier départemental. Les éoliennes du parc éolien sont de plus particulièrement espacées, laissant une distance inter-éolienne importante.

5.3.2. Utilisation des meilleures techniques disponibles

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

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



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

6. Analyse des retours d'expérience

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

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

6.1. Inventaire des accidents et incidents en France

6.1.1. Retours d'expériences (mars 2012)

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

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

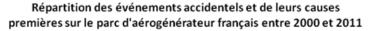
- Rapport du Conseil Général des Mines (juillet 2004);
- Base de données ARIA du Ministère du Développement Durable ;
- Communiqués de presse du SER-FEE et/ou des exploitants éoliens ;
- Site Internet de l'association « Vent de Colère » ;
- Site Internet de l'association « Fédération Environnement Durable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

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

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

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

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et 2011. 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.



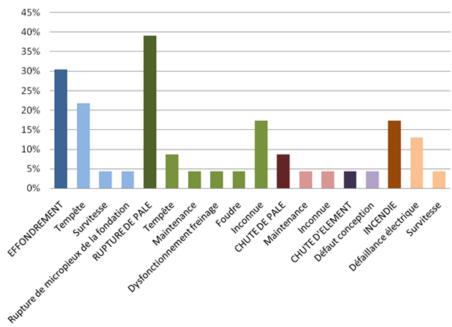


Figure 5 : Répartition des évènements accidentels et de leurs causes en France (source : guide technique, mai 2012)

. 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-dessous. Celle-ci est donnée par rapport à la totalité des accidents observés en France. Elles sont représentées par des histogrammes de couleur claire.

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

6.1.2. Autres accidents et incidents plus récents

La base ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) recense en effet les incidents ou accidents qui ont, ou auraient, pu porter atteinte à la santé ou la sécurité publiques, l'agriculture, la nature et l'environnement. Pour l'essentiel, ces événements résultent de l'activité d'usines, ateliers, dépôts, chantiers, carrières, élevages... classés au titre de la législation relative aux Installations Classées (cf. http://www.aria.developpement-durable.gouv.fr/)..

D'autres accidents et incidents plus récemment identifiés dans le domaine de l'éolien sont listés sur cette base de données : ils sont listés en annexe 7.

6.2. Inventaire des accidents et incidents à l'international

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

La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur les 994 accidents décrits dans la base de données au moment de sa consultation par le groupe de travail précédemment mentionné, seuls 236 sont considérés comme des « accidents majeurs ». Les autres concernant plutôt des accidents du travail, des presque-accidents, des incidents, etc. et ne sont donc pas pris en compte dans l'analyse suivante.

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



Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2011

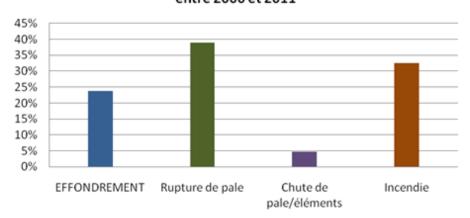


Figure 6 : Répartition des évènements accidentels dans le monde (source : guide technique, mai 2012)

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

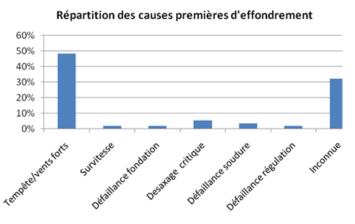


Figure 7: Répartition des causes premières d'effondrement (source: guide technique, mai 2012)

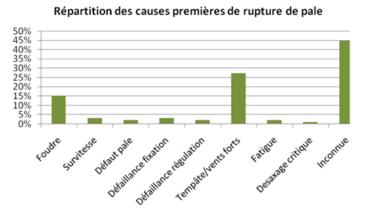


Figure 8 : Répartition des causes premières de rupture de pale (source : guide technique, mai 2012)

Répartition des causes premières d'incendie

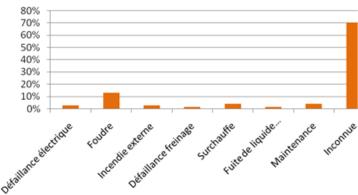


Figure 9 : Répartition des causes premières d'incendie (source : guide technique, mai 2012)

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

Depuis 2010, un seul incident figure dans la base ARIA pour les pays étrangers. Il s'agit d'un feu d'éolienne survenu au Royaume-Unis fin 2011.

6.3. Accidents survenus sur les sites de l'exploitant

Aucun accident majeur n'est recensé sur les sites de l'exploitant, qu'il s'agisse de la société projet, exploitante du parc éolien, ou de sa société mère contrôlant la société projet (cf. chapitre 2.1).

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

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

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



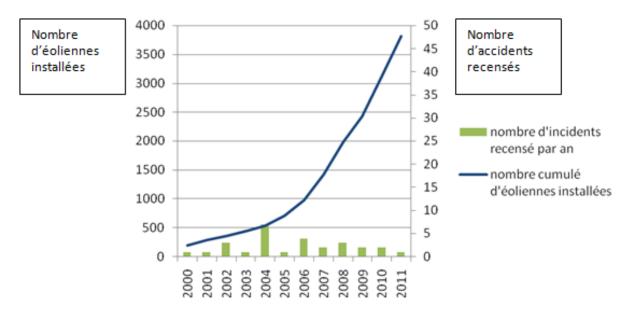


Figure 10: Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées (source: guide technique, mai 2012)

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

6.4.2. Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

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

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

6.5. Limites d'utilisation de l'accidentologie

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

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

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

7. Analyse préliminaire des risques

7.1. Objectif de l'analyse préliminaire des risques

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

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

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

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

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

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



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 suivant synthétise les principales agressions externes liées aux activités humaines.

Infrastructure	Fonction	Evénement redouté	Danger potentiel	Périmètre d'étude	Eolienne(s) concernée(s)
A20	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	Aucune
RD 1	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	CEBRE05 (89 m)
RD 920	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	CEBRE05 (67 m) CEBRE06 (66 m)
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2000 m	Aucune
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	Aucune
Autres aérogénérateurs*	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	Aucune

Tableau 18 : Agressions externes liées aux activités humaines (source : VOL-V)

*En dehors des éoliennes de l'installation, il n'y a aucun autre aérogénérateur situé dans un périmètre de 500 m autour des aérogénérateurs.

Nb: On précise que l'aire de repos du Val de Creuse et l'aire du repos de la Marche Occitane ne sont pas ouvertes au stationnement de transport de matières dangereuses. L'éolienne CEBRE06 est située à 180 m de l'aire de stationnement pour véhicule léger la plus proche et à 230 m de l'aire de stationnement pour poids-lourd la plus proche (aire de repos de la Marche Occitane). L'éolienne CEBRE07 est située à 140 m de l'aire de stationnement pour véhicule léger la plus proche et à 185 m de l'aire de stationnement pour poids-lourd la plus proche (aire de repos du Val de Creuse).

7.3.2. Agressions externes liées aux phénomènes naturels

Le tableau suivant synthétise les principales agressions externes liées aux phénomènes naturels :

Agression	externe	Intensité
Glissement de affaissement	•	Aucune cavité n'est répertoriée au sein de l'aire d'étude. Le risque de tassements par retrait-gonflement des argiles est moyen sur l'aire d'étude. Des sondages géotechniques permettront, en amont de la construction, de préciser la nature argileuse des sols et seront pris en compte pour le dimensionnement des fondations
Vents et temp	pête	Rafale de vent de maximale 36,7 m/s entre 1996 et 2010 (station météorologique de Châteauroux). Le choix de l'aérogénérateur sera adapté aux caractéristiques de vent mesuré
Foudre		Densité d'arc de foudre de l'ordre d'environ 1,7 arcs/km²/an

L'aérogénérateur retenu respectera la norme IEC 61 400-24 (Juin 2010) ou EN 62 305 – 3 (Décembre 2006)

Tableau 19: Agressions externes liées aux phénomènes naturels (source: VOL-V)

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

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

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

7.4. Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques

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

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

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

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

Les différents scénarios listés dans le tableau générique de l'APR sont regroupés et numérotés par thématique, en fonction des typologies d'événement redoutés centraux identifiés grâce au retour d'expérience groupe de travail précédemment cité (« G » pour les scénarios concernant la glace, « I » pour ceux concernant l'incendie, « F » pour ceux concernant les fuites, « C » pour ceux concernant la chute d'éléments de l'éolienne, « P » pour ceux concernant les risques de projection, « E » pour ceux concernant les risques d'effondrement).

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
G01	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales, le mât et la nacelle	Chute de glace lorsque les éoliennes sont arrêtées	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace (N°2)	Impact de glace sur les enjeux	1
G02	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	Projection de glace lorsque les éoliennes sont en mouvement	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de la glace (N°1)	Impact de glace sur les enjeux	2



N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
101	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
102	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
103	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
104	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
105	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
106	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
107	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2
F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur Fuite transformateur	Ecoulement hors de la nacelle et le long du mât, puis sur le sol avec infiltration	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Ecoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
C01	Défaut de fixation	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	1

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
C02	Défaillance fixation anémomètre	Chute anémomètre	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
СЗ	Défaut fixation nacelle – pivot central – mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop importante sur les pales	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Impact sur cible	2
P03	Serrage inapproprié Erreur maintenance – desserrage	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	2
E01	Effets dominos autres installations	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E02	Glissement de sol	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E05	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E07	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du plan de prévention (N°13)	Chute fragments et chute mât	2
E08	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°12)	Projection/chute fragments et chute mât	2



N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
				Dans les zones cycloniques, mettre en place un système de prévision cyclonique et équiper les éoliennes d'un dispositif d'abattage et d'arrimage au sol (N°13)		
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E10	Désaxage critique du rotor	lmpact 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 20 : Scénario étudiés (source : guide technique, mai 2012)

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

Des précisions sur les différents scénarios décrits dans ce tableau sont disponibles en annexe 3.

7.5. Effets dominos

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

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

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

Le guide technique préconise de limiter l'évaluation de la probabilité d'impact d'un élément de l'aérogénérateur sur une autre installation ICPE que lorsque celle-ci se situe dans un rayon de 100 mètres. Aucune installation ICPE ne se situe dans ce périmètre. C'est la raison pour laquelle 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 sécurité

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les fonctions de sécurité identifiées et mise en œuvre sur les éoliennes. Selon le guide technique de mai 2012, une simple description des mesures de sécurité mises en œuvre sur leurs machines, et de leurs critères de défaillance est conduite ci-dessous. Dans le cadre de la présente étude de dangers, les fonctions de sécurité sont détaillées selon les critères suivants :

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



Fonction de sécurité	N° de la Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace fonction de sécurité				
Mesures de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aé Procédure adéquate de redémarrage.	rogénérateur.			
Description	Système de détection redondant du givre permettant, en cas de détection de glace rapide de l'aérogénérateur. Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des cosoit manuellement après inspection visuelle sur site.				
Indépendance	Non Les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur des fonctions et des appare l'exploitation du parc. En cas de danger particulièrement élevé sur site (survol d'un sur site soumis à des conditions de gel importantes), des systèmes additionnels peu	e zone fréquent			
Temps de réponse	Quelques minutes (<60 min.) conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 20	11			
Efficacité	100 %				
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne				
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis maintenance de cas de dysfonctionnement de l'équipement	remplacement	en		

Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité	2
Mesures de sécurité	Panneautage en pied de machine Eloignement des zones habitées et fréquentées		
Description	Mise en place de panneaux informant de la possible formation de glace en pied de (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011).	machines	
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %. Nous considérerons que compte tenu de l'implantation des panneaux et de l'information des promeneurs sera systématique.	l'entretien prév	u,
Tests	NA		
Maintenance	Vérification de l'état général du panneau, de l'absence de détérioration, entretien que le panneau reste visible.	de la végétation	afin

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3	
Mesures de sécurité	Capteurs de température des pièces mécaniques Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement	alarmes		
Description	/			
Indépendance	Oui			
Temps de réponse	NA			
Efficacité	100 %			
Tests	Surveillance via la maintenance prédictive, avec détection de la déviation de tempé capteur.	ratures de chaq	lue	
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle ann l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.	uel conformém	nent à	

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 prindépendamment du système de contrôle commande. NB: Le système de freinage est constitué d'un frein aérodynamique principal (mise 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 servi compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anorm 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.		en
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.		



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 com	posant électriq	ue.
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	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'isolem des câbles sont intégrées dans la plupart des mesures de maintenance préventive n Les installations électriques sont contrôlées avant la mise en service du parc puis à annuelle, conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011.	nises en œuvre.	_

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur.		
Description	Respect de la norme IEC 61 400 – 24 (juin 2010) Dispositif de capture + mise à la terre Parasurtenseurs sur les circuits électriques		
Indépendance	Oui		
Temps de rép.	Immédiat dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011		

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	Capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne pouvant per 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		e

Description	Détecteurs de fumée qui lors de leur déclenchement conduisent à la mise en arrêt de la machine et au découplage du réseau électrique. De manière concomitante, un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance. 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	/
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 (type extincteurs) est contrôlé périodiquement par le fabriquant du matériel ou un organisme extérieur. Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	Détecteurs de niveau d'huiles Procédure d'urgence Kit antipollution		
Description	Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuit l'éolienne en cas d'urgence. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directe à vidanger et le camion de vidange. Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant afin: – de contenir et arrêter la propagation de la pollution; – d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, a chimiques (acides, bases, solvants); – de récupérer les déchets absorbés. Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, une société spécialisée récupérera es souillé via les filières adéquates, puis le remplacera par un nouveau revêtement.	le transfert des ment entre l'élé pourront être u alcools) et pro	huiles iment tilisés oduits
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Dépendant du débit de fuite		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Inspection des niveaux d'huile plusieurs fois par an		



Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	N° de la fonction de sécurité	9
Mesures de sécurité	Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brid Procédures qualités Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)	des ; joints, etc.)	
Description	La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi la nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223.		ant la
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	NA		
Maintenance	Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccorde moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléme couronne du Yam Gear, boulons de fixation de la nacelle) sont vérifiés au bout de fonctionnement puis un an après la mise en service industrielle, puis suivant une pé excéder 3 ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011.	ents du pitch sys 3 mois de	tem,

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

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	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 pâles) par le système de conduite	progressive des	3
Description	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maxima a été conçue.	ale pour laquelle	eelle
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	< 1 min		
Efficacité	100 %. NB : En fonction de l'intensité attendue des vents, d'autres dispositifs de diminution de l'éolienne peuvent être envisagés.	n de la prise au	vent
Tests	Test des programmes de freinage lors de la mise en service de l'éolienne. Test automatique du système de freinage mécanique et du fonctionnement de cha (freinage aérodynamique) lors de la séquence de démarrage de l'éolienne.	que système pit	ch
Maintenance	Maintenance préventive du système pitch (les points contrôlés varient suivant le ty T1 / T2 / T3 / T4), notamment vérification du câblage et du système de lubrification graissage des roulements de pitch. Maintenance préventive du frein mécanique (les points contrôlés varient suivant le maintenance – T1 / T2 / T3 / T4), notamment inspection visuelle, vérification de l'épplaquettes de frein et des capteurs du frein mécanique.	automatique,	nce –

Fonction de sécurité	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	N° de la fonction de sécurité	12
Mesures de sécurité	Inspection des équipements lors des maintenances planifiées Suivi de données mesurées par les capteurs et sondes présents dans les éoliennes		
Description	Des contrôles visuels sont prévus lors des opérations de maintenance. Un système de revêtement spécial respectant les exigences de la norme ISO 12944 protection des pièces de l'éolienne contre la corrosion et les autres évènements de Les données mesurées par les capteurs et sondes présents dans l'éolienne sont suiv Ces données sont traitées afin de détecter les dégradations potentielles des équipe est nécessaire, une inspection de l'équipement soupçonné de se dégrader est plani	l'environnemer vies et enregistro ments. Lorsqu'e	ées.
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	NA		
Tests	/		
Maintenance	NA		



50/166

Fonction de sécurité	Prévenir les risques liés aux opérations de chantier	N° de la fonction de sécurité	13
Mesures de sécurité	Mise en place d'une procédure de sécurité / rédaction d'un plan de prévention sécurité et de protection de la santé (PPSPS) Mise en place d'une restriction d'accès au chantier	/ Plan particul	ier de
Description			
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	NA		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte de personne par la projection de glace	N° de la fonction de sécurité	14
Mesures de sécurité	Système de détection de glace sur les pales de l'aérogénérateur par mesure directe de formation de glace soit sur les pales, soit depuis la nacelle		le
Description	Système de détection redondant de glace s'appuyant sur la mesure de paramètres physiques et/ou de conditions météorologiques. Il s'agit d'un système additionnel à la fonction de sécurité n°1 qui propose un système de détection de glace par la méthode de courbe de puissance (actif uniquement pour une éolienne en fonctionnement). Ce système permet la détection de glace lorsque l'éolienne est en fonctionnement ou à l'arrêt. Le redémarrage automatique de l'éolienne ne peut donc intervenir qu'après mesure confirmant la disparition des conditions météorologiques favorables à la formation et au maintien de glace sur les pales ou qu'après mesure confirmant l'absence de glace sur les pales. Un redémarrage manuel est également possible depuis l'éolienne et après une vérification visuelle de l'état des pales.		pose une
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Quelques minutes (<60 min.) conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011		
Efficacité	100 %		
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis maintenance de cas de dysfonctionnement de l'équipement	remplacement	en

Tableau 21: Tableaux décrivant les 13 fonctions de sécurité (source : guide technique, mai 2012)

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 préliminaire des risques

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

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m² n'est pas atteinte. Dans le cas d'un incendie au niveau du mât les effets sont également mineurs et l'arrêté du 26 Août 2011 encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques. Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.
Incendie du poste de livraison ou du transformateur	En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistants du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 août 2011 [9] et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200)
Chute et projection de glace dans les cas particuliers où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C	Lorsqu'un aérogénérateur est implanté sur un site où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C, il peut être considéré que le risque de chute ou de projection de glace est nul. Des éléments de preuves doivent être apportés pour identifier les implantations où de telles conditions climatiques sont applicables.
Infiltration d'huile dans le sol	En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs. Ce scénario peut ne pas être détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques sauf en cas d'implantation dans un périmètre de protection rapprochée d'une nappe phréatique.

Tableau 22 : Justification des scénarios exclus de l'étude détaillée (source : guide technique, mai 2012)

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

- S1 : Effondrement de l'éolienne ;
- S2 : Chute de glace ;
- S3 : Chute d'éléments de l'éolienne ;
- S4 : Projection de tout ou une partie de pale ;
- S5 : Projection de glace.

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



8. Etude détaillée des risques

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

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 toxique.

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

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

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

Afin de pouvoir présenter des éléments au sein de cette étude de dangers, il est proposé de recourir à la méthode ad hoc préconisée par le guide technique nationale relatif à l'étude de dangers dans le cadre d'un parc éolien dans sa version de mai 2012. Les tableaux suivants sont issus de ce guide. 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 [13], la cinétique peut être qualifiée de « lente » ou de « rapide ». Dans le cas d'une cinétique lente, les personnes ont le temps d'être mises à l'abri à la suite de l'intervention des services de secours. Dans le cas contraire, la cinétique est considérée comme rapide.

Dans le cadre d'une étude de dangers pour des aérogénérateurs, il est supposé, de manière prudente, que tous les accidents considérés ont une <u>cinétique rapide</u>. 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 [13]).

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

Or, les seuils d'effets proposés dans l'arrêté du 29 septembre 2005 [13] caractérisent des phénomènes dangereux dont l'intensité s'exerce dans toutes les directions autour de l'origine du phénomène, pour des effets de surpression, toxiques ou thermiques). Ces seuils ne sont donc pas adaptés aux accidents générés par les aérogénérateurs.

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

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

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

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

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

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

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.

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

8.1.4. Probabilité

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



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

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

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

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

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

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

Perc = probabilité que l'événement redouté central (défaillance) se produise = probabilité de départ

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

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

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

P_{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 (Paccident) à la probabilité de l'événement redouté central (Perc) a été retenue.



8.2. Situation normale - caractérisation des scénarios retenus

8.2.1. S1 - Effondrement de l'éolienne

a. Zone d'effet

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit 184 m dans le cas des éoliennes de l'installation.

Cette méthodologie se rapproche de celles utilisées dans la bibliographie (références [5] et [6]). Les risques d'atteinte d'une personne ou d'un bien en dehors de cette zone d'effet sont négligeables et ils n'ont jamais été relevés dans l'accidentologie ou la littérature spécialisée.

b. Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne dans le cas du parc éolien en projet. R est la longueur de pale (R= 65,5 mètres), H la hauteur du mât (H= 127,5 mètres), L la largeur du mât (L= 9,7 mètres) et LB, la largeur maximale de la pale (LB= 4 mètres).

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)					
Zone d'impact en m² Zone d'effet du phénomène étudié en m² Degré d'exposition du phénomène étudié en % Intensité					
ZI = (H) x L + 3*R*LB/2	$ZE = \pi x (H+R)^2$	ZI / ZE	From a citation of a citation		
1630	117021	1,39%	Exposition forte		

Tableau 23 : Intensité du scénario « effondrement de l'éolienne » (source : VOL-V)

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

c. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 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 d'effondrement et la gravité associée (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1) :

Effondrement (Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) Grav		
CEBRE01	0,13 (inférieur à 1 personne)	Sérieux	
CEBRE02	0,13 (inférieur à 1 personne)	Sérieux	
CEBRE03	0,12 (inférieur à 1 personne)	Sérieux	
CEBRE04	0,12 (inférieur à 1 personne)	Sérieux	
CEBRE05	0,14 (inférieur à 1 personne)	Sérieux	
CEBRE06	79,25 (entre 10 et 100 personnes)	Catastrophique	
CEBRE07	99,69 (entre 10 et 100 personnes)	Catastrophique	

Tableau 24 : Gravité du scénario « effondrement de l'éolienne » (source : VOL-V)

d. Probabilité

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

Source	Fréquence	Justification
Guide for risk based zoning of wind turbines [5]	4,5 x 10 ⁻⁴	Retour d'expérience
Specification of minimum distances [6]	1.8×10^{-4} (effondrement de la nacelle et de la tour)	Retour d'expérience

Tableau 25 : Probabilité du scénario « effondrement d'une éolienne » (source : VOL-V)

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'expérience², soit une probabilité de 4,47 x 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 ».

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 mesures de sécurité sont notamment :

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

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

² 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.



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 ».

e. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur de l'installation, 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)			
Eolienne	Gravité	Niveau de risque	
CEBRE01	Sérieux	Acceptable	
CEBRE02	Sérieux	Acceptable	
CEBRE03	Sérieux	Acceptable	
CEBRE04	Sérieux	Acceptable	
CEBRE05	Sérieux	Acceptable	
CEBRE06	Catastrophique	Acceptable	
CEBRE07	Catastrophique	Acceptable	

Tableau 26 : Acceptabilité du scénario « effondrement de l'éolienne » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'installation étudiée, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place, en particulier pour CEBRE06 et CEBRE07.

8.2.2. S2 - Chute de glace

a. 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], 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.

b. 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 l'installation projetée, la zone d'effet à donc un rayon de 65,5 mètres. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

c. Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace dans le cas du parc éolien projeté. Z_I est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, R est la longueur de pale (R= 65,5 mètres), R0 est la surface du morceau de glace majorant (R0 est la surface du morceau de glace majorant (R0 est la surface du morceau de glace majorant (R0 est la surface du morceau de glace majorant (R0 est la surface du morceau de glace majorant (R0 est la surface du morceau de glace majorant (R0 est la surface du morceau de glace majorant (R1 est la surface du morceau de glace majorant (R1 est la surface du morceau de glace majorant (R1 est la surface du morceau de glace majorant (R1 est la surface du morceau de glace majorant (R1 est la surface du morceau de glace majorant (R1 est la surface du morceau de glace majorant (R1 est la surface du morceau de glace majorant (R2 est la surface du morceau de glace majorant (R2 est la surface du morceau de glace majorant (R2 est la surface du morceau de glace majorant (R2 est la surface du morceau de glace majorant (R2 est la surface du morceau de glace majorant (R2 est la surface du morceau de glace majorant (R3 est la surface du morceau de glace majorant (R3 est la surface du morceau de glace majorant (R3 est la surface du morceau de glace majorant (R3 est la surface du morceau de glace majorant (R3 est la surface du morceau de glace majorant (R3 est la surface du morceau de glace majorant (R3 est la surface du morceau de glace majorant (R4 est la surface du morceau de glace du morceau de

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)				
Zone d'impact en m² Zone d'effet du Degré d'exposition du phénomène étudié en m² phénomène étudié en %				
ZI= SG	$ZE = \pi \times R^2$	ZI/ZE		
1,00	13478	0,01%	Exposition modérée	

Tableau 27: Intensité du scénario « chute de glace » (source : VOL-V)

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

d. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 » \rightarrow « 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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1) :

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)			
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité	
CEBRE01	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE02	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE03	0,02 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE04	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE05	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE06	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE07	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré	

Tableau 28 : Gravité du scénario « chute de glace » (source : VOL-V)

e. Probabilité

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

f. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur de l'installation, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :



Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)			
Eolienne	Gravité	Niveau de risque	
CEBRE01	Modérée	Acceptable	
CEBRE02	Modérée	Acceptable	
CEBRE03	Modérée	Acceptable	
CEBRE04	Modérée	Acceptable	
CEBRE05	Modérée	Acceptable	
CEBRE06	Modérée	Acceptable	
CEBRE07	Modérée	Acceptable	

Tableau 29: Acceptabilité du scénario « chute de glace » (source : VOL-V)

Pour le parc éolien projeté, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place : conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, un panneau informant le public des risques (et notamment des risques de chute de glace) sera installé sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, c'est-à-dire en amont de la zone d'effet de ce phénomène. Cette mesure permettra de réduire les risques pour les personnes potentiellement présentes sur le site lors des épisodes de grand froid.

