

Projet de parc éolien du Saint Varentais

Communes de Saint-Généroux et Saint-Varent (79)

DOSSIER DE DEMANDE D'AUTORISATION ENVIRONNEMENTALE

- Lettre de demande
- Tome 1 : Cartographie
- Tome 2 : Etude d'impact
- **Tome 3 : Etude de dangers**



RÉDACTION		VALIDATION		DOCUMENT
Date : 23/03/18	Initiales : CB	Date : 30/03/2018	Initiales : DME	Mise à jour suite aux demandes de compléments - mars 2018
Date : 30/10/2017	Initiales : CB	Date : 12/12/2017	Initiales : MBE	Dépôt initial de la demande d'autorisation environnementale - décembre 2017

Sommaire

1. PRÉAMBULE	6	5.1.8. Stockage et flux de produits dangereux	20
1.1. Objectif de l'étude de dangers	6	5.2. Conformité des équipements électriques de l'installation hors éolienne	21
1.2. Contexte législatif et réglementaire	6	5.2.1. Fonctionnement et description de l'installation	21
1.3. Nomenclature des installations classées	7	5.2.2. Conformité de l'installation	22
1.4. Identité du rédacteur de l'étude de dangers	7	5.2.3. Autres réseaux.....	22
2. INFORMATIONS GÉNÉRALES CONCERNANT L'INSTALLATION	8	6. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DANGERS DE L'INSTALLATION	23
2.1. Renseignements administratifs.....	8	6.1. Potentiels de dangers liés aux produits.....	23
2.1.1. Identité du porteur de projet	8	6.1.1. Composants de la structure	23
2.1.2. Identité de VALOREM SAS	8	6.1.2. Lubrifiants et graisses.....	23
2.1.3. Identité de l'exploitant du parc, VALEMO	8	6.1.3. Stockage	24
2.2. Localisation du site	9	6.1.4. Hexafluorure de soufre	24
2.3. Définition de l'aire d'étude	9	6.1.5. Autres	24
3. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION	10	6.1.6. Réflexion sur des produits de substitution	24
3.1. Environnement humain	10	6.2. Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation	24
3.1.1. Zones urbanisées	10	6.3. Réduction des potentiels de danger à la source	25
3.1.2. Etablissements recevant du public (ERP)	11	6.3.1. Principales actions préventives	25
3.1.3. Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et Installations Nucléaires de Base (INB)	11	6.3.2. Utilisation des meilleures techniques disponibles	25
3.1.4. Autres activités	11	7. ANALYSE DES RETOURS D'EXPÉRIENCE	26
3.2. Environnement naturel	11	7.1. Inventaire des accidents et incidents en France	26
3.2.1. Contexte climatique	11	7.2. Inventaire des accidents et incidents à l'international	27
3.2.2. Risques naturels	11	7.3. Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience.....	28
3.3. Environnement matériel.....	12	7.3.1. Analyse de l'évolution des accidents en France.....	28
3.3.1. Voies de communication	12	7.3.2. Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents.....	28
3.3.2. Réseaux publics et privés	12	7.4. Limites d'utilisation de l'accidentologie	28
3.4. Cartographie de synthèse	13	8. ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES	29
4. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION	14	8.1. Objectif de l'analyse préliminaire des risques	29
4.1. Caractéristiques de l'installation	14	8.2. Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques.....	29
4.1.1. Caractéristiques générales d'un parc éolien	14	8.3. Recensement des agressions externes potentielles.....	29
4.1.2. Activité de l'installation	15	8.3.1. Agression externes liées aux activités humaines.....	29
4.1.3. Composition de l'installation.....	15	8.3.2. Agressions externes liées aux phénomènes naturels	31
5. FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION	17	8.4. Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques	31
5.1.1. Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur	17	8.5. Effets dominos	33
5.1.2. Sécurité de l'installation.....	17	8.6. Mise en place des mesures de sécurité	33
5.1.3. Surveillance et procédures d'arrêt.....	18	8.7. Conclusion de l'analyse préliminaire des risques	39
5.1.4. Moyens de prévention et lutte contre l'incendie.....	18	9. ETUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES	40
5.1.5. Garanties et conformité des machines	19	9.1. Rappel des définitions	40
5.1.6. Conformité avec les prescriptions générales	19	9.1.1. Cinétique	40
5.1.7. Opérations de maintenance de l'installation.....	20	9.1.2. Intensité	40
		9.1.3. Gravité.....	41
		9.1.4. Probabilité	41
		9.2. Caractérisation des scénarios retenus	43
		9.2.1. Effondrement de l'éolienne.....	43

9.2.2.	Chute de glace	46
9.2.3.	Chute d'éléments de l'éolienne	49
9.2.4.	Projection de pales ou de fragments de pales	52
9.2.5.	Projection de glace	56
9.3.	Synthèse de l'étude détaillée des risques	59
9.3.1.	Tableau de synthèse des scénarios étudiés	59
9.3.2.	Synthèse de l'acceptabilité des risques	60
9.3.3.	Cartographie des risques	61
10.	CONCLUSION	68
11.	ANNEXE 1 - MÉTHODE DE COMPTAGE DES PERSONNES POUR LA DÉTERMINATION DE LA GRAVITÉ POTENTIELLE D'UN ACCIDENT À PROXIMITÉ D'UNE ÉOLIENNE.....	69
12.	ANNEXE 2 - TABLEAU DE L'ACCIDENTOLOGIE FRANÇAISE	71
13.	ANNEXE 3 - SCÉNARIOS GÉNÉRIQUES ISSUS DE L'ANALYSE PRÉLIMINAIRE DES RISQUES	77
15.	ANNEXE 4 - PRÉVENTION DES RISQUES.....	79
16.	ANNEXE 5 - PROBABILITÉ D'ATTEINTE ET RISQUE INDIVIDUEL.....	83
17.	ANNEXE 6 -GLOSSAIRE	84
18.	ANNEXE 7 - BIBLIOGRAPHIE ET RÉFÉRENCES UTILISÉES	86

1. Préambule

1.1. Objectif de l'étude de dangers

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

Cette étude est proportionnée aux risques présentés par les éoliennes du parc éolien du Saint-Varentais. 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 du Saint-Varentais, 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.

Cette étude de dangers est construite sur la base des recommandations du guide technique SER-FEE/INERIS de mai 2012 « *Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens* ».

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 classées soumises à autorisation fournit un cadre méthodologique pour les évaluations des scénarios d'accident majeurs. Il impose une évaluation des accidents majeurs sur les

personnes uniquement et non sur la totalité des enjeux identifiés dans l'article L. 511-1. En cohérence avec cette réglementation et dans le but d'adopter une démarche proportionnée, l'évaluation des accidents majeurs dans l'étude de dangers d'un parc d'aérogénérateurs s'intéressera prioritairement aux dommages sur les personnes. Pour les parcs éoliens, les atteintes à l'environnement, l'impact sur le fonctionnement des radars et les problématiques liées à la circulation aérienne font 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
- Étude détaillée de réduction des risques
- Quantification et hiérarchisation des différents scénarios en termes de gravité, de probabilité et de cinétique de développement en tenant compte de l'efficacité des mesures de prévention et de protection
- Représentation cartographique
- Résumé non technique de l'étude des dangers.

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

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

1.3. Nomenclature des installations 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 :

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

Le parc éolien du Saint-Varentais comprend au moins un aérogénérateur dont la hauteur (mât + nacelle) maximale de 127 mètres est supérieure ou égale à 50 mètres : 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.

1.4. Identité du rédacteur de l'étude de dangers

L'étude de dangers du parc éolien du Saint-Varentais a été conduite et rédigée par la société VALOREM :

Céline BONNET, Responsable du Bureau d'Etudes Service Environnement - rédaction

Mathieu BERNARD et Diane MERIAUX, Chefs de projet au sein du Service Développement de VALOREM

2. Informations générales concernant l'installation

2.1. Renseignements administratifs

2.1.1. Identité du porteur de projet

Dénomination ou raison sociale : SAINT VARENTAIS ENERGIES

Forme juridique : Société par action simplifiée à associé unique

Adresse du siège social : 213, cours Victor Hugo - 33 130 BEGLES

Président : VALOREM SAS, représentée par Monsieur Jean-Yves GRANDIDIER, Président de VALOREM SAS et signataire de la demande

SIRET : 832 868 806 R.C.S. BORDEAUX

APE : 3511Z Production d'électricité

Capital social : 1 000 €

SAINT VARENTAIS ENERGIES est une société filiale à 100 % de la société mère VALOREM SAS.

2.1.2. Identité de VALOREM SAS

Dénomination sociale : VALOREM

Forme juridique : Société par Action Simplifiée (SAS)

Adresse du siège social : 213, Cours Victor Hugo, 33 323 BEGLES

Date d'immatriculation : le 12 juillet 1994

N° SIRET : 395 388 739 00108.

APE : 7112B - ingénierie, études techniques

Capital social : 8 386 768,00 euros

Direction :

Président : Jean Yves GRANDIDIER

Directeur Général : Pierre GIRARD

Directeur Général Délégué : Frédéric LANOË

2.1.3. Identité de l'exploitant du parc, VALEMO

Dénomination sociale : VALEMO

Forme juridique : Société à responsabilité limitée (SARL)

Adresse du siège social : 213, Cours Victor Hugo, 33323 BEGLES CEDEX

Date d'immatriculation : le 2 janvier 2006

N° SIRET : 487 803 777 00035

APE : 4321A - travaux d'installation électrique dans tous locaux

Capital social : 92 070,00 euros

Direction :

Président : Jean Yves GRANDIDIER

Directeur Général : Frédéric PREVOST

VALEMO est une société filiale à 100 % de la société mère VALOREM sas.

2.2. Localisation du site

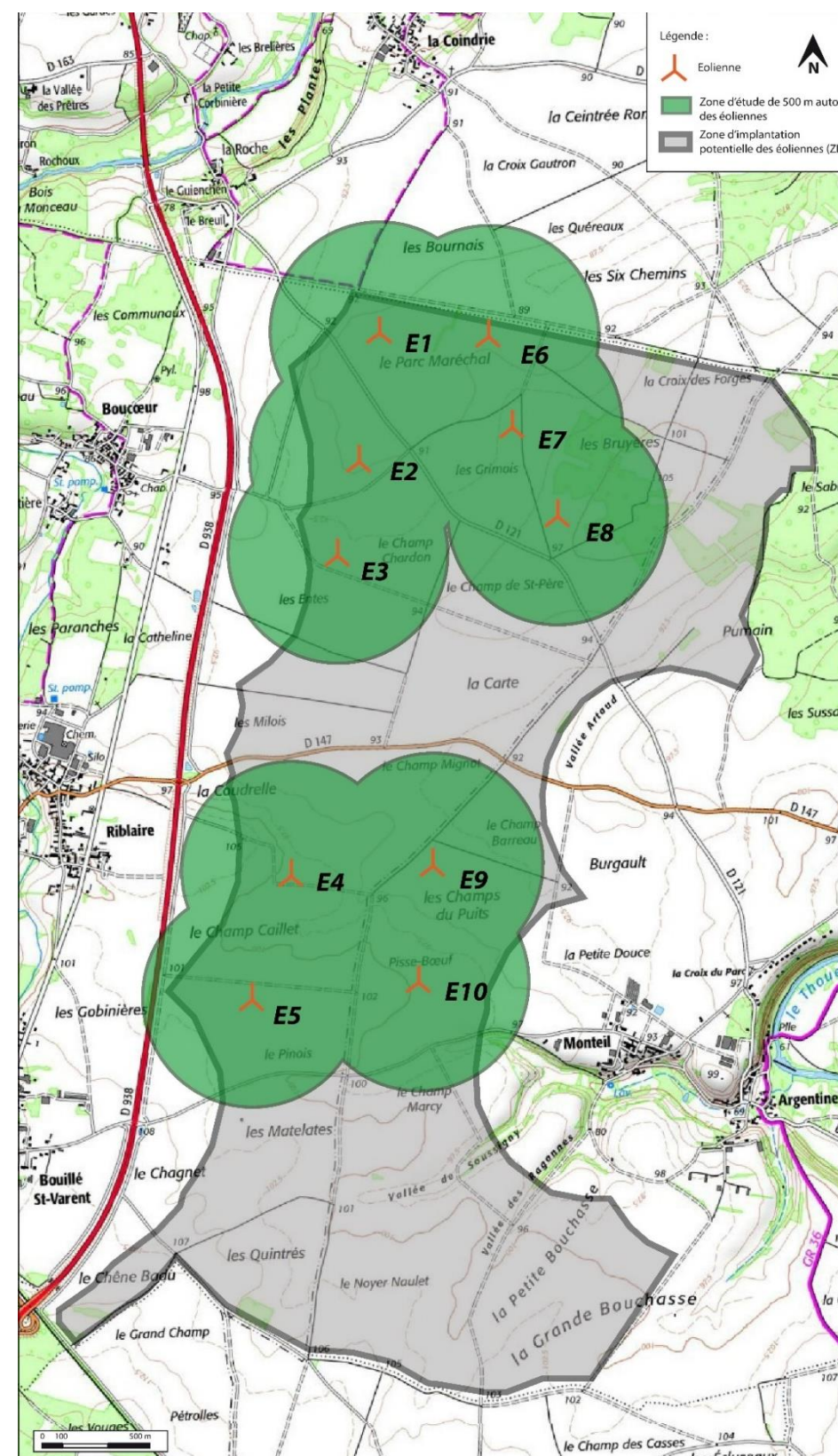
Le parc éolien du Saint-Varentais, composé de 10 aérogénérateurs, est localisé sur les communes de Saint-Généroux et Saint-Varent, dans le département des Deux-Sèvres. Il s'étend, à environ 10 km au sud de l'agglomération de Thouars.

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 mètres à partir de l'emprise du mat de l'aérogénérateur. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection. La zone d'étude n'intègre pas les environs du poste de livraison, qui sera néanmoins représenté sur la carte. Les expertises réalisées dans le cadre du guide INERIS/SER-FEE de mai 2012 ont en effet montré l'absence d'effet à l'extérieur du poste de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter.

Dans le cas du parc éolien du Saint-Varentais, l'aire d'étude de l'étude de dangers est en grande partie englobée dans la zone d'implantation potentielle des éoliennes, correspondant à l'aire d'étude immédiate de l'étude d'impact sur l'environnement. Cette superposition des aires d'étude permet ainsi d'extraire de l'étude d'impact de nombreuses informations sur l'environnement décrit dans l'aire d'étude immédiate.



Aire d'étude de l'étude de dangers du parc éolien du Saint-Varentais

3. Description de l'environnement de l'installation

Les informations présentées dans ce chapitre sont extraites de l'étude d'impact sur l'environnement du projet.

3.1. Environnement humain

3.1.1. Zones urbanisées

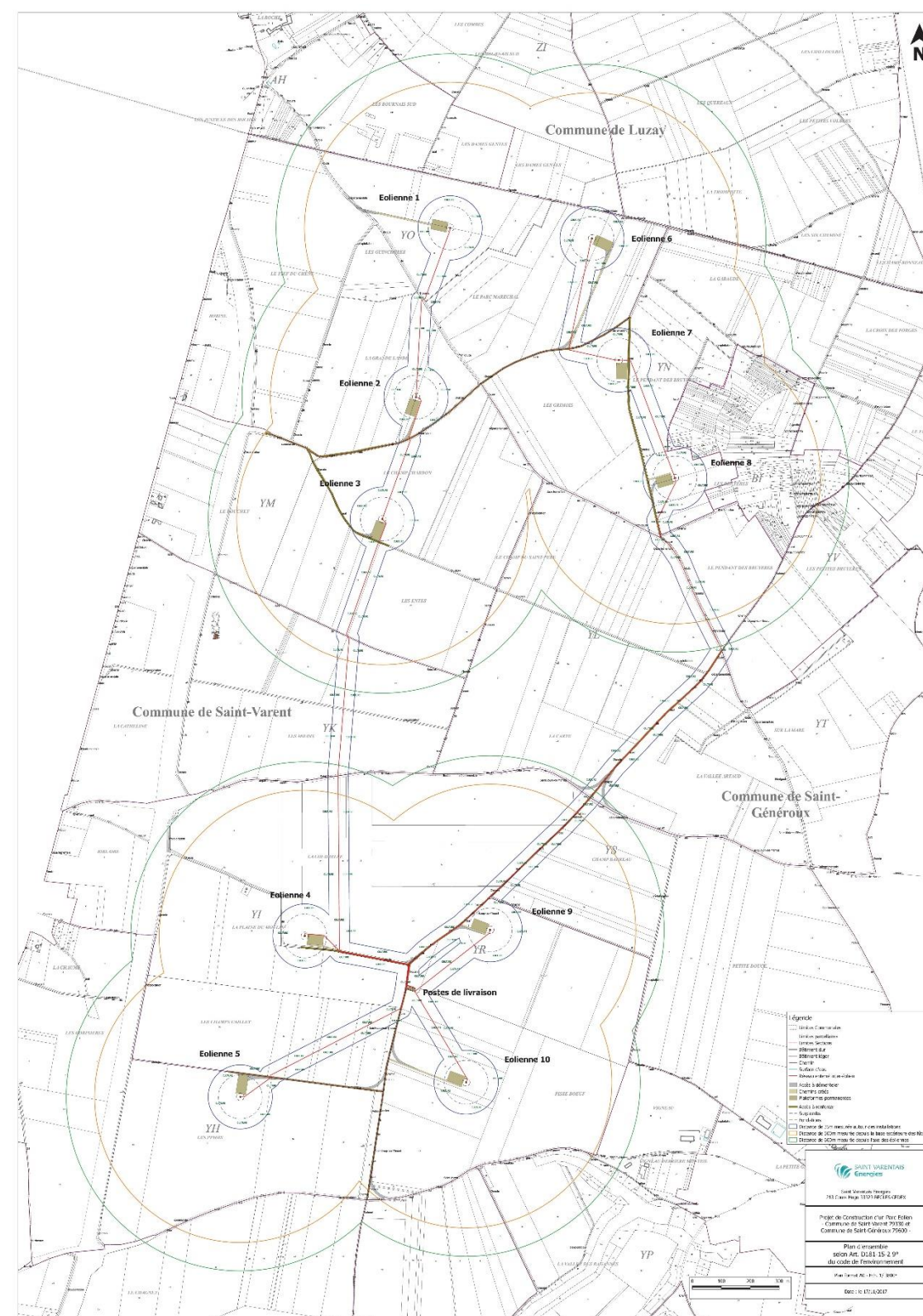
L'habitat de ce secteur est dispersé dans les hameaux et lieux-dits éloignés des bourgs. La plupart sont des fermes et maisons individuelles, regroupées. Les bourgs de Saint-Généroux et Saint-Varent sont situés respectivement à environ 1,6 et 2,6 km de la zone d'étude.

Conformément à la réglementation ICPE (article 3 de l'arrêté du 26 août 2011 et alinéa 5 de l'article L515-44 du Code de l'Environnement), le parc éolien est implanté de telle sorte que les aérogénérateurs sont situés à une distance minimale de 500 mètres de toute construction à usage d'habitation, de tout immeuble habité ou de toute zone destinée à l'habitation, telle que définie dans les documents d'urbanisme opposables en vigueur au 13 juillet 2010. (Cf. carte ci-après).

Dans le cas présent du parc du Saint-Ventais, les éoliennes sont situées à une distance de plus de 600 mètres des habitations. Les hameaux les plus proches sont notamment ceux de :

- Le Breuil (600 m) et La Coindrie (1 km) au nord,
- Monteuil (600 m), La Croix Rouge et Piogé (1 km) à l'est,
- Le Grand Moiré et Soussigny (800 m) au sud,
- Bouillé-Saint-Varent, Riblaire et Boucoeur (600 m) à l'ouest.

Au sein de l'aire d'étude immédiate, on ne recense aucune habitation.



Disposition des éoliennes à plus de 500 m (rayon orangé) des zones habitées (voir Tome 1 - volet cartographique)

3.1.2. Etablissements recevant du public (ERP)

Aucun établissement recevant du public n'est recensé au sein ou à moins de 250 m de la zone d'étude.

3.1.3. Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et Installations Nucléaires de Base (INB)

Aucun établissement SEVESO n'est présent dans les limites de la zone d'étude, ni aucune Installation Nucléaire de Base.

L'ICPE la plus proche est une casse automobile (SDBA Cass'Auto 79) située à environ 600 m à l'ouest de l'aire d'étude immédiate, de l'autre côté de la RD 938. Par ailleurs, l'Installation Nucléaire de Base (INB) la plus proche (celle de Civaux) est située à près de 100 km au sud-est.

3.1.4. Autres activités

L'activité économique des communes qui entourent le projet éolien du Saint-Varentais est dominée par le commerce, les services et l'agriculture. Airvault et Saint-Varent constituent deux pôles d'activité à l'échelle de ce territoire rural. Au droit de la zone d'implantation potentielle des éoliennes, seule l'activité agricole est présente.

Les parcelles concernées par le projet éolien sont des zones agricoles dominées par la céréaliculture et les oléagineux. La zone d'implantation potentielle est caractérisée par une activité essentiellement agricole très mécanisée à hauts rendements, avec de grandes parcelles qui modèlent le paysage.

3.2. Environnement naturel

3.2.1. Contexte climatique

Les données climatologiques de la station de Niort donnent quelques moyennes pour la période 1971 à 2015 :

- La température moyenne est de 12,4°C sur l'année avec un minimum moyen de 5,5°C en janvier et un maximum de 20,1°C en juillet,
- Les précipitations moyennes cumulées sur l'année sont de 852,4 mm,
- Le nombre de jour de gel par an est de 39 jours avec 4 jours en moyenne à moins de -5°C et 0,4 jour par an à moins de -10°C (le risque de givre est donc faible),
- La durée totale d'insolation est supérieure à 2000 h/an.

3.2.2. Risques naturels

3.2.2.1. Sismicité

Le zonage sismique français en vigueur est défini dans les décrets n° 2010-1254 et 2010-1255 du 22 octobre 2010, codifiés dans les articles R.563-1 à 8 et D.563-8-1 du Code de l'Environnement. Ce zonage, reposant sur une analyse probabiliste de l'aléa, divise la France en 5 zones de sismicité (allant de zone 1 - *sismicité très faible* à zone 5 - *sismicité forte*).

Les communes de Saint-Généroux et Saint-Varent se trouvent dans la zone 3 « sismicité modérée ».

3.2.2.2. Mouvement de terrain - Aléa retrait / gonflement des argiles

Relatif au mouvement de terrain :

Aucun mouvement de terrain (glissement, éboulement, coulée, effondrement et érosion des berges) n'a été recensé au sein de la ZIP.