8.2.3. S3 - Chute d'éléments de l'éolienne

a. 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 détaillé 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.

b. Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien. d est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, Z_E la longueur de pale (Z_E la longueur de pale (Z_E la longueur de la base de la pale (Z_E la mètres).

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)				
Zone d'impact en m² Zone d'effet du Degré d'exposition du phénomène étudié en m² phénomène étudié en % Intensité				
ZI= R*LB/2	$ZE = \pi \times R^2$	ZI/ZE	Funnaition madénée	
131	13 478	0,97%	Exposition modérée	

Tableau 30: Intensité du scénario « chute d'éléments de l'éolienne » (source : VOL-V)

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

c. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)					
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité			
CEBRE01	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE02	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE03	0,02 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE04	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE05	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE06	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE07	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			

Tableau 31 : Gravité du scénario « chute d'éléments de l'éolienne » (source : VOL-V)

d. Probabilité

Peu d'élément 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 10⁻⁴événement par éolienne et par an).

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

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

e. Acceptabilité

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



Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)				
Eolienne	Gravité	Niveau de risque		
CEBRE01	Modérée	Acceptable		
CEBRE02	Modérée	Acceptable		
CEBRE03	Modérée	Acceptable		
CEBRE04	Modérée	Acceptable		
CEBRE05	Modérée	Acceptable		
CEBRE06	Modérée	Acceptable		
CEBRE07	Modérée	Acceptable		

Tableau 32 : Acceptabilité du scénario « chute d'éléments de l'éolienne » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'installation, le phénomène de chute d'éléments des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

8.2.4. S4 - Projection de pales ou de fragments de pales

a. Zone d'effet

Dans 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].

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 dangers des parcs éoliens.

b. Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien. d est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R la longueur de pale (R= 65,5 mètres) et LB la largeur (cas majorant) de la base de la pale (LB= 4 mètres).

NB: Le degré d'exposition a été calculé dans le tableau ci-dessous pour le cas majorant d'une pale de longueur R= 65,5 m et de largeur à la base (LB) de 4 m. Ce cas est majorant quant aux caractéristiques des éoliennes communément installées. Il faut également noter que la projection peut concerner uniquement des fragments et non la pale entière.

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)							
Zone d'impact en m²	Zone d'effet du phénomène étudié en m²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité				
ZI=R*LB/2	ZE= π x Rp²	ZI/ZE	Evposition modérée				
131	785 398	0,02%	Exposition modérée				

Tableau 33 : Intensité du scénario « projection de pale ou de fragment de pale » (source : VOL-V)

c. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe VIII.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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

Pr	Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)					
Eolienne	Eolienne Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)					
CEBRE01	0,93 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE02	0,88 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE03	0,83 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE04	0,89 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE05	313,48 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique				
CEBRE06	552,64 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique				
CEBRE07	556,56 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique				

Tableau 34 : Gravité du scénario « projection de pale ou de fragment de pale » (source : VOL-V)

d. 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 x 10 ⁻⁶	Respect de l'Eurocode EN 1990 – Basis of structural design
Guide for risk based zoning of wind turbines [5]	1, 1 x 10 ⁻³	Retour d'expérience au Danemark (1984-1992) et en Allemagne (1989-2001)
Specification of minimum distances [6]	6,1 x 10 ⁻⁴	Recherche Internet des accidents entre 1996 et 2003

Tableau 35 : Probabilité du scénario « projection de pale ou de fragment de pale »

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 x 10⁻⁴ événement par éolienne et par an).

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

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

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

- Les dispositions de la norme IEC 61 400-1;



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

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

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

e. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien, 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			
CEBRE01	Modérée	Acceptable			
CEBRE02	Modérée	Acceptable			
CEBRE03	Modérée	Acceptable			
CEBRE04	Modérée	Acceptable			
CEBRE05	Catastrophique	Acceptable			
CEBRE06	Catastrophique	Acceptable			
CEBRE07	Catastrophique	Acceptable			

Tableau 36 : Acceptabilité du scénario « projection de pale ou de fragment de pale » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'installation, le phénomène de projection de tout ou partie de pale des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place, en particulier pour CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07.

8.2.5. S5 - Projection de glace

a. Zone d'effet

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

En ce qui concerne la distance maximale atteinte par ce type de projectiles, il n'existe pas d'information dans l'accidentologie. La référence [15] propose une distance d'effet fonction de la hauteur et du diamètre de l'éolienne, dans les cas où le nombre de jours de glace est important et où l'éolienne n'est pas équipée de système d'arrêt des éoliennes en cas de givre ou de glace :

Distance d'effet = 1,5 x (hauteur de moyeu + diamètre de rotor)

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

b. 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 m²) et la superficie de la zone d'effet du phénomène.

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du parc éolien. d est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R la longueur de pale (R= 65,5 mètres), R la hauteur au moyeu (R= 127,5 mètres), et R la surface majorante d'un morceau de glace (R= 1R).

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R _{PG} = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)							
Zone d'impact en m² Zone d'effet du Degré d'exposition du Intensité phénomène étudié en m² phénomène étudié en %							
ZI= SG	$ZE = \pi \times (1,5*(H+2*R))^2$	ZI/ZE					
1	472 339	0,0002%	Exposition modérée				

Tableau 37 : Intensité du scénario « projection de morceaux de glace » (source : VOL-V)

c. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe VIII.1.3., il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection de glace, dans la zone d'effet de ce phénomène :

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

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

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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

Projection de morceaux de	Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1.5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)						
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité					
CEBRE01	0,55 (inférieur à 1 personne)	Modéré					
CEBRE02	0,53 (inférieur à 1 personne)	Modéré					
CEBRE03	0,50 (inférieur à 1 personne)	Modéré					
CEBRE04	0,54 (inférieur à 1 personne)	Modéré					
CEBRE05	121,71 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique					
CEBRE06	400,3 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique					
CEBRE07	400,95 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique					

Tableau 38 : Gravité du scénario « projection de morceaux de glace » (source : VOL-V)



d. 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.

e. Acceptabilité

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

Projection de m	Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R _{PG} = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)						
Eolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage	Niveau de risque				
CEBRE01	Modérée	Oui	Acceptable				
CEBRE02	Modérée	Oui	Acceptable				
CEBRE03	Modérée	Oui	Acceptable				
CEBRE04	Modérée	Oui	Acceptable				
CEBRE05	Catastrophique	Oui	Non acceptable				
CEBRE06	Catastrophique	Oui	Non acceptable				
CEBRE07	Catastrophique	Oui	Non acceptable				

Tableau 39 : Acceptabilité du scénario « projection de morceaux de glace » (source : VOL-V)

Ainsi, pour les éoliennes CEBRE01, CEBRE02, CEBRE03 et CEBRE04, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes potentiellement exposées.

Pour les éoliennes CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07, le risque relatif à la projection de glace est, en l'état, non acceptable pour les personnes potentiellement exposées.

f. Décote de la probabilité de survenance et mesures complémentaires pour l'acceptabilité du risque

Afin de réduire fortement la probabilité de survenance de ce risque, chaque aérogénérateur pourra être équipé d'un double système de détection (indirecte et directe) de formation de glace sur les pales. Basés sur deux méthodes de mesure indépendantes et complémentaires, ces deux systèmes permettent tous deux, soit de déduire la formation de glace, soit de mesurer directement la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur et d'enclencher l'arrêt ou le non-redémarrage de l'aérogénérateur. En conséquence de quoi une décote de la probabilité de survenance du risque est rendue possible.

Rappel sur les conditions météorologiques de formation de glace, givre ou neige sur les pales

La formation de glace sur les pales se produit lorsqu'il y a un taux élevé d'humidité dans l'air et/ou la présence de pluie ou de neige, associé à une température d'environ 0°C. Dans ces conditions, l'eau sous forme gazeuse (vapeur d'eau) se condense au contact de la surface des pales, les pales agissant comme un noyau de condensation nécessaire au passage de l'état gazeux à l'état liquide ou solide. De même, l'eau sous forme liquide présente sur la surface des pales subit un changement d'état et devient alors solide. Dans les deux cas, il s'agit du phénomène de condensation et celui-ci se poursuit tant que les conditions

s'y prêtent, provoquant l'accumulation de glace sur les pales. Ainsi, l'accumulation de glace sur les pales intervient principalement avec des températures de l'air comprises entre - 1°C et - 4°C. Dès lors que la température de l'air dépasse + 1°C ou descend en dessous de - 7°C, le taux d'humidité de l'air est trop faible pour alimenter le phénomène de condensation à l'origine de la formation de glace sur les pales.

Pour information, les normales climatiques (1971-2000) issues de la station Météo France de Châteauroux précisent la probabilité d'occurrence de ces phénomènes :

Nbr de jours avec	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
T°C max <= 0°C	2,5	1,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0,4	1,4	5,4
T°C min <= - 5°C	2,7	1,9	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0,7	1,4	7,2
T°C min <= 0°C	12,3	11,5	7,4	2,4	0,1	0	0	0	0	0,7	6,9	11,0	52,4
Neige	-	2,3	0,7	0,6	0	0	-	-	0	0	-	-	-

Tableau 40 : Normales climatiques issues de la station météorologique de Châteauroux (source : Météo France)

On constate tout d'abord qu'une température maximale quotidienne inférieure ou égale à 0°C n'est rencontré qu'environ 5 jours par an, soit 5 journées entières présentant potentiellement les conditions météorologiques propices à la formation de glace. Ensuite, ces conditions pourront également être rencontrées ponctuellement pendant environ 47 jours, sachant que pour 7 jours, la température descendra en-dessous de -5°C et ne sera plus adaptée à la formation de glace.

Modélisation de la projection de glace

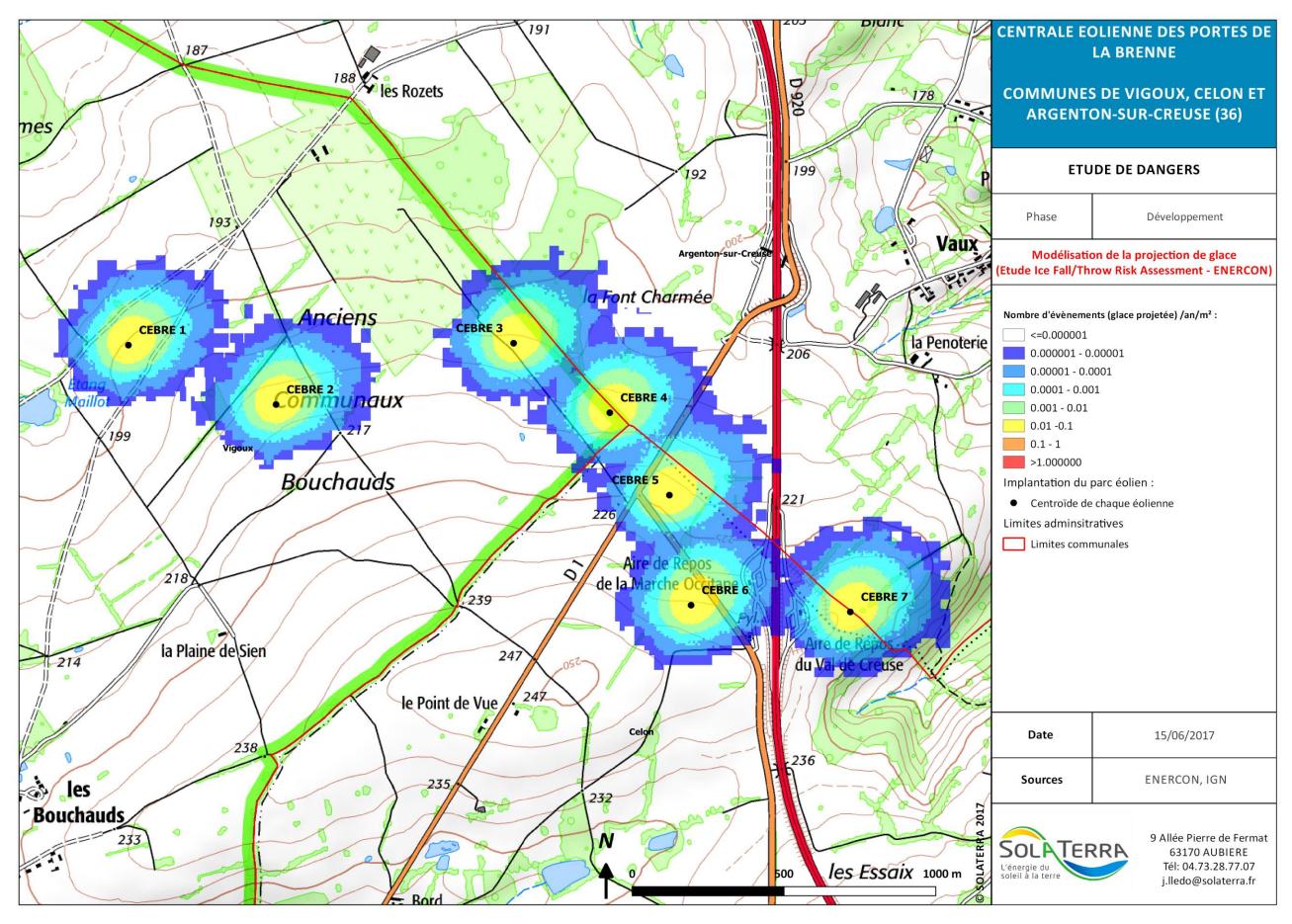
A ces conditions météorologiques doivent également être associées les données relatives au régime de vent car le risque de projection de glace n'est à considérer que pour les parties des zones d'effet présentant un taux d'occupation élevé en termes de personnes exposées. Ainsi, une simulation des risques de chute et de projection de glace a été réalisée par le service ingénierie du fabricant d'éolienne ENERCON qui a développé, dans ce cadre, un outil de modélisation innovant, le « IceFall Tool v1.01 » permettant d'estimer précisément ce risque selon la méthode de trajectoire. Les données d'entrée utilisées sont un modèle numérique de terrain, les données de mesure de vent issues du mât de mesure installé pour ce projet et les caractéristiques de fonctionnement de l'éolienne. Pour cette simulation a été considérée l'éolienne ENERCON E-115 avec une hauteur de moyeu de 122,1 m et un diamètre de rotor de 115,7 m (puissance unitaire de 3 MW). Le rapport d'étude est consultable en annexe 8 de la présente étude. En conclusion, on constate que le risque de projection de glace est en grande partie inférieur à 0,01 projection par m² et par an. En l'état, les deux aires de repos, qui présentent le plus grand nombre de personnes exposées à ce risque au sein de la zone d'étude, sont soumises à un risque inférieur à 0,0001 projection par m² et par an. On rappelle que les personnes présentes dans les véhicules ne sont pas considérées comme exposées à ce risque, du fait de la protection que leur fournit l'habitacle de leur véhicule.

La modélisation de la projection de glace est illustrée par la cartographie n°13 page suivante.

Ainsi, si on considère strictement les aires de stationnement des deux aires de repos et qu'aucune mesure complémentaire de gestion du risque de projection de glace n'est mise en œuvre à l'exception du système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance (équipement par défaut pour les éoliennes actuelles), la probabilité de survenance de ce risque est inférieure à 10⁻⁴, soit une classe de probabilité D au lieu d'une classe de probabilité B telle définie par le guide INERIS de mai 2012. Une classe de probabilité D correspond à la qualification suivante : « Rare - S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité. ».

Afin de consolider la décote de la probabilité de survenance, une mesure complémentaire au système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance, qui équipe aujourd'hui par défaut les éoliennes, sera mis en œuvre. Ces mesures sont présentées ci-dessous.





Carte 13 : Cartographie de la modélisation de projection de glace- Etude Ice Fall/Throw Assessment réalisée par ENERCON (source : SOLATERRA)-



Système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance

Le premier système de détection de glace s'appuie sur la méthode de la courbe de puissance et équipe de manière standard l'ensemble des aérogénérateurs proposés par les fabricants européens, en particulier ceux concernés par le gabarit machine retenu dans le cadre de la Centrale Eolienne des Portes de la Brenne (Siemens, Senvion et Enercon).

Le principe de fonctionnement est le suivant : l'accumulation de glace sur les pales génère un déséquilibre du rotor qui est retranscrit au niveau de la génératrice de conversion électrique et plus particulièrement au niveau des roulements des boites de vitesse industrielles qui équipent les aérogénérateurs. En effet, l'accumulation de glace sur les pales modifie leur profil aérodynamique (contour, rugosité) et cela se traduit par une perturbation de la courbe de puissance de l'éolienne. Associé à une mesure de la température de l'air par un capteur sur la nacelle et un autre à la base de la tour (doublement des capteurs de mesure), l'analyse en temps réel de la courbe de puissance est réalisée dès lors que les conditions de température sont propices à la formation de glace. Par comparaison aux valeurs moyennes à long terme de courbe de puissance et aux paramètres machine associés (données de vent, vitesse de rotation, puissance, angle de lame) en fonctionnement normal, les valeurs mesurées en temps réel de courbe de puissance permettent de déduire ou non la formation de glace et donc la mise en œuvre de mesures comme un arrêt machine qui survient généralement en moins de 30 minutes après l'apparition des premières couches de glace.

Dans le cas d'un arrêt machine, le redémarrage automatique de l'éolienne n'est possible qu'après la fonte de la glace sur les pales et lorsque la température de l'air dépasse 2 °C. La durée d'arrêt est estimée en fonction de la température extérieure et de son évolution, le tout analysé par le système de contrôle/commande de chaque éolienne. Par conséquent, plusieurs heures peuvent être nécessaires avant le redémarrage de la machine. Un redémarrage manuel, plus précoce, est possible après une vérification visuelle de l'état de givrage des pales par un opérateur sur site. Toutefois, ce système seul ne permet pas de garantir l'absence de glace sur les pales lors du redémarrage de l'éolienne. Pour cette raison, un système complémentaire de détection de glace sera mis en œuvre et est proposé par l'ensemble des fabricants d'éolienne.

Système de détection de glace par mesure directe de formation de glace

Associé au premier système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance, un système de détection de glace par mesure directe de formation de glace, soit depuis la nacelle, soit sur les pales elles-mêmes, sera installé. Différentes technologies sont proposées par chaque fabricant d'éolienne. Quel que soit la technologie, l'avantage principal de ces systèmes de mesure est de pouvoir mesurer la formation de glace lorsque l'éolienne est à l'arrêt et donc de supprimer tout risque de projection de glace lors du redémarrage. En contrepartie, ces systèmes induisent plus de temps d'arrêt que le premier système de détection seul. A savoir que les ordres (arrêt, redémarrage de l'éolienne) du système de détection de glace par mesure directe de formation de glace sont prioritaires par rapport à ceux du système par méthode de la courbe de puissance.

A titre d'exemple, le fabricant ENERCON propose le système « Labko ice detector ». Ce système se compose d'un module capteur fixé au support de l'anémomètre situé sur la nacelle et d'une unité de contrôle située à l'intérieur de la nacelle. Ce système est relié au système de commande de l'éolienne.

Ce détecteur fonctionne par mesure en temps réel de la formation de glace au sein de son capteur. Cette mesure est réalisée par l'analyse des variations de fréquence d'un fil oscillant initialement dans la gamme ultrason. Lors de l'accumulation de glace, ce fil voit sa masse s'accroître et l'oscillation du fil en est perturbée en conséquence. La fréquence du signal mesurée par le capteur est alors modifiée et est ensuite comparée à une valeur limite configurable. Après détection de glace, un système de chauffage du capteur est activé afin de supprimer la glace formée sur le fil et de renouveler la phase de mesure. La durée d'un cycle de mesure (détection – chauffage – refroidissement) est d'environ 30 minutes et ensuite une nouvelle mesure peut être réalisée.

Ainsi, un tel système permet à la fois de générer un arrêt machine mais également d'empêcher son redémarrage si les conditions physiques sont toujours inappropriées. Contrairement au système de détection par la méthode de la courbe de puissance, l'avantage de ce système est de pouvoir mesurer la formation de glace lorsque l'éolienne est à l'arrêt et donc de supprimer tout risque de projection de glace lors du redémarrage. Ainsi, ce système entraîne plus de temps d'arrêt que le premier système de détection seul. Aucun système facultatif de chauffage des pales par circulation d'air chaud pulsé (température maximale de l'ordre de 70 °C) à l'intérieur de chaque pale ne sera mis en œuvre. On précise que ce système n'est pas considéré comme une fonction active de sécurité, en particulier vis-à-vis de la prévention du risque de projection de glace. Il s'agit uniquement d'une mesure permettant d'accélérer le redémarrage de l'éolienne, après son arrêt suite à la détection de glace sur les pales, et donc de réduire la perte de production. Dans notre cas, cette mesure n'est justifiée.

Le fabricant SENVION a développé un autre système, le « Rotor Blade Ice Detection » » qui fait appel à une autre technologie. Ce système a recours à des capteurs d'accélération à fibre optique installés sur chaque pale, de manière à détecter la présence de glace. Cette technologie permet une détection précise de la quantité de glace à même les pales.

Sachant qu'à ce stade du projet aucun modèle d'éolienne n'a été retenu (cf paragraphe « 4.1.3. Considération d'un gabarit d'éolienne »), aucune technologie de détection de glace par mesure directe ne peut être arrêtée. Toutefois, le porteur de projet s'engage à équiper les éoliennes CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07 d'un système de détection de glace par mesure directe de formation de glace, quel que soit la technologie utilisée, sous réserve que ces fonctionnalités permettent la détection de glace lorsque l'éolienne est en fonctionnement ou à l'arrêt et que cette technologie s'appuie sur la mesure de paramètres physiques et/ou de conditions météorologiques (hors paramètres techniques relatifs au fonctionnement de l'éolienne).

Décote de la probabilité de survenance du risque de projection de glace et nouvelle acceptabilité

A partir de la modélisation du risque de projection de glace et de la combinaison de mesures de détection de glace proposés par le porteur de projet, on peut conclure à une décote significative de la probabilité de survenance de ce risque. Ainsi, la probabilité retenue pour le scénario de projection de glace est de classe D (Rare - S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité). Ci-dessous, l'acceptabilité de ce risque a été mise à jour avec la décote de probabilité retenue.

Par défaut, toutes les éoliennes sont équipées du système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance. Seules les éoliennes CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07 bénéficieront du système complémentaire de détection de glace par mesure directe de formation de glace. L'exploitant s'engage à la mise en œuvre de ces mesures quel que soit le modèle de machine retenu.

Projection de mo	Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R _{PG} = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)							
Eolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage						
CEBRE01	Modérée	Oui	Acceptable					
CEBRE02	Modérée	Oui	Acceptable					
CEBRE03	Modérée	Oui	Acceptable					
CEBRE04	Modérée	Oui	Acceptable					
CEBRE05	Catastrophique	Oui	Acceptable					
CEBRE06	Catastrophique	Oui	Acceptable					
CEBRE07	Catastrophique	Oui	Acceptable					

Tableau 41: Acceptabilité du scénario « projection de morceaux de glace » après mesures complémentaires (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'ensemble des éoliennes et avec la mise en œuvre des mesures évoquées ci-dessus, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes potentiellement exposées.

NB: L'article 25 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 indique que chaque aérogénérateur est équipé d'un système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. En cas de formation importante de glace, l'aérogénérateur est mis à l'arrêt dans un délai maximal de soixante minutes. L'exploitant définit une procédure de redémarrage de l'aérogénérateur en cas d'arrêt automatique lié à la présence de glace sur les pales. Cette procédure figure parmi les consignes de sécurité mentionnées dans l'article 22.



8.3. Cas particulier 1 - caractérisation des scénarios retenus

Pour chaque scénario étudié, la zone d'effet, l'intensité et la probabilité considérées pour l'étude détaillée des risques relatifs au cas particulier 1 sont identiques à celles prises en compte pour l'étude détaillée des risques relatifs à la situation normale. Seules la gravité et l'acceptabilité différent et sont présentées dans ce chapitre.

8.3.1. S1 - Effondrement de l'éolienne

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 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 d'effondrement et la gravité associée (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1) :

Effondrement d	Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)					
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité				
CEBRE01	0,13 (inférieur à 1 personne)	Sérieux				
CEBRE02	0,13 (inférieur à 1 personne)	Sérieux				
CEBRE03	0,12 (inférieur à 1 personne)	Sérieux				
CEBRE04	0,12 (inférieur à 1 personne)	Sérieux				
CEBRE05	23,46 (entre 10 et 100 personnes)	Catastrophique				
CEBRE06	18,25 (entre 10 et 100 personnes)	Catastrophique				
CEBRE07	99,69 (entre 10 et 100 personnes)	Catastrophique				

Tableau 42 : Gravité du scénario « effondrement de l'éolienne » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur de l'installation, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Effondrement de l'éolienne (dans u	n rayon inférieur ou égal à la hauteur to	tale de l'éolienne en bout de pale)
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
CEBRE01	Sérieux	Acceptable
CEBRE02	Sérieux	Acceptable
CEBRE03	Sérieux	Acceptable
CEBRE04	Sérieux	Acceptable
CEBRE05	Catastrophique	Acceptable
CEBRE06	Catastrophique	Acceptable
CEBRE07	Catastrophique	Acceptable

Tableau 43 : Acceptabilité du scénario « effondrement de l'éolienne » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'installation étudiée, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place, en particulier pour CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07.