Relatif à l'aléas retrait et gonflement des argiles :

Le site d'implantation des éoliennes est soumis à un aléa moyen à fort pour le retrait et gonflement des argiles. La majeure partie de la zone présente des enjeux moyens, les enjeux forts étant concentrés sur la partie nord-ouest, au niveau des secteurs boisés. Ce point sera confirmé ou infirmé par la réalisation de sondages lors de la phase de travaux.

3.2.2.3. Foudre

Pour définir l'activité orageuse d'un secteur, il est fait référence à la densité de foudroiement qui correspond au nombre d'impact foudre par an et par km² dans une région.

La densité d'arcs du département des Deux-Sèvres est variable, avec une moyenne de l'ordre de 0,5 arc/km²/an ce qui représente une densité d'arcs inférieure à la moyenne nationale (1,59 arc/km²/an).

3.2.2.4. Incendie

Le Dossier Départemental des Risques Majeurs des Deux-Sèvres n'aborde pas le risque feux de forêt, car ce département est globalement peu boisé et ne présente pas d'enjeux notables vis-à-vis de ce risque.

3.2.2.5. Inondation

Le risque inondation est pris en compte dans l'aménagement des communes autour de la zone d'étude par les Atlas de Zones Inondables (AZI) du Thouaret, d'une part et du Thouet, d'autre part (concerné également par un plan de prévention du risque inondation - PPRi).

La zone du projet n'est toutefois pas directement concernée par des zones inondables identifiées dans ces atlas. Elle est située à 1,6 km des zones inondables du Thouaret et 850 m des zones inondables du Thouet. Au regard de cet éloignement, le risque d'inondation ne peut donc concerner la zone du projet.

3.3. Environnement matériel

3.3.1. Voies de communication

La zone d'étude est traversée par des chemins et des voies communales, ainsi que par deux routes départementales (la RD147 d'intérêt secondaire qui relie Saint-Varent à Saint-Généroux et la RD121 d'intérêt local) permettant un accès aisé au parc éolien.

La voie structurante la plus proche des éoliennes est la route départementale RD938, en limite ouest du site d'étude, pour laquelle le trafic moyen annuel est estimé à 5516 véhicules par jour (*données 2016*).

À noter également en dehors de la zone d'étude, la présence des axes de communication suivants :

- La ligne SNCF reliant Saumur, Thouars et Niort, passe en limite sud de la zone d'étude. À ce jour, seule la section Saumur/Thouars est ouverte au trafic TER. La section située à proximité de la zone du projet n'est plus en service, que ce soit pour le trafic de voyageurs ou le fret. Cette voie ferrée n'induit donc aucun enjeu dans le cadre du projet.
- La voie ferrée Chinon (Beuxes)/Thouars/La-Roche-sur-Yon passe à 7,8 km au nord de la zone d'implantation potentielle des éoliennes. Cette voie ferrée est suffisamment éloignée pour ne pas induire d'enjeu dans le cadre du projet.
- La RD938TER qui relie Thouars à Bressuire. Cet axe passe à 5,5 km au nord-ouest de la zone du projet.
- La RD759 selon un axe est/ouest qui relie Thouars à Loudun, et à plus large échelle Mauléon à l'ouest à Chinon au nord-est. Cet axe passe à 7 km au nord de la zone du projet.
- La RN149-E62 qui relie Bressuire à Parthenay, et à plus large échelle Nantes à Poitiers. Cet axe passe à 14 km au sud-ouest de la zone du projet.

Par ailleurs, plusieurs circuits de randonnée sont identifiés par l'office de tourisme du Pays Thouarsais :

- Les secrets du Thouaret sur Glenay à 3 km au sud-ouest du site,
- Le Thouet et le Thouaret sur Maulais à 2 km au nord-est du site,
- Le Pont de la Roche sur Luzay qui passe en limite nord de la zone d'implantation potentielle des éoliennes.

Le GR36, un des nombreux itinéraires possibles vers Saint-Jacques-de-Compostelle, passe également dans la vallée du Thouet à environ 1 km à l'est de la zone du projet. Une boucle locale de randonnée longe la limite nord de la zone d'étude (*aucune donnée de fréquentation n'a pu être recensée*).

3.3.2. Réseaux publics et privés

Après consultation des différents gestionnaires, aucune infrastructure électrique haute tension ou gaz n'est située au sein de la zone d'étude. Seules quelques lignes électriques moyenne tension aériennes sont inventoriées. Aucune servitude n'est associée à ces lignes électriques.

La plate-forme ULM d'Airvault est située au sud de la zone d'implantation potentielle des éoliennes. Dans son courrier du 24 décembre 2015 (cf. annexe de la lettre de demande), la Direction Générale de l'Aviation Civile (DGAC) préconise une implantation des éoliennes à une distance de plus de 2,5 km de cette plate-forme.

La Direction de la Sécurité Aéronautique d'Etat (son avis, datant du 14 juin 2017, figure en annexe de la lettre de demande) indique que le projet se situe en dehors de toute zone grevée de servitudes aéronautiques, radioélectriques ou domaniales gérées par le ministère des armées, il ne fait donc l'objet d'aucune prescription locale.

Météo France, dans un courrier en date du 12 novembre 2015, nous informe que le projet se situe à une distance de 25 kilomètres du radar Météo France le plus proche (à savoir le radar de Cherves) utilisé dans le cadre des missions de sécurité météorologique des personnes et des biens. Cette distance est supérieure à la distance minimale d'éloignement fixée par l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie éolienne. Dès lors, aucune contrainte réglementaire spécifique ne pèse sur ce projet éolien au regard des radars météorologiques.

Enfin, le Centre d'Etudes Techniques, Maritimes et Fluviales (CETMEF) n'a pas été consulté car la zone d'implantation retenue est en-dehors de toutes les servitudes de leurs radars maritimes.

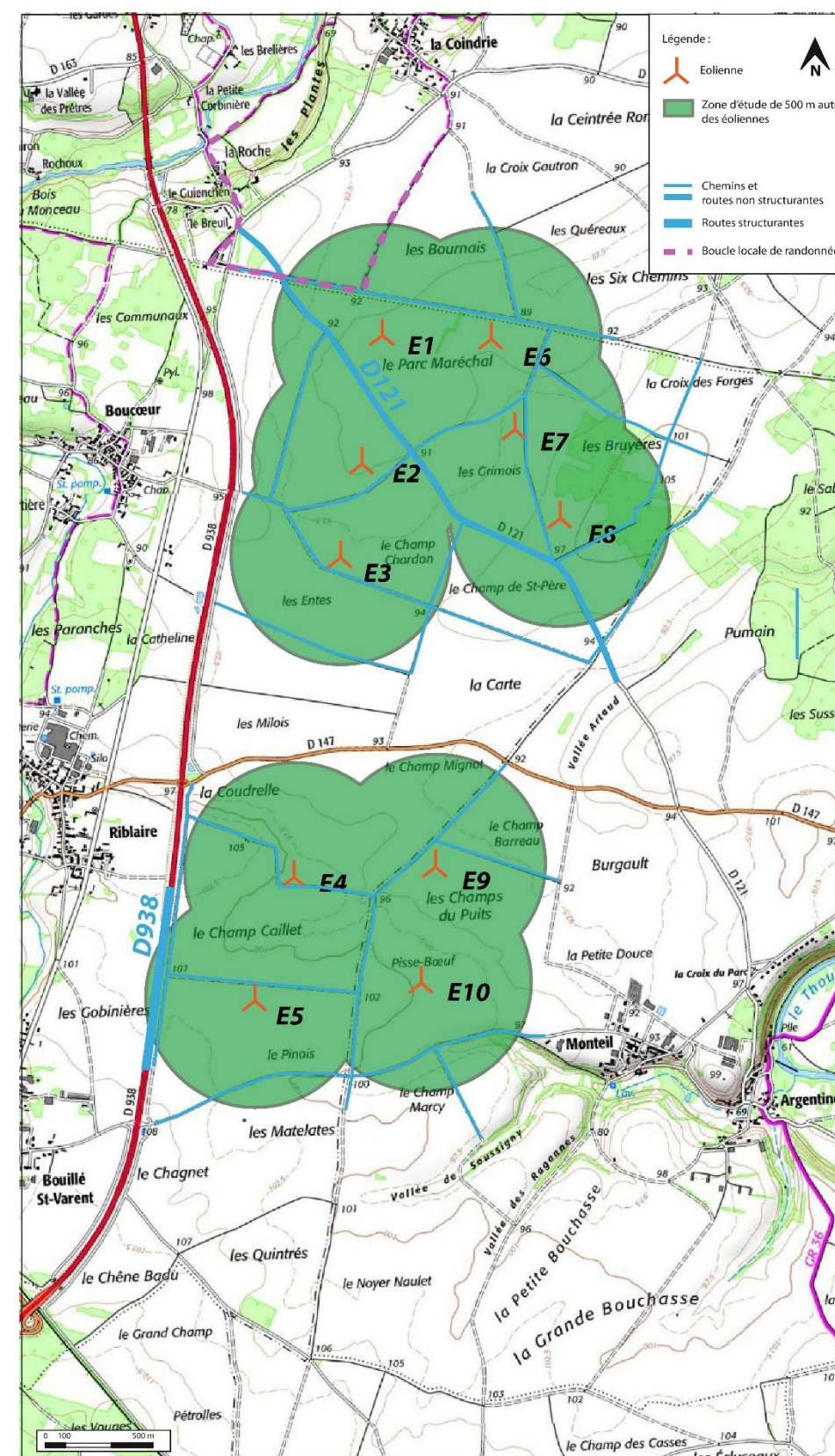
3.4. Cartographie de synthèse

La carte page suivante permet d'identifier géographiquement les enjeux à protéger dans la zone d'étude :

- La localisation des biens, infrastructures et autres établissements, pistes DFCI, chemins, voies communales,
- Le nombre de personnes exposées par secteur (espaces agricoles et forestiers, chemins et pistes).

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

- Terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts, friches, marais...) : compter 1 personne par tranche de 100 ha.
- Terrains aménagés mais peu fréquentés (voies de circulation non structurantes, chemins agricoles, plateformes de stockage, vignes, jardins et zones horticoles, gares de triage... le parc photovoltaïque est inclus dans cette catégorie) : compter 1 personne par tranche de 10 hectares.
- Voies de circulation structurantes (dont le trafic est supérieur à 2000 véhicules par jour) : compter 0,4 personne permanente par kilomètre exposé par tranche de 100 véhicules par jour



Synthèse des enjeux à protéger dans la zone d'étude

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 (cf. schéma du raccordement électrique) :

- 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.

Nota : Selon la réglementation, une installation soumise à la rubrique 2980 des installations classées correspond à un parc éolien exploité par un seul et même exploitant. Dans un souci de simplification, nous emploierons indifféremment les termes « parc éolien » ou « installation » dans le présent guide technique.

❖ Éléments constitutifs d'un aérogénérateur

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

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

- **Le rotor** 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.

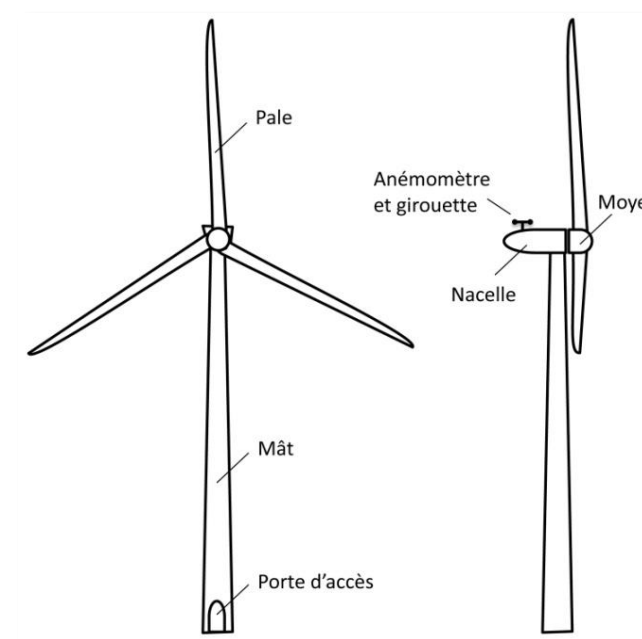


Schéma simplifié d'un aérogénérateur

❖ Emprise au sol

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

- La surface de chantier est une surface temporaire, durant la phase de construction, destinée aux manœuvres des engins et au stockage au sol des éléments constitutifs des éoliennes.

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

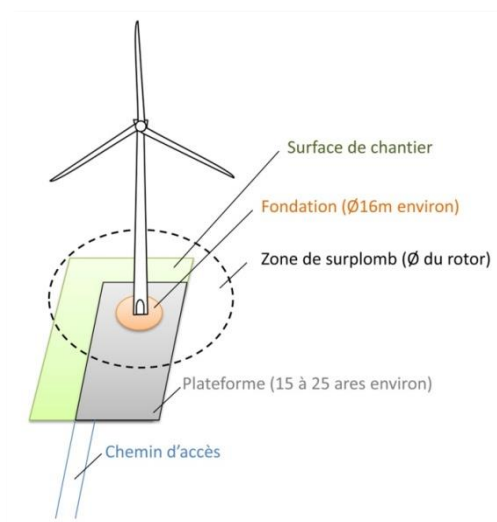


Illustration des emprises au sol d'une éolienne

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

❖ **Chemins d'accès**

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

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

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

4.1.2. Activité de l'installation

L'activité principale du parc éolien du Saint-Varentais 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.

4.1.3. Composition de l'installation

Les aérogénérateurs envisagés ne sont pas connus précisément (nom du fournisseur, puissance unitaire précise) à la date du dépôt du présent dossier. Cependant, les données de vent sur le site ainsi que les contraintes et servitudes ont permis de définir une enveloppe dimensionnelle maximale (gabarit) à laquelle répondront les aérogénérateurs qui seront installés sur les positions précises au préalable.

Nom éolienne	Constructeur	Puissance (MW)	Hauteur au moyeu (m)	Diamètre (m)	Hauteur en bout de pale (m)
V150	VESTAS	4,2	125	150	200
N149	NORDEX	4,5	125	149	199,5

Inventaire des éoliennes possibles (non exhaustif) pour le projet

Le parc éolien du Saint-Varentais sera donc constitué de 10 éoliennes de 4,2 à 4,5 MW de puissance unitaire, soit 42 à 45 MW de puissance totale, et de 4 postes de livraison.

Le tableau suivant reprend les caractéristiques techniques générales du projet éolien dans sa globalité.

Maîtres d'ouvrage	SAINT VARENTAIS ENERGIES	
Bureaux d'études projet	VALOREM	
Nombre d'éoliennes	10	
Puissance du parc	V150 : 42 MW	N149 : 45 MW
Production prévisionnelle	125 GWh/an	125 GWh/an
Montant total investissement estimé	-60 M€	-60 M€

Caractéristiques techniques du projet éolien du Saint-Varentais

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs dans le système de coordonnées UTM WGS 84 :

Eolienne	Coordonnées en Lambert 93		Coordonnées en WGS 84		Z (altitude NGF en m)	
	X	Y	Est	Nord	Pied de l'éolienne	Bout de pale (max)
1	457869	6650203	-0°10'55,01"	46°54'29,19"	90	290
2	457751	6649620	-0°10'59,46"	46°54'10,14"	92	292
3	457635	6649200	-0°11'04,15"	46°53'56,38"	95	295
4	457368	6647763	-0°11'14,02"	46°53'09,49"	101	301
5	457145	6647209	-0°11'23,50"	46°52'51,26"	103	303
6	458358	6650167	-0°10'31,82"	46°54'28,65"	90	290
7	458450	6649748	-0°10'26,68"	46°54'15,19"	93	293
8	458644	6649341	-0°10'16,76"	46°54'02,27"	98	298
9	458007	6647784	-0°10'43,87"	46°53'11,01"	95	295
10	457924	6647259	-0°10'46,80"	46°52'53,90"	100	300

Coordonnées géographiques des éoliennes du parc éolien du Saint-Varentais

5. Fonctionnement de l'installation

5.1.1. 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.

Le fonctionnement d'un parc éolien est présenté dans l'étude d'impact, notamment dans le « *Chapitre 1 - Présentation du site* » qui consacre 5 paragraphes à la présentation des caractéristiques techniques du projet (éoliennes, postes de livraison, raccordement des éoliennes au poste source par un réseau électrique enterré, phasage du chantier).

5.1.2. Sécurité de l'installation

Un modèle type d'éolienne est décrit dans ce chapitre et correspond aux critères techniques principaux retenus.

Le choix définitif des éoliennes (modèle et constructeur) sera fait dans cette gamme de matériel (taille, puissance, performance, aspect et production sonore) pour combiner un parc répondant à toutes les exigences de l'ensemble des études présentées dans ce dossier.

Les dimensions des éléments constituant l'éolienne choisie pourront s'écarter de celui de l'éolienne type (plus ou moins quelques mètres), sans toutefois dépasser la hauteur maximale de 200 mètres.

Le modèle d'éolienne retenu répondra à toutes les exigences de l'ensemble des études présentées dans ce dossier. Le type d'éolienne envisagé est issu de la gamme standard de différents constructeurs. On peut citer pour exemple les constructeurs d'éoliennes Vestas, Nordex, Enercon, Gamesa, Repower, General Electric, Acciona. La puissance unitaire de chaque machine sera de l'ordre de 4,2 à 4,5 MW.

Les caractéristiques communes des éoliennes qui seront implantées sur le site (type VESTAS V150 ou NORDEX N149 ou équivalent) sont présentées dans les paragraphes suivants.

5.1.2.1. Système de sécurité contre la survitesse

Chaque éolienne est équipée d'un système de détection de fonctionnement anormal de l'installation, en cas d'entrée en survitesse de la machine.

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

Bien qu'une seule pale en drapeau (frein aérodynamique) suffise à stopper l'éolienne, cette dernière possède 3 freins aérodynamiques indépendants (un frein par pale).

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

En cas d'urgence (par exemple, en cas de coupure du réseau), chaque pale du rotor est mise en sécurité en position de drapeau par son propre système de réglage de pale d'urgence alimenté par batterie. L'état de charge et la disponibilité des batteries sont garantis par un chargeur automatique.

5.1.2.2. Systèmes de sécurité contre le risque électrique

La génératrice située dans la nacelle comporte deux parties qui fournissent chacune une tension électrique de 690V AC, ainsi qu'une autre variable allant jusqu'à 480V AC. Par la suite, ces deux tensions ne font qu'une en 690V AC. Cette tension est transformée par un transformateur isolé en pied de mât. La tension est

élevée à 20kV et est transportée par un câble jusqu'à la cellule de coupure HTA. Elle est ensuite acheminée jusqu'au poste de livraison.

Protection des systèmes électriques :

- Système de contrôle de la génératrice ;
- Refroidissement du générateur par un système forcé de circulation d'air ;
- Régulation électronique du courant ;
- Cellule isolante de coupure haute tension ;
- Système de contrôle de la rotation de la nacelle pour éviter la torsion du câble électrique ;
- Mise à la terre du châssis et des équipements.

5.1.2.3. *Autres systèmes de sécurité*

Balisage aéronef : Chaque éolienne est balisée avec un système visuel lumineux pour les aéronefs, conformément aux dispositions prises en application des articles L.6351-6 et L.6352-1 du Code des Transports et des articles R.243-1 et R.244-1 du Code de l'Aviation Civile. L'alimentation principale du balisage lumineux est donnée par le réseau électrique. En cas de panne, une armoire d'alimentation de secours est prévue au pied des éoliennes. Le circuit électronique du chargeur de batteries comporte des relais d'alarmes permettant de prévenir l'utilisateur de défauts pouvant survenir dans le fonctionnement du balisage, notamment en cas de coupure de l'alimentation générale ou encore de dysfonctionnement du chargeur. L'autonomie en cas de panne du réseau est au minimum de 12 heures.

Frein à disque : L'arrêt complet du rotor n'a lieu qu'à des fins de maintenance et en appuyant sur le bouton d'arrêt d'urgence. Dans ce cas, un frein d'arrêt supplémentaire ne se déclenche que lorsque le rotor freine partiellement, les pales s'étant inclinées. Le dispositif de blocage du rotor ne peut être actionné que manuellement et en dernière sécurité, à des fins de maintenance.

Systèmes de refroidissement : La nacelle, le moyeu, le générateur et le transformateur sont refroidis par circulation d'air. L'huile de lubrification du multiplicateur et le liquide à base d'eau glycolée du convertisseur sont refroidis par un échangeur air/huile & air/eau situé sur le toit de la nacelle.

Équipement contre la foudre : Un paratonnerre est installé sur la nacelle. Les pales sont protégées par des tresses en cuivre qui font contact avec des balais au niveau des parties tournantes et acheminent le courant vers la terre. L'équipement électrique et hydraulique qui se trouve à l'intérieur du moyeu est entièrement protégé par la cage de Faraday du moyeu même. Le système de mise à la terre de la tour est assuré par un ensemble de câbles de terres individuelles, intégrées dans les fondations et connecté à la barre de terre au bas de la tour conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011.

Système de détection du givre : La commande de l'éolienne mesure, à l'aide de deux sondes de température indépendantes, la température de l'air sur la nacelle et en pied du mât, afin de détecter si les conditions sont propices à la formation de givre. Lorsque la température dépasse +2°C sur la nacelle, les rapports de

fonctionnement spécifiques à l'éolienne (vent/puissance/angle des pales) sont identifiés comme étant des valeurs moyennes à long terme. Pour des températures inférieures à +2°C (conditions de givre), les données de fonctionnement mesurées sont comparées aux valeurs moyennes à long terme. Pour cela, une plage de tolérance, déterminée de manière empirique, est définie autour de la courbe de puissance et de la courbe d'angle de pale. Celle-ci se base sur des simulations, des essais et plusieurs années d'expérience sur un grand nombre d'éoliennes de types variés. Si les données de fonctionnement concernant la puissance ou l'angle de pale sont hors de la plage de tolérance, l'éolienne est stoppée.

5.1.3. *Surveillance et procédures d'arrêt*

Le système de contrôle général est composé de plusieurs processeurs.

Différents détecteurs mesurent certains paramètres qui sont surveillés par les microprocesseurs :

- Vitesse du vent ;
- Angle des pales ;
- Vitesse de rotation de l'arbre rapide et de l'arbre lent ;
- Température extérieure, intérieure et de certains équipements ;
- Vibration de la nacelle ;
- Pression d'huile hydraulique et d'huile de lubrification ;
- Détecteur de niveau bas dans les circuits liquides ;
- Détecteurs d'arc électrique dans le local transformateur et dans l'armoire du jeu de barres.

Une procédure de mise à l'arrêt de la machine est programmée par différentes actions : commande manuelle en pied de tour et détection d'anomalie par les microprocesseurs. La mise en défaut de l'un des paramètres induit la mise en sécurité (arrêt) de la machine.

5.1.4. *Moyens de prévention et lutte contre l'incendie*

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

Le personnel a les habilitations électriques nécessaires.

Des moyens de prévention contre les risques électriques, contre les risques de surtension et contre la foudre sont des moyens de prévention contre le risque d'incendie (voir les équipements associés).

Lors du déclenchement des alarmes incendie de la machine, une information est envoyée vers le constructeur et l'exploitant au centre de télésurveillance qui peut alerter les secours, mise à l'arrêt de la machine.

Deux extincteurs sont situés à l'intérieur des éoliennes, dans la nacelle et au pied de celles-ci.

Par ailleurs, pour répondre aux demandes spécifiques du SDIS, des citernes de 120 m³ seront disposées sur l'ensemble du parc éolien, de telle sorte que chacune d'elle soit située à moins de 400 mètres d'une éolienne. Elles seront assorties chacune d'un forage permettant leur remplissage après utilisation.

5.1.5. Garanties et conformité des machines

Les éoliennes qui seront installées seront des machines conformes à la directive 06/42/CE qui définit les objectifs ou "exigences essentielles" en matière de sécurité et de santé auxquels doivent répondre, lors de leur fabrication et avant leur mise sur le marché, les machines et les composants de sécurité.

Elles disposent d'un certificat de conformité aux dispositions de la norme NF EN 61 400-1 dans sa version de juin 2006 ou CEI 61 400-1 dans sa version de 2005 ou toute norme équivalente en vigueur dans l'Union européenne ; Article 8 de l'arrêté du 26 août 2011.

5.1.6. Conformité avec les prescriptions générales

Le parc éolien du Saint-Varentais respecte la réglementation en vigueur en matière de sécurité en étant conforme aux prescriptions de l'arrêté ministériel relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées relatives à la sécurité de l'installation.

Les mesures préventives mises en place sur le parc éolien du Saint-Varentais sont récapitulées dans le tableau ci-après. Les dispositions préventives constructives et organisationnelles suffisent à garantir un niveau de sécurité optimal à l'installation.

Mesures préventives	Description des mesures	Article de l'arrêté du 26 août 2011
<i>Dispositions préventives constructives et organisationnelles</i>	Respect des distances minimales d'éloignement (habitations ou zones destinées à l'habitation, immeubles à destination de bureaux, installation nucléaire de base, ICPE SEVESO, radars et aides à la navigation)	Articles 3, 4 et 5
	Respect des recommandations du SDIS (notamment en termes d'accès)	Article 7
	Utilisation de matériel aux normes	Articles 8, 9, 10 et 11
	Contrôle géotechnique du sous-sol avant les travaux de mise en place des éoliennes pour adapter le dimensionnement des fondations aux caractéristiques géotechniques du sous-sol	Article 8
	Protection contre la foudre redondant au niveau de l'éolienne : paratonnerres dans les pales du rotor, mise à la terre des composants électriques	Article 9
	Contrôle du balisage aéronautique et alimentation de secours indépendante (12 h d'autonomie)	Article 11
	Interdiction d'accès à toute personne sans motif de service (éolienne fermée à clef)	Article 13
	Panneaux de signalisation au niveau du chemin d'accès de chaque éolienne et sur les postes de livraison : interdiction de pénétrer, risque de projection et d'effondrement, risque de chute de glace, risque d'électrisation	Article 14
	Consignes de sécurité affichées au niveau du chemin d'accès de chaque éolienne et sur les postes de livraison	Article 14
	Essais avant la mise en service (arrêt, arrêt d'urgence, arrêt depuis un régime de survitesse)	Article 15
	Système de détection d'un incendie	Article 23
	Système de détection de l'entrée en survitesse	Article 23
	Moyens d'extinction (deux extincteurs par éolienne au minimum : un au pied et un dans la nacelle, extincteur au niveau des postes de livraison) vérifiés annuellement	Article 24
	Procédure de redémarrage en cas de givre	Article 25
	Girouette et anémomètre présents sur la nacelle des éoliennes	
	Deux systèmes de freinage : freinage par calage variable des pales et aérofreins (freinage aérodynamique) et freinage à disque à l'intérieur de la nacelle sur l'arbre de transmission	
Système d'orientation de l'éolienne actif par moteur électrique		
<i>Prévention automatique</i>	Détection des dysfonctionnements par dispositif de sécurité afin de stopper l'éolienne en toute sécurité, même en cas de défaillance du système de contrôle	Articles 23 et 24
	Détection de la présence de givre sur les éoliennes en fonctionnement ou à l'arrêt.	Article 25

5.1.7. Opérations de maintenance de l'installation

Le parc éolien du Saint-Varentais respecte la réglementation en vigueur en matière d'exploitation en étant conforme aux prescriptions de l'arrêté ministériel relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées relatives à la maintenance préventive ou curative de l'installation.

Le planning de maintenance proposé est le suivant :

- Première opération au bout de 3 mois de fonctionnement avec vérification (des liaisons, la terre, état des pales, niveau d'huile, absence de fuites, état des équipements de sécurité, état des batteries).
- Tous les 6 mois : mêmes opérations que ci-dessus avec d'autres vérifications (vibrations, roulement, graissage, qualité des huiles, pressions des circuits, capteurs de vent, contrôle élévateur). Tests d'arrêt.
- Annuellement : vérifications supplémentaires (vérification « pitch system », remplacement des filtres, usure des freins, pression du circuit de freinage d'urgence, extincteurs, système d'alimentation secours, couple de serrage).

Les mesures préventives sont en conformité avec les prescriptions générales :

Mesures préventives	Description des mesures	Article de l'arrêté du 26 août 2011
<i>Dispositions préventives constructives et organisationnelles</i>	Sensibilisation et formation du personnel	Article 17
	Contrôle régulier des installations : visites des chargés d'exploitation tous les 3 mois (et en cas d'urgence, intervention de l'équipe d'astreinte), visites de l'équipe de maintenance 3 fois par an au minimum, visite du correspondant local : une fois par semaine	Article 18
	Maintenance préventive : vidange des fluides hydrauliques, surveillance des points de graissage importants, vérification de la lubrification dans le multiplicateur, entretien des lieux et des matériels, intervention par des professionnels formés et habilités au travail en hauteur et avec du matériel électrique (norme UTE C 18-510)	Article 19
	Elimination des déchets issus des opérations de maintenance par des filières agréées	Articles 20 et 21
<i>Surveillance (humaine ou automatique)</i>	Contrôle visuel des pales et éléments susceptibles d'être impactés par la foudre lors de la maintenance	Article 9
	Contrôle des systèmes instrumentés de sécurité	Article 18
	Surveillance permanente du fonctionnement des éoliennes par télésurveillance (système de conduite et de contrôle) : connaissance des conditions climatiques, contrôle des éléments mécaniques et électriques, actions sur le fonctionnement des éoliennes	Article 23

Mesures préventives	Description des mesures	Article de l'arrêté du 26 août 2011
Prévention automatique	Détection des dysfonctionnements par dispositif de sécurité afin de stopper l'éolienne en toute sécurité, même en cas de défaillance du système de contrôle	Articles 23 et 24
	Détection de la présence de givre sur les éoliennes en fonctionnement ou à l'arrêt	Article 25
Prévention manuelle	Coupure localisée	Articles 19 et 22
	Coupure générale	
	Le recours aux coupures manuelles uniquement en cas de défaillance des coupures automatiques	

5.1.8. Stockage et flux de produits dangereux

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011, aucun produit dangereux ne sera stocké dans les éoliennes du parc éolien du Saint-Varentais.

5.2. Conformité des équipements électriques de l'installation hors éolienne

5.2.1. Fonctionnement et description de l'installation

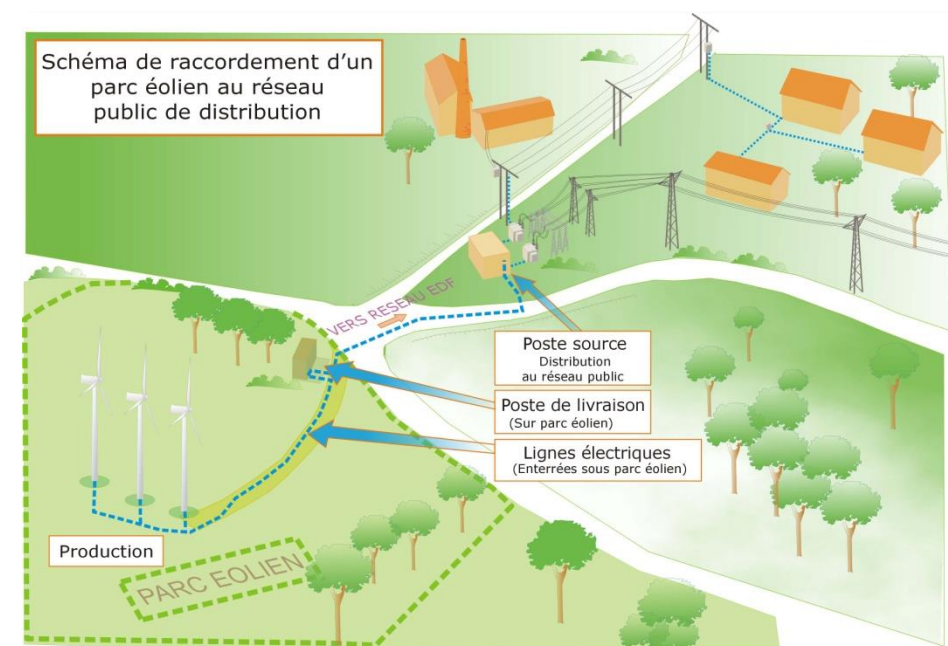
L'électricité est délivrée par la génératrice en basse tension, puis relevée en moyenne tension par un transformateur. Un tableau HTA situés en pied de mât permet de distribuer le courant sur le réseau inter-éolien. Ce tableau comporte un disjoncteur protégeant le transformateur et des interrupteurs sectionneurs permettant d'isoler les tronçons entre les éoliennes en cas de travaux.

Le poste de livraison a pour fonction de collecter l'énergie électrique de chaque circuit HTA et sert d'interface entre le réseau public de distribution HTA et le réseau HTA privée de l'installation. Ce poste de livraison est composé de plusieurs éléments :

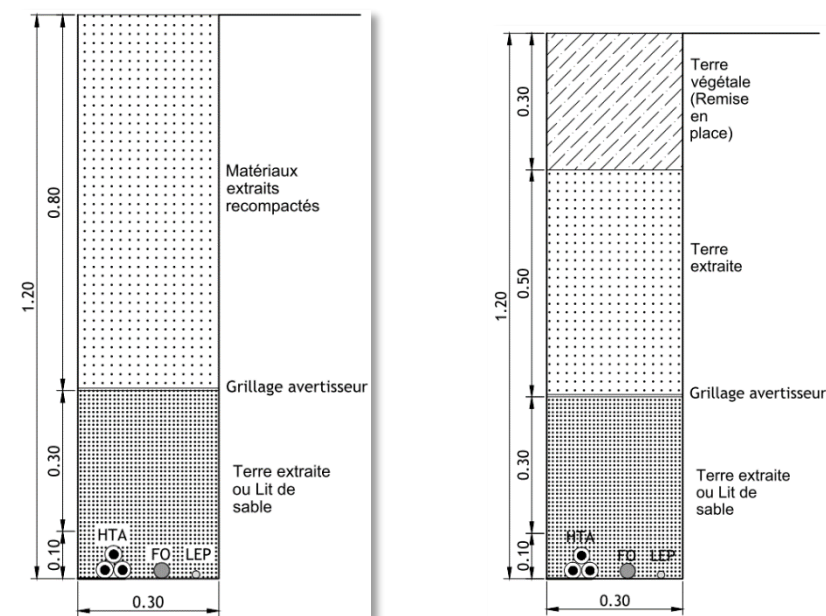
- Une interface avec ENEDIS type C13-100
 - o Cellule IS arrivée ERDF
 - o Cellule TM mesure ERDF
 - o Cellule DM disjoncteur générale et protection
- Si requis par le gestionnaire de réseau
 - o Un filtre TCFM
 - o Une cellule IS départ filtre TCFM
 - o Une cellule IS arrivée filtre TCFM
- Pour l'alimentation des auxiliaires
 - o Une cellule IS fusible : départ transformateur des auxiliaires
 - o Un transformateur HTA/BT alimentant les auxiliaires du PDL de puissance 50 à 100 kVA
- Par circuit HTA inter-éolien
 - o Une cellule IS motorisé départ éolien vers les éoliennes

Le poste de livraison abrite également son système de contrôle commande et celui des éoliennes et dispose d'une alimentation secourue.

Le réseau interéolien sera constitué de câble HTA en canalisation souterraine. Conformément à la réglementation en vigueur, un grillage avertisseur sera mis en place au-dessus du(des) câble(s).



Composants du parc éolien (Source : ADEME)



Exemple de coupe de tranchées (sous chemin avec un circuit, à gauche et en plein champ, à droite)

5.2.2. Conformité de l'installation

L'installation et les ouvrages électriques seront conformes à la réglementation en vigueur notamment aux regards des normes NF C13-100, NF C13-200, NF C15-100 et NF C15-400.

Ainsi par exemple : le poste de livraison et les parties HTA des éoliennes seront équipés des accessoires de sécurité (type Equipement de Protection Individuelle) et de la signalétique adéquate pour avertir des risques électriques et de la présence de SF6.

Avant la mise sous tension et la mise en service, l'installation fera l'objet de visites régulières d'un bureau de contrôle génie électrique en vue d'obtenir un certificat de conformité conformément au Décret n° 72-1120 du 14 décembre 1972 relatif au contrôle et à l'attestation de la conformité des installations électriques intérieures aux règlements et normes de sécurité en vigueur.

Les travaux seront réalisés conformément à l'Arrêté du 17 mai 2001 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique et à la norme NFC 11-201 : Réseau de Distribution Publique d'Energie.

De manière générale, pour les travaux réalisés à proximité d'autre réseau, l'arrêté du 17 mai 2001 « fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les distributions d'énergie électrique » et précisant les distances minimales à respecter au voisinage, avec ou sans croisement, d'un autre câble électrique, ou câble de télécommunications ou conduite d'eau, d'hydrocarbure, de gaz, d'air comprimé ou de vapeur sera respecté, notamment l'Article 37 qui fixe les distances minimales observables entre 2 ouvrages HTA, BT ou de télécommunication.

Les travaux engagés à proximité d'ouvrage électrique seront réalisés conformément à l'Article R4534-107 du Code du Travail.

5.2.3. Autres réseaux

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

6. Identification des potentiels 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.

6.1. Potentiels de dangers liés aux produits

La production d'électricité par les éoliennes ne consomme pas de matière première, ni de produit pendant la phase d'exploitation. De même, elle 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 du Saint-Varentais 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, nettoyeurs...) et les déchets industriels banals associés (pièces usagées non souillées, cartons d'emballage...)

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

Les risques associés aux différents produits concernant le site du parc éolien du Saint-Varentais sont :

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

6.1.1. Composants de la structure

Chaque éolienne se compose des éléments suivants :

- les fondations sont en béton (400 à 700 m³),
- le mât est en acier,
- la nacelle est composée d'un châssis métallique et d'une coque en fibres de verre renforcées,
- les pales en matériaux composites.

6.1.2. Lubrifiants et graisses

- **Huile hydraulique pour graissage du multiplicateur (entre 450 et 650 litres) :** Les huiles pour graissage nécessaires au fonctionnement des multiplicateurs sont des lubrifiants de synthèse avec additifs. Des bacs de rétentions d'une capacité suffisante sont situés directement sous le multiplicateur. De plus, la partie inférieure de la nacelle a été conçue de telle sorte que la capacité maximum de rétention soit équivalente à la contenance du multiplicateur (différent selon le type d'éolienne). En fonctionnement normal, il n'y a pas de fuite vers le milieu extérieur. Néanmoins, un déversement accidentel peut être envisagé si l'éolienne est endommagée. Une pollution du sol et des eaux est alors possible.
- **Graisse lubrifiante des différents engrenages (environ 150 kg) :** Les graisses servant à la lubrification des différents engrenages sont des graisses synthétiques multiservice avec lubrifiants et additifs. La localisation des huiles / graisses lubrifiantes dans la machine (dans la tour sous la nacelle) ainsi que le volume maximum total sont tels qu'un écoulement extérieur venant souiller le sol environnant en fonctionnement normal n'est pas possible. Néanmoins, un déversement accidentel peut être envisagé si l'éolienne est endommagée. Une pollution du sol et des eaux est alors possible.
- **Fluides nécessaires au fonctionnement du système hydraulique (environ 25 litres) :** Les fluides nécessaires au fonctionnement du système hydraulique sont des mélanges de composants biologiques éthers dégradables avec additifs. La localisation des fluides dans la machine (dans le système hydraulique situé sous la nacelle, au niveau du yaw) ainsi que le volume maximum total (25 litres max) sont tels qu'un écoulement extérieur venant souiller le sol environnant est impossible, sauf en cas de déversement lors de l'endommagement de l'éolienne.

Les lubrifiants et graisses nécessaires au bon fonctionnement de l'éolienne ne sont pas considérés comme substance dangereuse au titre de la Directive Européenne 1999/45/CE modifiée et adaptée, relative à la classification des substances dangereuses. Enfin, leurs propriétés physico-chimiques font qu'à température ambiante la viscosité est élevée ce qui rend cette graisse très épaisse, limitant ainsi les risques d'écoulement à l'intérieur de l'éolienne.

La localisation des huiles / graisses lubrifiantes dans la machine ainsi que le volume maximum total sont tels qu'un écoulement extérieur venant souiller le sol environnant en fonctionnement normal n'est pas possible. Néanmoins, un déversement accidentel peut être envisagé si l'éolienne est endommagée. Une pollution du sol et des eaux est alors possible. Ces graisses et huiles ne sont pas inflammables. Ce sont néanmoins des produits combustibles qui, sous l'effet d'une flamme ou d'un point chaud intense, peuvent développer et entretenir un incendie. Dans les cas d'incendies d'éoliennes, ces produits sont souvent impliqués.

6.1.3. Stockage

Les volumes d'huile et de graisses nécessaires au bon fonctionnement des moteurs, roulements et pompes ainsi que les fluides du système hydraulique ne sont pas considérés comme du stockage dans la mesure où ils sont intégrés à la machine et sont nécessaires à son bon fonctionnement.

Aucun produit n'est stocké dans les machines :

- ni les produits d'entretien / de nettoyage
 - de tout ou partie de la machine elle-même
 - des outils nécessaires aux maintenances
- ni les produits employés pour les maintenances
- ni les déchets issus de la maintenance (même dans le cas où une maintenance dure plusieurs jours).

Quelle que soit la situation, l'ensemble des produits employés pour la maintenance ainsi que les éventuels déchets dangereux générés par le travail effectué sont remportés par les équipes intervenantes, et ne sont jamais laissés dans l'éolienne.

6.1.4. Hexafluorure de soufre

L'hexafluorure de soufre (SF₆) est le gaz utilisé comme milieu isolant pour les cellules de protection électrique (situées en pied de machine). C'est un gaz à effet de serre, possédant un potentiel de réchauffement global très important. Il est également non toxique pour l'homme à condition de rester dans certaines limites de mélange SF₆ - air (80% - 20%). La présence de ce composé dans une atmosphère confinée peut entraîner un risque d'asphyxie par diminution de la teneur en oxygène. C'est un gaz non inflammable.

6.1.5. Autres

L'ensemble des substances et produits utilisés répondent aux exigences de la Directive Européenne relative à la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances dangereuses (Directive 67/548/CEE du Conseil, du 27 juin 1967, concernant le rapprochement des dispositions législatives, réglementaires et administratives relatives à la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances dangereuses ; modifiée par le nouveau règlement (CE) N° 1272/2008 et la création de l'Agence Européenne des produits chimiques).

Aucune substance ou produit utilisé n'est classifié comme CMR (Cancérogène, Mutagène, Repro-toxique) au sens de l'article R4411-1 et suivants du code du travail.

6.1.6. Réflexion sur des produits de substitution

Les produits présents sur chaque éolienne (huile, fluide de refroidissement, graisse) sont des produits classiques utilisés dans ce type d'activité. Ils ne présentent pas de caractère dangereux marqué. Une rétention permet de maintenir un risque acceptable. Il n'est donc pas envisagé de produit de substitution.

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

Les dangers liés au fonctionnement du parc éolien du Saint-Varentais sont de quatre types :

- Chute d'éléments de l'aérogénérateur (boulons, morceaux d'équipements, etc.)
- Projection d'éléments (morceau de pale, brides de fixation, etc.)
- Effondrement de tout ou partie de l'aérogénérateur
- Incendie 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	Incendie
Pale	Prise au vent	Bris de pale ou chute de pale	Projection de pales ou débris
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	Incendie
Nacelle	Protection des équipements destinés à la production électrique	Chute d'éléments	Energie cinétique de chute
Rotor	Transformer l'énergie éolienne en énergie mécanique	Projection d'objets	Energie cinétique de projection
Nacelle	Protection des équipements destinés à la production électrique	Chute de nacelle	Energie cinétique de chute

6.3. Réduction des potentiels de danger à la source

6.3.1. Principales actions préventives

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 sont les suivants :

- Choix de l'emplacement des installations par rapport aux enjeux potentiels et notamment éloignement de plus de 500 mètres de toute habitation, de plus d'une hauteur hors tout des routes départementales, absence de servitudes environnementales, respect des contraintes réglementaires rédhitoires ;
- Choix des caractéristiques des éoliennes selon les spécificités du site, notamment classe de vent de l'éolienne et longueur des pales pour un meilleur rendement ; mesures de réduction à la source des potentiels de dangers (choix du matériel certifié, maintenance des équipements, formation du personnel...) permettent autant que possible de réduire les dangers.

Les potentiels de dangers associés aux phénomènes extérieurs au site (formation de givre et circulation routière) ne sont pas maîtrisables par le maître d'ouvrage. Dès lors une réduction à la source de ces potentiels n'est pas possible.

6.3.2. 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.