8.3.2. S2 - Chute de glace

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1) :

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)					
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité			
CEBRE01	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE02	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE03	0,02 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE04	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE05	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE06	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE07	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			

Tableau 44 : Gravité du scénario « chute de glace » (source : VOL-V)



b. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur de l'installation, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)						
Eolienne	Gravité	Niveau de risque				
CEBRE01	Modéré	Acceptable				
CEBRE02	Modéré	Acceptable				
CEBRE03	Modéré	Acceptable				
CEBRE04	Modéré	Acceptable				
CEBRE05	Modéré	Acceptable				
CEBRE06	Modéré	Acceptable				
CEBRE07	Modéré	Acceptable				

Tableau 45 : Acceptabilité du scénario « chute de glace » (source : VOL-V)

Pour le parc éolien projeté, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place : conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, un panneau informant le public des risques (et notamment des risques de chute de glace) sera installé sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, c'est-à-dire en amont de la zone d'effet de ce phénomène. Cette mesure permettra de réduire les risques pour les personnes potentiellement présentes sur le site lors des épisodes de grand froid.

8.3.3. S3 - Chute d'éléments de l'éolienne

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)					
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité			
CEBRE01	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE02	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE03	0,02 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE04	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE05	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE06	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE07	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			

Tableau 46 : Gravité du scénario « chute d'éléments de l'éolienne » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

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

Chute d'éléments de l'éol	Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)					
Eolienne	Gravité	Niveau de risque				
CEBRE01	Modéré	Acceptable				
CEBRE02	Modéré	Acceptable				
CEBRE03	Modéré	Acceptable				
CEBRE04	Modéré	Acceptable				
CEBRE05	Modéré	Acceptable				
CEBRE06	Modéré	Acceptable				
CEBRE07	Modéré	Acceptable				

Tableau 47: Acceptabilité du scénario « chute d'éléments de l'éolienne » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'installation, le phénomène de chute d'éléments des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes

8.3.4. S4 - Projection de pales ou de fragments de pales

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe VIII.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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

Pr	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				
CEBRE01	0,93 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE02	0,88 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE03	0,83 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE04	46,21 (entre 10 et 100 personnes)	Important				
CEBRE05	122,78 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique				
CEBRE06	316,95 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique				
CEBRE07	291,1 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique				

Tableau 48 : Gravité du scénario « projection de pale ou de fragment de pale » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien, 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			
CEBRE01	Modéré	Acceptable			
CEBRE02	Modéré	Acceptable			
CEBRE03	Modéré	Acceptable			
CEBRE04	Important	Acceptable			
CEBRE05	Catastrophique	Acceptable			
CEBRE06	Catastrophique	Acceptable			
CEBRE07	Catastrophique	Acceptable			

Tableau 49: Acceptabilité du scénario « projection de pale ou de fragment de pale » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'installation, le phénomène de projection de tout ou partie de pale des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place, en particulier pour CEBRE04, CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07.

8.3.5. S5 - Projection de glace

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe VIII.1.3., il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection de glace, dans la zone d'effet de ce phénomène :

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

Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré ».

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

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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1.5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)						
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité				
CEBRE01	0,55 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE02	0,53 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE03	0,50 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE04	0,51 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE05	0,76 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE06	148,28 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique				
CEBRE07	221,49 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique				

Tableau 50 : Gravité du scénario « projection de morceaux de glace » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

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

Projection de morc	Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)							
Eolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage	Niveau de risque					
CEBRE01	Modéré	Oui	Acceptable					
CEBRE02	Modéré	Oui	Acceptable					
CEBRE03	Modéré	Oui	Acceptable					
CEBRE04	Modéré	Oui	Acceptable					
CEBRE05	Modéré	Oui	Acceptable					
CEBRE06	Catastrophique	Oui	Non acceptable					
CEBRE07	Catastrophique	Oui	Non acceptable					

Tableau 51: Acceptabilité du scénario « projection de morceaux de glace » (source: VOL-V)

Ainsi, pour les éoliennes CEBRE01, CEBRE02, CEBRE03, CEBRE04 et CEBRE05, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes.



Pour les éoliennes CEBRE06 et CEBRE07, le risque relatif à la projection de glace est, en l'état, non acceptable pour les personnes potentiellement exposées.

c. Décote de la probabilité de survenance et mesures complémentaires pour l'acceptabilité du risque

Afin de réduire fortement la probabilité de survenance de ce risque, chaque aérogénérateur pourra être équipé d'un double système de détection (indirecte et directe) de formation de glace sur les pales. Basés sur deux méthodes de mesure indépendantes et complémentaires, ces deux systèmes permettent tous deux, soit de déduire la formation de glace, soit de mesurer directement la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur et d'enclencher l'arrêt ou le non-redémarrage de l'aérogénérateur. En conséquence de quoi une décote de la probabilité de survenance du risque est rendue possible.

Rappel sur les conditions météorologiques de formation de glace, givre ou neige sur les pales

La formation de glace sur les pales se produit lorsqu'il y a un taux élevé d'humidité dans l'air et/ou la présence de pluie ou de neige, associé à une température d'environ 0°C. Dans ces conditions, l'eau sous forme gazeuse (vapeur d'eau) se condense au contact de la surface des pales, les pales agissant comme un noyau de condensation nécessaire au passage de l'état gazeux à l'état liquide ou solide. De même, l'eau sous forme liquide présente sur la surface des pales subit un changement d'état et devient alors solide. Dans les deux cas, il s'agit du phénomène de condensation et celui-ci se poursuit tant que les conditions s'y prêtent, provoquant l'accumulation de glace sur les pales. Ainsi, l'accumulation de glace sur les pales intervient principalement avec des températures de l'air comprises entre - 1°C et - 4°C. Dès lors que la température de l'air dépasse + 1°C ou descend en dessous de - 7°C, le taux d'humidité de l'air est trop faible pour alimenter le phénomène de condensation à l'origine de la formation de glace sur les pales.

Pour information, les normales climatiques (1971-2000) issues de la station Météo France de Châteauroux précisent la probabilité d'occurrence de ces phénomènes :

Nbr de jours avec	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
T°C max <= 0°C	2,5	1,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0,4	1,4	5,4
T°C min <= - 5°C	2,7	1,9	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0,7	1,4	7,2
T°C min <= 0°C	12,3	11,5	7,4	2,4	0,1	0	0	0	0	0,7	6,9	11,0	52,4
Neige	-	2,3	0,7	0,6	0	0	-	-	0	0	-	-	-

Tableau 52 : Normales climatiques issues de la station météorologique de Châteauroux (source : Météo France)

On constate tout d'abord qu'une température maximale quotidienne inférieure ou égale à 0°C n'est rencontré qu'environ 5 jours par an, soit 5 journées entières présentant potentiellement les conditions météorologiques propices à la formation de glace. Ensuite, ces conditions pourront également être rencontrées ponctuellement pendant environ 47 jours, sachant que pour 7 jours, la température descendra en-dessous de -5°C et ne sera plus adaptée à la formation de glace.

Modélisation de la projection de glace

A ces conditions météorologiques doivent également être associées les données relatives au régime de vent car le risque de projection de glace n'est à considérer que pour les parties des zones d'effet présentant un taux d'occupation élevé en termes de personnes exposées. Ainsi, une simulation des risques de chute et de projection de glace a été réalisée par le service ingénierie du fabricant d'éolienne ENERCON qui a développé, dans ce cadre, un outil de modélisation innovant, le « IceFall Tool v1.01 » permettant d'estimer précisément ce risque selon la méthode de trajectoire. Les données d'entrée utilisées sont un modèle numérique de terrain, les données de mesure de vent issues du mât de mesure installé pour ce projet et les caractéristiques de fonctionnement de l'éolienne. Pour cette simulation a été considérée l'éolienne ENERCON E-115 avec une hauteur de moyeu de 122,1 m et un diamètre de rotor de 115,7 m (puissance unitaire de 3 MW). Le rapport d'étude est consultable en annexe 8 de la présente étude. En conclusion, on constate que le risque de projection de glace est en grande partie inférieur à 0,01 projection par m² et par an. En l'état, les deux aires de repos, qui présentent le plus grand nombre de personnes exposées à ce risque au sein de la zone d'étude, sont soumises à un risque inférieur à 0,0001 projection par m² et par an. On rappelle que les personnes présentes dans les véhicules ne sont pas considérées comme exposées à ce risque, du fait de la protection que leur fournit l'habitacle de leur véhicule.

La modélisation de la projection de glace est illustrée par la cartographie n°13 (cf. page 59).

Ainsi, si on considère strictement les aires de stationnement des deux aires de repos et qu'aucune mesure complémentaire de gestion du risque de projection de glace n'est mise en œuvre à l'exception du système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance (équipement par défaut pour les éoliennes actuelles), la probabilité de survenance de ce risque est inférieure à 10⁻⁴, soit une classe de probabilité D au lieu d'une classe de probabilité B telle définie par le guide INERIS de mai 2012. Une classe de probabilité D correspond à la qualification suivante : « Rare - S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité. ».

Afin de consolider la décote de la probabilité de survenance, une mesure complémentaire au système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance, qui équipe aujourd'hui par défaut les éoliennes, sera mis en œuvre. Ces mesures sont présentées ci-dessous.

Système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance

Le premier système de détection de glace s'appuie sur la méthode de la courbe de puissance et équipe de manière standard l'ensemble des aérogénérateurs proposés par les fabricants européens, en particulier ceux concernés par le gabarit machine retenu dans le cadre de la Centrale Eolienne des Portes de la Brenne (Siemens, Senvion et Enercon).

Le principe de fonctionnement est le suivant : l'accumulation de glace sur les pales génère un déséquilibre du rotor qui est retranscrit au niveau de la génératrice de conversion électrique et plus particulièrement au niveau des roulements des boites de vitesse industrielles qui équipent les aérogénérateurs. En effet, l'accumulation de glace sur les pales modifie leur profil aérodynamique (contour, rugosité) et cela se traduit par une perturbation de la courbe de puissance de l'éolienne. Associé à une mesure de la température de l'air par un capteur sur la nacelle et un autre à la base de la tour (doublement des capteurs de mesure), l'analyse en temps réel de la courbe de puissance est réalisée dès lors que les conditions de température sont propices à la formation de glace. Par comparaison aux valeurs moyennes à long terme de courbe de puissance et aux paramètres machine associés (données de vent, vitesse de rotation, puissance, angle de lame) en fonctionnement normal, les valeurs mesurées en temps réel de courbe de puissance permettent de déduire ou non la formation de glace et donc la mise en œuvre de mesures comme un arrêt machine qui survient généralement en moins de 30 minutes après l'apparition des premières couches de glace.

Dans le cas d'un arrêt machine, le redémarrage automatique de l'éolienne n'est possible qu'après la fonte de la glace sur les pales et lorsque la température de l'air dépasse 2 °C. La durée d'arrêt est estimée en fonction de la température extérieure et de son évolution, le tout analysé par le système de contrôle/commande de chaque éolienne. Par conséquent, plusieurs heures peuvent être nécessaires avant le redémarrage de la machine. Un redémarrage manuel, plus précoce, est possible après une vérification visuelle de l'état de givrage des pales par un opérateur sur site. Toutefois, ce système seul ne permet pas de garantir l'absence de glace sur les pales lors du redémarrage de l'éolienne. Pour cette raison, un système complémentaire de détection de glace sera mis en œuvre et est proposé par l'ensemble des fabricants d'éolienne.

Système de détection de glace par mesure directe de formation de glace

Associé au premier système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance, un système de détection de glace par mesure directe de formation de glace, soit depuis la nacelle, soit sur les pales elles-mêmes, sera installé. Différentes technologies sont proposées par chaque fabricant d'éolienne. Quel que soit la technologie, l'avantage principal de ces systèmes de mesure est de pouvoir mesurer la formation de glace lorsque l'éolienne est à l'arrêt et donc de supprimer tout risque de projection de glace lors du redémarrage. En contrepartie, ces systèmes induisent plus de temps d'arrêt que le premier système de détection seul. A savoir que les ordres (arrêt, redémarrage de l'éolienne) du système de détection de glace par mesure directe de formation de glace sont prioritaires par rapport à ceux du système par méthode de la courbe de puissance.

A titre d'exemple, le fabricant ENERCON propose le système « Labko ice detector ». Ce système se compose d'un module capteur fixé au support de l'anémomètre situé sur la nacelle et d'une unité de contrôle située à l'intérieur de la nacelle. Ce système est relié au système de commande de l'éolienne.

Ce détecteur fonctionne par mesure en temps réel de la formation de glace au sein de son capteur. Cette mesure est réalisée par l'analyse des variations de fréquence d'un fil oscillant initialement dans la gamme ultrason. Lors de l'accumulation de glace, ce fil voit sa masse s'accroître et l'oscillation du fil en est perturbée en conséquence. La fréquence du signal mesurée par le capteur est alors modifiée et est ensuite comparée à une valeur limite configurable. Après détection de glace, un système de chauffage du capteur est activé afin de supprimer la glace formée sur le fil et de renouveler la phase de mesure. La durée d'un cycle de mesure (détection – chauffage – refroidissement) est d'environ 30 minutes et ensuite une nouvelle mesure peut être réalisée.



Ainsi, un tel système permet à la fois de générer un arrêt machine mais également d'empêcher son redémarrage si les conditions physiques sont toujours inappropriées. Contrairement au système de détection par la méthode de la courbe de puissance, l'avantage de ce système est de pouvoir mesurer la formation de glace lorsque l'éolienne est à l'arrêt et donc de supprimer tout risque de projection de glace lors du redémarrage. Ainsi, ce système entraîne plus de temps d'arrêt que le premier système de détection seul. Aucun système facultatif de chauffage des pales par circulation d'air chaud pulsé (température maximale de l'ordre de 70 °C) à l'intérieur de chaque pale ne sera mis en œuvre. On précise que ce système n'est pas considéré comme une fonction active de sécurité, en particulier vis-à-vis de la prévention du risque de projection de glace. Il s'agit uniquement d'une mesure permettant d'accélérer le redémarrage de l'éolienne, après son arrêt suite à la détection de glace sur les pales, et donc de réduire la perte de production. Dans notre cas, cette mesure n'est justifiée.

Le fabricant SENVION a développé un autre système, le « Rotor Blade Ice Detection » » qui fait appel à une autre technologie. Ce système a recours à des capteurs d'accélération à fibre optique installés sur chaque pale, de manière à détecter la présence de glace. Cette technologie permet une détection précise de la quantité de glace à même les pales.

Sachant qu'à ce stade du projet aucun modèle d'éolienne n'a été retenu (cf paragraphe « 4.1.3. Considération d'un gabarit d'éolienne »), aucune technologie de détection de glace par mesure directe ne peut être arrêtée. Toutefois, le porteur de projet s'engage à équiper les éoliennes CEBRE06 et CEBRE07 d'un système de détection de glace par mesure directe de formation de glace, quel que soit la technologie utilisée, sous réserve que ces fonctionnalités permettent la détection de glace lorsque l'éolienne est en fonctionnement ou à l'arrêt et que cette technologie s'appuie sur la mesure de paramètres physiques et/ou de conditions météorologiques (hors paramètres techniques relatifs au fonctionnement de l'éolienne).

Décote de la probabilité de survenance du risque de projection de glace et nouvelle acceptabilité

A partir de la modélisation du risque de projection de glace et de la combinaison de mesures de détection de glace proposés par le porteur de projet, on peut conclure à une décote significative de la probabilité de survenance de ce risque. Ainsi, la probabilité retenue pour le scénario de projection de glace est de classe D (Rare - S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité). Ci-dessous, l'acceptabilité de ce risque a été mise à jour avec la décote de probabilité retenue.

Par défaut, toutes les éoliennes sont équipées du système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance. Seules les éoliennes CEBRE06 et CEBRE07 bénéficieront du système complémentaire de détection de glace par mesure directe de formation de glace. L'exploitant s'engage à la mise en œuvre de ces mesures quel que soit le modèle de machine retenu.

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1.5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)							
Eolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage	Niveau de risque				
CEBRE01	Modérée	Oui	Acceptable				
CEBRE02	Modérée	Oui	Acceptable				
CEBRE03	Modérée	Oui	Acceptable				
CEBRE04	Modérée	Oui	Acceptable				
CEBRE05	Catastrophique	Oui	Acceptable				
CEBRE06	Catastrophique	Oui	Acceptable				
CEBRE07	Catastrophique	Oui	Acceptable				

Tableau 53 : Acceptabilité du scénario « projection de morceaux de glace » après mesures complémentaires (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'ensemble des éoliennes et avec la mise en œuvre des mesures évoquées ci-dessus, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes potentiellement exposées.

NB: L'article 25 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 indique que chaque aérogénérateur est équipé d'un système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. En cas de formation importante de glace, l'aérogénérateur est mis à l'arrêt dans un délai maximal de soixante minutes. L'exploitant définit une procédure de redémarrage de l'aérogénérateur en cas d'arrêt automatique lié à la présence de glace sur les pales. Cette procédure figure parmi les consignes de sécurité mentionnées dans l'article 22.



8.4. Cas particulier 2 - caractérisation des scénarios retenus

Pour chaque scénario étudié, la zone d'effet, l'intensité et la probabilité considérées pour l'étude détaillée des risques relatifs au cas particulier 2 sont identiques à celles prises en compte pour l'étude détaillée des risques relatifs à la situation normale. Seules la gravité et l'acceptabilité différent et sont présentées dans ce chapitre.

8.4.1. S1 - Effondrement de l'éolienne

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 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 d'effondrement et la gravité associée (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1) :

Effondrement d	Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)					
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité				
CEBRE01	0,13 (inférieur à 1 personne)	Sérieux				
CEBRE02	0,13 (inférieur à 1 personne)	Sérieux				
CEBRE03	0,12 (inférieur à 1 personne)	Sérieux				
CEBRE04	0,12 (inférieur à 1 personne)	Sérieux				
CEBRE05	23,46 (entre 10 et 100 personnes)	Catastrophique				
CEBRE06	97,22 (entre 10 et 100 personnes)	Catastrophique				
CEBRE07	0,3 (inférieur à 1 personne)	Sérieux				

Tableau 54 : Gravité du scénario « effondrement de l'éolienne » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur de l'installation, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Effondrement de l'éolienne (dans u	n rayon inférieur ou égal à la hauteur to	tale de l'éolienne en bout de pale)
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
CEBRE01	Sérieux	Acceptable
CEBRE02	Sérieux	Acceptable
CEBRE03	Sérieux	Acceptable
CEBRE04	Sérieux	Acceptable
CEBRE05	Catastrophique	Acceptable
CEBRE06	Catastrophique	Acceptable
CEBRE07	Sérieux	Acceptable

Tableau 55 : Acceptabilité du scénario « effondrement de l'éolienne » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'installation étudiée, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place, en particulier pour CEBRE06 et CEBRE07.

8.4.2. S2 - Chute de glace

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1) :

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)					
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité			
CEBRE01	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE02	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE03	0,02 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE04	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE05	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE06	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE07	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			

Tableau 56: Gravité du scénario « chute de glace » (source: VOL-V)



b. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur de l'installation, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)					
Eolienne	Gravité	Niveau de risque			
CEBRE01	Modéré	Acceptable			
CEBRE02	Modéré	Acceptable			
CEBRE03	Modéré	Acceptable			
CEBRE04	Modéré	Acceptable			
CEBRE05	Modérée	Acceptable			
CEBRE06	Modéré	Acceptable			
CEBRE07	Modéré	Acceptable			

Tableau 57: Acceptabilité du scénario « chute de glace » (source : VOL-V)

Pour le parc éolien projeté, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place : conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, un panneau informant le public des risques (et notamment des risques de chute de glace) sera installé sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, c'est-à-dire en amont de la zone d'effet de ce phénomène. Cette mesure permettra de réduire les risques pour les personnes potentiellement présentes sur le site lors des épisodes de grand froid.

8.4.3. S3 - Chute d'éléments de l'éolienne

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)					
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité			
CEBRE01	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE02	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE03	0,02 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE04	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE05	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE06	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE07	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			

Tableau 58 : Gravité du scénario « chute d'éléments de l'éolienne » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

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

Chute d'éléments de l'éo	Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)					
Eolienne	Gravité	Niveau de risque				
CEBRE01	Modéré	Acceptable				
CEBRE02	Modéré	Acceptable				
CEBRE03	Modéré	Acceptable				
CEBRE04	Modéré	Acceptable				
CEBRE05	Modéré	Acceptable				
CEBRE06	Modéré	Acceptable				
CEBRE07	Modéré	Acceptable				

Tableau 59 : Acceptabilité du scénario « chute d'éléments de l'éolienne » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'installation, le phénomène de chute d'éléments des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes

8.4.4. S4 - Projection de pales ou de fragments de pales

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe VIII.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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

Pr	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				
CEBRE01	0,93 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE02	0,88 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE03	0,83 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE04	46,21 (entre 10 et 100 personnes)	Important				
CEBRE05	308,93 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique				
CEBRE06	352,1 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique				
CEBRE07	326,15 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique				

Tableau 60 : Gravité du scénario « projection de pale ou de fragment de pale » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

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

Projection de pale ou de	Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)					
Eolienne	Gravité	Niveau de risque				
CEBRE01	Modéré	Acceptable				
CEBRE02	Modéré	Acceptable				
CEBRE03	Modéré	Acceptable				
CEBRE04	Important	Acceptable				
CEBRE05	Catastrophique	Acceptable				
CEBRE06	Catastrophique	Acceptable				
CEBRE07	Catastrophique	Acceptable				

Tableau 61: Acceptabilité du scénario « projection de pale ou de fragment de pale » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'installation, le phénomène de projection de tout ou partie de pale des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place, en particulier pour CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07.

8.4.5. S5 - Projection de glace

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe VIII.1.3., il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection de glace, dans la zone d'effet de ce phénomène :

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

Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré ».

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

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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

Projection de morceaux de	Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R _{PG} = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)					
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité				
CEBRE01	0,55 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE02	0,53 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE03	0,50 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE04	0,51 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE05	121,71 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique				
CEBRE06	253,38 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique				
CEBRE07	180,83 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique				

Tableau 62 : Gravité du scénario « projection de morceaux de glace » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

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

Projection de morc	Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R _{PG} = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)							
Eolienne	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déductio de glace et de procédure de redémarrage		Niveau de risque					
CEBRE01	Modéré	Oui	Acceptable					
CEBRE02	Modéré	Oui	Acceptable					
CEBRE03	Modéré	Oui	Acceptable					
CEBRE04	Modéré	Oui	Acceptable					
CEBRE05	Catastrophique	Oui	Non acceptable					
CEBRE06	Catastrophique	Oui	Non acceptable					
CEBRE07	Catastrophique	Oui	Non acceptable					

Tableau 63 : Acceptabilité du scénario « projection de morceaux de glace » (source : VOL-V)

Ainsi, pour les éoliennes CEBRE01, CEBRE02, CEBRE03 et CEBRE04, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes.



Pour les éoliennes CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07, le risque relatif à la projection de glace est, en l'état, non acceptable pour les personnes potentiellement exposées.

c. Décote de la probabilité de survenance et mesures complémentaires pour l'acceptabilité du risque

Afin de réduire fortement la probabilité de survenance de ce risque, chaque aérogénérateur pourra être équipé d'un double système de détection (indirecte et directe) de formation de glace sur les pales. Basés sur deux méthodes de mesure indépendantes et complémentaires, ces deux systèmes permettent tous deux, soit de déduire la formation de glace, soit de mesurer directement la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur et d'enclencher l'arrêt ou le non-redémarrage de l'aérogénérateur. En conséquence de quoi une décote de la probabilité de survenance du risque est rendue possible.

Rappel sur les conditions météorologiques de formation de glace, givre ou neige sur les pales

La formation de glace sur les pales se produit lorsqu'il y a un taux élevé d'humidité dans l'air et/ou la présence de pluie ou de neige, associé à une température d'environ 0°C. Dans ces conditions, l'eau sous forme gazeuse (vapeur d'eau) se condense au contact de la surface des pales, les pales agissant comme un noyau de condensation nécessaire au passage de l'état gazeux à l'état liquide ou solide. De même, l'eau sous forme liquide présente sur la surface des pales subit un changement d'état et devient alors solide. Dans les deux cas, il s'agit du phénomène de condensation et celui-ci se poursuit tant que les conditions s'y prêtent, provoquant l'accumulation de glace sur les pales. Ainsi, l'accumulation de glace sur les pales intervient principalement avec des températures de l'air comprises entre - 1°C et - 4°C. Dès lors que la température de l'air dépasse + 1°C ou descend en dessous de - 7°C, le taux d'humidité de l'air est trop faible pour alimenter le phénomène de condensation à l'origine de la formation de glace sur les pales.

Pour information, les normales climatiques (1971-2000) issues de la station Météo France de Châteauroux précisent la probabilité d'occurrence de ces phénomènes :

Nbr de jours avec	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
T°C max <= 0°C	2,5	1,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0,4	1,4	5,4
T°C min <= - 5°C	2,7	1,9	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0,7	1,4	7,2
T°C min <= 0°C	12,3	11,5	7,4	2,4	0,1	0	0	0	0	0,7	6,9	11,0	52,4
Neige	-	2,3	0,7	0,6	0	0	-	-	0	0	-	-	-

Tableau 64 : Normales climatiques issues de la station météorologique de Châteauroux (source : Météo France)

On constate tout d'abord qu'une température maximale quotidienne inférieure ou égale à 0°C n'est rencontré qu'environ 5 jours par an, soit 5 journées entières présentant potentiellement les conditions météorologiques propices à la formation de glace. Ensuite, ces conditions pourront également être rencontrées ponctuellement pendant environ 47 jours, sachant que pour 7 jours, la température descendra en-dessous de -5°C et ne sera plus adaptée à la formation de glace.

Modélisation de la projection de glace

A ces conditions météorologiques doivent également être associées les données relatives au régime de vent car le risque de projection de glace n'est à considérer que pour les parties des zones d'effet présentant un taux d'occupation élevé en termes de personnes exposées. Ainsi, une simulation des risques de chute et de projection de glace a été réalisée par le service ingénierie du fabricant d'éolienne ENERCON qui a développé, dans ce cadre, un outil de modélisation innovant, le « IceFall Tool v1.01 » permettant d'estimer précisément ce risque selon la méthode de trajectoire. Les données d'entrée utilisées sont un modèle numérique de terrain, les données de mesure de vent issues du mât de mesure installé pour ce projet et les caractéristiques de fonctionnement de l'éolienne. Pour cette simulation a été considérée l'éolienne ENERCON E-115 avec une hauteur de moyeu de 122,1 m et un diamètre de rotor de 115,7 m (puissance unitaire de 3 MW). Le rapport d'étude est consultable en annexe 8 de la présente étude. En conclusion, on constate que le risque de projection de glace est en grande partie inférieur à 0,01 projection par m² et par an. En l'état, les deux aires de repos, qui présentent le plus grand nombre de personnes exposées à ce risque au sein de la zone d'étude, sont soumises à un risque inférieur à 0,0001 projection par m² et par an. On rappelle que les personnes présentes dans les véhicules ne sont pas considérées comme exposées à ce risque, du fait de la protection que leur fournit l'habitacle de leur véhicule.

La modélisation de la projection de glace est illustrée par la cartographie n°13 (cf. page 59).

Ainsi, si on considère strictement les aires de stationnement des deux aires de repos et qu'aucune mesure complémentaire de gestion du risque de projection de glace n'est mise en œuvre à l'exception du système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance (équipement par défaut pour les éoliennes actuelles), la probabilité de survenance de ce risque est inférieure à 10⁻⁴, soit une classe de probabilité D au lieu d'une classe de probabilité B telle définie par le guide INERIS de mai 2012. Une classe de probabilité D correspond à la qualification suivante : « Rare - S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité. ».

Afin de consolider la décote de la probabilité de survenance, une mesure complémentaire au système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance, qui équipe aujourd'hui par défaut les éoliennes, sera mis en œuvre. Ces mesures sont présentées ci-dessous.

Système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance

Le premier système de détection de glace s'appuie sur la méthode de la courbe de puissance et équipe de manière standard l'ensemble des aérogénérateurs proposés par les fabricants européens, en particulier ceux concernés par le gabarit machine retenu dans le cadre de la Centrale Eolienne des Portes de la Brenne (Siemens, Senvion et Enercon).

Le principe de fonctionnement est le suivant : l'accumulation de glace sur les pales génère un déséquilibre du rotor qui est retranscrit au niveau de la génératrice de conversion électrique et plus particulièrement au niveau des roulements des boites de vitesse industrielles qui équipent les aérogénérateurs. En effet, l'accumulation de glace sur les pales modifie leur profil aérodynamique (contour, rugosité) et cela se traduit par une perturbation de la courbe de puissance de l'éolienne. Associé à une mesure de la température de l'air par un capteur sur la nacelle et un autre à la base de la tour (doublement des capteurs de mesure), l'analyse en temps réel de la courbe de puissance est réalisée dès lors que les conditions de température sont propices à la formation de glace. Par comparaison aux valeurs moyennes à long terme de courbe de puissance et aux paramètres machine associés (données de vent, vitesse de rotation, puissance, angle de lame) en fonctionnement normal, les valeurs mesurées en temps réel de courbe de puissance permettent de déduire ou non la formation de glace et donc la mise en œuvre de mesures comme un arrêt machine qui survient généralement en moins de 30 minutes après l'apparition des premières couches de glace.

Dans le cas d'un arrêt machine, le redémarrage automatique de l'éolienne n'est possible qu'après la fonte de la glace sur les pales et lorsque la température de l'air dépasse 2 °C. La durée d'arrêt est estimée en fonction de la température extérieure et de son évolution, le tout analysé par le système de contrôle/commande de chaque éolienne. Par conséquent, plusieurs heures peuvent être nécessaires avant le redémarrage de la machine. Un redémarrage manuel, plus précoce, est possible après une vérification visuelle de l'état de givrage des pales par un opérateur sur site. Toutefois, ce système seul ne permet pas de garantir l'absence de glace sur les pales lors du redémarrage de l'éolienne. Pour cette raison, un système complémentaire de détection de glace sera mis en œuvre et est proposé par l'ensemble des fabricants d'éolienne.

Système de détection de glace par mesure directe de formation de glace

Associé au premier système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance, un système de détection de glace par mesure directe de formation de glace, soit depuis la nacelle, soit sur les pales elles-mêmes, sera installé. Différentes technologies sont proposées par chaque fabricant d'éolienne. Quel que soit la technologie, l'avantage principal de ces systèmes de mesure est de pouvoir mesurer la formation de glace lorsque l'éolienne est à l'arrêt et donc de supprimer tout risque de projection de glace lors du redémarrage. En contrepartie, ces systèmes induisent plus de temps d'arrêt que le premier système de détection seul. A savoir que les ordres (arrêt, redémarrage de l'éolienne) du système de détection de glace par mesure directe de formation de glace sont prioritaires par rapport à ceux du système par méthode de la courbe de puissance.

A titre d'exemple, le fabricant ENERCON propose le système « Labko ice detector ». Ce système se compose d'un module capteur fixé au support de l'anémomètre situé sur la nacelle et d'une unité de contrôle située à l'intérieur de la nacelle. Ce système est relié au système de commande de l'éolienne.

Ce détecteur fonctionne par mesure en temps réel de la formation de glace au sein de son capteur. Cette mesure est réalisée par l'analyse des variations de fréquence d'un fil oscillant initialement dans la gamme ultrason. Lors de l'accumulation de glace, ce fil voit sa masse s'accroître et l'oscillation du fil en est perturbée en conséquence. La fréquence du signal mesurée par le capteur est alors modifiée et est ensuite comparée à une valeur limite configurable. Après détection de glace, un système de chauffage du capteur est activé afin de supprimer la glace formée sur le fil et de renouveler la phase de mesure. La durée d'un cycle de mesure (détection – chauffage – refroidissement) est d'environ 30 minutes et ensuite une nouvelle mesure peut être réalisée.



Ainsi, un tel système permet à la fois de générer un arrêt machine mais également d'empêcher son redémarrage si les conditions physiques sont toujours inappropriées. Contrairement au système de détection par la méthode de la courbe de puissance, l'avantage de ce système est de pouvoir mesurer la formation de glace lorsque l'éolienne est à l'arrêt et donc de supprimer tout risque de projection de glace lors du redémarrage. Ainsi, ce système entraîne plus de temps d'arrêt que le premier système de détection seul. Aucun système facultatif de chauffage des pales par circulation d'air chaud pulsé (température maximale de l'ordre de 70 °C) à l'intérieur de chaque pale ne sera mis en œuvre. On précise que ce système n'est pas considéré comme une fonction active de sécurité, en particulier vis-à-vis de la prévention du risque de projection de glace. Il s'agit uniquement d'une mesure permettant d'accélérer le redémarrage de l'éolienne, après son arrêt suite à la détection de glace sur les pales, et donc de réduire la perte de production. Dans notre cas, cette mesure n'est justifiée.

Le fabricant SENVION a développé un autre système, le « Rotor Blade Ice Detection » » qui fait appel à une autre technologie. Ce système a recours à des capteurs d'accélération à fibre optique installés sur chaque pale, de manière à détecter la présence de glace. Cette technologie permet une détection précise de la quantité de glace à même les pales.

Sachant qu'à ce stade du projet aucun modèle d'éolienne n'a été retenu (cf paragraphe « 4.1.3. Considération d'un gabarit d'éolienne »), aucune technologie de détection de glace par mesure directe ne peut être arrêtée. Toutefois, le porteur de projet s'engage à équiper les éoliennes CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07 d'un système de détection de glace par mesure directe de formation de glace, quel que soit la technologie utilisée, sous réserve que ces fonctionnalités permettent la détection de glace lorsque l'éolienne est en fonctionnement ou à l'arrêt et que cette technologie s'appuie sur la mesure de paramètres physiques et/ou de conditions météorologiques (hors paramètres techniques relatifs au fonctionnement de l'éolienne).

Décote de la probabilité de survenance du risque de projection de glace et nouvelle acceptabilité

A partir de la modélisation du risque de projection de glace et de la combinaison de mesures de détection de glace proposés par le porteur de projet, on peut conclure à une décote significative de la probabilité de survenance de ce risque. Ainsi, la probabilité retenue pour le scénario de projection de glace est de classe D (Rare - S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité). Ci-dessous, l'acceptabilité de ce risque a été mise à jour avec la décote de probabilité retenue.

Par défaut, toutes les éoliennes sont équipées du système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance. Seules les éoliennes CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07 bénéficieront du système complémentaire de détection de glace par mesure directe de formation de glace. L'exploitant s'engage à la mise en œuvre de ces mesures quel que soit le modèle de machine retenu.

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R _{PG} = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)							
Eolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage	Niveau de risque				
CEBRE01	Modérée	Oui	Acceptable				
CEBRE02	Modérée	Oui	Acceptable				
CEBRE03	Modérée	Oui	Acceptable				
CEBRE04	Modérée	Oui	Acceptable				
CEBRE05	Catastrophique	Oui	Acceptable				
CEBRE06	Catastrophique	Oui	Acceptable				
CEBRE07	Catastrophique	Oui	Acceptable				

Tableau 65 : Acceptabilité du scénario « projection de morceaux de glace » après mesures complémentaires (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'ensemble des éoliennes et avec la mise en œuvre des mesures évoquées ci-dessus, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes potentiellement exposées.

NB: L'article 25 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 indique que chaque aérogénérateur est équipé d'un système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. En cas de formation importante de glace, l'aérogénérateur est mis à l'arrêt dans un délai maximal de soixante minutes. L'exploitant définit une procédure de redémarrage de l'aérogénérateur en cas d'arrêt automatique lié à la présence de glace sur les pales. Cette procédure figure parmi les consignes de sécurité mentionnées dans l'article 22

NB: L'article 25 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 indique que chaque aérogénérateur est équipé d'un système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. En cas de formation importante de glace, l'aérogénérateur est mis à l'arrêt dans un délai maximal de soixante minutes. L'exploitant définit une procédure de redémarrage de l'aérogénérateur en cas d'arrêt automatique lié à la présence de glace sur les pales. Cette procédure figure parmi les consignes de sécurité mentionnées dans l'article 22.



8.5. Cas particulier 3 - caractérisation des scénarios retenus

Pour chaque scénario étudié, la zone d'effet, l'intensité et la probabilité considérées pour l'étude détaillée des risques relatifs au cas particulier 3 sont identiques à celles prises en compte pour l'étude détaillée des risques relatifs à la situation normale. Seules la gravité et l'acceptabilité différent et sont présentées dans ce chapitre.

8.5.1. S1 - Effondrement de l'éolienne

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 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 d'effondrement et la gravité associée (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1) :

Effondrement d	Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)					
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité				
CEBRE01	0,13 (inférieur à 1 personne)	Sérieux				
CEBRE02	0,13 (inférieur à 1 personne)	Sérieux				
CEBRE03	0,12 (inférieur à 1 personne)	Sérieux				
CEBRE04	0,12 (inférieur à 1 personne)	Sérieux				
CEBRE05	43,46 (entre 10 et 100 personnes)	Catastrophique				
CEBRE06	33,65 (entre 10 et 100 personnes)	Catastrophique				
CEBRE07	0,3 (inférieur à 1 personne)	Sérieux				

Tableau 66 : Gravité du scénario « effondrement de l'éolienne » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur de l'installation, 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)			
Eolienne	Gravité	Niveau de risque	
CEBRE01	Sérieux	Acceptable	
CEBRE02	Sérieux	Acceptable	
CEBRE03	Sérieux	Acceptable	
CEBRE04	Sérieux	Acceptable	
CEBRE05	Catastrophique	Acceptable	
CEBRE06	Catastrophique	Acceptable	
CEBRE07	Sérieux	Acceptable	

Tableau 67: Acceptabilité du scénario « effondrement de l'éolienne » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'installation étudiée, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place, en particulier pour CEBRE05 et CEBRE06.

8.5.2. S2 - Chute de glace

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1) :

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)			
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) Gravit		
CEBRE01	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE02	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE03	0,02 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE04	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE05	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE06	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE07	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré	

Tableau 68 : Gravité du scénario « chute de glace » (source : VOL-V)



b. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur de l'installation, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)			
Eolienne	Gravité	Niveau de risque	
CEBRE01	Modéré	Acceptable	
CEBRE02	Modéré	Acceptable	
CEBRE03	Modéré	Acceptable	
CEBRE04	Modéré	Acceptable	
CEBRE05	Modéré	Acceptable	
CEBRE06	Modéré	Acceptable	
CEBRE07	Modéré	Acceptable	

Tableau 69: Acceptabilité du scénario « chute de glace » (source: VOL-V)

Pour le parc éolien projeté, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place : conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, un panneau informant le public des risques (et notamment des risques de chute de glace) sera installé sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, c'est-à-dire en amont de la zone d'effet de ce phénomène. Cette mesure permettra de réduire les risques pour les personnes potentiellement présentes sur le site lors des épisodes de grand froid.

8.5.3. S3 - Chute d'éléments de l'éolienne

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
CEBRE01	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré
CEBRE02	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré
CEBRE03	0,02 (inférieur à 1 personne)	Modéré
CEBRE04	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré
CEBRE05	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré
CEBRE06	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré
CEBRE07	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré

Tableau 70 : Gravité du scénario « chute d'éléments de l'éolienne » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

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

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)			
Eolienne	Gravité	Niveau de risque	
CEBRE01	Modéré	Acceptable	
CEBRE02	Modéré	Acceptable	
CEBRE03	Modéré	Acceptable	
CEBRE04	Modéré	Acceptable	
CEBRE05	Modéré	Acceptable	
CEBRE06	Modéré	Acceptable	
CEBRE07	Modéré	Acceptable	

Tableau 71 : Acceptabilité du scénario « chute d'éléments de l'éolienne » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'installation, le phénomène de chute d'éléments des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes

8.5.4. S4 - Projection de pales ou de fragments de pales

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe VIII.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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

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
CEBRE01	0,93 (inférieur à 1 personne)	Modéré
CEBRE02	0,88 (inférieur à 1 personne)	Modéré
CEBRE03	0,83 (inférieur à 1 personne)	Modéré
CEBRE04	85,06 (entre 10 et 100 personnes)	Important
CEBRE05	109,9 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique
CEBRE06	108,2 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique
CEBRE07	56,46 (entre 10 et 100 personnes)	Important

Tableau 72 : Gravité du scénario « projection de pale ou de fragment de pale » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien, 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
CEBRE01	Modérée	Acceptable
CEBRE02	Modérée	Acceptable
CEBRE03	Modérée	Acceptable
CEBRE04	Important	Acceptable
CEBRE05	Catastrophique	Acceptable
CEBRE06	Catastrophique	Acceptable
CEBRE07	Important	Acceptable

Tableau 73: Acceptabilité du scénario « projection de pale ou de fragment de pale » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'installation, le phénomène de projection de tout ou partie de pale des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place, en particulier pour CEBRE04, CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07.

8.5.5. S5 - Projection de glace

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe VIII.1.3., il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection de glace, dans la zone d'effet de ce phénomène :

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

Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré ».

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

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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1.5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)			
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité	
CEBRE01	0,55 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE02	0,53 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE03	0,50 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE04	0,54 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE05	0,81 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE06	1,37 (moins de 10 personnes exposées)	Sérieux	
CEBRE07	1,36 (moins de 10 personnes exposées)	Sérieux	

Tableau 74 : Gravité du scénario « projection de morceaux de glace » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

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

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R _{PG} = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)			
Eolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage	Niveau de risque
CEBRE01	Modéré	Oui	Acceptable
CEBRE02	Modéré	Oui	Acceptable
CEBRE03	Modéré	Oui	Acceptable
CEBRE04	Modéré	Oui	Acceptable
CEBRE05	Modéré	Oui	Acceptable
CEBRE06	Sérieux	Oui	Acceptable
CEBRE07	Sérieux	Oui	Acceptable

Tableau 75 : Acceptabilité du scénario « projection de morceaux de glace » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'ensemble des éoliennes, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes.



NB: L'article 25 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 indique que chaque aérogénérateur est équipé d'un système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. En cas de formation importante de glace, l'aérogénérateur est mis à l'arrêt dans un délai maximal de soixante minutes. L'exploitant définit une procédure de redémarrage de l'aérogénérateur en cas d'arrêt automatique lié à la présence de glace sur les pales. Cette procédure figure parmi les consignes de sécurité mentionnées dans l'article 22.



8.6. Cas particulier 4 - caractérisation des scénarios retenus

Pour chaque scénario étudié, la zone d'effet, l'intensité et la probabilité considérées pour l'étude détaillée des risques relatifs au cas particulier 4 sont identiques à celles prises en compte pour l'étude détaillée des risques relatifs à la situation normale. Seules la gravité et l'acceptabilité différent et sont présentées dans ce chapitre.

8.6.1. S1 - Effondrement de l'éolienne

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 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 d'effondrement et la gravité associée (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1) :

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
CEBRE01	0,13 (inférieur à 1 personne)	Sérieux
CEBRE02	0,13 (inférieur à 1 personne)	Sérieux
CEBRE03	0,12 (inférieur à 1 personne)	Sérieux
CEBRE04	0,12 (inférieur à 1 personne)	Sérieux
CEBRE05	0,14 (inférieur à 1 personne)	Sérieux
CEBRE06	79,25 (entre 10 et 100 personnes)	Catastrophique
CEBRE07	99,69 (entre 10 et 100 personnes)	Catastrophique

Tableau 76 : Gravité du scénario « effondrement de l'éolienne » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur de l'installation, 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)			
Eolienne	Gravité	Niveau de risque	
CEBRE01	Sérieux	Acceptable	
CEBRE02	Sérieux	Acceptable	
CEBRE03	Sérieux	Acceptable	
CEBRE04	Sérieux	Acceptable	
CEBRE05	Sérieux	Acceptable	
CEBRE06	Catastrophique	Acceptable	
CEBRE07	Catastrophique	Acceptable	

Tableau 77 : Acceptabilité du scénario « effondrement de l'éolienne » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'installation étudiée, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place, en particulier pour CEBRE06 et CEBRE07.

8.6.2. **S2** - Chute de glace

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1) :

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
CEBRE01	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré
CEBRE02	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré
CEBRE03	0,02 (inférieur à 1 personne)	Modéré
CEBRE04	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré
CEBRE05	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré
CEBRE06	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré
CEBRE07	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré

Tableau 78: Gravité du scénario « chute de glace » (source: VOL-V)



b. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur de l'installation, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)			
Eolienne	Gravité	Niveau de risque	
CEBRE01	Modéré	Acceptable	
CEBRE02	Modéré	Acceptable	
CEBRE03	Modéré	Acceptable	
CEBRE04	Modéré	Acceptable	
CEBRE05	Modéré	Acceptable	
CEBRE06	Modéré	Acceptable	
CEBRE07	Modéré	Acceptable	

Tableau 79: Acceptabilité du scénario « chute de glace » (source: VOL-V)

Pour le parc éolien projeté, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place : conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, un panneau informant le public des risques (et notamment des risques de chute de glace) sera installé sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, c'est-à-dire en amont de la zone d'effet de ce phénomène. Cette mesure permettra de réduire les risques pour les personnes potentiellement présentes sur le site lors des épisodes de grand froid.

8.6.3. S3 - Chute d'éléments de l'éolienne

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)			
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité	
CEBRE01	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE02	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE03	0,02 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE04	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE05	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE06	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré	
CEBRE07	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré	

Tableau 80 : Gravité du scénario « chute d'éléments de l'éolienne » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

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

Chute d'éléments de l'éol	Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque	
CEBRE01	Modéré	Acceptable	
CEBRE02	Modéré	Acceptable	
CEBRE03	Modéré	Acceptable	
CEBRE04	Modéré	Acceptable	
CEBRE05	Modéré	Acceptable	
CEBRE06	Modéré	Acceptable	
CEBRE07	Modéré	Acceptable	

Tableau 81 : Acceptabilité du scénario « chute d'éléments de l'éolienne » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'installation, le phénomène de chute d'éléments des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes

8.6.4. S4 - Projection de pales ou de fragments de pales

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe VIII.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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

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
CEBRE01	0,93 (inférieur à 1 personne)	Modéré
CEBRE02	0,88 (inférieur à 1 personne)	Modéré
CEBRE03	0,83 (inférieur à 1 personne)	Modéré
CEBRE04	0,89 (inférieur à 1 personne)	Modéré
CEBRE05	391,51 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique
CEBRE06	639,03 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique
CEBRE07	652,01 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique

Tableau 82 : Gravité du scénario « projection de pale ou de fragment de pale » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien, 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	
CEBRE01	Modéré	Acceptable	
CEBRE02	Modéré	Acceptable	
CEBRE03	Modéré	Acceptable	
CEBRE04	Modéré	Acceptable	
CEBRE05	Catastrophique	Acceptable	
CEBRE06	Catastrophique	Acceptable	
CEBRE07	Catastrophique	Acceptable	

Tableau 83: Acceptabilité du scénario « projection de pale ou de fragment de pale » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'installation, le phénomène de projection de tout ou partie de pale des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place, en particulier pour CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07.

8.6.5. S5 - Projection de glace

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe VIII.1.3., il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection de glace, dans la zone d'effet de ce phénomène :

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

Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré ».

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

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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

Projection de morceaux de	Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R _{PG} = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)					
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité				
CEBRE01	0,55 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE02	0,53 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE03	0,50 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE04	0,54 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE05	157,48 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique				
CEBRE06	450,61 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique				
CEBRE07	463,3 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique				

Tableau 84 : Gravité du scénario « projection de morceaux de glace » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

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

Projection de morc	Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R _{PG} = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)					
Eolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage	Niveau de risque			
CEBRE01	Modérée	Oui	Acceptable			
CEBRE02	Modérée	Oui	Acceptable			
CEBRE03	Modérée	Oui	Acceptable			
CEBRE04	Modérée	Oui	Acceptable			
CEBRE05	Catastrophique	Oui	Non acceptable			
CEBRE06	Catastrophique	Oui	Non acceptable			
CEBRE07	Catastrophique	Oui	Non acceptable			

Tableau 85 : Acceptabilité du scénario « projection de morceaux de glace » (source : VOL-V)

Ainsi, pour les éoliennes CEBRE01, CEBRE02, CEBRE03 et CEBRE04, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes.



Pour les éoliennes CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07, le risque relatif à la projection de glace est, en l'état, non acceptable pour les personnes potentiellement exposées.

c. Décote de la probabilité de survenance et mesures complémentaires pour l'acceptabilité du risque

Afin de réduire fortement la probabilité de survenance de ce risque, chaque aérogénérateur pourra être équipé d'un double système de détection (indirecte et directe) de formation de glace sur les pales. Basés sur deux méthodes de mesure indépendantes et complémentaires, ces deux systèmes permettent tous deux, soit de déduire la formation de glace, soit de mesurer directement la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur et d'enclencher l'arrêt ou le non-redémarrage de l'aérogénérateur. En conséquence de quoi une décote de la probabilité de survenance du risque est rendue possible.

Rappel sur les conditions météorologiques de formation de glace, givre ou neige sur les pales

La formation de glace sur les pales se produit lorsqu'il y a un taux élevé d'humidité dans l'air et/ou la présence de pluie ou de neige, associé à une température d'environ 0°C. Dans ces conditions, l'eau sous forme gazeuse (vapeur d'eau) se condense au contact de la surface des pales, les pales agissant comme un noyau de condensation nécessaire au passage de l'état gazeux à l'état liquide ou solide. De même, l'eau sous forme liquide présente sur la surface des pales subit un changement d'état et devient alors solide. Dans les deux cas, il s'agit du phénomène de condensation et celui-ci se poursuit tant que les conditions s'y prêtent, provoquant l'accumulation de glace sur les pales. Ainsi, l'accumulation de glace sur les pales intervient principalement avec des températures de l'air comprises entre - 1°C et - 4°C. Dès lors que la température de l'air dépasse + 1°C ou descend en dessous de - 7°C, le taux d'humidité de l'air est trop faible pour alimenter le phénomène de condensation à l'origine de la formation de glace sur les pales.

Pour information, les normales climatiques (1971-2000) issues de la station Météo France de Châteauroux précisent la probabilité d'occurrence de ces phénomènes :

Nbr de jours avec	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
T°C max <= 0°C	2,5	1,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0,4	1,4	5,4
T°C min <= - 5°C	2,7	1,9	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0,7	1,4	7,2
T°C min <= 0°C	12,3	11,5	7,4	2,4	0,1	0	0	0	0	0,7	6,9	11,0	52,4
Neige	-	2,3	0,7	0,6	0	0	-	-	0	0	-	-	-

Tableau 86 : Normales climatiques issues de la station météorologique de Châteauroux (source : Météo France)

On constate tout d'abord qu'une température maximale quotidienne inférieure ou égale à 0°C n'est rencontré qu'environ 5 jours par an, soit 5 journées entières présentant potentiellement les conditions météorologiques propices à la formation de glace. Ensuite, ces conditions pourront également être rencontrées ponctuellement pendant environ 47 jours, sachant que pour 7 jours, la température descendra en-dessous de -5°C et ne sera plus adaptée à la formation de glace.