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

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

7.1. Inventaire des accidents et incidents en France

Un inventaire des incidents et accidents en France a été réalisé afin d'identifier les principaux phénomènes dangereux potentiels pouvant affecter le parc éolien du Saint-Varentais. 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 36 incidents a pu être recensé entre 2000 et fin 2011, auxquels s'ajoutent des accidents survenus en

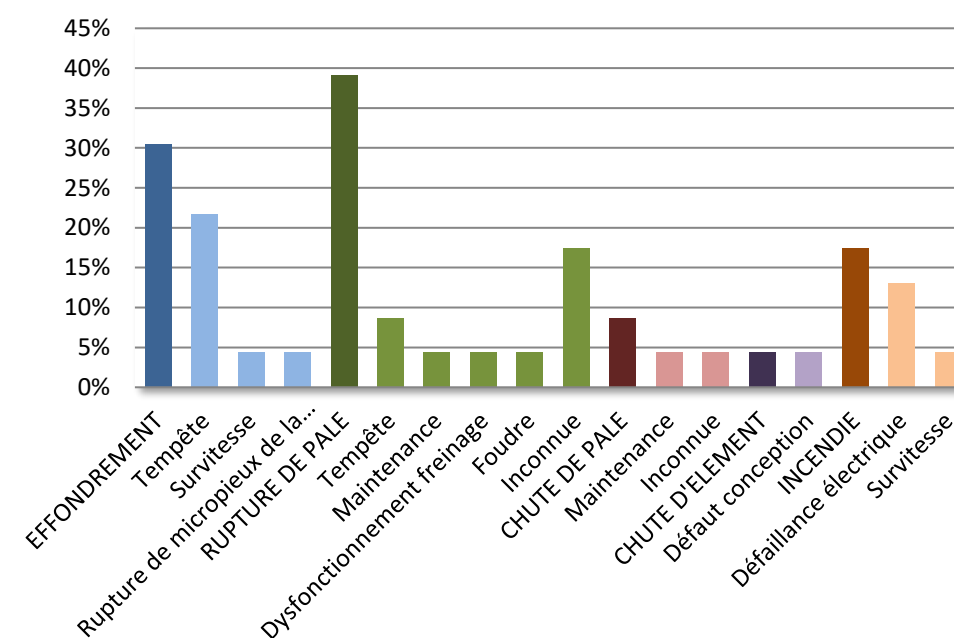
2012 et 2017 (voir tableau détaillé en annexe ; validé par les membres du groupe de travail précédemment mentionné).

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. Dans ce graphique sont présentés :

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

Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et 2011



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.

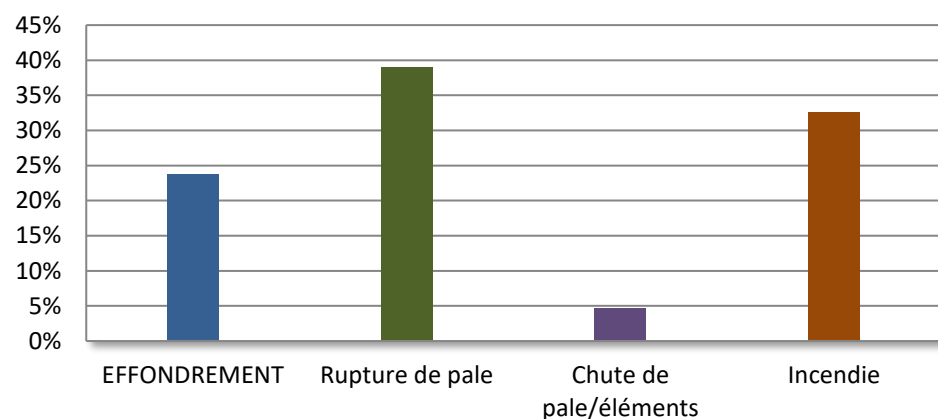
7.2. Inventaire des accidents et incidents à l'international

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.

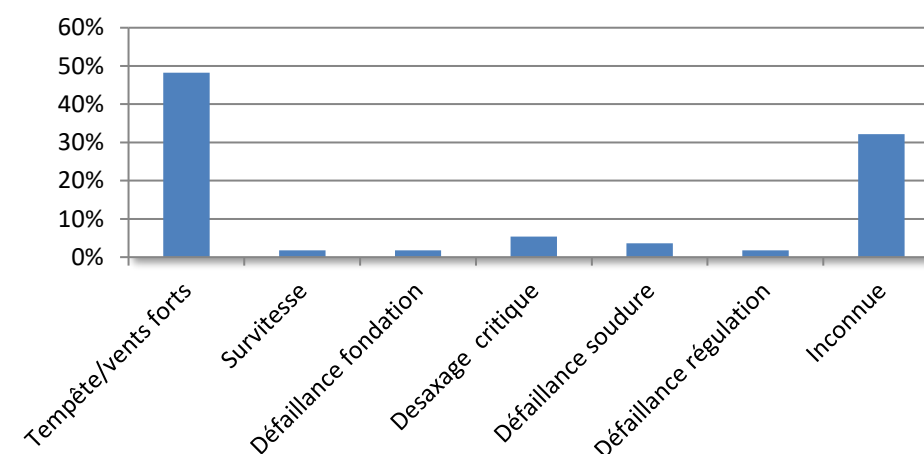
Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2011



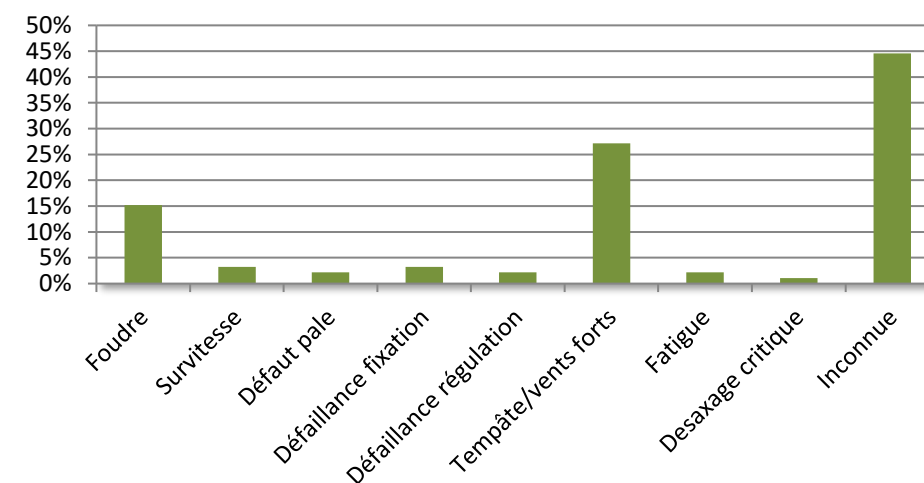
Ci-après, est présenté le recensement des causes premières pour chacun des événements accidentels recensés (données en répartition par rapport à la totalité des accidents analysés).

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.

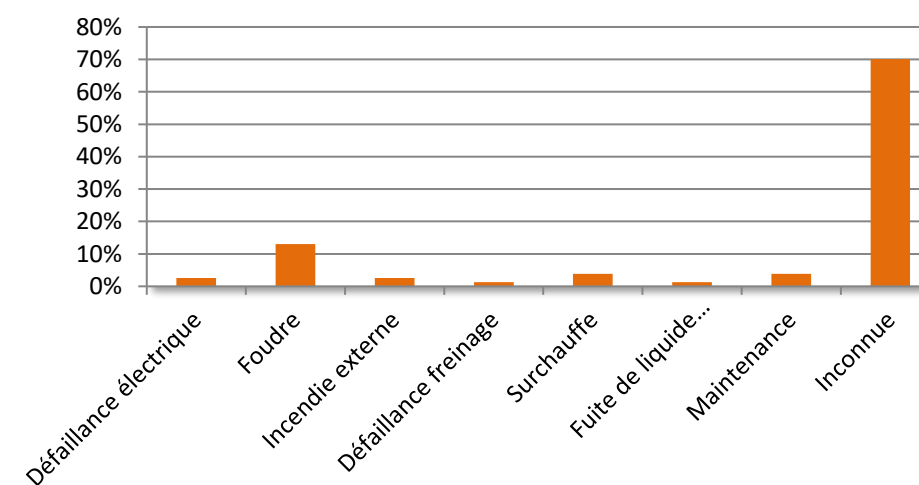
Répartition des causes premières d'effondrement



Répartition des causes premières de rupture de pale



Répartition des causes premières d'incendie

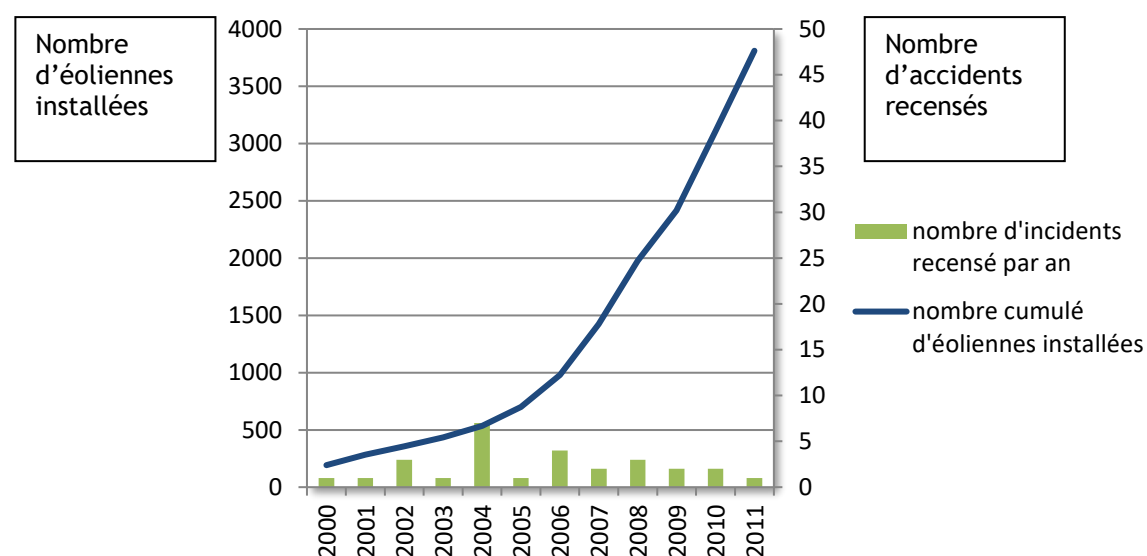


7.3. Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience

7.3.1. Analyse de l'évolution des accidents en France

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

La figure ci-dessous montre cette évolution et il apparaît clairement que le nombre d'incidents n'augmente pas proportionnellement au nombre d'éoliennes installées. Depuis 2005, l'énergie éolienne s'est en effet fortement développée en France, mais le nombre d'incidents par an reste relativement constant. Cette tendance s'explique principalement par un parc éolien français assez récent, qui utilise majoritairement des éoliennes de nouvelle génération, équipées de technologies plus fiables et plus sûres.



Évolution du nombre d'incidents annuels en France et du nombre d'éoliennes installées

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

7.3.2. Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

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

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

7.4. Limites d'utilisation de l'accidentologie

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

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

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

8. Analyse préliminaire des risques

Les outils d'analyse des risques sont nombreux (ex : AMDEC, APR, HAZOP, etc).

L'utilisation de la méthode APR est retenue dans la présente étude de dangers, car elle est souple d'utilisation, adaptée et plus facile à mettre en œuvre et à instruire dans le contexte des éoliennes.

8.1. 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.

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

Plusieurs événements initiateurs peuvent être exclus de l'analyse préliminaire des risques, soit parce que ces exclusions sont prévues dans la circulaire du 10 mai 2010 relative à la méthodologie applicable aux études de dangers, soit parce que les conséquences de cet événement seront largement supérieures aux conséquences de l'accident qu'il entraînerait sur l'éolienne.

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

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

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

- Inondations ;
- Séismes d'amplitude suffisante pour 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.

8.3. Recensement des agressions externes potentielles

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

Traditionnellement, deux types d'agressions externes sont identifiés :

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

8.3.1. Agression externes liées aux activités humaines

Seules les agressions externes liées aux activités humaines présentes dans un rayon de 200 m (distance à partir de laquelle l'activité considérée ne constitue plus un agresseur potentiel) seront recensées ici, à l'exception de la présence des aérodromes qui sera reportée lorsque ceux-ci sont implantés dans un rayon de 2 km et des autres aérogénérateurs qui seront reportés dans un rayon de 500 mètres.

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

Infrastructure	Fonction	Événement redouté	Danger potentiel	Rayon	Distance par rapport au mât des éoliennes (en m)									
					E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
Voies de circulation	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	160	110	80	30	80	100	40	80	80	>200
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2000 m	Aucun aérodrome dans un rayon de 2000 m autour des éoliennes									
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	Aucune ligne électrique THT dans un rayon de 200 mètres autour des éoliennes									
Autres aérogénérateurs	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	>500	>500	440	440	>500	430	400	400	>500	>500

Remarque : les voies de circulation incluses dans un rayon de 200 mètres autour des éoliennes sont des chemins ou des routes à très faible fréquentation.



Intersection entre un chemin emprunté par la boucle locale de randonnée et la route départementale RD121, au nord-ouest de la zone d'étude

8.3.2. Agressions externes liées aux phénomènes naturels

Le tableau ci-dessous synthétise les principales agressions externes liées aux phénomènes naturels à laquelle les aérogénérateurs sont soumis :

Agression externe	Intensité
Vents et tempête	Le site d'implantation des éoliennes n'est pas compris dans une zone affectée par des cyclones tropicaux.
Foudre	Les éoliennes Nordex N149 et Vestas V50 respectent la norme IEC 61 400-24 (Juin 2010)
Glissement de sols/ affaissement miniers	Le site d'implantation des éoliennes n'est pas concerné par des signes d'instabilité.

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

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

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

8.4. Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques

Après avoir recensé, dans un premier temps, les potentiels de danger des installations, qu'ils soient constitués par des substances dangereuses ou des équipements dangereux, l'APR doit identifier l'ensemble des séquences accidentelles et phénomènes dangereux associés pouvant déclencher la libération du danger.

Le tableau figurant en page suivante 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 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°	Evènement initiateur	Evènement intermédiaire	Evènement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
G01	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales, le mât et la nacelle	Chute de glace lorsque les éoliennes sont arrêtées	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace (N°2)	Impact de glace sur les enjeux	1
G02	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	Projection de glace lorsque les éoliennes sont en mouvement	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de la glace (N°1)	Impact de glace sur les enjeux	2
I01	Humidité / Gel	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I02	Dysfonctionnement électrique	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I03	Survitesse	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2

N°	Evènement initiateur	Evènement intermédiaire	Evènement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
				Prévenir la survitesse (N°4)		
I04	Désaxage de la génératrice / Pièce défectueuse / Défaut de lubrification	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I05	Conditions climatiques humides	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I06	Rongeur	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I07	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2
F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur Fuite transformateur	Ecoulement hors de la nacelle et le long du mât, puis sur le sol avec infiltration	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Ecoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
C01	Défaut de fixation	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	1
C02	Défaillance fixation anémomètre	Chute anémomètre	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation) (N°9)	Impact sur cible	1

N°	Evènement initiateur	Evènement intermédiaire	Evènement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
C3	Défaut fixation nacelle - pivot central - mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation) (N°9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop importantes sur les pales	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Impact sur cible	2
P03	Serrage inapproprié Erreur maintenance - desserrage	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation) (N°9)	Impact sur cible	2
E01	Effets dominos autres installations	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation) (N°9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E02	Glissement de sol	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation) (N°9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E05	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation) (N°9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
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°	Evènement initiateur	Evènement intermédiaire	Evènement 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	Impact pale - mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

Ce tableau présentant le résultat d'une analyse des risques peut être considéré comme représentatif des scénarios d'accident pouvant potentiellement se produire sur les éoliennes. Des précisions sur les différents scénarios décrits dans ce tableau sont disponibles en annexe 3.

8.5. Effets dominos

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

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

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

Dans le cadre des études de dangers éoliennes, il est proposé de limiter l'évaluation de la probabilité d'impact d'un élément de l'aérogénérateur sur une autre installation ICPE que lorsque celle-ci se situe dans un rayon de 100 mètres.

8.6. Mise en place des mesures de sécurité

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

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les fonctions de sécurité identifiées sur les éoliennes. Ces tableaux sont génériques et constituent un « cahier des charges » des mesures typiques mises en œuvre sur les aérogénérateurs en France.

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

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les fonctions de sécurité identifiées et mises en œuvre sur les éoliennes du parc éolien du Saint-Varentais. 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).

Note : Il n'est pas demandé de décrire dans le détail la marque ou le fonctionnement de l'équipement considéré, simplement de mentionner leur existence.

- **Description** : cette ligne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires.

- **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.

Note 1 : Pour certaines mesures de maîtrise des risques, certains de ces critères peuvent ne pas être applicables. Il convient alors de renseigner le critère correspondant avec l'acronyme « NA » (Non Applicable).

Note 2 : Certaines mesures de maîtrise des risques ne remplissent pas les critères « efficacité » ou « indépendance » : elles ont une fiabilité plus faible que d'autres mesures de maîtrise des risques. Celles-ci peuvent néanmoins être décrites dans le tableau ci-dessous dans la mesure où elles concourent à une meilleure sécurité sur le site d'exploitation.

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
Mesures de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage.		
Description	Système de détection du givre (par exemple, analyse des données de fonctionnement) permettant, en cas de détection ou de déduction de présence de glace, une mise à l'arrêt rapide de l'aérogénérateur. Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site.		
Indépendance	Non Les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. En cas de danger particulièrement élevé sur site (survol d'une zone fréquentée sur site soumis à des conditions de gel importantes), un système de détection redondant peut être envisagé (système de mesure des oscillations et vibrations, détection de balourd, capteur dédié ...).		
Temps de réponse	Envoi de l'alerte en temps réel par un système de communication redondant (GSM + Ethernet) 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 contrôle durant la maintenance préventive et remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement		

Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité	2
Mesures de sécurité	Panneautage à l'entrée des plates-formes Eloignement des zones habitées et fréquentées En zone fortement impactée, mise en place de barrière sur le chemin d'accès		
Description	Mise en place de panneaux informant de la possible formation de glace et conduites à tenir (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011).		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %. Nous considérerons que compte tenu de l'implantation des panneaux et de l'entretien prévu, l'information des promeneurs sera systématique.		
Tests	NA		
Maintenance	Vérification de l'état général du panneau, de l'absence de détérioration, entretien de la végétation afin que le panneau reste visible.		

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
Mesures de sécurité	Capteurs de température des pièces mécaniques Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement		
Description	/		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	Contrôle mensuel des températures maximales par l'exploitant et changement du capteur, en cas d'écart conséquent		
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. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

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

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

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 réponse	Immédiat dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011.		

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	Capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne pouvant permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de la machine Système de détection incendie relié à une alarme temps réel transmise à un poste de contrôle Intervention des services de secours Présence de citerne de 120 m ³ d'eau à moins de 400 m de chaque éolienne		
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'urgence est envoyé au centre de télésurveillance (centre de conduite). 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 fabricant du matériel ou un organisme extérieur. Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.		

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	Détecteurs de niveau d'huiles Procédure d'urgence Kit antipollution		
Description	Détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée via un système de tuyauterie et de pompes directement entre l'élément à vidanger et le camion de vidange. Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin : - de contenir et arrêter la propagation de la pollution ; - d'absorber jusqu'à 20 litres de déversements accidentels de liquides (huile, eau, alcools ...) et produits chimiques (acides, bases, solvants ...) ; - de récupérer les déchets absorbés. Si ces kits de dépollution s'avèrent insuffisants, une société spécialisée récupérera et traitera le gravier souillé via les filières adéquates, puis le remplacera par un nouveau revêtement.		
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 : brides ; joints, etc.) Procédures qualités Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)		
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.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	NA		
Maintenance	Les couples de serrage appliqués sur les boulons pour maintenir les éléments structurels sont vérifiés au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011.		

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	Inspection périodique des installations par l'exploitant		
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 des pales) et transmission d'information vers le centre de conduite		
Description	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale pour laquelle elle a été conçue.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	< 1 min		
Efficacité	100 %. NB : En fonction de l'intensité attendue des vents, d'autres dispositifs de diminution de la prise au vent de l'éolienne peuvent être envisagés.		
Tests	Contrôle mensuel du respect de la courbe de puissance et des vitesses anémométrique. Revient au test d'overspeed		
Maintenance	Contrôle durant les maintenances préventives du mât météo, des anémomètres et girouettes		

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.

8.7. Conclusion de l'analyse préliminaire des risques

À l'issue de l'analyse préliminaire des risques, l'étude de dangers doit préciser quels scénarios sont retenus en vue de l'analyse détaillée des risques. Ne sont retenus que les séquences accidentelles dont l'intensité est telle que l'accident peut avoir des effets significatifs sur la vie humaine.

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

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m ² n'est pas atteinte. Dans le cas d'un incendie au niveau du mât les effets sont également mineurs et l'arrêt 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 inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêt du 26 août 2011 [9] et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200). Rappelons également ici la présence des citernes incendie sur le site qui permettent une réserve d'eau pour l'intervention des services de secours.
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 preuve 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.

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

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

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

9. Etude 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.

9.1. 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 national relatif à l'étude de dangers dans le cadre d'un parc éolien dans sa version de mai 2012. Cette méthode est inspirée des méthodes utilisées pour les autres phénomènes dangereux des installations classées, dans l'esprit de la loi du 30 juillet 2003.

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

9.1.1. Cinétique

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

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

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

9.1.2. Intensité

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

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

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

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

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

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

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

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

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

9.1.3. Gravité

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

La détermination du nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) présentes dans chacune des zones d'effet est effectuée à l'aide d'une méthode basée sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers. Cette fiche permet de compter aussi simplement que possible, selon des règles forfaitaires, le nombre de personnes exposées.

9.1.4. Probabilité

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

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

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

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

Il convient de noter que la probabilité qui sera évaluée pour chaque scénario d'accident correspond à la probabilité qu'un événement redouté se produise sur l'éolienne (probabilité de départ) et non à la probabilité que cet événement produise un accident suite à la présence d'un véhicule ou d'une personne au point d'impact

(probabilité d'atteinte). En effet, l'arrêté du 29 septembre 2005 impose une évaluation des probabilités de départ uniquement.

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

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

$$P.\text{accident} = \text{PERC} \times P.\text{orientation} \times P.\text{rotation} \times P.\text{atteinte} \times P.\text{présence}$$

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 (P.accident) à la probabilité de l'événement redouté central (PERC) a été retenue.