Modélisation de la projection de glace

A ces conditions météorologiques doivent également être associées les données relatives au régime de vent car le risque de projection de glace n'est à considérer que pour les parties des zones d'effet présentant un taux d'occupation élevé en termes de personnes exposées. Ainsi, une simulation des risques de chute et de projection de glace a été réalisée par le service ingénierie du fabricant d'éolienne ENERCON qui a développé, dans ce cadre, un outil de modélisation innovant, le « IceFall Tool v1.01 » permettant d'estimer précisément ce risque selon la méthode de trajectoire. Les données d'entrée utilisées sont un modèle numérique de terrain, les données de mesure de vent issues du mât de mesure installé pour ce projet et les caractéristiques de fonctionnement de l'éolienne. Pour cette simulation a été considérée l'éolienne ENERCON E-115 avec une hauteur de moyeu de 122,1 m et un diamètre de rotor de 115,7 m (puissance unitaire de 3 MW). Le rapport d'étude est consultable en annexe 8 de la présente étude. En conclusion, on constate que le risque de projection de glace est en grande partie inférieur à 0,01 projection par m² et par an. En l'état, les deux aires de repos, qui présentent le plus grand nombre de personnes exposées à ce risque au sein de la zone d'étude, sont soumises à un risque inférieur à 0,0001 projection par m² et par an. On rappelle que les personnes présentes dans les véhicules ne sont pas considérées comme exposées à ce risque, du fait de la protection que leur fournit l'habitacle de leur véhicule.

La modélisation de la projection de glace est illustrée par la cartographie n°13 (cf. page 59).

Ainsi, si on considère strictement les aires de stationnement des deux aires de repos et qu'aucune mesure complémentaire de gestion du risque de projection de glace n'est mise en œuvre à l'exception du système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance (équipement par défaut pour les éoliennes actuelles), la probabilité de survenance de ce risque est inférieure à 10⁻⁴, soit une classe de probabilité D au lieu d'une classe de probabilité B telle définie par le guide INERIS de mai 2012. Une classe de probabilité D correspond à la qualification suivante : « Rare - S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité. ».

Afin de consolider la décote de la probabilité de survenance, une mesure complémentaire au système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance, qui équipe aujourd'hui par défaut les éoliennes, sera mis en œuvre. Ces mesures sont présentées ci-dessous.

Système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance

Le premier système de détection de glace s'appuie sur la méthode de la courbe de puissance et équipe de manière standard l'ensemble des aérogénérateurs proposés par les fabricants européens, en particulier ceux concernés par le gabarit machine retenu dans le cadre de la Centrale Eolienne des Portes de la Brenne (Siemens, Senvion et Enercon).

Le principe de fonctionnement est le suivant : l'accumulation de glace sur les pales génère un déséquilibre du rotor qui est retranscrit au niveau de la génératrice de conversion électrique et plus particulièrement au niveau des roulements des boites de vitesse industrielles qui équipent les aérogénérateurs. En effet, l'accumulation de glace sur les pales modifie leur profil aérodynamique (contour, rugosité) et cela se traduit par une perturbation de la courbe de puissance de l'éolienne. Associé à une mesure de la température de l'air par un capteur sur la nacelle et un autre à la base de la tour (doublement des capteurs de mesure), l'analyse en temps réel de la courbe de puissance est réalisée dès lors que les conditions de température sont propices à la formation de glace. Par comparaison aux valeurs moyennes à long terme de courbe de puissance et aux paramètres machine associés (données de vent, vitesse de rotation, puissance, angle de lame) en fonctionnement normal, les valeurs mesurées en temps réel de courbe de puissance permettent de déduire ou non la formation de glace et donc la mise en œuvre de mesures comme un arrêt machine qui survient généralement en moins de 30 minutes après l'apparition des premières couches de glace.

Dans le cas d'un arrêt machine, le redémarrage automatique de l'éolienne n'est possible qu'après la fonte de la glace sur les pales et lorsque la température de l'air dépasse 2 °C. La durée d'arrêt est estimée en fonction de la température extérieure et de son évolution, le tout analysé par le système de contrôle/commande de chaque éolienne. Par conséquent, plusieurs heures peuvent être nécessaires avant le redémarrage de la machine. Un redémarrage manuel, plus précoce, est possible après une vérification visuelle de l'état de givrage des pales par un opérateur sur site. Toutefois, ce système seul ne permet pas de garantir l'absence de glace sur les pales lors du redémarrage de l'éolienne. Pour cette raison, un système complémentaire de détection de glace sera mis en œuvre et est proposé par l'ensemble des fabricants d'éolienne.

Système de détection de glace par mesure directe de formation de glace

Associé au premier système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance, un système de détection de glace par mesure directe de formation de glace, soit depuis la nacelle, soit sur les pales elles-mêmes, sera installé. Différentes technologies sont proposées par chaque fabricant d'éolienne. Quel que soit la technologie, l'avantage principal de ces systèmes de mesure est de pouvoir mesurer la formation de glace lorsque l'éolienne est à l'arrêt et donc de supprimer tout risque de projection de glace lors du redémarrage. En contrepartie, ces systèmes induisent plus de temps d'arrêt que le premier système de détection seul. A savoir que les ordres (arrêt, redémarrage de l'éolienne) du système de détection de glace par mesure directe de formation de glace sont prioritaires par rapport à ceux du système par méthode de la courbe de puissance.

A titre d'exemple, le fabricant ENERCON propose le système « Labko ice detector ». Ce système se compose d'un module capteur fixé au support de l'anémomètre situé sur la nacelle et d'une unité de contrôle située à l'intérieur de la nacelle. Ce système est relié au système de commande de l'éolienne.

Ce détecteur fonctionne par mesure en temps réel de la formation de glace au sein de son capteur. Cette mesure est réalisée par l'analyse des variations de fréquence d'un fil oscillant initialement dans la gamme ultrason. Lors de l'accumulation de glace, ce fil voit sa masse s'accroître et l'oscillation du fil en est perturbée en conséquence. La fréquence du signal mesurée par le capteur est alors modifiée et est ensuite comparée à une valeur limite configurable. Après détection de glace, un système de chauffage du capteur est activé afin de supprimer la glace formée sur le fil et de renouveler la phase de mesure. La durée d'un cycle de mesure (détection – chauffage – refroidissement) est d'environ 30 minutes et ensuite une nouvelle mesure peut être réalisée.



Ainsi, un tel système permet à la fois de générer un arrêt machine mais également d'empêcher son redémarrage si les conditions physiques sont toujours inappropriées. Contrairement au système de détection par la méthode de la courbe de puissance, l'avantage de ce système est de pouvoir mesurer la formation de glace lorsque l'éolienne est à l'arrêt et donc de supprimer tout risque de projection de glace lors du redémarrage. Ainsi, ce système entraîne plus de temps d'arrêt que le premier système de détection seul. Aucun système facultatif de chauffage des pales par circulation d'air chaud pulsé (température maximale de l'ordre de 70 °C) à l'intérieur de chaque pale ne sera mis en œuvre. On précise que ce système n'est pas considéré comme une fonction active de sécurité, en particulier vis-à-vis de la prévention du risque de projection de glace. Il s'agit uniquement d'une mesure permettant d'accélérer le redémarrage de l'éolienne, après son arrêt suite à la détection de glace sur les pales, et donc de réduire la perte de production. Dans notre cas, cette mesure n'est justifiée.

Le fabricant SENVION a développé un autre système, le « Rotor Blade Ice Detection » » qui fait appel à une autre technologie. Ce système a recours à des capteurs d'accélération à fibre optique installés sur chaque pale, de manière à détecter la présence de glace. Cette technologie permet une détection précise de la quantité de glace à même les pales.

Sachant qu'à ce stade du projet aucun modèle d'éolienne n'a été retenu (cf paragraphe « 4.1.3. Considération d'un gabarit d'éolienne »), aucune technologie de détection de glace par mesure directe ne peut être arrêtée. Toutefois, le porteur de projet s'engage à équiper les éoliennes CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07 d'un système de détection de glace par mesure directe de formation de glace, quel que soit la technologie utilisée, sous réserve que ces fonctionnalités permettent la détection de glace lorsque l'éolienne est en fonctionnement ou à l'arrêt et que cette technologie s'appuie sur la mesure de paramètres physiques et/ou de conditions météorologiques (hors paramètres techniques relatifs au fonctionnement de l'éolienne).

Décote de la probabilité de survenance du risque de projection de glace et nouvelle acceptabilité

A partir de la modélisation du risque de projection de glace et de la combinaison de mesures de détection de glace proposés par le porteur de projet, on peut conclure à une décote significative de la probabilité de survenance de ce risque. Ainsi, la probabilité retenue pour le scénario de projection de glace est de classe D (Rare - S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité). Ci-dessous, l'acceptabilité de ce risque a été mise à jour avec la décote de probabilité retenue.

Par défaut, toutes les éoliennes sont équipées du système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance. Seules les éoliennes CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07 bénéficieront du système complémentaire de détection de glace par mesure directe de formation de glace. L'exploitant s'engage à la mise en œuvre de ces mesures quel que soit le modèle de machine retenu.

Projection de morc	Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R _{PG} = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)						
Eolienne	Présence de systèn d'arrêt en cas de détection ou déduc de glace et de procédure de redémarrage		Niveau de risque				
CEBRE01	Modérée	Oui	Acceptable				
CEBRE02	Modérée	Oui	Acceptable				
CEBRE03	Modérée	Oui	Acceptable				
CEBRE04	Modérée	Oui	Acceptable				
CEBRE05	Catastrophique	Oui	Acceptable				
CEBRE06	Catastrophique	Oui	Acceptable				
CEBRE07	Catastrophique	Oui	Acceptable				

Tableau 87 : Acceptabilité du scénario « projection de morceaux de glace » après mesures complémentaires (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'ensemble des éoliennes et avec la mise en œuvre des mesures évoquées ci-dessus, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes potentiellement exposées.

NB: L'article 25 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 indique que chaque aérogénérateur est équipé d'un système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. En cas de formation importante de glace, l'aérogénérateur est mis à l'arrêt dans un délai maximal de soixante minutes. L'exploitant définit une procédure de redémarrage de l'aérogénérateur en cas d'arrêt automatique lié à la présence de glace sur les pales. Cette procédure figure parmi les consignes de sécurité mentionnées dans l'article 22.



8.7. Cas particulier 5 - caractérisation des scénarios retenus

Pour chaque scénario étudié, la zone d'effet, l'intensité et la probabilité considérées pour l'étude détaillée des risques relatifs au cas particulier 5 sont identiques à celles prises en compte pour l'étude détaillée des risques relatifs à la situation normale. Seules la gravité et l'acceptabilité différent et sont présentées dans ce chapitre.

8.7.1. S1 - Effondrement de l'éolienne

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 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 d'effondrement et la gravité associée (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1) :

Effondrement d	Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)				
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité			
CEBRE01	0,13 (inférieur à 1 personne)	Sérieux			
CEBRE02	0,13 (inférieur à 1 personne)	Sérieux			
CEBRE03	0,12 (inférieur à 1 personne)	Sérieux			
CEBRE04	0,12 (inférieur à 1 personne)	Sérieux			
CEBRE05	23,46 (entre 10 et 100 personnes)	Catastrophique			
CEBRE06	18,25 (entre 10 et 100 personnes)	Catastrophique			
CEBRE07	99,69 (entre 10 et 100 personnes)	Catastrophique			

Tableau 88 : Gravité du scénario « effondrement de l'éolienne » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur de l'installation, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Effondrement de l'éolienne (dans u	Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)				
Eolienne	Gravité	Niveau de risque			
CEBRE01	Sérieux	Acceptable			
CEBRE02	Sérieux	Acceptable			
CEBRE03	Sérieux	Acceptable			
CEBRE04	Sérieux	Acceptable			
CEBRE05	Catastrophique	Acceptable			
CEBRE06	Catastrophique	Acceptable			
CEBRE07	Catastrophique	Acceptable			

Tableau 89 : Acceptabilité du scénario « effondrement de l'éolienne » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'installation étudiée, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place, en particulier pour CEBRE06 et CEBRE07.

8.7.2. S2 - Chute de glace

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1) :

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)				
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité		
CEBRE01	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré		
CEBRE02	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré		
CEBRE03	0,02 (inférieur à 1 personne)	Modéré		
CEBRE04	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré		
CEBRE05	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré		
CEBRE06	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré		
CEBRE07	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré		

Tableau 90 : Gravité du scénario « chute de glace » (source : VOL-V)



b. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur de l'installation, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)					
Eolienne	Gravité	Niveau de risque			
CEBRE01	Modéré	Acceptable			
CEBRE02	Modéré	Acceptable			
CEBRE03	Modéré	Acceptable			
CEBRE04	Modéré	Acceptable			
CEBRE05	Modéré	Acceptable			
CEBRE06	Modéré	Acceptable			
CEBRE07	Modéré	Acceptable			

Tableau 91 : Acceptabilité du scénario « chute de glace » (source : VOL-V)

Pour le parc éolien projeté, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place : conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, un panneau informant le public des risques (et notamment des risques de chute de glace) sera installé sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, c'est-à-dire en amont de la zone d'effet de ce phénomène. Cette mesure permettra de réduire les risques pour les personnes potentiellement présentes sur le site lors des épisodes de grand froid.

8.7.3. S3 - Chute d'éléments de l'éolienne

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

Chute d'éléments de l'é	Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)				
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité			
CEBRE01	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE02	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE03	0,02 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE04	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE05	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE06	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE07	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			

Tableau 92 : Gravité du scénario « chute d'éléments de l'éolienne » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

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

Chute d'éléments de l'éol	Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)				
Eolienne	Gravité	Niveau de risque			
CEBRE01	Modéré	Acceptable			
CEBRE02	Modéré	Acceptable			
CEBRE03	Modéré	Acceptable			
CEBRE04	Modéré	Acceptable			
CEBRE05	Modéré	Acceptable			
CEBRE06	Modéré	Acceptable			
CEBRE07	Modéré	Acceptable			

Tableau 93 : Acceptabilité du scénario « chute d'éléments de l'éolienne » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'installation, le phénomène de chute d'éléments des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes

8.7.4. S4 - Projection de pales ou de fragments de pales

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe VIII.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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

Pr	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			
CEBRE01	0,93 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE02	0,88 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE03	0,83 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE04	46,21 (entre 10 et 100 personnes)	Important			
CEBRE05	161,07 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique			
CEBRE06	357,93 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique			
CEBRE07	338,15 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique			

Tableau 94 : Gravité du scénario « projection de pale ou de fragment de pale » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien, 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		
CEBRE01	Modérée	Acceptable		
CEBRE02	Modérée	Acceptable		
CEBRE03	Modérée	Acceptable		
CEBRE04	Important	Acceptable		
CEBRE05	Catastrophique	Acceptable		
CEBRE06	Catastrophique	Acceptable		
CEBRE07	Catastrophique	Acceptable		

Tableau 95: Acceptabilité du scénario « projection de pale ou de fragment de pale » (source: VOL-V)

Ainsi, pour l'installation, le phénomène de projection de tout ou partie de pale des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place, en particulier pour CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07.

8.7.5. S5 - Projection de glace

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe VIII.1.3., il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection de glace, dans la zone d'effet de ce phénomène :

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

Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré ».

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

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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

Projection de morceaux de	Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1.5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)					
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité				
CEBRE01	0,55 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE02	0,53 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE03	0,50 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE04	0,51 (inférieur à 1 personne)	Modéré				
CEBRE05	13,28 (entre 10 et 100 personnes)	Important				
CEBRE06	170,13 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique				
CEBRE07	252,57 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique				

Tableau 96 : Gravité du scénario « projection de morceaux de glace » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

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

Projection de morc	Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1.5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)					
Eolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage	Niveau de risque			
CEBRE01	Modérée	Oui	Acceptable			
CEBRE02	Modérée	Oui	Acceptable			
CEBRE03	Modérée	Oui	Acceptable			
CEBRE04	Modérée	Oui	Acceptable			
CEBRE05	Important	Oui	Non acceptable			
CEBRE06	Catastrophique	Oui	Non acceptable			
CEBRE07	Catastrophique	Oui	Non acceptable			

Tableau 97 : Acceptabilité du scénario « projection de morceaux de glace » (source : VOL-V)

Ainsi, pour les éoliennes CEBRE01, CEBRE02, CEBRE03 et CEBRE04, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes.



Pour les éoliennes CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07, le risque relatif à la projection de glace est, en l'état, non acceptable pour les personnes potentiellement exposées.

c. Décote de la probabilité de survenance et mesures complémentaires pour l'acceptabilité du risque

Afin de réduire fortement la probabilité de survenance de ce risque, chaque aérogénérateur pourra être équipé d'un double système de détection (indirecte et directe) de formation de glace sur les pales. Basés sur deux méthodes de mesure indépendantes et complémentaires, ces deux systèmes permettent tous deux, soit de déduire la formation de glace, soit de mesurer directement la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur et d'enclencher l'arrêt ou le non-redémarrage de l'aérogénérateur. En conséquence de quoi une décote de la probabilité de survenance du risque est rendue possible.

Rappel sur les conditions météorologiques de formation de glace, givre ou neige sur les pales

La formation de glace sur les pales se produit lorsqu'il y a un taux élevé d'humidité dans l'air et/ou la présence de pluie ou de neige, associé à une température d'environ 0°C. Dans ces conditions, l'eau sous forme gazeuse (vapeur d'eau) se condense au contact de la surface des pales, les pales agissant comme un noyau de condensation nécessaire au passage de l'état gazeux à l'état liquide ou solide. De même, l'eau sous forme liquide présente sur la surface des pales subit un changement d'état et devient alors solide. Dans les deux cas, il s'agit du phénomène de condensation et celui-ci se poursuit tant que les conditions s'y prêtent, provoquant l'accumulation de glace sur les pales. Ainsi, l'accumulation de glace sur les pales intervient principalement avec des températures de l'air comprises entre - 1°C et - 4°C. Dès lors que la température de l'air dépasse + 1°C ou descend en dessous de - 7°C, le taux d'humidité de l'air est trop faible pour alimenter le phénomène de condensation à l'origine de la formation de glace sur les pales.

Pour information, les normales climatiques (1971-2000) issues de la station Météo France de Châteauroux précisent la probabilité d'occurrence de ces phénomènes :

Nbr de jours avec	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
T°C max <= 0°C	2,5	1,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0,4	1,4	5,4
T°C min <= - 5°C	2,7	1,9	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0,7	1,4	7,2
T°C min <= 0°C	12,3	11,5	7,4	2,4	0,1	0	0	0	0	0,7	6,9	11,0	52,4
Neige	-	2,3	0,7	0,6	0	0	-	-	0	0	-	-	-

Tableau 98 : Normales climatiques issues de la station météorologique de Châteauroux (source : Météo France)

On constate tout d'abord qu'une température maximale quotidienne inférieure ou égale à 0°C n'est rencontré qu'environ 5 jours par an, soit 5 journées entières présentant potentiellement les conditions météorologiques propices à la formation de glace. Ensuite, ces conditions pourront également être rencontrées ponctuellement pendant environ 47 jours, sachant que pour 7 jours, la température descendra en-dessous de -5°C et ne sera plus adaptée à la formation de glace.

Modélisation de la projection de glace

A ces conditions météorologiques doivent également être associées les données relatives au régime de vent car le risque de projection de glace n'est à considérer que pour les parties des zones d'effet présentant un taux d'occupation élevé en termes de personnes exposées. Ainsi, une simulation des risques de chute et de projection de glace a été réalisée par le service ingénierie du fabricant d'éolienne ENERCON qui a développé, dans ce cadre, un outil de modélisation innovant, le « IceFall Tool v1.01 » permettant d'estimer précisément ce risque selon la méthode de trajectoire. Les données d'entrée utilisées sont un modèle numérique de terrain, les données de mesure de vent issues du mât de mesure installé pour ce projet et les caractéristiques de fonctionnement de l'éolienne. Pour cette simulation a été considérée l'éolienne ENERCON E-115 avec une hauteur de moyeu de 122,1 m et un diamètre de rotor de 115,7 m (puissance unitaire de 3 MW). Le rapport d'étude est consultable en annexe 8 de la présente étude. En conclusion, on constate que le risque de projection de glace est en grande partie inférieur à 0,01 projection par m² et par an. En l'état, les deux aires de repos, qui présentent le plus grand nombre de personnes exposées à ce risque au sein de la zone d'étude, sont soumises à un risque inférieur à 0,0001 projection par m² et par an. On rappelle que les personnes présentes dans les véhicules ne sont pas considérées comme exposées à ce risque, du fait de la protection que leur fournit l'habitacle de leur véhicule.

La modélisation de la projection de glace est illustrée par la cartographie n°13 (cf. page 59).

Ainsi, si on considère strictement les aires de stationnement des deux aires de repos et qu'aucune mesure complémentaire de gestion du risque de projection de glace n'est mise en œuvre à l'exception du système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance (équipement par défaut pour les éoliennes actuelles), la probabilité de survenance de ce risque est inférieure à 10⁻⁴, soit une classe de probabilité D au lieu d'une classe de probabilité B telle définie par le guide INERIS de mai 2012. Une classe de probabilité D correspond à la qualification suivante : « Rare - S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité. ».

Afin de consolider la décote de la probabilité de survenance, une mesure complémentaire au système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance, qui équipe aujourd'hui par défaut les éoliennes, sera mis en œuvre. Ces mesures sont présentées ci-dessous.

Système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance

Le premier système de détection de glace s'appuie sur la méthode de la courbe de puissance et équipe de manière standard l'ensemble des aérogénérateurs proposés par les fabricants européens, en particulier ceux concernés par le gabarit machine retenu dans le cadre de la Centrale Eolienne des Portes de la Brenne (Siemens, Senvion et Enercon).

Le principe de fonctionnement est le suivant : l'accumulation de glace sur les pales génère un déséquilibre du rotor qui est retranscrit au niveau de la génératrice de conversion électrique et plus particulièrement au niveau des roulements des boites de vitesse industrielles qui équipent les aérogénérateurs. En effet, l'accumulation de glace sur les pales modifie leur profil aérodynamique (contour, rugosité) et cela se traduit par une perturbation de la courbe de puissance de l'éolienne. Associé à une mesure de la température de l'air par un capteur sur la nacelle et un autre à la base de la tour (doublement des capteurs de mesure), l'analyse en temps réel de la courbe de puissance est réalisée dès lors que les conditions de température sont propices à la formation de glace. Par comparaison aux valeurs moyennes à long terme de courbe de puissance et aux paramètres machine associés (données de vent, vitesse de rotation, puissance, angle de lame) en fonctionnement normal, les valeurs mesurées en temps réel de courbe de puissance permettent de déduire ou non la formation de glace et donc la mise en œuvre de mesures comme un arrêt machine qui survient généralement en moins de 30 minutes après l'apparition des premières couches de glace.

Dans le cas d'un arrêt machine, le redémarrage automatique de l'éolienne n'est possible qu'après la fonte de la glace sur les pales et lorsque la température de l'air dépasse 2 °C. La durée d'arrêt est estimée en fonction de la température extérieure et de son évolution, le tout analysé par le système de contrôle/commande de chaque éolienne. Par conséquent, plusieurs heures peuvent être nécessaires avant le redémarrage de la machine. Un redémarrage manuel, plus précoce, est possible après une vérification visuelle de l'état de givrage des pales par un opérateur sur site. Toutefois, ce système seul ne permet pas de garantir l'absence de glace sur les pales lors du redémarrage de l'éolienne. Pour cette raison, un système complémentaire de détection de glace sera mis en œuvre et est proposé par l'ensemble des fabricants d'éolienne.

Système de détection de glace par mesure directe de formation de glace

Associé au premier système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance, un système de détection de glace par mesure directe de formation de glace, soit depuis la nacelle, soit sur les pales elles-mêmes, sera installé. Différentes technologies sont proposées par chaque fabricant d'éolienne. Quel que soit la technologie, l'avantage principal de ces systèmes de mesure est de pouvoir mesurer la formation de glace lorsque l'éolienne est à l'arrêt et donc de supprimer tout risque de projection de glace lors du redémarrage. En contrepartie, ces systèmes induisent plus de temps d'arrêt que le premier système de détection seul. A savoir que les ordres (arrêt, redémarrage de l'éolienne) du système de détection de glace par mesure directe de formation de glace sont prioritaires par rapport à ceux du système par méthode de la courbe de puissance.

A titre d'exemple, le fabricant ENERCON propose le système « Labko ice detector ». Ce système se compose d'un module capteur fixé au support de l'anémomètre situé sur la nacelle et d'une unité de contrôle située à l'intérieur de la nacelle. Ce système est relié au système de commande de l'éolienne.

Ce détecteur fonctionne par mesure en temps réel de la formation de glace au sein de son capteur. Cette mesure est réalisée par l'analyse des variations de fréquence d'un fil oscillant initialement dans la gamme ultrason. Lors de l'accumulation de glace, ce fil voit sa masse s'accroître et l'oscillation du fil en est perturbée en conséquence. La fréquence du signal mesurée par le capteur est alors modifiée et est ensuite comparée à une valeur limite configurable. Après détection de glace, un système de chauffage du capteur est activé afin de supprimer la glace formée sur le fil et de renouveler la phase de mesure. La durée d'un cycle de mesure (détection – chauffage – refroidissement) est d'environ 30 minutes et ensuite une nouvelle mesure peut être réalisée.



Ainsi, un tel système permet à la fois de générer un arrêt machine mais également d'empêcher son redémarrage si les conditions physiques sont toujours inappropriées. Contrairement au système de détection par la méthode de la courbe de puissance, l'avantage de ce système est de pouvoir mesurer la formation de glace lorsque l'éolienne est à l'arrêt et donc de supprimer tout risque de projection de glace lors du redémarrage. Ainsi, ce système entraîne plus de temps d'arrêt que le premier système de détection seul. Aucun système facultatif de chauffage des pales par circulation d'air chaud pulsé (température maximale de l'ordre de 70 °C) à l'intérieur de chaque pale ne sera mis en œuvre. On précise que ce système n'est pas considéré comme une fonction active de sécurité, en particulier vis-à-vis de la prévention du risque de projection de glace. Il s'agit uniquement d'une mesure permettant d'accélérer le redémarrage de l'éolienne, après son arrêt suite à la détection de glace sur les pales, et donc de réduire la perte de production. Dans notre cas, cette mesure n'est justifiée.

Le fabricant SENVION a développé un autre système, le « Rotor Blade Ice Detection » » qui fait appel à une autre technologie. Ce système a recours à des capteurs d'accélération à fibre optique installés sur chaque pale, de manière à détecter la présence de glace. Cette technologie permet une détection précise de la quantité de glace à même les pales.

Sachant qu'à ce stade du projet aucun modèle d'éolienne n'a été retenu (cf paragraphe « 4.1.3. Considération d'un gabarit d'éolienne »), aucune technologie de détection de glace par mesure directe ne peut être arrêtée. Toutefois, le porteur de projet s'engage à équiper les éoliennes CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07 d'un système de détection de glace par mesure directe de formation de glace, quel que soit la technologie utilisée, sous réserve que ces fonctionnalités permettent la détection de glace lorsque l'éolienne est en fonctionnement ou à l'arrêt et que cette technologie s'appuie sur la mesure de paramètres physiques et/ou de conditions météorologiques (hors paramètres techniques relatifs au fonctionnement de l'éolienne).

Décote de la probabilité de survenance du risque de projection de glace et nouvelle acceptabilité

A partir de la modélisation du risque de projection de glace et de la combinaison de mesures de détection de glace proposés par le porteur de projet, on peut conclure à une décote significative de la probabilité de survenance de ce risque. Ainsi, la probabilité retenue pour le scénario de projection de glace est de classe D (Rare - S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité). Ci-dessous, l'acceptabilité de ce risque a été mise à jour avec la décote de probabilité retenue.

Par défaut, toutes les éoliennes sont équipées du système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance. Seules les éoliennes CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07 bénéficieront du système complémentaire de détection de glace par mesure directe de formation de glace. L'exploitant s'engage à la mise en œuvre de ces mesures quel que soit le modèle de machine retenu.

Projection de morc	Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1.5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)						
Eolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage	Niveau de risque				
CEBRE01	Modérée	Oui	Acceptable				
CEBRE02	Modérée	Oui	Acceptable				
CEBRE03	Modérée	Oui	Acceptable				
CEBRE04	Modérée	Oui	Acceptable				
CEBRE05	Catastrophique	Oui	Acceptable				
CEBRE06	Catastrophique	Oui	Acceptable				
CEBRE07	Catastrophique	Oui	Acceptable				

Tableau 99 : Acceptabilité du scénario « projection de morceaux de glace » après mesures complémentaires (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'ensemble des éoliennes et avec la mise en œuvre des mesures évoquées ci-dessus, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes potentiellement exposées.

NB: L'article 25 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 indique que chaque aérogénérateur est équipé d'un système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. En cas de formation importante de glace, l'aérogénérateur est mis à l'arrêt dans un délai maximal de soixante minutes. L'exploitant définit une procédure de redémarrage de l'aérogénérateur en cas d'arrêt automatique lié à la présence de glace sur les pales. Cette procédure figure parmi les consignes de sécurité mentionnées dans l'article 22.



8.8. Cas particulier 6 - caractérisation des scénarios retenus

Pour chaque scénario étudié, la zone d'effet, l'intensité et la probabilité considérées pour l'étude détaillée des risques relatifs au cas particulier 6 sont identiques à celles prises en compte pour l'étude détaillée des risques relatifs à la situation normale. Seules la gravité et l'acceptabilité différent et sont présentées dans ce chapitre.

8.8.1. S1 - Effondrement de l'éolienne

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 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 d'effondrement et la gravité associée (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1) :

Effondrement de	Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)				
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité			
CEBRE01	0,13 (inférieur à 1 personne)	Sérieux			
CEBRE02	0,13 (inférieur à 1 personne)	Sérieux			
CEBRE03	0,12 (inférieur à 1 personne)	Sérieux			
CEBRE04	0,12 (inférieur à 1 personne)	Sérieux			
CEBRE05	23,46 (entre 10 et 100 personnes)	Catastrophique			
CEBRE06	97,22 (entre 10 et 100 personnes)	Catastrophique			
CEBRE07	0,1 (inférieur à 1 personne)	Sérieux			

Tableau 100 : Gravité du scénario « effondrement de l'éolienne » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur de l'installation, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Effondrement de l'éolienne (dans u	ffondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)				
Eolienne	Gravité	Niveau de risque			
CEBRE01	Sérieux	Acceptable			
CEBRE02	Sérieux	Acceptable			
CEBRE03	Sérieux	Acceptable			
CEBRE04	Sérieux	Acceptable			
CEBRE05	Catastrophique	Acceptable			
CEBRE06	Catastrophique	Acceptable			
CEBRE07	Sérieux	Acceptable			

Tableau 101 : Acceptabilité du scénario « effondrement de l'éolienne » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'installation étudiée, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place, en particulier pour CEBRE06 et CEBRE07.

8.8.2. S2 - Chute de glace

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1) :

	Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)				
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité			
CEBRE01	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE02	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE03	0,02 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE04	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE05	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE06	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE07	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			

Tableau 102 : Gravité du scénario « chute de glace » (source : VOL-V)



b. Acceptabilité

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur de l'installation, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)					
Eolienne	Gravité	Niveau de risque			
CEBRE01	Modéré	Acceptable			
CEBRE02	Modéré	Acceptable			
CEBRE03	Modéré	Acceptable			
CEBRE04	Modéré	Acceptable			
CEBRE05	Modéré	Acceptable			
CEBRE06	Modéré	Acceptable			
CEBRE07	Modéré	Acceptable			

Tableau 103: Acceptabilité du scénario « chute de glace » (source : VOL-V)

Pour le parc éolien projeté, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place : conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, un panneau informant le public des risques (et notamment des risques de chute de glace) sera installé sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, c'est-à-dire en amont de la zone d'effet de ce phénomène. Cette mesure permettra de réduire les risques pour les personnes potentiellement présentes sur le site lors des épisodes de grand froid.

8.8.3. S3 - Chute d'éléments de l'éolienne

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)					
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité			
CEBRE01	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE02	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE03	0,02 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE04	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE05	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE06	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE07	0,01 (inférieur à 1 personne)	Modéré			

Tableau 104 : Gravité du scénario « chute d'éléments de l'éolienne » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

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

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)					
Eolienne	Gravité	Niveau de risque			
CEBRE01	Modéré	Acceptable			
CEBRE02	Modéré	Acceptable			
CEBRE03	Modéré	Acceptable			
CEBRE04	Modéré	Acceptable			
CEBRE05	Modéré	Acceptable			
CEBRE06	Modéré	Acceptable			
CEBRE07	Modéré	Acceptable			

Tableau 105: Acceptabilité du scénario « chute d'éléments de l'éolienne » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'installation, le phénomène de chute d'éléments des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes

8.8.4. S4 - Projection de pales ou de fragments de pales

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe VIII.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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

Pr	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			
CEBRE01	0,93 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE02	0,88 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE03	0,83 (inférieur à 1 personne)	Modéré			
CEBRE04	46,21 (entre 10 et 100 personnes)	Important			
CEBRE05	348,67 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique			
CEBRE06	397,52 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique			
CEBRE07	374,55 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique			

Tableau 106 : Gravité du scénario « projection de pale ou de fragment de pale » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

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

Projection de pale ou de	Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)				
Eolienne	Gravité	Niveau de risque			
CEBRE01	Modéré	Acceptable			
CEBRE02	Modéré	Acceptable			
CEBRE03	Modéré	Acceptable			
CEBRE04	Important	Acceptable			
CEBRE05	Catastrophique	Acceptable			
CEBRE06	Catastrophique	Acceptable			
CEBRE07	Catastrophique	Acceptable			

Tableau 107: Acceptabilité du scénario « projection de pale ou de fragment de pale » (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'installation, le phénomène de projection de tout ou partie de pale des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en place, en particulier pour CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07.

8.8.5. S5 - Projection de glace

a. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe VIII.1.3., il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection de glace, dans la zone d'effet de ce phénomène :

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

Présence humaine exposée inférieure à « une personne » -> « Modéré ».

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

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 (les méthodes de calculs sont détaillées en annexe 1).

Projection de morceaux de	Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R _{PG} = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)							
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité						
CEBRE01	0,55 (inférieur à 1 personne)	Modéré						
CEBRE02	0,53 (inférieur à 1 personne)	Modéré						
CEBRE03	0,50 (inférieur à 1 personne)	Modéré						
CEBRE04	0,51 (inférieur à 1 personne)	Modéré						
CEBRE05	144,95 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique						
CEBRE06	281,85 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique						
CEBRE07	212,1 (entre 100 et 1000 personnes)	Catastrophique						

Tableau 108 : Gravité du scénario « projection de morceaux de glace » (source : VOL-V)

b. Acceptabilité

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

Projection de morc	Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1.5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)									
Eolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage	Niveau de risque							
CEBRE01	Modéré	Oui	Acceptable							
CEBRE02	Modéré	Oui	Acceptable							
CEBRE03	Modéré	Oui	Acceptable							
CEBRE04	Modéré	Oui	Acceptable							
CEBRE05	Catastrophique	Oui	Non acceptable							
CEBRE06	Catastrophique	Oui	Non acceptable							
CEBRE07	Catastrophique	Oui	Non acceptable							

Tableau 109 : Acceptabilité du scénario « projection de morceaux de glace » (source : VOL-V)

Ainsi, pour les éoliennes CEBRE01, CEBRE02, CEBRE03 et CEBRE04, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes.



Pour les éoliennes CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07, le risque relatif à la projection de glace est, en l'état, non acceptable pour les personnes potentiellement exposées.

c. Décote de la probabilité de survenance et mesures complémentaires pour l'acceptabilité du risque

Afin de réduire fortement la probabilité de survenance de ce risque, chaque aérogénérateur pourra être équipé d'un double système de détection (indirecte et directe) de formation de glace sur les pales. Basés sur deux méthodes de mesure indépendantes et complémentaires, ces deux systèmes permettent tous deux, soit de déduire la formation de glace, soit de mesurer directement la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur et d'enclencher l'arrêt ou le non-redémarrage de l'aérogénérateur. En conséquence de quoi une décote de la probabilité de survenance du risque est rendue possible.

Rappel sur les conditions météorologiques de formation de glace, givre ou neige sur les pales

La formation de glace sur les pales se produit lorsqu'il y a un taux élevé d'humidité dans l'air et/ou la présence de pluie ou de neige, associé à une température d'environ 0°C. Dans ces conditions, l'eau sous forme gazeuse (vapeur d'eau) se condense au contact de la surface des pales, les pales agissant comme un noyau de condensation nécessaire au passage de l'état gazeux à l'état liquide ou solide. De même, l'eau sous forme liquide présente sur la surface des pales subit un changement d'état et devient alors solide. Dans les deux cas, il s'agit du phénomène de condensation et celui-ci se poursuit tant que les conditions s'y prêtent, provoquant l'accumulation de glace sur les pales. Ainsi, l'accumulation de glace sur les pales intervient principalement avec des températures de l'air comprises entre - 1°C et - 4°C. Dès lors que la température de l'air dépasse + 1°C ou descend en dessous de - 7°C, le taux d'humidité de l'air est trop faible pour alimenter le phénomène de condensation à l'origine de la formation de glace sur les pales.

Pour information, les normales climatiques (1971-2000) issues de la station Météo France de Châteauroux précisent la probabilité d'occurrence de ces phénomènes :

Nbr de jours avec	Janv.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
T°C max <= 0°C	2,5	1,1	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0,4	1,4	5,4
T°C min <= - 5°C	2,7	1,9	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0,7	1,4	7,2
T°C min <= 0°C	12,3	11,5	7,4	2,4	0,1	0	0	0	0	0,7	6,9	11,0	52,4
Neige	-	2,3	0,7	0,6	0	0	-	-	0	0	-	-	-

Tableau 110 : Normales climatiques issues de la station météorologique de Châteauroux (source : Météo France)

On constate tout d'abord qu'une température maximale quotidienne inférieure ou égale à 0°C n'est rencontré qu'environ 5 jours par an, soit 5 journées entières présentant potentiellement les conditions météorologiques propices à la formation de glace. Ensuite, ces conditions pourront également être rencontrées ponctuellement pendant environ 47 jours, sachant que pour 7 jours, la température descendra en-dessous de -5°C et ne sera plus adaptée à la formation de glace.

Modélisation de la projection de glace

A ces conditions météorologiques doivent également être associées les données relatives au régime de vent car le risque de projection de glace n'est à considérer que pour les parties des zones d'effet présentant un taux d'occupation élevé en termes de personnes exposées. Ainsi, une simulation des risques de chute et de projection de glace a été réalisée par le service ingénierie du fabricant d'éolienne ENERCON qui a développé, dans ce cadre, un outil de modélisation innovant, le « IceFall Tool v1.01 » permettant d'estimer précisément ce risque selon la méthode de trajectoire. Les données d'entrée utilisées sont un modèle numérique de terrain, les données de mesure de vent issues du mât de mesure installé pour ce projet et les caractéristiques de fonctionnement de l'éolienne. Pour cette simulation a été considérée l'éolienne ENERCON E-115 avec une hauteur de moyeu de 122,1 m et un diamètre de rotor de 115,7 m (puissance unitaire de 3 MW). Le rapport d'étude est consultable en annexe 8 de la présente étude. En conclusion, on constate que le risque de projection de glace est en grande partie inférieur à 0,01 projection par m² et par an. En l'état, les deux aires de repos, qui présentent le plus grand nombre de personnes exposées à ce risque au sein de la zone d'étude, sont soumises à un risque inférieur à 0,0001 projection par m² et par an. On rappelle que les personnes présentes dans les véhicules ne sont pas considérées comme exposées à ce risque, du fait de la protection que leur fournit l'habitacle de leur véhicule.

La modélisation de la projection de glace est illustrée par la cartographie n°13 (cf. page 59).

Ainsi, si on considère strictement les aires de stationnement des deux aires de repos et qu'aucune mesure complémentaire de gestion du risque de projection de glace n'est mise en œuvre à l'exception du système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance (équipement par défaut pour les éoliennes actuelles), la probabilité de survenance de ce risque est inférieure à 10⁻⁴, soit une classe de probabilité D au lieu d'une classe de probabilité B telle définie par le guide INERIS de mai 2012. Une classe de probabilité D correspond à la qualification suivante : « Rare - S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité. ».

Afin de consolider la décote de la probabilité de survenance, une mesure complémentaire au système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance, qui équipe aujourd'hui par défaut les éoliennes, sera mis en œuvre. Ces mesures sont présentées ci-dessous.

Système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance

Le premier système de détection de glace s'appuie sur la méthode de la courbe de puissance et équipe de manière standard l'ensemble des aérogénérateurs proposés par les fabricants européens, en particulier ceux concernés par le gabarit machine retenu dans le cadre de la Centrale Eolienne des Portes de la Brenne (Siemens, Senvion et Enercon).

Le principe de fonctionnement est le suivant : l'accumulation de glace sur les pales génère un déséquilibre du rotor qui est retranscrit au niveau de la génératrice de conversion électrique et plus particulièrement au niveau des roulements des boites de vitesse industrielles qui équipent les aérogénérateurs. En effet, l'accumulation de glace sur les pales modifie leur profil aérodynamique (contour, rugosité) et cela se traduit par une perturbation de la courbe de puissance de l'éolienne. Associé à une mesure de la température de l'air par un capteur sur la nacelle et un autre à la base de la tour (doublement des capteurs de mesure), l'analyse en temps réel de la courbe de puissance est réalisée dès lors que les conditions de température sont propices à la formation de glace. Par comparaison aux valeurs moyennes à long terme de courbe de puissance et aux paramètres machine associés (données de vent, vitesse de rotation, puissance, angle de lame) en fonctionnement normal, les valeurs mesurées en temps réel de courbe de puissance permettent de déduire ou non la formation de glace et donc la mise en œuvre de mesures comme un arrêt machine qui survient généralement en moins de 30 minutes après l'apparition des premières couches de glace.

Dans le cas d'un arrêt machine, le redémarrage automatique de l'éolienne n'est possible qu'après la fonte de la glace sur les pales et lorsque la température de l'air dépasse 2 °C. La durée d'arrêt est estimée en fonction de la température extérieure et de son évolution, le tout analysé par le système de contrôle/commande de chaque éolienne. Par conséquent, plusieurs heures peuvent être nécessaires avant le redémarrage de la machine. Un redémarrage manuel, plus précoce, est possible après une vérification visuelle de l'état de givrage des pales par un opérateur sur site. Toutefois, ce système seul ne permet pas de garantir l'absence de glace sur les pales lors du redémarrage de l'éolienne. Pour cette raison, un système complémentaire de détection de glace sera mis en œuvre et est proposé par l'ensemble des fabricants d'éolienne.

Système de détection de glace par mesure directe de formation de glace

Associé au premier système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance, un système de détection de glace par mesure directe de formation de glace, soit depuis la nacelle, soit sur les pales elles-mêmes, sera installé. Différentes technologies sont proposées par chaque fabricant d'éolienne. Quel que soit la technologie, l'avantage principal de ces systèmes de mesure est de pouvoir mesurer la formation de glace lorsque l'éolienne est à l'arrêt et donc de supprimer tout risque de projection de glace lors du redémarrage. En contrepartie, ces systèmes induisent plus de temps d'arrêt que le premier système de détection seul. A savoir que les ordres (arrêt, redémarrage de l'éolienne) du système de détection de glace par mesure directe de formation de glace sont prioritaires par rapport à ceux du système par méthode de la courbe de puissance.

A titre d'exemple, le fabricant ENERCON propose le système « Labko ice detector ». Ce système se compose d'un module capteur fixé au support de l'anémomètre situé sur la nacelle et d'une unité de contrôle située à l'intérieur de la nacelle. Ce système est relié au système de commande de l'éolienne.

Ce détecteur fonctionne par mesure en temps réel de la formation de glace au sein de son capteur. Cette mesure est réalisée par l'analyse des variations de fréquence d'un fil oscillant initialement dans la gamme ultrason. Lors de l'accumulation de glace, ce fil voit sa masse s'accroître et l'oscillation du fil en est perturbée en conséquence. La fréquence du signal mesurée par le capteur est alors modifiée et est ensuite comparée à une valeur limite configurable. Après détection de glace, un système de chauffage du capteur est activé afin de supprimer la glace formée sur le fil et de renouveler la phase de mesure. La durée d'un cycle de mesure (détection – chauffage – refroidissement) est d'environ 30 minutes et ensuite une nouvelle mesure peut être réalisée.



Ainsi, un tel système permet à la fois de générer un arrêt machine mais également d'empêcher son redémarrage si les conditions physiques sont toujours inappropriées. Contrairement au système de détection par la méthode de la courbe de puissance, l'avantage de ce système est de pouvoir mesurer la formation de glace lorsque l'éolienne est à l'arrêt et donc de supprimer tout risque de projection de glace lors du redémarrage. Ainsi, ce système entraîne plus de temps d'arrêt que le premier système de détection seul. Aucun système facultatif de chauffage des pales par circulation d'air chaud pulsé (température maximale de l'ordre de 70 °C) à l'intérieur de chaque pale ne sera mis en œuvre. On précise que ce système n'est pas considéré comme une fonction active de sécurité, en particulier vis-à-vis de la prévention du risque de projection de glace. Il s'agit uniquement d'une mesure permettant d'accélérer le redémarrage de l'éolienne, après son arrêt suite à la détection de glace sur les pales, et donc de réduire la perte de production. Dans notre cas, cette mesure n'est justifiée.

Le fabricant SENVION a développé un autre système, le « Rotor Blade Ice Detection » » qui fait appel à une autre technologie. Ce système a recours à des capteurs d'accélération à fibre optique installés sur chaque pale, de manière à détecter la présence de glace. Cette technologie permet une détection précise de la quantité de glace à même les pales.

Sachant qu'à ce stade du projet aucun modèle d'éolienne n'a été retenu (cf paragraphe « 4.1.3. Considération d'un gabarit d'éolienne »), aucune technologie de détection de glace par mesure directe ne peut être arrêtée. Toutefois, le porteur de projet s'engage à équiper les éoliennes CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07 d'un système de détection de glace par mesure directe de formation de glace, quel que soit la technologie utilisée, sous réserve que ces fonctionnalités permettent la détection de glace lorsque l'éolienne est en fonctionnement ou à l'arrêt et que cette technologie s'appuie sur la mesure de paramètres physiques et/ou de conditions météorologiques (hors paramètres techniques relatifs au fonctionnement de l'éolienne).

Décote de la probabilité de survenance du risque de projection de glace et nouvelle acceptabilité

A partir de la modélisation du risque de projection de glace et de la combinaison de mesures de détection de glace proposés par le porteur de projet, on peut conclure à une décote significative de la probabilité de survenance de ce risque. Ainsi, la probabilité retenue pour le scénario de projection de glace est de classe D (Rare - S'est déjà produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité). Ci-dessous, l'acceptabilité de ce risque a été mise à jour avec la décote de probabilité retenue.

Par défaut, toutes les éoliennes sont équipées du système de détection de glace par la méthode de la courbe de puissance. Seules les éoliennes CEBRE05, CEBRE06 et CEBRE07 bénéficieront du système complémentaire de détection de glace par mesure directe de formation de glace. L'exploitant s'engage à la mise en œuvre de ces mesures quel que soit le modèle de machine retenu.

Projection de morc	Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R _{PG} = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)									
Eolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage	Niveau de risque							
CEBRE01	Modérée	Oui	Acceptable							
CEBRE02	Modérée	Oui	Acceptable							
CEBRE03	Modérée	Oui	Acceptable							
CEBRE04	Modérée	Oui	Acceptable							
CEBRE05	Catastrophique	Oui	Acceptable							
CEBRE06	Catastrophique	Oui	Acceptable							
CEBRE07	Catastrophique	Oui	Acceptable							

Tableau 111: Acceptabilité du scénario « projection de morceaux de glace » après mesures complémentaires (source : VOL-V)

Ainsi, pour l'ensemble des éoliennes et avec la mise en œuvre des mesures évoquées ci-dessus, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes potentiellement exposées.

NB: L'article 25 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 indique que chaque aérogénérateur est équipé d'un système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. En cas de formation importante de glace, l'aérogénérateur est mis à l'arrêt dans un délai maximal de soixante minutes. L'exploitant définit une procédure de redémarrage de l'aérogénérateur en cas d'arrêt automatique lié à la présence de glace sur les pales. Cette procédure figure parmi les consignes de sécurité mentionnées dans l'article 22.



8.9. Synthèse de l'étude détaillée des risques

8.9.1. Tableaux de synthèse des scénarios étudiés

a. Situation normale

La situation normale (SN) correspond au fonctionnement normal du tronçon de l'autoroute A20 et des deux aires de repos. Le tableau suivant récapitule, pour chaque événement redouté central retenu, les paramètres de risques : la cinétique, l'intensité, la gravité et la probabilité. Les tableaux regrouperont les éoliennes qui ont le même profil de risque.

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne (S1)	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale	Rapide	Exposition forte	D (pour des éoliennes récentes) ³	Sérieux pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE05 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE06 et CEBRE07
Chute de glace (S2)	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	A sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE07
Chute d'élément de l'éolienne (S3)	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	С	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE07
Projection de pales ou fragments de pales (S4)	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes) ⁴	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE04 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE05 à CEBRE07
Projection de glace (S5)	1,5 x (H + 2R) autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (avec mesures de détection de glace proposées)	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE04 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE05 à CEBRE07

Tableau 112 : Synthèse des scénarios étudiés pour la situation normale (source : VOL-V)

b. Cas particulier 1

Le cas particulier 1 (CP1) correspond à la fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans le sens de circulation Sud-Nord et de l'aire de repos de la Marche Occitane.

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

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne (S1)	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale	Rapide	Exposition forte	D (pour des éoliennes récentes) ⁵	Sérieux pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE04 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE05 à CEBRE07
Chute de glace (S2)	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	A sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE07
Chute d'élément de l'éolienne (S3)	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	С	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE07
Projection de pales ou fragments de pales (S4)	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes) ⁶	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à
Projection de glace (S5)	1,5 x (H + 2R) autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (avec mesures de détection de glace proposées)	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE05 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE06 et CEBRE07

Tableau 113 : Synthèse des scénarios étudiés pour le cas particulier 1 (source : VOL-V)

c. Cas particulier 2

Le cas particulier 2 (CP2) correspond à la fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans le sens de circulation Nord-Sud et de l'aire de repos du Val de Creuse.

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

³ Voir paragraphe 8.2.1 de l'étude de Dangers

⁴ Voir paragraphe 8.2.4 de l'étude de Dangers

⁵ Voir paragraphe 8.2.1 de l'étude de Dangers

⁶ Voir paragraphe 8.2.4 de l'étude de Dangers



Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne (S1)	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale	Rapide	Exposition forte	D (pour des éoliennes récentes) ⁷	Sérieux pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE04 et CEBRE07 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE05 et CEBRE06
Chute de glace (S2)	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	A sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE07
Chute d'élément de l'éolienne (S3)	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	С	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE07
Projection de pales ou fragments de pales (S4)	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes) ⁸	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE03 Important pour l'éolienne CEBRE04 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE05 à CEBRE07
Projection de glace (S5)	1,5 x (H + 2R) autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (avec mesures de détection de glace proposées)	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE04 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE05 à CEBRE07

Tableau 114 : Synthèse des scénarios étudiés pour le cas particulier 2 (source : VOL-V)

d. Cas particulier 3

Le cas particulier 3 (CP3) correspond à la fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans les deux sens de circulation et des deux aires de repos.