9.2. Caractérisation des scénarios retenus

Pour chacun des scénarios étudiés, les cartes de zones d'effet, les calculs de l'équivalent personnes-permanentes et la caractérisation de la gravité et de l'acceptabilité du risque seront établis pour les deux modèles d'éoliennes retenus (V150, en *violet* et N149, en *rouge*).

9.2.1. Effondrement de l'éolienne

9.2.1.1. Zone d'effet

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit *200 m pour la VESTAS V150* et *199,5 m pour la NORDEX N149* (voir cartes page suivante). Cette méthodologie se rapproche de celles utilisées dans la bibliographie (*références [5] et [6]*). Les risques d'atteinte d'une personne ou d'un bien en dehors de cette zone d'effet sont négligeables et ils n'ont jamais été relevés dans l'accidentologie ou la littérature spécialisée.

9.2.1.2. Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne. Z_I est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, d est le degré d'exposition, R est la longueur de pale, H la hauteur du mât, LB la largeur de la base de la pale et L la largeur du mât.

	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 m^2 $Z_I = (H) \times L + 3 \cdot R \cdot LB / 2$	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2 $Z_E = \pi \times (H+R)^2$	Degré d'exposition du phénomène étudié en % $d = Z_I / Z_E$	Intensité
V150	<i>Pour $R = 73,66 \text{ m}$, $H = 125 \text{ m}$, $LB = 4,2 \text{ m}$ et $L = 4,2 \text{ m}$ La zone d'impact est de 989 m^2</i>	<i>La zone d'effet est de 123985 m^2</i>	<i>0,80 % ($x < 1\%$)</i>	<i>Exposition modérée</i>
N149	<i>Pour $R = 72,4 \text{ m}$, $H = 125 \text{ m}$, $LB = 3,2 \text{ m}$ et $L = 4,3 \text{ m}$ La zone d'impact est de 885 m^2</i>	<i>La zone d'effet est de 122417 m^2</i>	<i>0,72 % ($x < 1\%$)</i>	<i>Exposition modérée</i>

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

9.2.1.3. Gravité

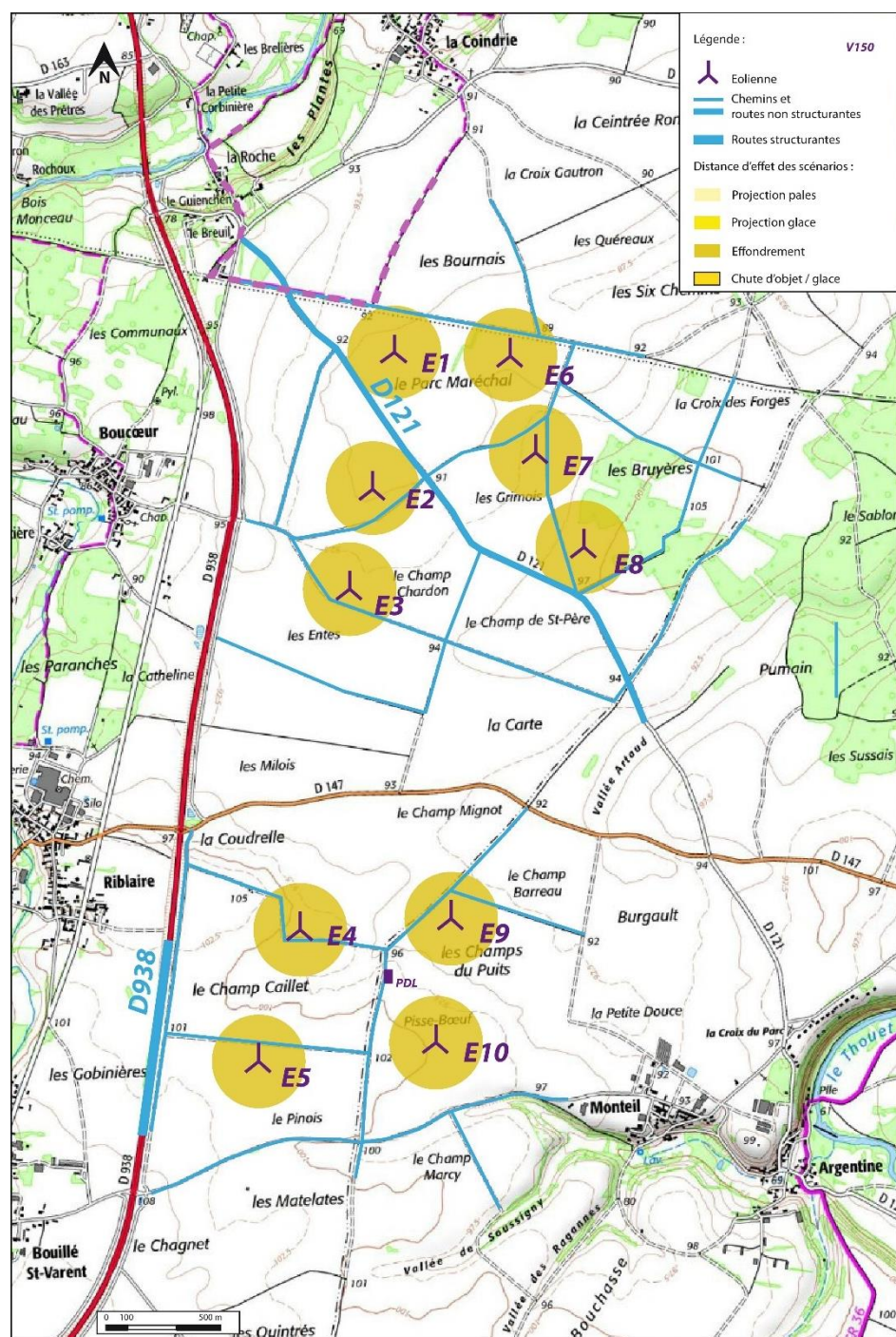
En fonction de ces intensités (modérées pour les deux modèles de turbine retenus) et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe 9.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène d'effondrement, dans le rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne.

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

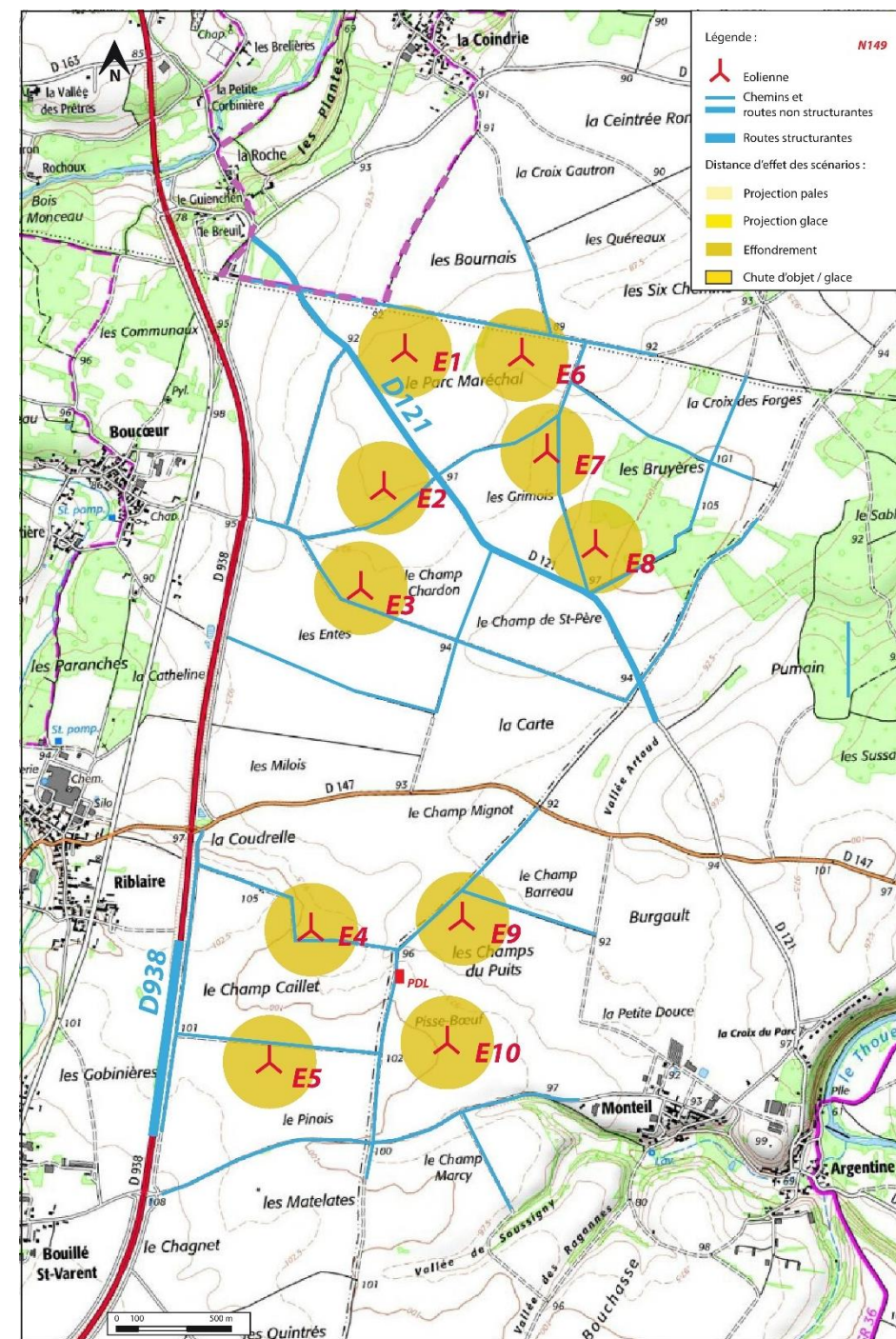
Il est à noter que pour la plupart des parcs éoliens, la zone de survol de l'éolienne est un terrain non aménagé et très peu fréquenté (1 personne pour 100 ha d'après la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010). Pour une éolienne d'une longueur de pale inférieure à 100 m, le nombre équivalent de personnes permanentes sera donc inférieur à 1 (0,03 équivalent personnes permanentes). Cette gravité restera inchangée dans le cas de terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne pour 10 ha). **Toutes les éoliennes du parc du Saint-Varentais sont dans ce cas de figure (la zone de survol est un terrain non aménagé et très peu fréquenté, avec parfois des voies de circulation non structurantes, considérées comme un terrain aménagé mais peu fréquenté - cf. paragraphe 4.4 page 19).**

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

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)			
Intensité	Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) dans la zone d'effet	Gravité
<i>V150 Exposition modérée</i>	<i>E1 à E10</i>	<i>0,124 équivalent personne permanente</i>	<i>Modéré</i>
<i>N149 Exposition modérée</i>	<i>E1 à E10</i>	<i>0,122 équivalent personne permanente</i>	<i>Modéré</i>



Zone d'effet du phénomène « Effondrement de l'éolienne » - V150



Zone d'effet du phénomène « Effondrement de l'éolienne » - N149

9.2.1.4. Probabilité

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

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

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'expérience¹, soit une probabilité de $4,47 \times 10^{-4}$ par éolienne et par an.

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

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

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 ».

9.2.1.5. Acceptabilité

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

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien du Saint-Varentais, 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)			
Intensité	Eolienne	Gravité	Niveau de risque
V150 <i>Exposition modérée</i>	E1 à E10	Modéré	Acceptable
N149 <i>Exposition modérée</i>	E1 à E10	Modéré	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien du Saint-Varentais, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, quel que soit le modèle de turbine (V150 ou N149).

¹ Une année d'expérience correspond à une éolienne observée pendant une année. Ainsi, si on a observé une éolienne pendant 5 ans et une autre pendant 7 ans, on aura au total 12 années d'expérience.

9.2.2. Chute de glace

9.2.2.1. Considérations générales

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

9.2.2.2. Zone d'effet

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne, soit **73,66 m pour la VESTAS V150** et **72,4 m pour la NORDEX N149** (voir cartes page suivante). Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

9.2.2.3. Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace, Z_I est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, d est le degré d'exposition, R est la longueur de pale, SG est la surface du morceau de glace majorant ($SG = 1 \text{ m}^2$ de façon à majorer la zone d'impact et donc le degré d'exposition).

	Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à $D/2$ = zone de survol)			
	Zone d'impact en m^2 $Z_I = SG$	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2 $Z_E = \pi \times R^2$	Degré d'exposition du phénomène étudié en % $d = Z_I / Z_E$	Intensité
V150	La zone d'impact est de 1 m^2	La zone d'effet est de 17045 m^2	0,005 ($< 1 \%$)	Exposition modérée
N149	La zone d'impact est de 1 m^2	La zone d'effet est de 16467 m^2	0,006 ($< 1 \%$)	Exposition modérée

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

9.2.2.4. Gravité

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

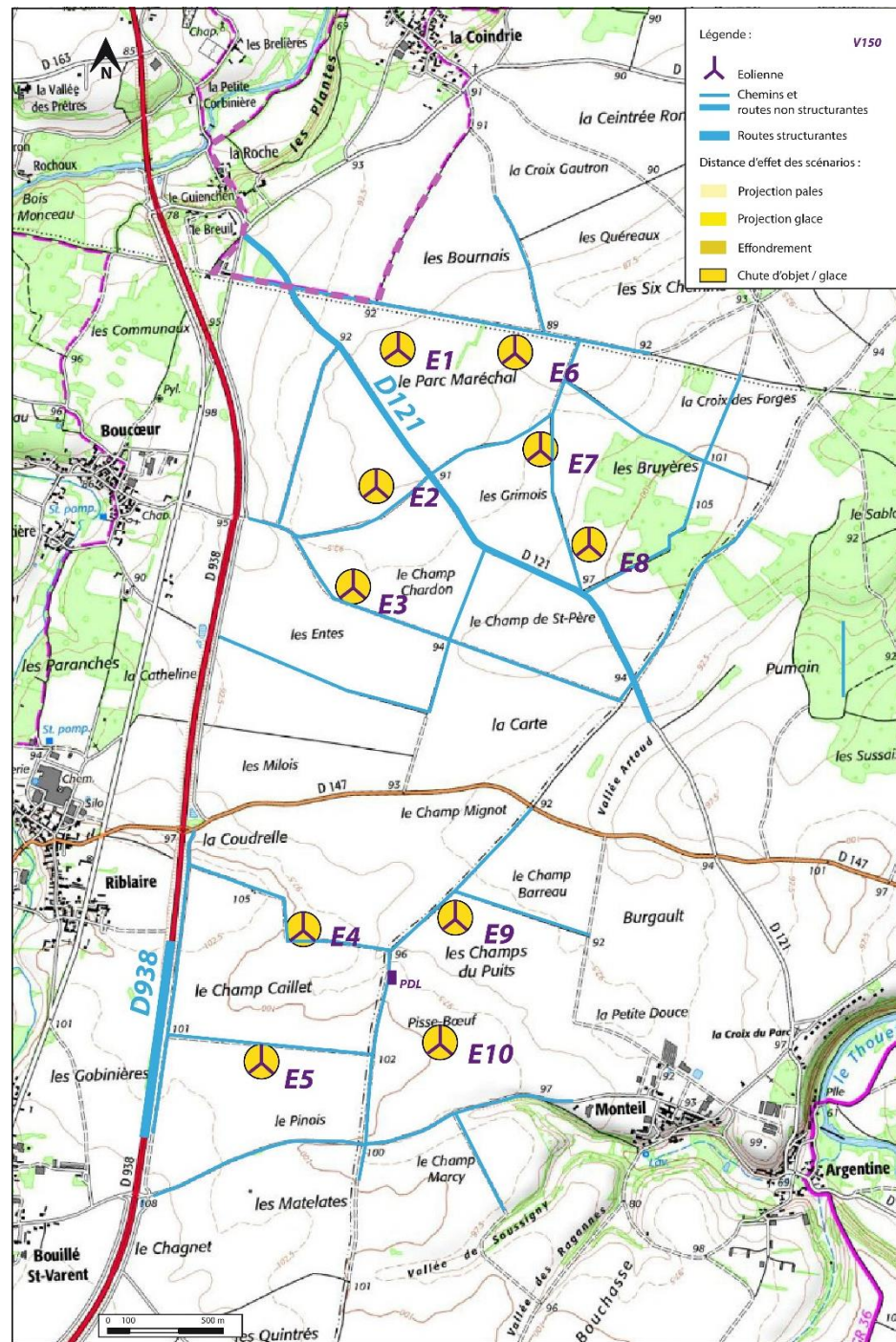
Il est à noter que pour la plupart des parcs éoliens, la zone de survol de l'éolienne est un terrain non aménagé et très peu fréquenté (1 personne pour 100 ha d'après la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010). Pour une éolienne d'une longueur de pale inférieure à 100 m, le nombre équivalent de personnes permanentes sera donc inférieur à 1 (0,03 équivalent personnes permanentes). Cette gravité restera inchangée dans le cas de terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne pour 10 ha). **Toutes les éoliennes du parc du Saint-Varentais sont dans ce cas de figure (la zone de survol est un terrain non aménagé et très peu fréquenté, avec parfois des voies de circulation non structurantes considérées comme un terrain aménagé mais peu fréquenté - cf. paragraphe 4.4 page 19).**

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

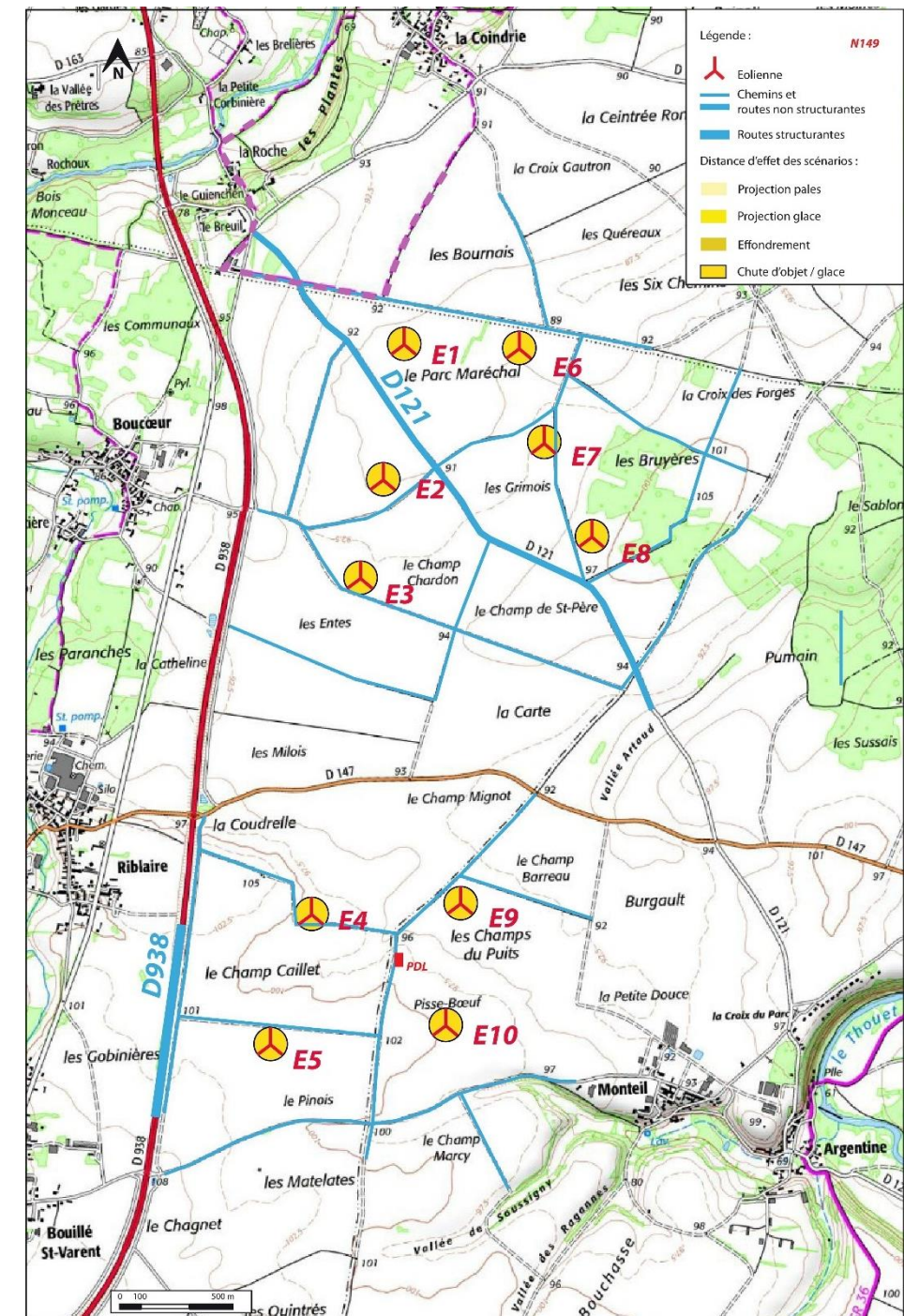
Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à $D/2$ = zone de survol)			
Intensité	Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) dans la zone d'effet	Gravité
V150 Exposition modérée	E1 à E10	0,017 équivalent personne permanente	Modéré
N149 Exposition modérée	E1 à E10	0,016 équivalent personne permanente	Modéré

9.2.2.1. Probabilité

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



Zone d'effet du phénomène « Chute de glace » - V150



Zone d'effet du phénomène « Chute de glace » - N149

9.2.2.2. Acceptabilité

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

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

Intensité	Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)		
	Eolienne	Gravité	Niveau de risque
<i>V150</i> <i>Exposition modérée</i>	<i>E1 à E10</i>	<i>Modéré</i>	<i>Acceptable</i>
<i>N149</i> <i>Exposition modérée</i>	<i>E1 à E10</i>	<i>Modéré</i>	<i>Acceptable</i>

Ainsi, pour le parc éolien du Saint-Varentais, le phénomène de chute de glace des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes quel que soit le modèle de turbine (V150 ou N149).

Il convient également de rappeler que, conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, un panneau informant le public des risques (et notamment des risques de chute de glace) sera installé sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, c'est-à-dire en amont de la zone d'effet de ce phénomène. Cette mesure permettra de réduire les risques pour les personnes potentiellement présentes sur le site lors des épisodes de grand froid.

9.2.3. Chute d'éléments de l'éolienne

9.2.3.1. Zone d'effet

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

Le risque de chute d'élément est cantonné à la zone de survol des pales, c'est-à-dire une zone d'effet correspondant à un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor, soit **73,66 m pour la VESTAS V150** et **72,4 m pour la NORDEX N149** (voir cartes page suivante). Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

9.2.3.2. Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne, **d** est le degré d'exposition, **Z_I** la zone d'impact, **Z_E** la zone d'effet, **R** la longueur de pale et **LB** la largeur de la base de la pale.

	Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)			
	Zone d'impact en m ² $Z_I = R \cdot LB / 2$	Zone d'effet du phénomène étudié en m ² $Z_E = \pi \times R^2$	Degré d'exposition du phénomène étudié en % $d = Z_I / Z_E$	Intensité
V150	Pour R = 73,66 m et LB = 4,2 m La zone d'impact est de 154 m ²	La zone d'effet est de 17045 m ²	0,91 (< 1 %)	Exposition modérée
N149	Pour R = 72,4 m et LB = 3,2 m La zone d'impact est de 115 m ²	La zone d'effet est de 16467 m ²	0,70 (< 1 %)	Exposition modérée

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

9.2.3.3. Gravité

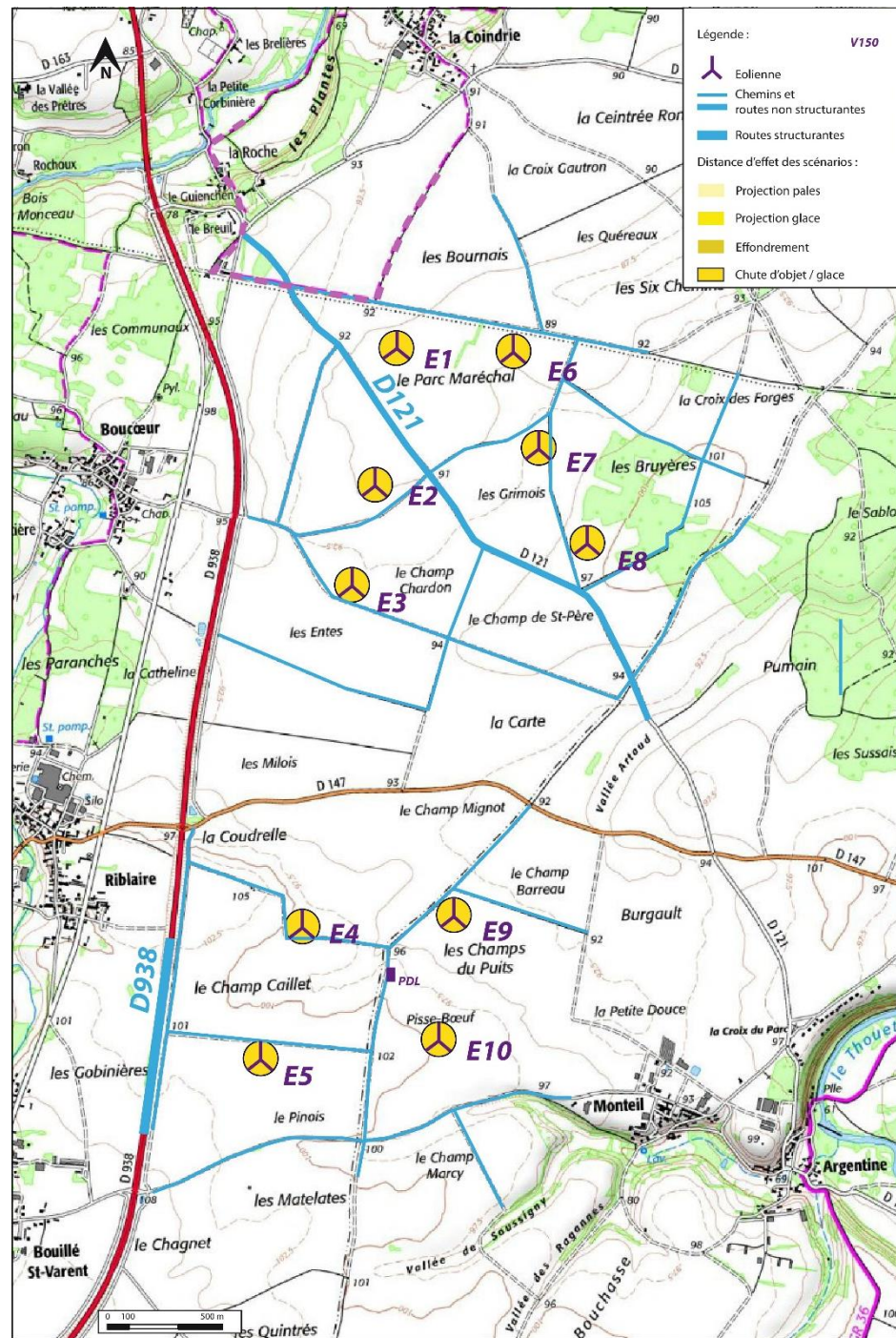
En fonction de ces intensités modérées (pour les deux modèles de turbine retenus) et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe 9.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute de glace, dans la zone de survol de l'éolienne.

Il est à noter que pour la plupart des parcs éoliens, la zone de survol de l'éolienne est un terrain non aménagé et très peu fréquenté (1 personne pour 100 ha d'après la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010). Pour une éolienne d'une longueur de pale inférieure à 100 m, le nombre équivalent de personnes permanentes sera donc inférieur à 1 (0,038 équivalent personnes permanentes).

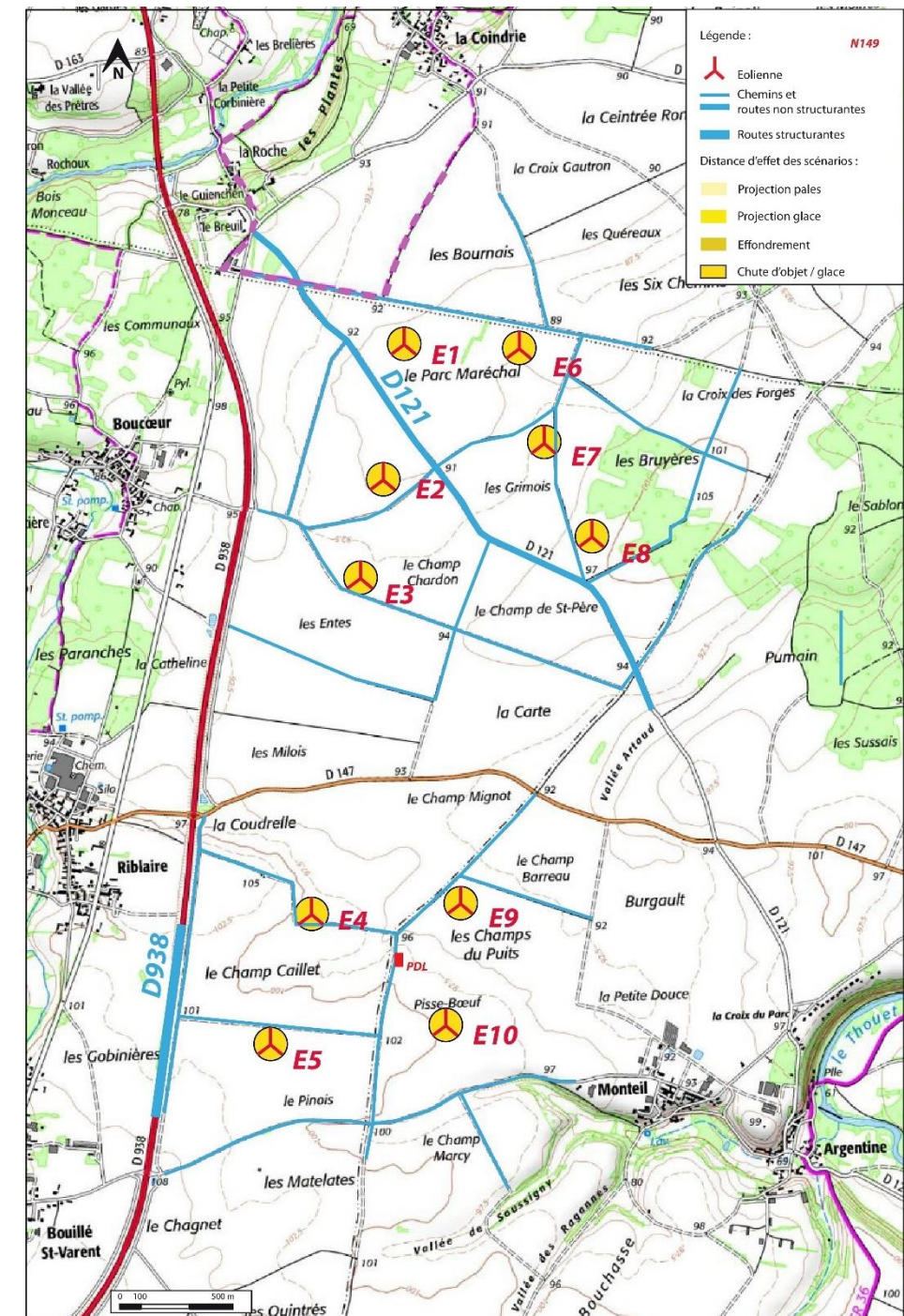
Cette gravité restera inchangée dans le cas de terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne pour 10 ha). **Toutes les éoliennes du parc éolien du Saint-Varentais sont dans ce cas de figure (la zone de survol est un terrain non aménagé et très peu fréquenté, avec parfois des voies de circulation non structurantes considérées comme un terrain aménagé mais peu fréquenté - cf. paragraphe 4.4 page 19).**

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

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à D/2 = zone de survol)			
Intensité	Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) dans la zone d'effet	Gravité
V150 Exposition modérée	E1 à E10	0,017 équivalent personne permanente	Modéré
N149 Exposition modérée	E1 à E10	0,016 équivalent personne permanente	Modéré



Zone d'effet du phénomène « Chute d'élément » - V150



Zone d'effet du phénomène « Chute d'élément » - N149

9.2.3.4. Probabilité

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

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

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

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

9.2.3.5. Acceptabilité

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

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

Intensité	Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à $D/2$ = zone de survol)		
	Eolienne	Gravité	Niveau de risque
V150 <i>Exposition modérée</i>	E1 à E10	Modéré	Acceptable
N149 <i>Exposition modérée</i>	E1 à E10	Modéré	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien du Saint-Varentais, le phénomène de chute de pales ou d'éléments d'éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, quel que soit le modèle de turbine (V150 ou N149).

9.2.4. Projection de pales ou de fragments de pales

9.2.4.1. Zone d'effet

Dans l'accidentologie française rappelée en annexe, la distance maximale relevée et vérifiée par le groupe de travail précédemment mentionné pour une projection de fragment de pale est de 380 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].

L'analyse de ce recueil d'accidents indique une distance maximale de projection de l'ordre de 500 mètres à deux exceptions près :

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

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

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

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

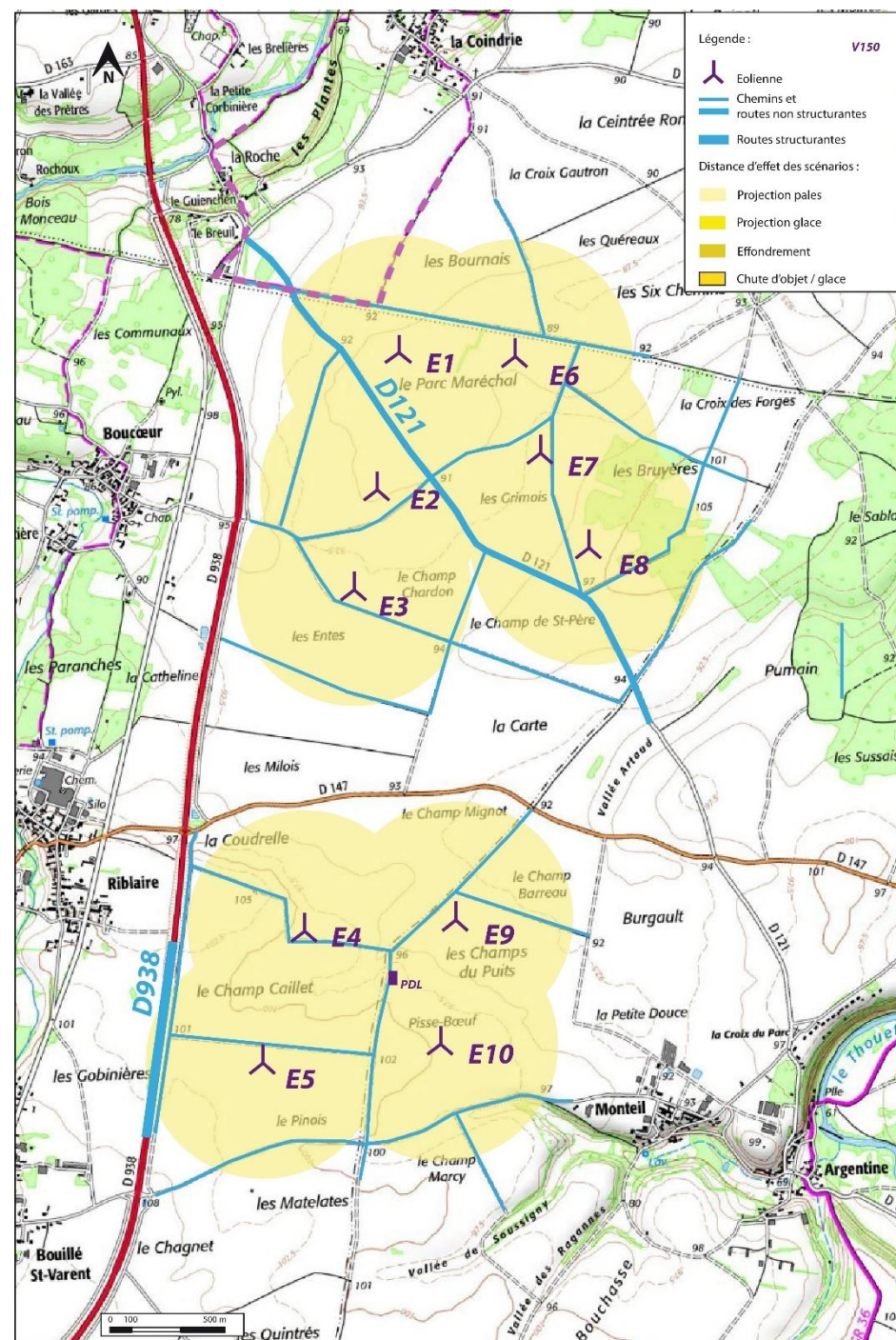
Sur la base de ces éléments et de façon conservatrice, une distance d'effet de 500 mètres est considérée comme distance raisonnable pour la prise en compte des projections de pales ou de fragments de pales dans le cadre des études de dangers des parcs éoliens.

9.2.4.2. Intensité

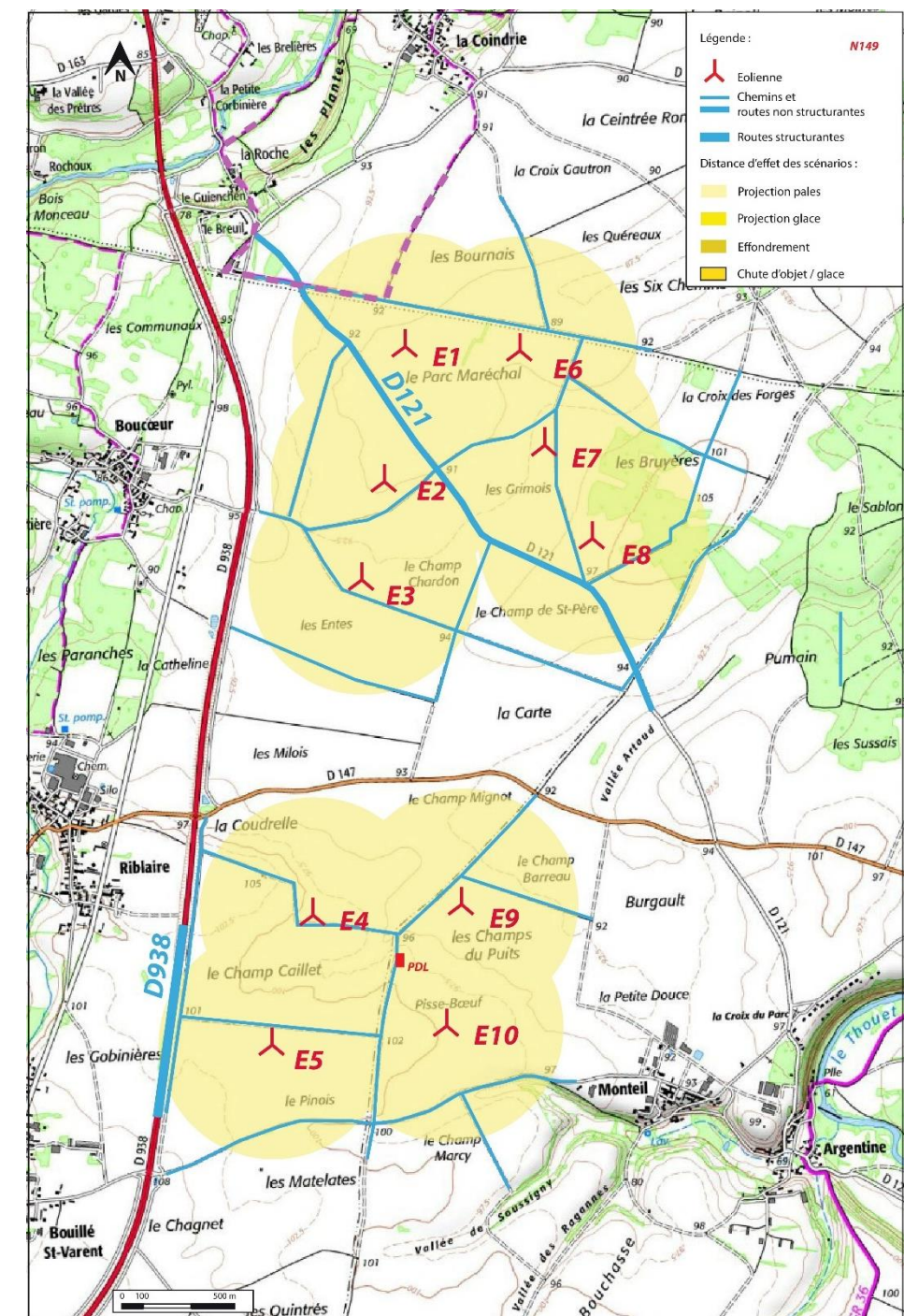
Pour le phénomène de projection de pale ou de fragment de pale, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un élément (cas majorant d'une pale entière) et la superficie de la zone d'effet du phénomène (500 m).

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de pale ou de fragment de pale. **d** est le degré d'exposition, **Z_i** la zone d'impact, **Z_E** la zone d'effet, **R** la longueur de pale et **LB** la largeur de la base de la pale.

	Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
	Zone d'impact en m ² $Z_i = R \cdot LB / 2$	Zone d'effet du phénomène étudié en m ² $Z_E = \pi \times (500)^2$	Degré d'exposition du phénomène étudié en % $d = Z_i / Z_E$	Intensité
V150	Pour R = 73,66 m et LB = 4,2 m La zone d'impact est de 155 m ²	La zone d'effet est de 785398 m ²	0,020 % (x<1%)	Exposition modérée
N149	Pour R = 72,4 m et LB = 3,2 m La zone d'impact est de 116 m ²	La zone d'effet est de 785398 m ²	0,015 % (x<1%)	Exposition modérée



Zone d'effet du phénomène « Projection de pales ou de fragments de pales » - V150



Zone d'effet du phénomène « Projection de pales ou de fragments de pales » - N149

9.2.4.3. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe 9.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection, dans la zone de 500 m autour de l'éolienne.

Etant donné que la plupart des parcs sont situés dans des terrains non aménagés et très peu fréquentés avec ou sans voies de communications non structurantes, le niveau de gravité sera donc le plus souvent « Modéré » ou « Sérieux ». Dans le cas, où l'éolienne est située à proximité de voies de communications structurantes ou de voies ferrées, le niveau de gravité sera le plus souvent « Important ».

Toutes les éoliennes du parc du Saint-Varentais sont dans ce cas de figure (la zone de survol est un terrain non aménagé et très peu fréquenté, avec parfois des voies de circulation non structurantes considérées comme un terrain aménagé mais peu fréquenté - cf. paragraphe 4.4 page 19).

De plus, la zone d'effet de l'éolienne E5 comprend en partie la route départementale RD938, pour laquelle il faut compter 0,4 personne par km par tranche de 100 véhicules par jour, avec un trafic moyen journalier de 5516 véhicules/jour (tronçon de 410 m).

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 (*le degré d'exposition étant identique et le rayon de la zone d'effet défini à 500 m quel que soit le modèle de turbine, le tableau suivant ne fait pas de distinction entre les modèles V150 et N149*) :

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) dans la zone d'effet	Gravité
E1 à E4, E6 à E10	0,785 équivalent personne permanente	Modéré
E5	9,83 équivalents personne permanente	Sérieux

9.2.4.4. Probabilité

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

Source	Fréquence	Justification
Site specific hazard assesment for a wind farm project [4]	1×10^{-6}	Respect de l'Eurocode EN 1990 - Basis of structural design

Guide for risk based zoning of wind turbines [5]	$1,1 \times 10^{-3}$	Retour d'expérience au Danemark (1984-1992) et en Allemagne (1989-2001)
Specification of minimum distances [6]	$6,1 \times 10^{-4}$	Recherche Internet des accidents entre 1996 et 2003

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

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

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

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

9.2.4.5. Acceptabilité

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

Si le nombre de personnes permanentes (ou équivalent) est supérieur à ces chiffres, l'exploitant peut engager une étude supplémentaire pour déterminer le risque d'atteinte de l'enjeu à l'origine de ce niveau de gravité et vérifier l'acceptabilité du risque.

Le cas échéant, des mesures de sécurité supplémentaires pourront être mises en place pour améliorer l'acceptabilité du risque.

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien du Saint-Varentais, 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)			
Intensité	Eolienne	Gravité	Niveau de risque
<i>V150</i> <i>Exposition modérée</i>	<i>E1 à E4 et E6 à E10</i>	<i>Modéré</i>	<i>Acceptable</i>
<i>Ou</i> <i>N149</i> <i>Exposition modérée</i>	<i>E5</i>	<i>Sérieux</i>	<i>Acceptable</i>

Ainsi, pour le parc éolien du Saint-Varentais, le phénomène de projection de tout ou partie de pale des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, quel que soit le modèle de turbine (V150 ou N149).

9.2.5. Projection de glace

9.2.5.1. Zone d'effet

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

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

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

Cette distance de projection est jugée conservatrice dans des études postérieures [17]. À défaut de données fiables, il est proposé de considérer cette formule pour le calcul de la distance d'effet pour les projections de glace, soit *412,5 m pour la VESTAS V150* et *411 m pour la NORDEX N149* (voir cartes page suivante).