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

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne (S1)	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale	Rapide	Exposition forte	D (pour des éoliennes récentes) ⁹	Sérieux pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE04 et CEBRE07 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE05 et CEBRE06
Chute de glace (S2)	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	A sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE07
Chute d'élément de l'éolienne (S3)	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	С	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE07
Projection de pales ou fragments de pales (S4)	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes) ¹⁰	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE03 Important pour les éoliennes CEBRE04 et CEBRE07 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE05 et CEBRE06
Projection de glace (S5)	1,5 x (H + 2R) autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (avec mesures de détection de glace proposées)	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE05 Sérieux pour les éoliennes CEBRE06 et CEBRE07

Tableau 115 : Synthèse des scénarios étudiés pour le cas particulier 3 (source : VOL-V)

e. Cas particulier 4

Le cas particulier 4 (CP4) correspond au fonctionnement normal du tronçon de l'autoroute A20 et des deux aires de repos ainsi que la mise en œuvre d'une mesure de stockage temporaire des poids-lourds aux abords des aires de repos en situation de crise routière (épisode de neige et interdiction de circulation PL).

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

⁷ Voir paragraphe 8.2.1 de l'étude de Dangers

⁸ Voir paragraphe 8.2.4 de l'étude de Dangers

⁹ Voir paragraphe 8.2.1 de l'étude de Dangers

¹⁰ Voir paragraphe 8.2.4 de l'étude de Dangers



Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne (S1)	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale	Rapide	Exposition forte	D (pour des éoliennes récentes) ¹¹	Sérieux pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE05 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE06 et CEBRE07
Chute de glace (S2)	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	A sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE07
Chute d'élément de l'éolienne (S3)	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	С	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE07
Projection de pales ou fragments de pales (S4)	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes) ¹²	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE04 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE05 à CEBRE07
Projection de glace (S5)	1,5 x (H + 2R) autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (avec mesures de détection de glace proposées)	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE04 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE05 à CEBRE07

Tableau 116 : Synthèse des scénarios étudiés pour le cas particulier 4 (source : VOL-V)

f. Cas particulier 5

Le cas particulier 5 (CP5) correspond à la fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans le sens de circulation Nord-Sud et de l'aire de repos de la Marche Occitane ainsi que la mise en œuvre d'une mesure de stockage temporaire des poids-lourds aux abords de l'aire de repos du Val de Creuse en situation de crise routière (épisode de neige et interdiction de circulation PL).

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

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne (S1)	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale	Rapide	Exposition forte	D (pour des éoliennes récentes) ¹³	Sérieux pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE04 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE05 à CEBRE07
Chute de glace (S2)	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	A sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE07
Chute d'élément de l'éolienne (S3)	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	С	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE07
Projection de pales ou fragments de pales (S4)	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes) ¹⁴	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à
Projection de glace (S5)	1,5 x (H + 2R) autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (avec mesures de détection de glace proposées)	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE04 Important pour l'éolienne CEBRE05 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE06 et CEBRE07

Tableau 117 : Synthèse des scénarios étudiés pour le cas particulier 5 (source : VOL-V)

g. Cas particulier 6

Le cas particulier 6 (CP6) correspond à la fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans le sens de circulation Sud-Nord et de l'aire de repos du Val de Creuse ainsi que la mise en œuvre d'une mesure de stockage temporaire des poids-lourds aux abords de l'aire de repos de la Marche Occitane en situation de crise routière (épisode de neige et interdiction de circulation PL).

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

¹¹ Voir paragraphe 8.2.1 de l'étude de Dangers

¹² Voir paragraphe 8.2.4 de l'étude de Dangers

¹³ Voir paragraphe 8.2.1 de l'étude de Dangers

¹⁴ Voir paragraphe 8.2.4 de l'étude de Dangers



Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne (S1)	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale	Rapide	Exposition forte	D (pour des éoliennes récentes) ¹⁵	Sérieux pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE04 et CEBRE07 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE05 et CEBRE06
Chute de glace (S2)	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	A sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE07
Chute d'élément de l'éolienne (S3)	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	С	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE07
Projection de pales ou fragments de pales (S4)	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes) ¹⁶	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE03 Important pour l'éolienne CEBRE04 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE05 à CEBRE07
Projection de glace (S5)	1,5 x (H + 2R) autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (avec mesures de détection de glace proposées)	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE04 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE05 à CEBRE07

Tableau 118 : Synthèse des scénarios étudiés pour le cas particulier 6 (source : VOL-V)

h. Synthèse majorante pour les différentes situations

Une synthèse majorante de l'ensemble des situations considérées a été réalisée et ne retient que le niveau le plus élevé pour chaque éolienne et chaque scénario de risque.

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

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne (S1)	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale	Rapide	Exposition forte	D (pour des éoliennes récentes) ¹⁷	Sérieux pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE04 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE05 à CEBRE07
Chute de glace (S2)	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	A sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE07
Chute d'élément de l'éolienne (S3)	Zone de survol	Rapide	Exposition modérée	С	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE07
Projection de pales ou fragments de pales (S4)	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes) ¹⁸	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE03 Important pour l'éolienne CEBRE04 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE05 à CEBRE07
Projection de glace (S5)	1,5 x (H + 2R) autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (avec mesures de détection de glace proposées)	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE04 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE05 à CEBRE07

Tableau 119 : Synthèse majorante des scénarios étudiés pour l'ensemble des situations (source : VOL-V)

8.9.2. 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 et pour chaque éolienne de la Centrale Eolienne des Portes de la Brenne (CEBRE).

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.

Légende de la matrice

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

¹⁵ Voir paragraphe 8.2.1 de l'étude de Dangers

¹⁶ Voir paragraphe 8.2.4 de l'étude de Dangers

¹⁷ Voir paragraphe 8.2.1 de l'étude de Dangers

¹⁸ Voir paragraphe 8.2.4 de l'étude de Dangers



Tableau 120 : Légende de la matrice (source : guide technique, mai 2012)

a. Situation normale

La situation normale (SN) correspond au fonctionnement normal du tronçon de l'autoroute A20 et des deux aires de repos.

Pour cette situation, la synthèse des scénarios étudiés et leur acceptabilité sont présentées ci-dessous.

Conséquence	Classe de Probabilité					
Controduction	E	D	С	В	А	
Désastreux						
Catastrophique		S1 (CEBRE06 et CEBRE07) S4 (CEBRE05 à CEBRE07) S5 (CEBRE05 à CEBRE07)*				
Important						
Sérieux		S1 (CEBRE01 à CEBRE05)				
Modéré		S4 (CEBRE01 à CEBRE04) S5 (CEBRE01 à CEBRE04)*	S3 (CEBRE01 à CEBRE07)		S2 (CEBREO1 à CEBREO7)	

^{* :} décote de la gravité du scénario de projection de glace de B à D sous condition de la mise en œuvre d'un double-système permettant de mesurer, détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur, pour CEBRE05 à CEBRE07.

Tableau 121 : Synthèse des scénarios étudiés pour la situation normale (source : guide technique, mai 2012)

Ainsi, en situation normale, l'ensemble des risques étudiés sont considérés comme acceptables pour l'installation projetée. Toutefois, ces risques sont acceptables sous condition de la mise en œuvre des mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012 ainsi que de mesures de détection de glace et d'arrêt machine pour certaines éoliennes.

b. Cas particulier 1

Le cas particulier 1 (CP1) correspond à la fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans le sens de circulation Sud-Nord et de l'aire de repos de la Marche Occitane.

Pour cette situation, la synthèse des scénarios étudiés et leur acceptabilité sont présentées ci-dessous.

Conséquence	Classe de Probabilité					
	E	D	С	В	А	
Désastreux						
Catastrophique		S1 (CEBRE05 à CEBRE07) S4 (CEBRE05 à CEBRE07) S5 (CEBRE06 et CEBRE07)*				
Important		\$4 (CEBRE04)				
Sérieux		S1 (CEBRE01 à CEBRE04)				
Modéré		S4 (CEBRE01 à CEBRE03) S5 (CEBRE01 à CEBRE05)*	S3 (CEBREO1 à CEBREO7)		S2 (CEBRE01 à CEBRE07)	

^{* :} décote de la gravité du scénario de projection de glace de B à D sous condition de la mise en œuvre d'un double-système permettant de mesurer, détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur, pour CEBREO6 et CEBREO7.

Tableau 122 : Synthèse des scénarios étudiés pour le cas particulier 1 (source : guide technique, mai 2012)

Ainsi, pour le cas particulier 1, l'ensemble des risques étudiés sont considérés comme acceptables pour l'installation projetée. Toutefois, ces risques sont acceptables sous condition de la mise en œuvre des mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012 ainsi que de mesures de détection de glace et d'arrêt machine pour certaines éoliennes.

c. Cas particulier 2

Le cas particulier 2 (CP2) correspond à la fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans le sens de circulation Nord-Sud et de l'aire de repos du Val de Creuse.

Pour cette situation, la synthèse des scénarios étudiés et leur acceptabilité sont présentées ci-dessous.



Conséquence		Classe de Probabilité					
Consequence	E	D	С	В	А		
Désastreux							
Catastrophique		S1 (CEBRE05 et CEBRE06) S4 (CEBRE05 à CEBRE07) S5 (CEBRE05 à CEBRE07)*					
Important		S4 (CEBRE04)					
Sérieux		S1 (CEBRE01 à CEBRE04, CEBRE07)					
Modéré		\$4 (CEBRE01 à CEBRE03) \$5 (CEBRE01 à CEBRE04)*	S3 (CEBRE01 à CEBRE07)		S2 (CEBRE01 à CEBRE07)		

^{* :} décote de la gravité du scénario de projection de glace de B à D sous condition de la mise en œuvre d'un double-système permettant de mesurer, détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur, pour CEBREO5 à CEBREO7.

Tableau 123 : Synthèse des scénarios étudiés pour le cas particulier 2 (source : guide technique, mai 2012)

Ainsi, pour le cas particulier 2, l'ensemble des risques étudiés sont considérés comme acceptables pour l'installation projetée. Toutefois, ces risques sont acceptables sous condition de la mise en œuvre des mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012 ainsi que de mesures de détection de glace et d'arrêt machine pour certaines éoliennes.

d. Cas particulier 3

Le cas particulier 3 (CP3) correspond à la fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans les deux sens de circulation et des deux aires de repos.

Pour cette situation, la synthèse des scénarios étudiés et leur acceptabilité sont présentées ci-dessous.

Conséquence	Classe de Probabilité					
001100 que1100	E	D	С	В	А	
Désastreux						
Catastrophique	S1 (CEBRE05 et CEBRE06) S4 (CEBRE05 et CEBRE06)					
Important	S4 (CEBRE04 et CEBRE07)					
Sérieux	S1 (CEBRE01 à CEBRE04, CEBRE07) S5 (CEBRE06 et CEBRE07)*					
Modéré		\$4 (CEBRE01 à CEBRE03) \$5 (CEBRE01 à CEBRE05)*	53 (CEBRE01 à CEBRE07)		S2 (CEBRE01 à CEBRE07)	

^{* :} décote de la gravité du scénario de projection de glace de B à D sous condition de la mise en œuvre d'un double-système permettant de mesurer, détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur, pour CEBREO6 et CEBREO7.

Tableau 124 : Synthèse des scénarios étudiés pour le cas particulier 3 (source : guide technique, mai 2012)

Ainsi, pour le cas particulier 3, l'ensemble des risques étudiés sont considérés comme acceptables pour l'installation projetée. Toutefois, ces risques sont acceptables sous condition de la mise en œuvre des mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012 ainsi que de mesures de détection de glace et d'arrêt machine pour certaines éoliennes.

e. Cas particulier 4

Le cas particulier 4 (CP4) correspond au fonctionnement normal du tronçon de l'autoroute A20 et des deux aires de repos ainsi que la mise en œuvre d'une mesure de stockage temporaire des poids-lourds aux abords des aires de repos en situation de crise routière (épisode de neige et interdiction de circulation PL).

Pour cette situation, la synthèse des scénarios étudiés et leur acceptabilité sont présentées ci-dessous.



Conséquence	Classe de Probabilité					
Consoquence	E	D	С	В	А	
Désastreux						
Catastrophique		S1 (CEBRE06 et CEBRE07) S4 (CEBRE05 à CEBRE07) S5 (CEBRE05 à CEBRE07)*				
Important						
Sérieux		S1 (CEBRE01 à CEBRE05)				
Modéré		S4 (CEBRE01 à CEBRE04) S5 (CEBRE01 à CEBRE04)*	S3 (CEBRE01 à CEBRE07)		S2 (CEBREO1 à CEBREO7)	

^{* :} décote de la gravité du scénario de projection de glace de B à D sous condition de la mise en œuvre d'un double-système permettant de mesurer, détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur, pour CEBRE05 à CEBRE07.

Tableau 125 : Synthèse des scénarios étudiés pour le cas particulier 4 (source : guide technique, mai 2012)

Ainsi, pour le cas particulier 4 l'ensemble des risques étudiés sont considérés comme acceptables pour l'installation projetée. Toutefois, ces risques sont acceptables sous condition de la mise en œuvre des mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012 ainsi que de mesures de détection de glace et d'arrêt machine pour certaines éoliennes.

f. Cas particulier 5

Le cas particulier 5 (CP5) correspond à la fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans le sens de circulation Nord-Sud et de l'aire de repos de la Marche Occitane ainsi que la mise en œuvre d'une mesure de stockage temporaire des poids-lourds aux abords de l'aire de repos du Val de Creuse en situation de crise routière (épisode de neige et interdiction de circulation PL).

Pour cette situation, la synthèse des scénarios étudiés et leur acceptabilité sont présentées ci-dessous.

Conséquence	Classe de Probabilité					
0011004401100	E	D	С	В	А	
Désastreux						
Catastrophique		S1 (CEBRE06 et CEBRE07) S4 (CEBRE05 à CEBRE07) S5 (CEBRE06 et CEBRE07)*				
Important		\$4 (CEBRE04) \$5 (CEBRE05)*				
Sérieux		S1 (CEBRE01 à CEBRE05)				
Modéré		\$4 (CEBRE01 à CEBRE03) \$5 (CEBRE01 à CEBRE04)*	53 (CEBRE01 à CEBRE07)		S2 (CEBRE01 à CEBRE07)	

^{* :} décote de la gravité du scénario de projection de glace de B à D sous condition de la mise en œuvre d'un double-système permettant de mesurer, détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur, pour CEBRE05 à CEBRE07.

Tableau 126 : Synthèse des scénarios étudiés pour le cas particulier 5 (source : guide technique, mai 2012)

Ainsi, pour le cas particulier 5, l'ensemble des risques étudiés sont considérés comme acceptables pour l'installation projetée. Toutefois, ces risques sont acceptables sous condition de la mise en œuvre des mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012 ainsi que de mesures de détection de glace et d'arrêt machine pour certaines éoliennes.

g. Cas particulier 6

Le cas particulier 6 (CP6) correspond à la fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans le sens de circulation Sud-Nord et de l'aire de repos du Val de Creuse ainsi que la mise en œuvre d'une mesure de stockage temporaire des poids-lourds aux abords de l'aire de repos de la Marche Occitane en situation de crise routière (épisode de neige et interdiction de circulation PL).

Pour cette situation, la synthèse des scénarios étudiés et leur acceptabilité sont présentées ci-dessous.



Conséquence	Classe de Probabilité				
Consequence	E	D	С	В	А
Désastreux					
Catastrophique		\$1 (CEBRE05 et CEBRE06) \$4 (CEBRE05 à CEBRE07) \$5 (CEBRE05 à CEBRE07)*			
Important		\$4 (CEBRE04)			
Sérieux		S1 (CEBRE01 à CEBRE04, CEBRE07)			
Modéré		\$4 (CEBRE01 à CEBRE04) \$5 (CEBRE01 à CEBRE04)*	S3 (CEBRE01 à CEBRE07)		S2 (CEBRE01 à CEBRE07)

^{* :} décote de la gravité du scénario de projection de glace de B à D sous condition de la mise en œuvre d'un double-système permettant de mesurer, détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur, pour CEBRE05 à CEBRE07.

Tableau 127 : Synthèse des scénarios étudiés pour le cas particulier 6 (source : guide technique, mai 2012)

Ainsi, pour le cas particulier 6, l'ensemble des risques étudiés sont considérés comme acceptables pour l'installation projetée. Toutefois, ces risques sont acceptables sous condition de la mise en œuvre des mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012 ainsi que de mesures de détection de glace et d'arrêt machine pour certaines éoliennes.

h. Synthèse majorante des différentes situations

Une synthèse majorante de l'ensemble des situations considérées a été réalisée et ne retient que le niveau le plus élevé pour chaque éolienne et chaque scénario de risque.

La synthèse des scénarios étudiés et leur acceptabilité sont présentées ci-dessous.

Conséquence	Classe de Probabilité					
0011004401100	Е	D	С	В	А	
Désastreux						
Catastrophique		S1 (CEBREO5 à CEBREO7) S4 (CEBREO5 à CEBREO7) S5 (CEBREO5 à CEBREO7)*				
Important		S4 (CEBRE04)				
Sérieux		S1 (CEBRE01 à CEBRE04)				
Modéré		S4 (CEBRE01 à CEBRE03) S5 (CEBRE01 à CEBRE04)*	53 (CEBRE01 à CEBRE07)	S5 (CEBRE01 à CEBRE07)*	S2 (CEBRE01 à CEBRE07)	

^{* :} décote de la gravité du scénario de projection de glace de B à D sous condition de la mise en œuvre d'un double-système permettant de mesurer, détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur, pour CEBRE05 à CEBRE07.

Tableau 128 : Synthèse majorante des scénarios étudiés pour l'ensemble des situations (source : guide technique, mai 2012)

Ainsi, l'ensemble des risques étudiés sont considérés comme acceptables pour l'installation projetée. Toutefois, ces risques sont acceptables sous condition de la mise en œuvre des mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012 ainsi que de mesures de détection de glace et d'arrêt machine pour certaines éoliennes.

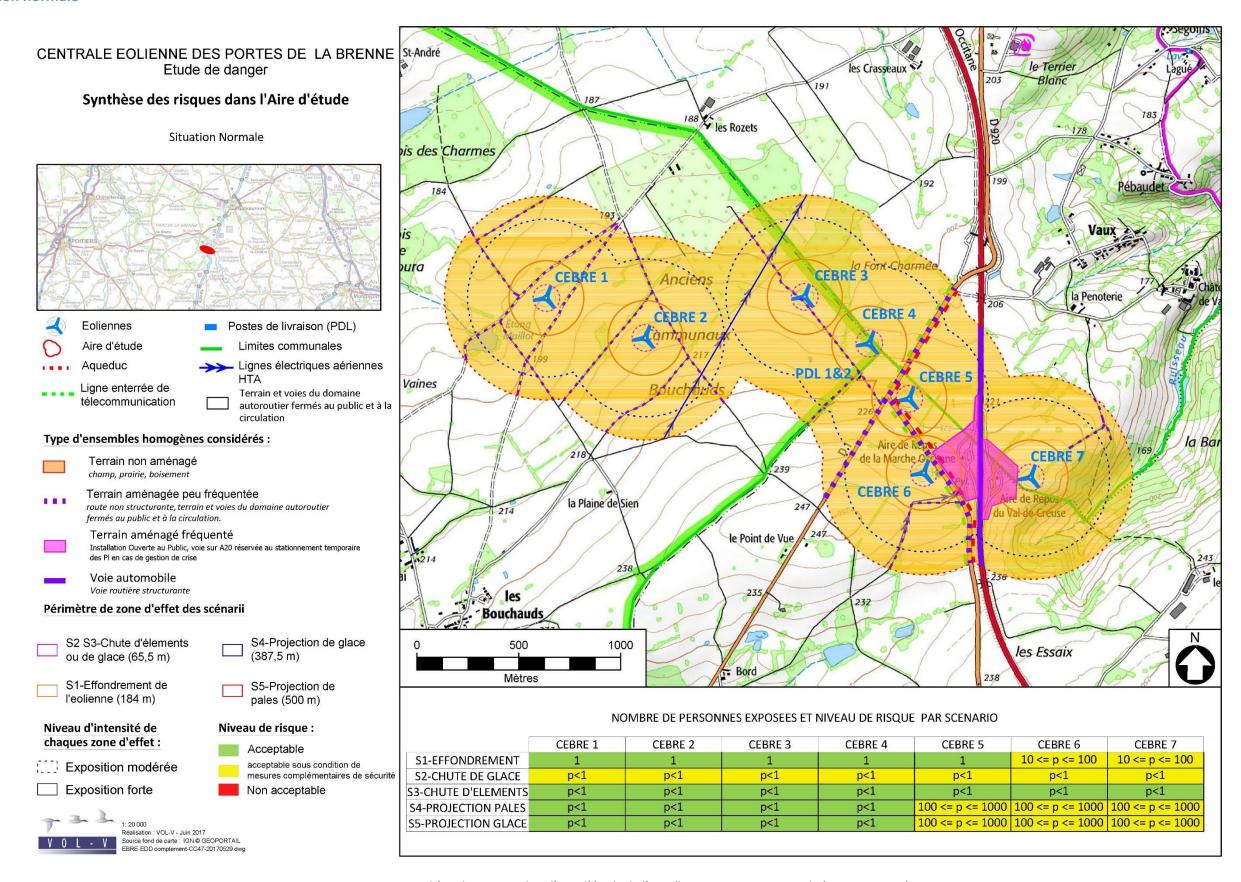
8.9.3. Cartographies des risques

Les carte ci-après constituent, pour chaque situation considérée, la synthèse des risques de l'aire d'étude du projet éolien de l'installation.

Pour chaque situation et chaque éolienne du projet du parc éolien des Portes de la Brenne, une cartographie de synthèse des risques et un calcul détaillé des personnes exposées sont consultables en annexe 2. Ces cartographies permettent de disposer d'un descriptif des personnes exposées par ensemble homogène.