9.2.5.2. Intensité

Pour le phénomène de projection de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace (cas majorant de 1 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. **d** est le degré d'exposition, **ZI** la zone d'impact, **ZE** la zone d'effet, **R** la longueur de pale, **H** la hauteur au moyeu, et **SG** la surface majorante d'un morceau de glace (SG = 1m²).

	Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)			
	Zone d'impact en m ² $Z_I = SG$	Zone d'effet du phénomène étudié en m ² $ZE = \pi \times (1,5 \times (H+2R))^2$	Degré d'exposition du phénomène étudié en % $d = Z_I / Z_E$	Intensité
V150	1	La zone d'effet est de 524193 m ²	0,00019 (< 1 %)	Exposition modérée
E141	1	La zone d'effet est de 514536 m ²	0,00019 (< 1 %)	Exposition modérée

9.2.5.3. Gravité

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

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.

Il est à noter que pour la plupart des parcs éoliens, la zone de survol de l'éolienne est un terrain non aménagé et très peu fréquenté (1 personne pour 100 ha d'après la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010). Pour une éolienne d'une longueur de pale inférieure à 100 m, le nombre équivalent de personnes permanentes sera donc inférieur à 1.

Cette gravité restera inchangée dans le cas de terrains aménagés mais peu fréquentés (1 personne pour 10 ha). Toutes les éoliennes du parc éolien du Saint-Varentais sont dans ce cas de figure (la zone de survol est un terrain non aménagé et très peu fréquenté, avec parfois des voies de circulation non structurantes considérées comme un terrain aménagé mais peu fréquenté - cf. paragraphe 4.4 page 19).

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

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)			
Intensité	Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) dans la zone d'effet	Gravité
V150 Exposition modérée	E1 à E10	0,524 équivalent personne permanente	Modéré
N149 Exposition modérée	E1 à E10	0,514 équivalent personne permanente	Modéré

9.2.5.4. Probabilité

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

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

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

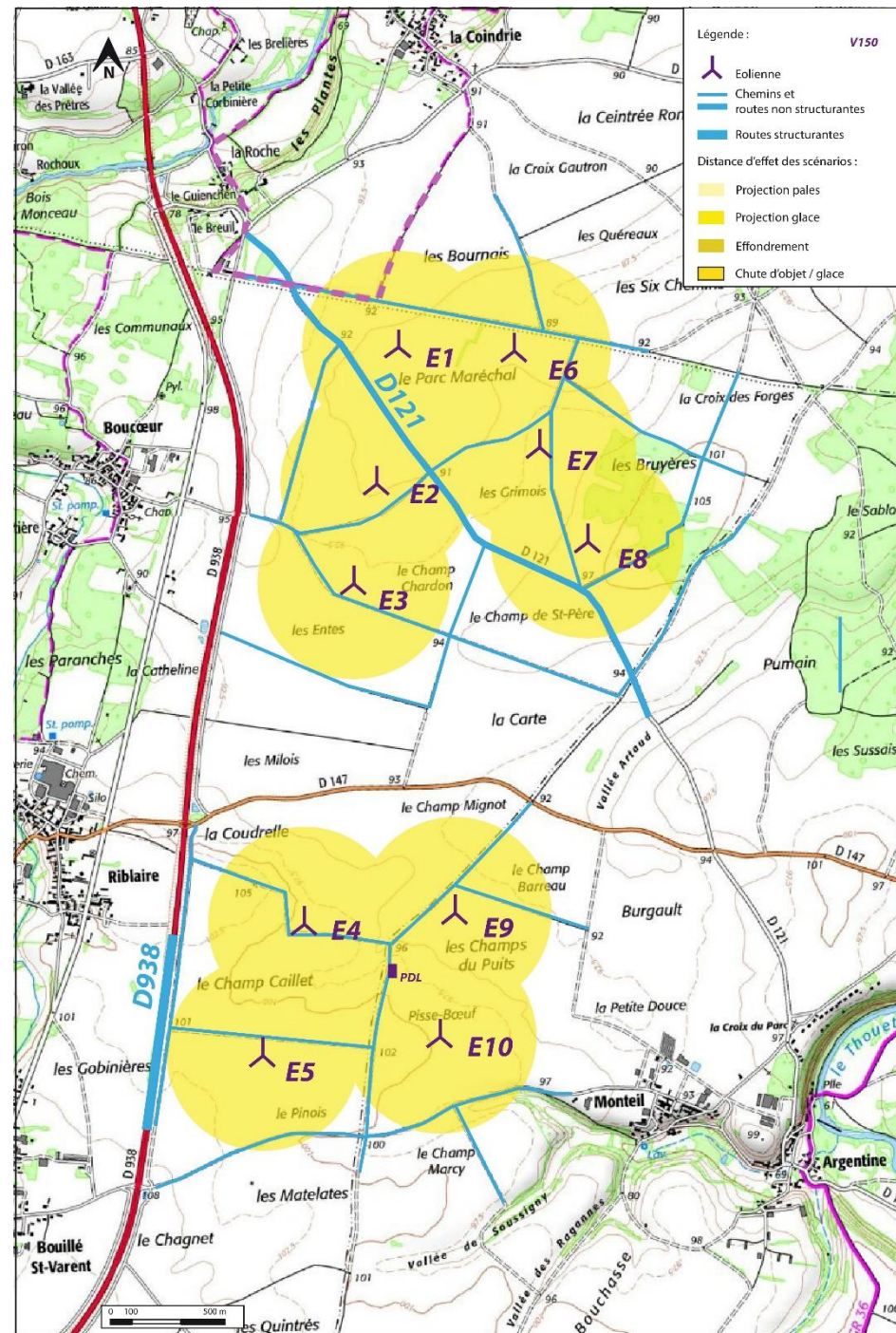
9.2.5.1. Acceptabilité

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

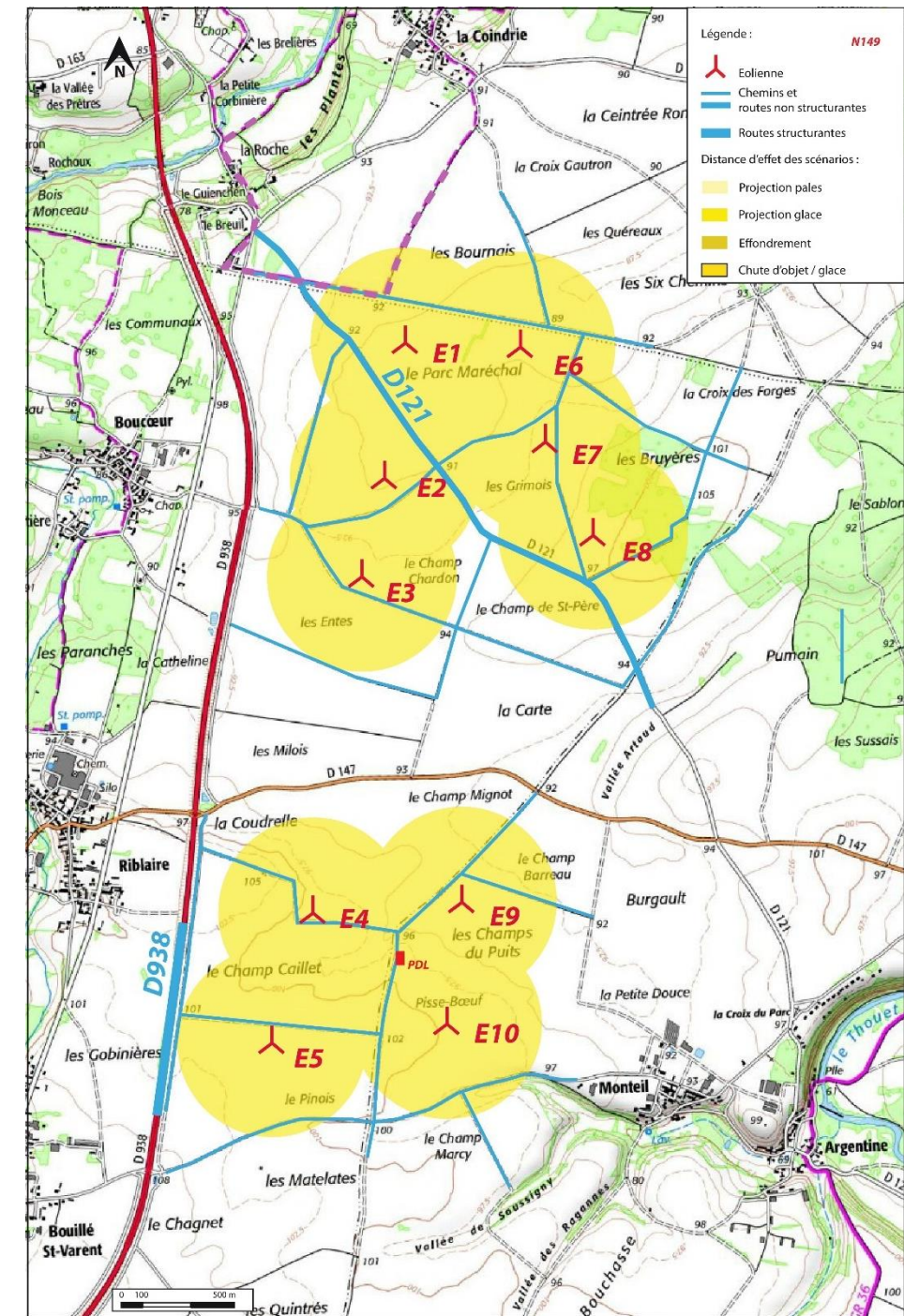
Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc éolien du Saint-Varentais, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 1,5 \times (H+2R)$ autour de l'éolienne)			
Intensité	Eolienne	Gravité	Niveau de risque
V150 Exposition modérée	E1 à E10	Modéré	Acceptable
N149 Exposition modérée	E1 à E10	Modéré	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien du Saint-Varentais, le phénomène de projection de glace des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes, quel que soit le modèle de turbine (V150 ou N149).



Zone d'effet du phénomène « Projection de glace » - V150



Zone d'effet du phénomène « Projection de glace » - N149

9.3. Synthèse de l'étude détaillée des risques

9.3.1. Tableau de synthèse des scénarios étudiés

Le tableau suivant récapitule, pour chaque événement redouté central retenu, les paramètres de risques : la cinétique, l'intensité, la gravité et la probabilité. Le tableau regroupe les éoliennes du parc éolien du Saint-Varentais qui ont toutes le même profil de risque.

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

Parc éolien du Saint-Varentais					
Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
1 Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale	Rapide	V150 Exposition modérée	D	V150 Modéré pour les éoliennes E1 à E10
			N149 Exposition modérée		N149 Modéré pour les éoliennes E1 à E10
2 Chute de glace	Zone de survol	Rapide	V150 Exposition modérée	A	V150 Modéré pour les éoliennes E1 à E10
			N149 Exposition modérée		N149 Modéré pour les éoliennes E1 à E10
3 Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol	Rapide	V150 Exposition modérée	C	V150 Modéré pour les éoliennes E1 à E10
			N149 Exposition modérée		N149 Modéré pour les éoliennes E1 à E10

Parc éolien du Saint-Varentais					
Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
4 Projection	500 m autour de l'éolienne	Rapide	V150 Exposition modérée	D	V150 a-Modéré pour les éoliennes E1 à E4, E6 à E10 b-Sérieux pour E5
			N149 Exposition modérée		N149 a-Modéré pour les éoliennes E1 à E4, E6 à E10 b-Sérieux pour E5
5 Projection de glace	1,5 x (H + 2R) autour de l'éolienne	Rapide	V150 Exposition modérée	B	V150 Modéré pour les éoliennes E1 à E10
			N149 Exposition modérée		N149 Modéré pour les éoliennes E1 à E10

9.3.2. Synthèse de l'acceptabilité des risques

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

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

Conséquence	Classe de Probabilité V150				
	E	D	C	B	A
Déastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		4b			
Modéré		1, 4a	3	5	2

Conséquence	Classe de Probabilité N149				
	E	D	C	B	A
Déastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		4b			
Modéré		1, 4a	3	5	2

Légende de la matrice

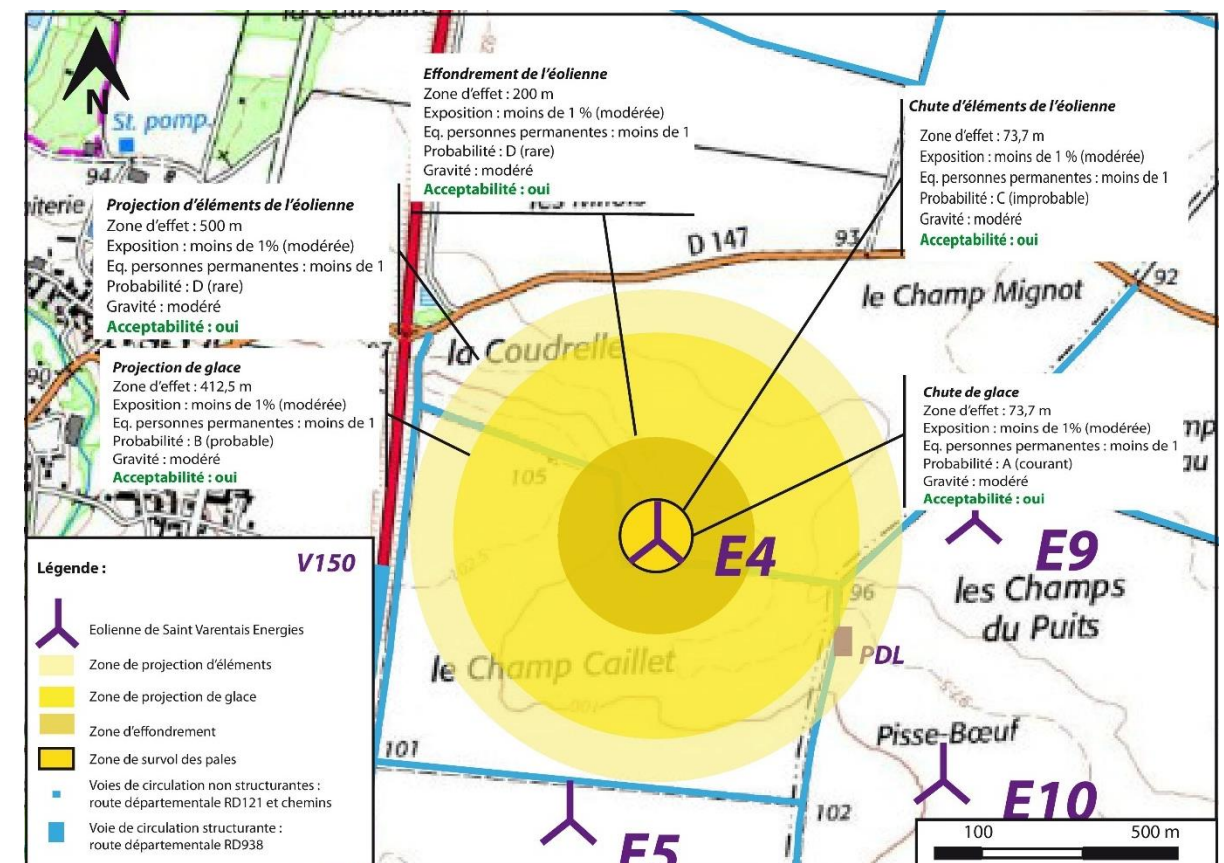
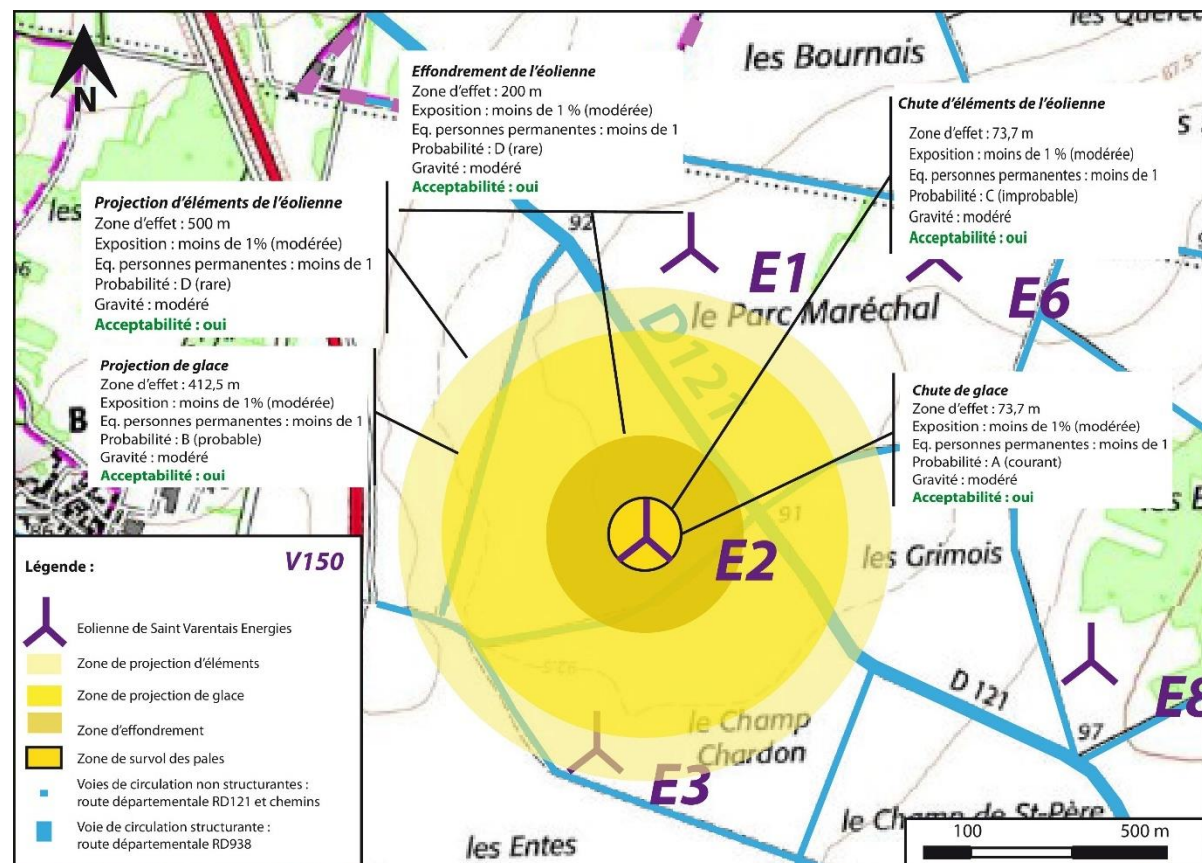
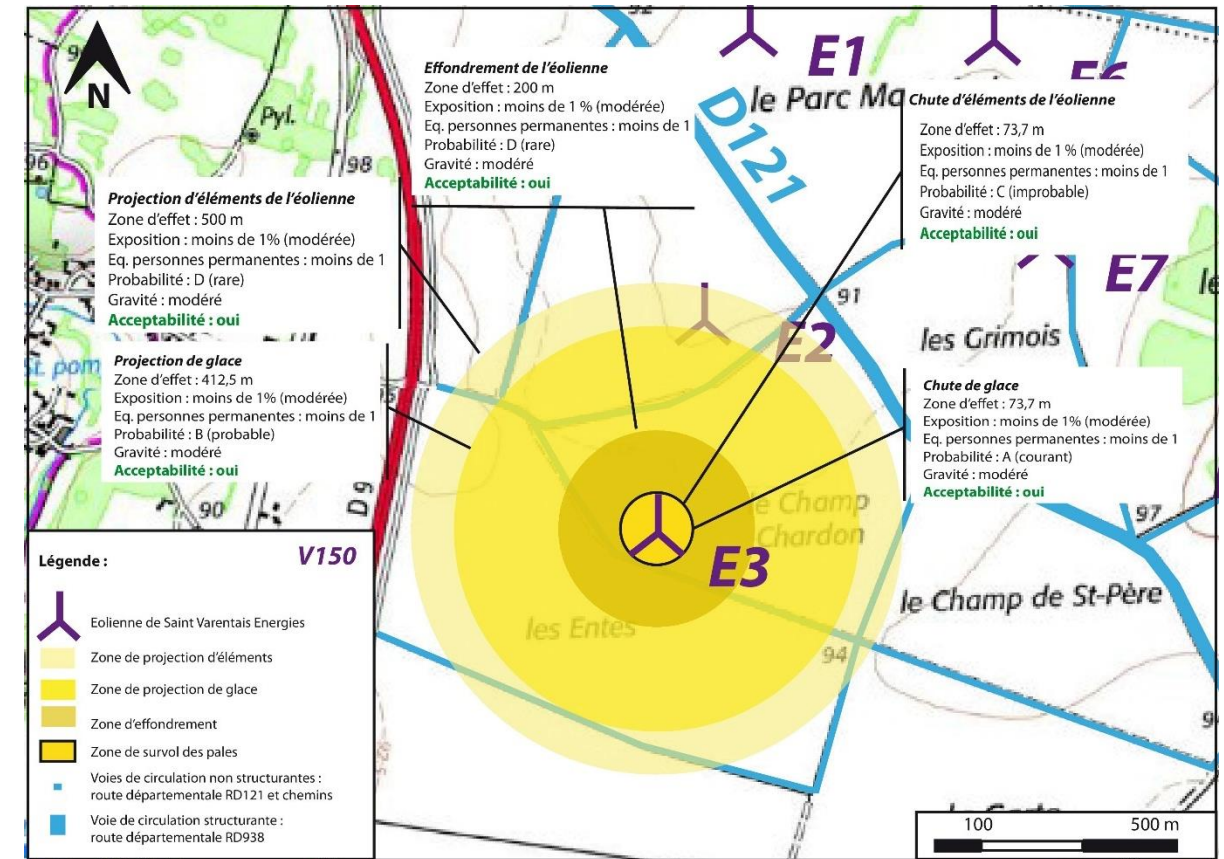
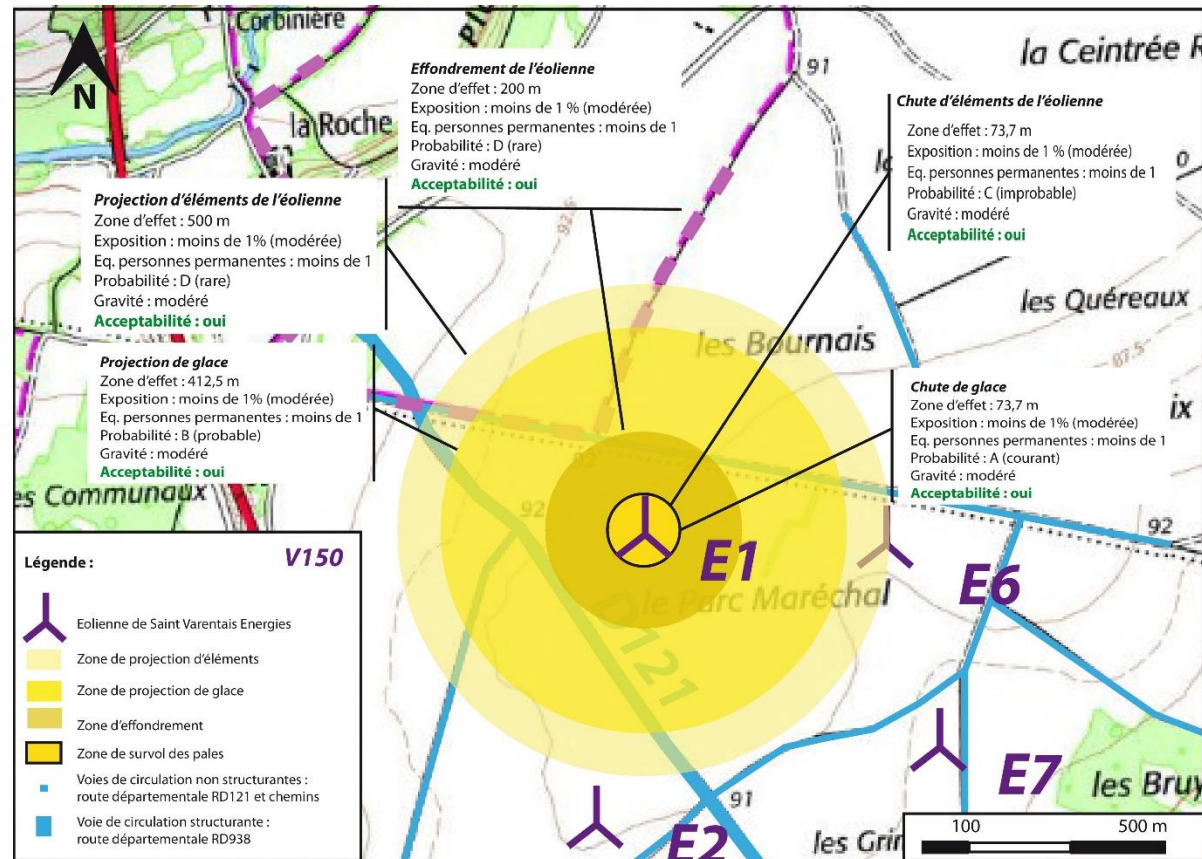
Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible		acceptable
Risque faible		acceptable
Risque important		non acceptable