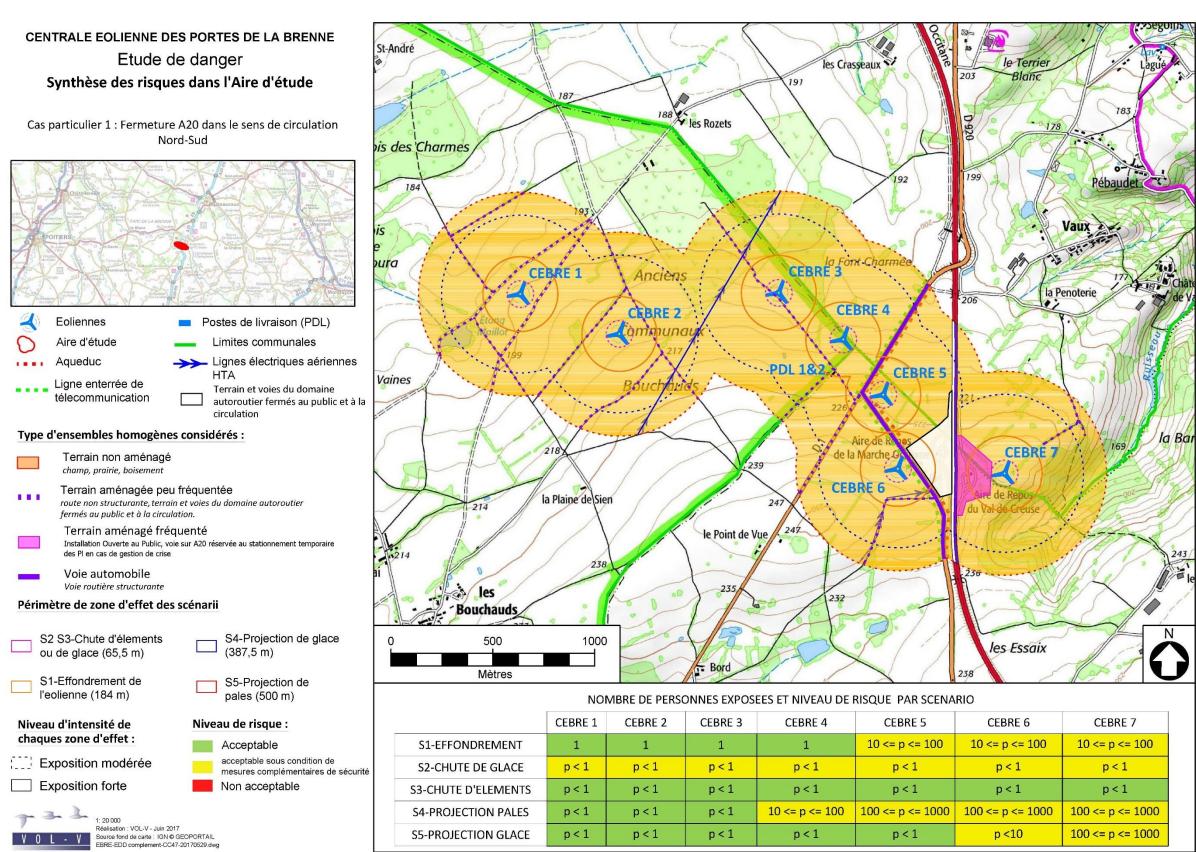
a. Situation normale



Carte 14 : Synthèse des risques dans l'aire d'étude de l'installation – Situation normale (source : VOL-V)



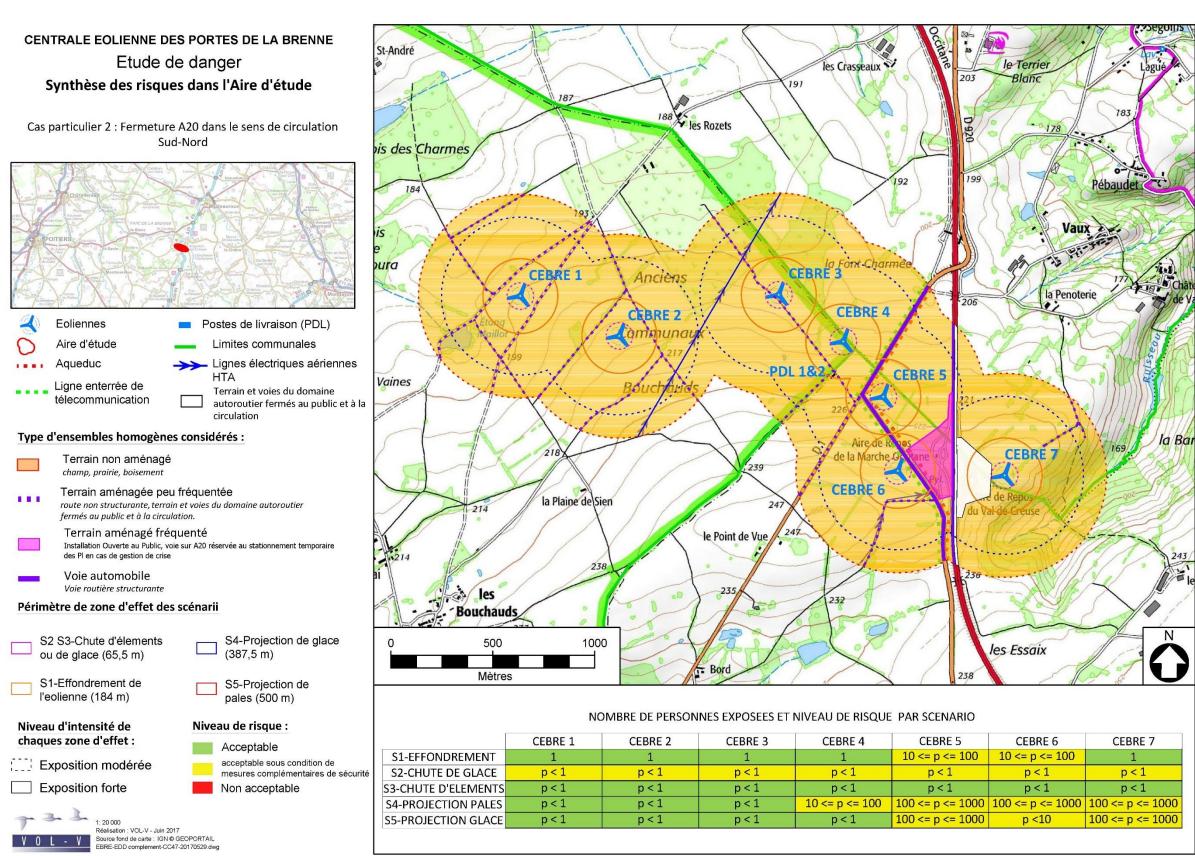
b. Cas particulier 1



Carte 15 : Synthèse des risques dans l'aire d'étude de l'installation – Cas particulier 1 (source : VOL-V)



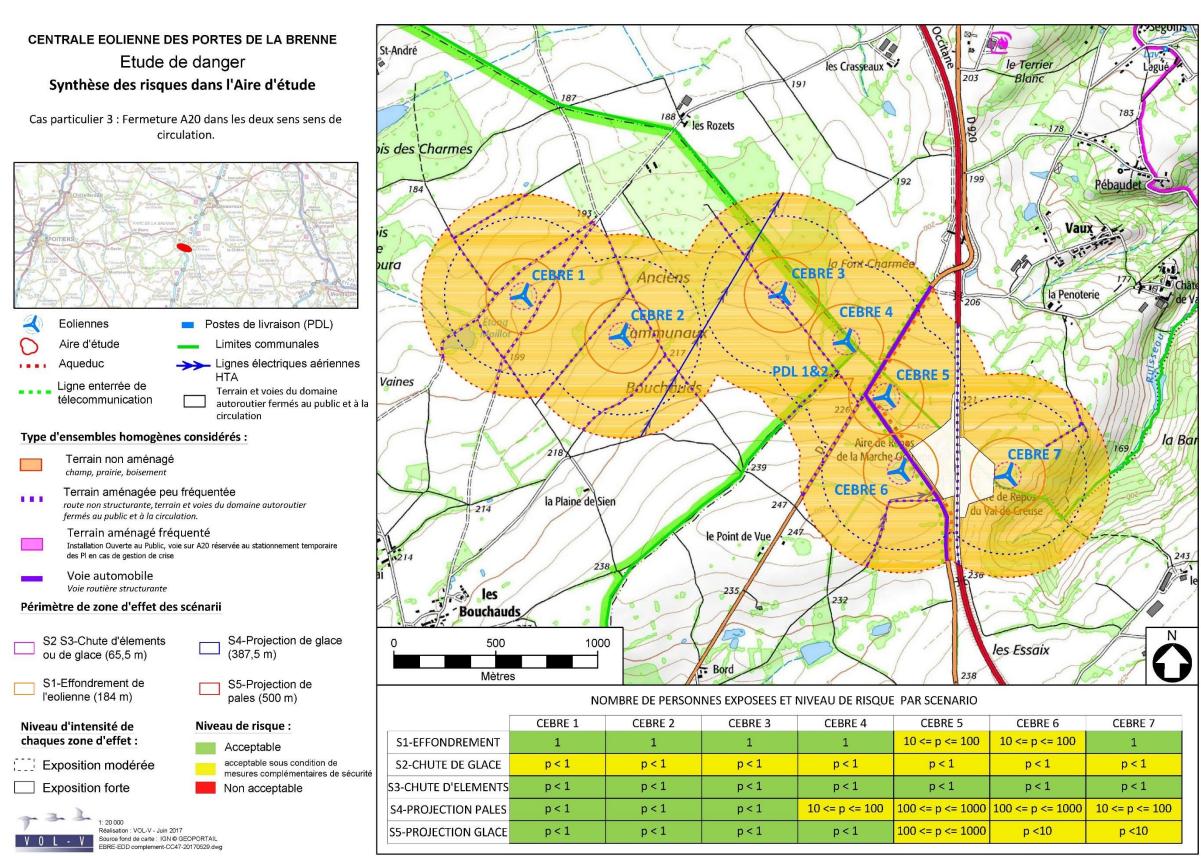
c. Cas particulier 2



Carte 16 : Synthèse des risques dans l'aire d'étude de l'installation – Cas particulier 2 (source : VOL-V)



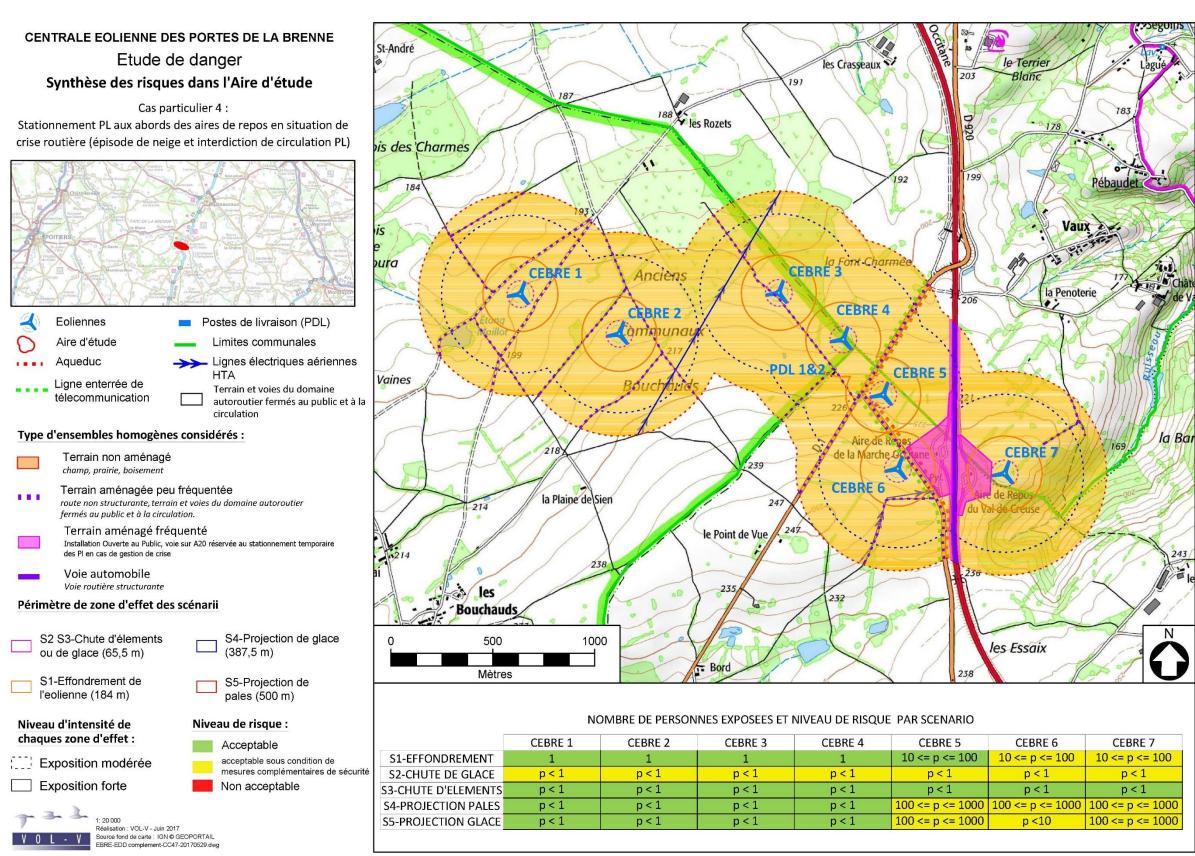
d. Cas particulier 3



Carte 17 : Synthèse des risques dans l'aire d'étude de l'installation – Cas particulier 3 (source : VOL-V)



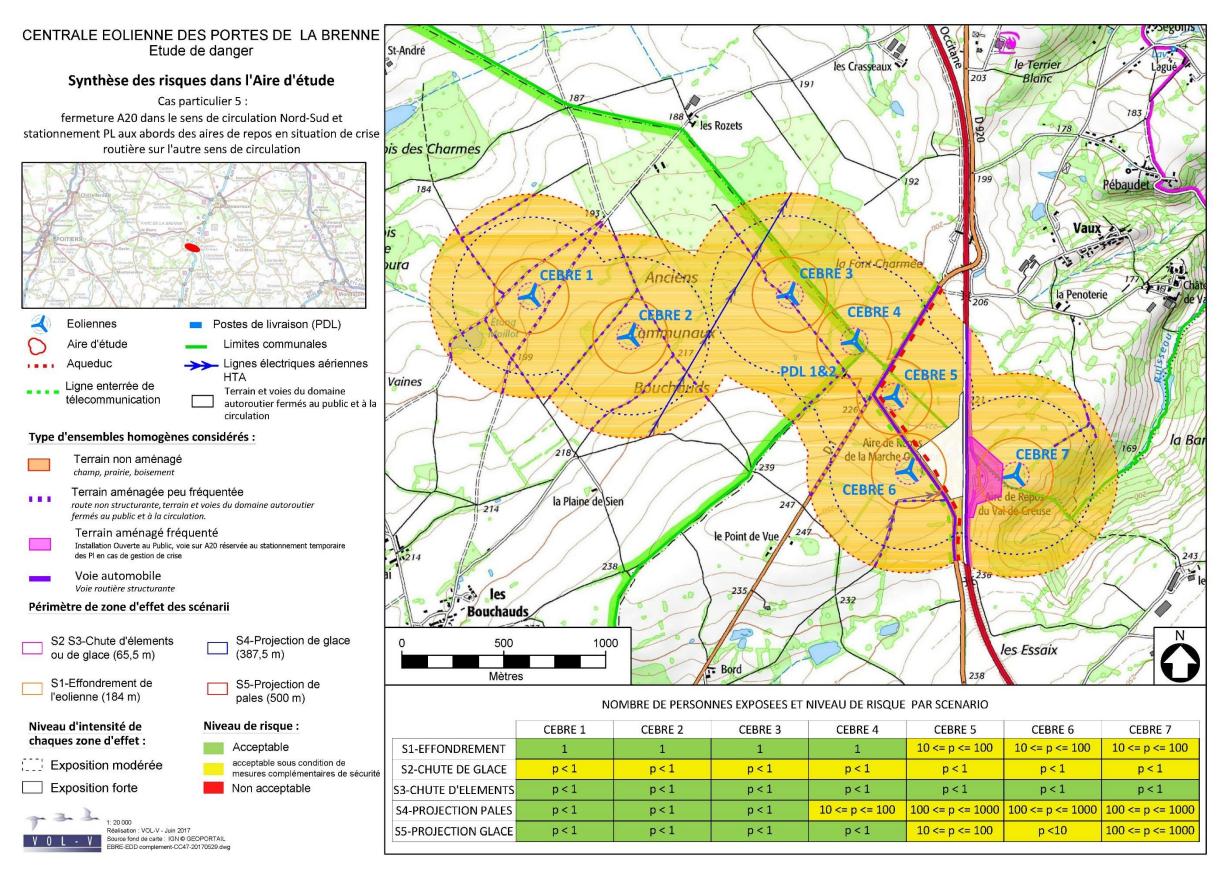
e. Cas particulier 4



Carte 18 : Synthèse des risques dans l'aire d'étude de l'installation – Cas particulier 4 (source : VOL-V)



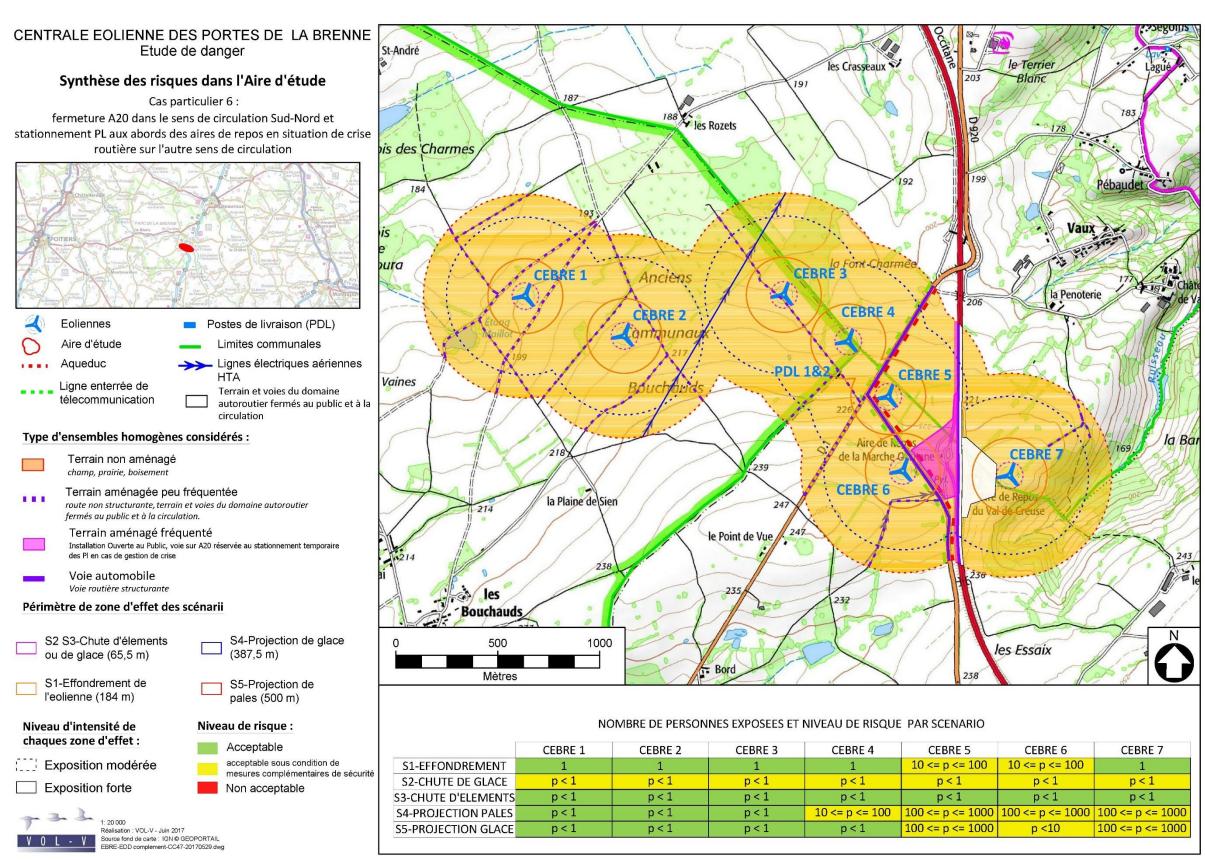
f. Cas particulier 5



Carte 19 : Synthèse des risques dans l'aire d'étude de l'installation – Cas particulier 5 (source : VOL-V)



g. Cas particulier 6



Carte 20 : Synthèse des risques dans l'aire d'étude de l'installation – Cas particulier 6 (source : VOL-V)



9. Conclusion

Les principaux risques identifiés pour le projet d'installation d'énergie éolienne des Portes de la Brenne sont des risques classiques pour ce type d'installations : risque de chute ou de projection de morceaux de glace, risque de chute ou de projection de toute ou partie de pale, risque d'effondrement de l'éolienne dans sa totalité.

L'environnement du site présente des enjeux limités vis-à-vis de ces principaux risques identifiés. En grande partie, il s'agit de parcelles agricoles et de chemins ruraux. On notre toutefois la présence de deux routes départementales non structurantes (hors mesure de déviation du tronçon de l'autoroute A20) qui traversent à l'est l'aire d'étude et l'habitation la plus proche est située à 671 mètres de l'une des éoliennes projetées. Seule l'autoroute A20 et les deux aires de repos localisés au sein de l'aire d'étude représentent, par leur fréquentation, un enjeu moyen à considérer pour l'acceptabilité des risques identifiés.

Les éoliennes seront certifiées selon la norme IEC 61400-1 et adaptées aux conditions de vent évaluées préalablement sur le site. Dans le cadre cette norme, les éoliennes sont en effet rangées dans des classes définies en fonction de la vitesse moyenne de vent, de la vitesse maximale et des turbulences. L'adéquation de l'éolienne retenue au site sera également confirmée par le fournisseur d'éoliennes. Elles sont équipées de divers systèmes de sécurité pour de réduire les risques : maintenance régulière, port de protections individuelles adaptées, détection et protection incendie, détection de la survitesse, détection des vibrations anormales, protection foudre, détection des échauffements mécaniques, dispositif de détection de glace, etc. Ces mesures font l'objet d'une inspection et d'un suivi régulier afin de garantir dans le temps la fonction de sécurité qu'elles assurent.

Ainsi, dès la conception du projet, le choix est fait de limiter les risques à la source en éloignant le danger des enjeux vulnérables.

Concernant l'étude détaillée des risques, la méthodologie retenue a considéré la variation ponctuelle des enjeux humains et leur répartition spatiale au sein de la zone d'étude, du fait de l'existence du Plan de Gestion du Trafic (PGT) de l'autoroute A20 qui impose des itinéraires de déviation sur le réseau routier départemental traversant la zone d'étude ainsi que des mesures de stockage temporaire de véhicules en cas de gestion de crise. Conformément à 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 et en particulier le paragraphe « A.7 Cas spéciaux (occupations extrêmement temporaires) » de la Partie 1 « Règles méthodologiques applicables pour l'élaboration des études de dangers », il est stipulé une méthodologie spécifique pour la prise en compte de ces cas d'occupation très variables.

Pour cette raison, la méthodologie retenue consiste à considérer plusieurs situations de fonctionnement de l'autoroute A20 et des deux aires de repos, en fonction des mesures prévues dans le Plan de Gestion du Trafic (PGT A20). Pour chaque situation considérée, une étude détaillée des risques a été réalisée et on retiendra pour chaque scénario de risque et pour chaque éolienne le niveau de risque le plus élevé qui ressort de la combinaison de l'ensemble des situations considérées.

Pour rappel, les situations considérées sont les suivantes :

- ✓ Situation normale (SN) : fonctionnement normal du tronçon de l'autoroute A20 et des deux aires de repos
- ✓ <u>Cas particulier 1 (CP1):</u> fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans le sens de circulation Nord-Sud et de l'aire de repos de la Marche Occitane
- ✓ <u>Cas particulier 2 (CP2):</u> fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans le sens de circulation Sud-Nord et de l'aire de repos du Val de Creuse
- ✓ Cas particulier 3 (CP3): fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans les 2 sens de circulation et des 2 aires de repos
- ✓ <u>Cas particulier 4 (CP4)</u>: fonctionnement normal du tronçon de l'autoroute A20 ainsi que des aires de repos et stockage temporaire des poids-lourds aux abords des aires de repos en situation de crise routière (épisode de neige et interdiction de circulation PL)
- ✓ <u>Cas particulier 5 (CP5)</u>: fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans le sens de circulation Nord-Sud ainsi que de l'aire de repos de la Marche Occitane et stockage temporaire des poids-lourds aux abords de l'aire de repos du Val de Creuse en situation de crise routière (épisode de neige et interdiction de circulation PL)

✓ <u>Cas particulier 6 (CP6)</u>: fermeture du tronçon de l'autoroute A20 dans le sens de circulation Sud-Nord ainsi que de l'aire de repos du Val de Creuse et stockage temporaire des poids-lourds aux abords de l'aire de repos de la Marche Occitane en situation de crise routière (épisode de neige et interdiction de circulation PL)

Le tableau ci-dessous décrit l'état de fonctionnement de l'autoroute A20, des itinéraires de déviation (RD1 et RD920) et des deux aires de repos en fonction de chaque situation considérée.

Situation	A 20	RD 1 / RD 920 (itinéraire de déviation)	Aire de repos de la Marche Occitane	Aire de repos du Val de Creuse	Voies de stockage temporaire de poids-lourds
SN	2 sens de circulation	Circulation normale	Ouverte au public	Ouverte au public	Mesure non active
CP1	Sens de circulation Sud- Nord	Itinéraire de déviation	Fermée au public	Ouverte au public	Mesure non active
CP2	Sens de circulation Nord- Sud	Itinéraire de déviation	Ouverte au public	Fermée au public	Mesure non active
CP3	Fermée à la circulation	Itinéraire de déviation	Fermée au public	Fermée au public	Mesure non active
CP4	2 sens de circulation	Circulation normale	Ouverte au public	Ouverte au public	Mesure active pour les 2 sens de circulation
CP5	Sens de circulation Sud- Nord	Itinéraire de déviation	Fermée au public	Ouverte au public	Mesure active pour le sens de circulation Sud- Nord
CP6	Sens de circulation Nord- Sud	Itinéraire de déviation	Ouverte au public	Fermée au public	Mesure active pour le sens de circulation Nord- Sud

Tableau 129 : Etat de fonctionnement de l'A20, des itinéraires de déviation et des deux aires de repos en fonction de chaque situation considérée (source : VOL-V)



Le projet permet ainsi d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que

possible, compte tenu de l'état des connaissances et pratiques actuelles.

En considérant l'ensemble des situations ayant fait l'objet d'une étude détaillée des risques, la synthèse majorante des risques étudiés est présentée ci-dessous et permet de conclure à une acceptabilité sous réserve de la mise en œuvre d'un certain nombre de mesures, en particulier vis-à-vis de la détection de formation de glace sur les pales.

Scénario	Intensité	Probabilité	Gravité	Acceptabilité
Effondrement de l'éolienne (S1)	exposition forte	D (pour des éoliennes récentes) ¹⁹	Sérieux pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE04 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE05 à CEBRE07	Acceptable
Chute de glace (S2)	exposition modérée	A sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Modéré	Acceptable
Chute d'élément de l'éolienne (S3)	exposition modérée	С	Modéré	Acceptable
Projection de pales ou fragments de pales (S4)	exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes) ²⁰	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE03 Important pour l'éolienne CEBRE04 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE05 à CEBRE07	Acceptable
Projection de glace (S5)	exposition modérée	D (avec mesures de détection de glace proposées)	Modéré pour les éoliennes CEBRE01 à CEBRE04 Catastrophique pour les éoliennes CEBRE05 à CEBRE07	Acceptable

Tableau 130 : Synthèse des principaux risques identifiés (source : VOL-V)

L'ensemble des risques du projet est acceptable vis-à-vis de la matrice réglementaire d'acceptabilité du risque. La chute de glace dans la zone de survol des pales doit toutefois faire l'objet de mesures de maîtrise du risque. Ainsi, conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, un panneau informant le public des risques (et notamment des risques de chute de glace) sera installé sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, c'est-à-dire en amont de la zone d'effet de ce phénomène. Cette mesure permettra de réduire les risques pour les personnes potentiellement présentes sur le site lors des épisodes de grand froid. De même, pour les risques d'effondrement de l'éolienne et de projection de pales ou de fragments de pales, les risques sont considérés comme acceptables, à condition que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 de la présenté étude de dangers (cf mesures de sécurité préconisées dans la partie VII.6 du guide INERIS de mai 2012) soient mises en œuvre. Enfin, l'acceptabilité du risque de projection de glace est liée à la décote de la probabilité de survenance de ce risque et ce grâce à la mise en place de deux systèmes de détection de formation de glace sur les pales :

- Un système de détection de glace par méthode de la courbe de puissance : pour CEBRE01 à CEBRE07 ;
- Un système de détection de glace par mesure directe de formation de glace : pour CEBRE05 à CEBRE07.

²⁰ Voir paragraphe 8.2.4 de l'étude de Dangers

¹⁹ Voir paragraphe 8.2.1 de l'étude de Dangers