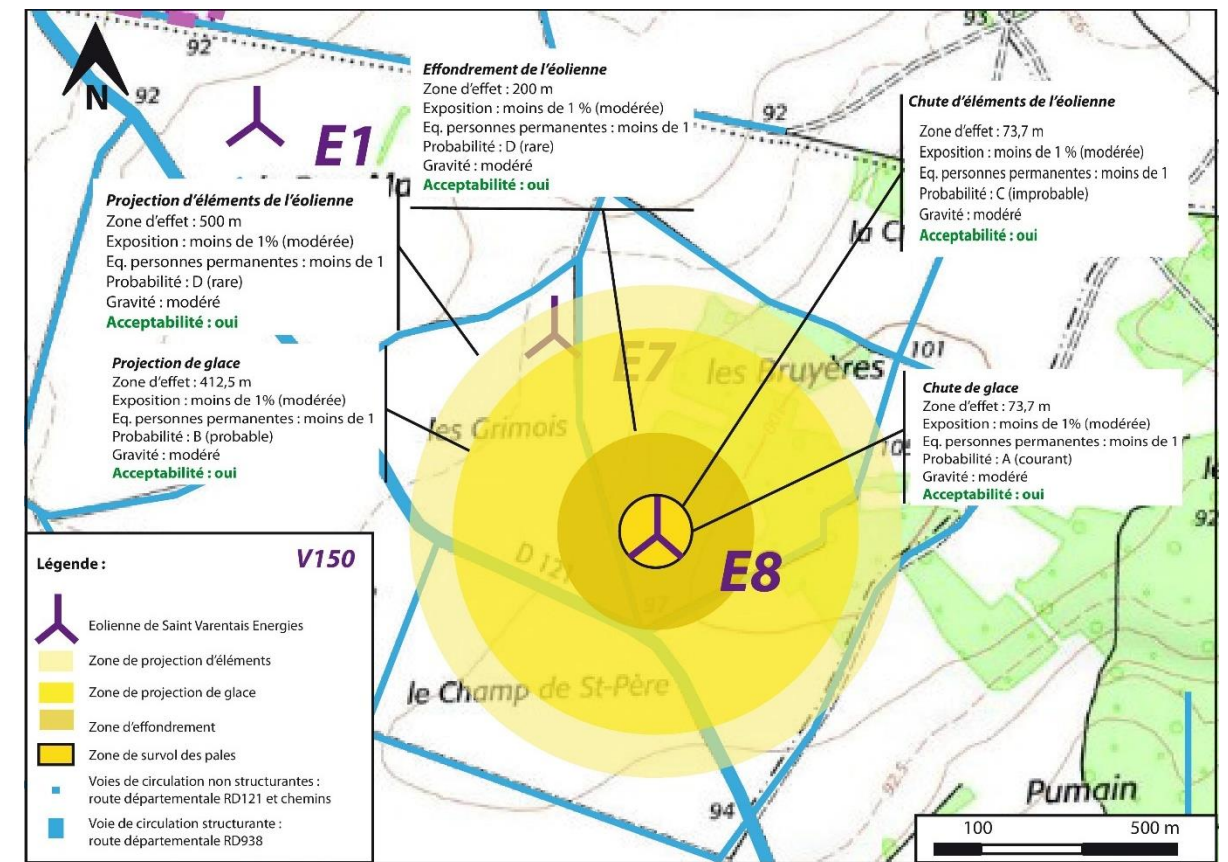
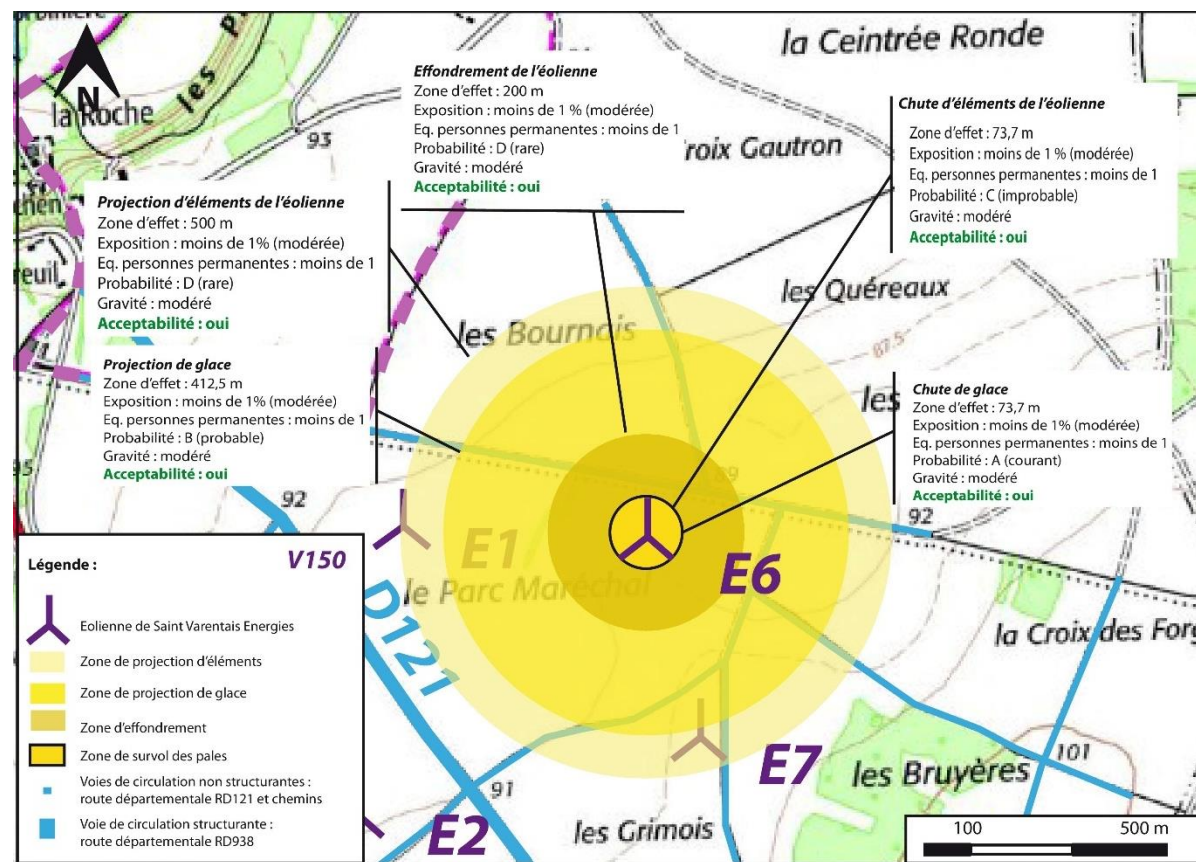
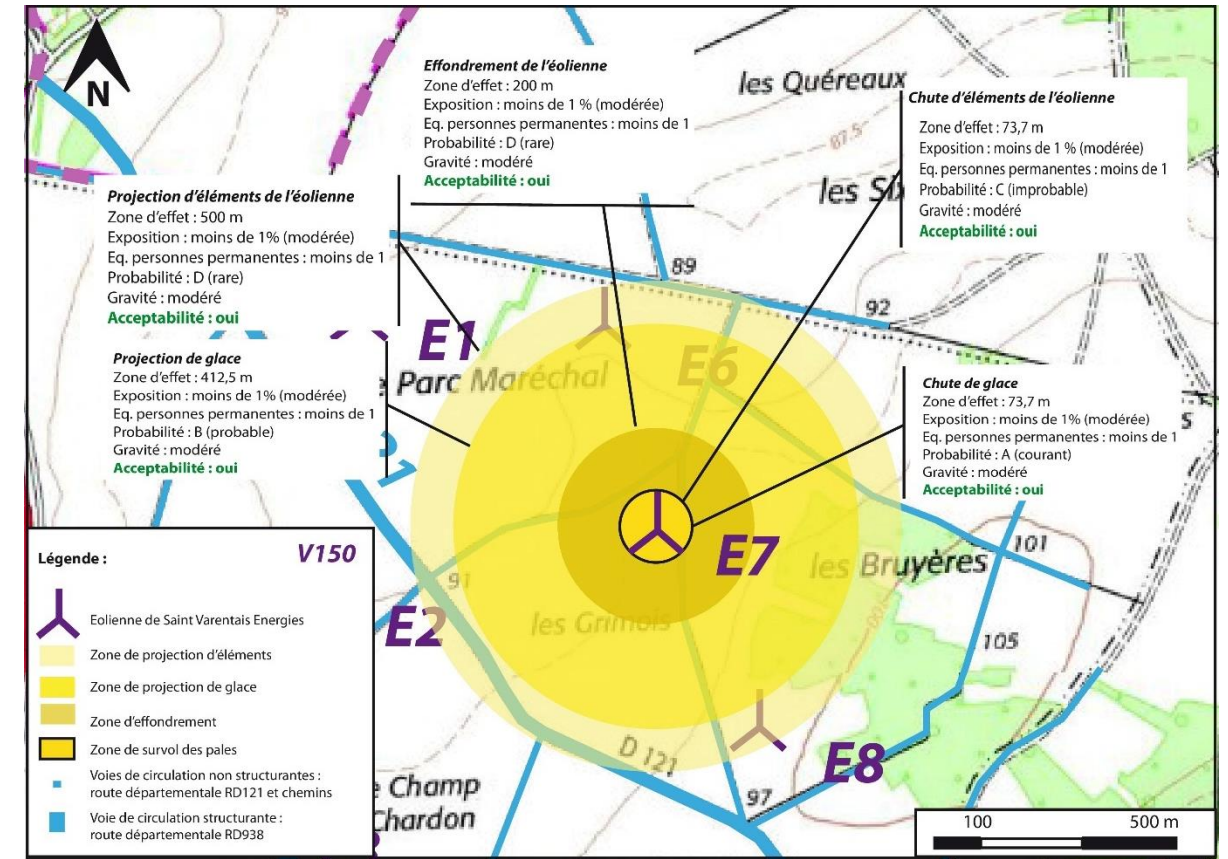
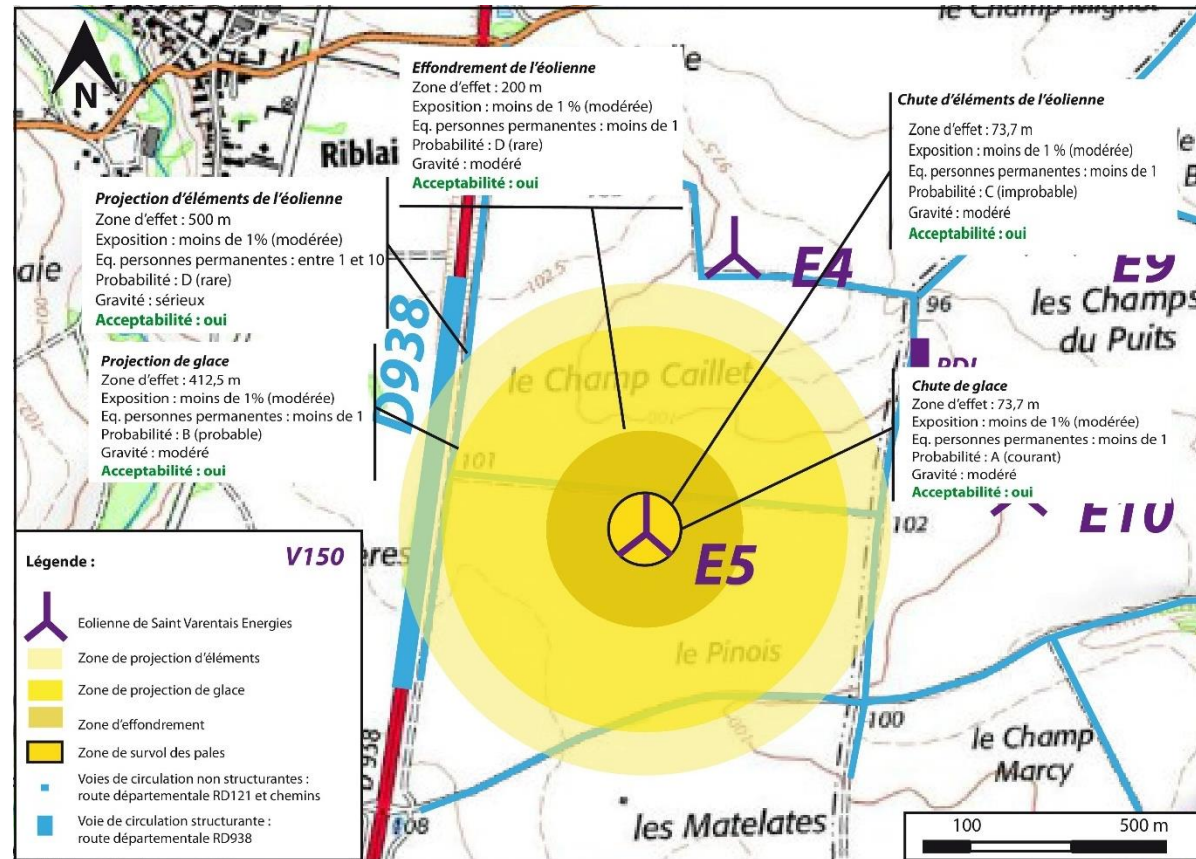
Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

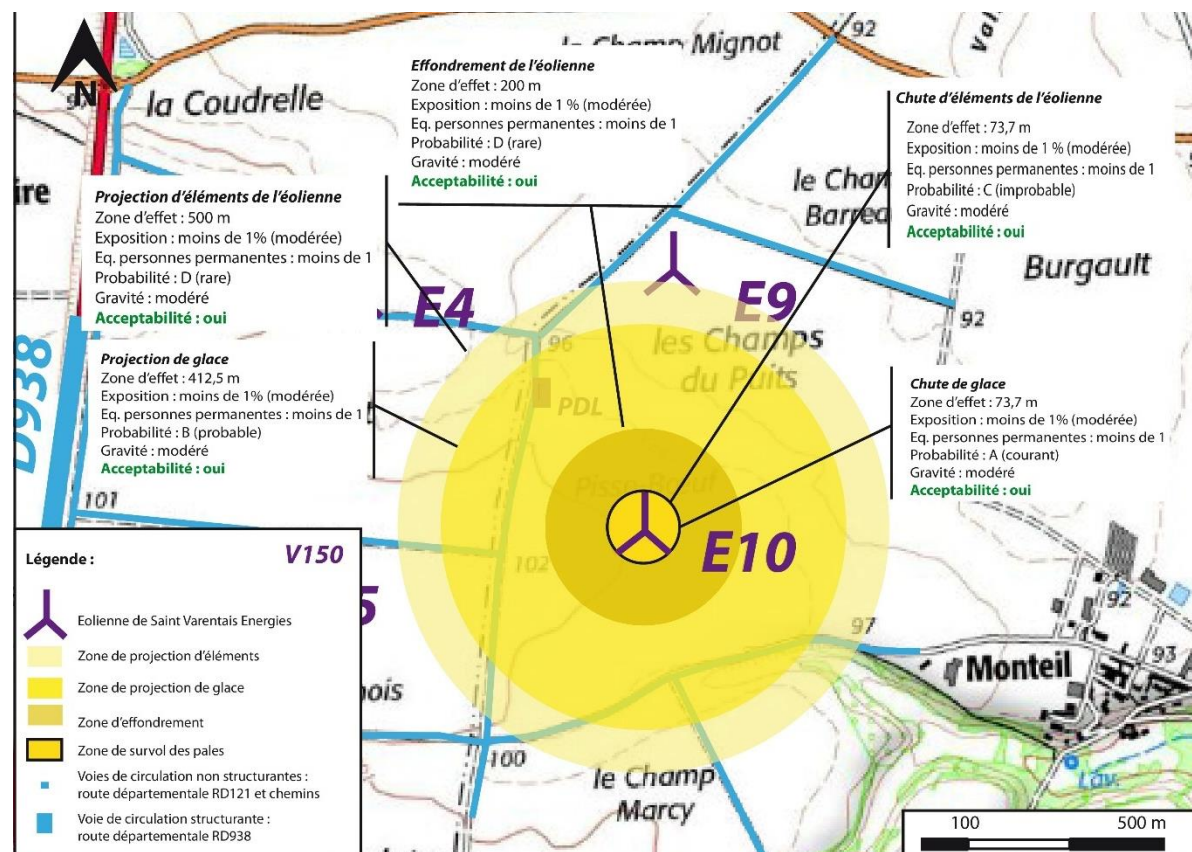
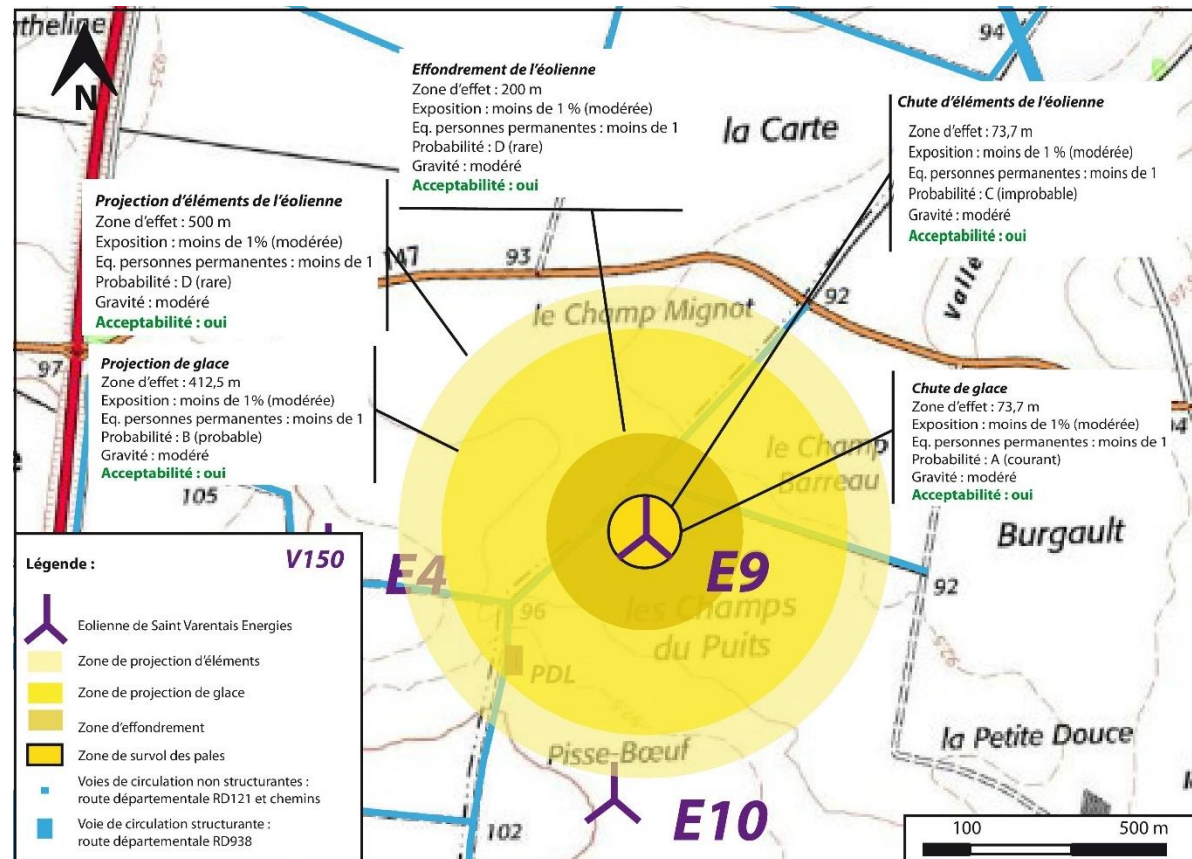
- aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice
- certains accidents figurent en case jaune. Pour ces accidents, il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 8.6 sont mises en place.

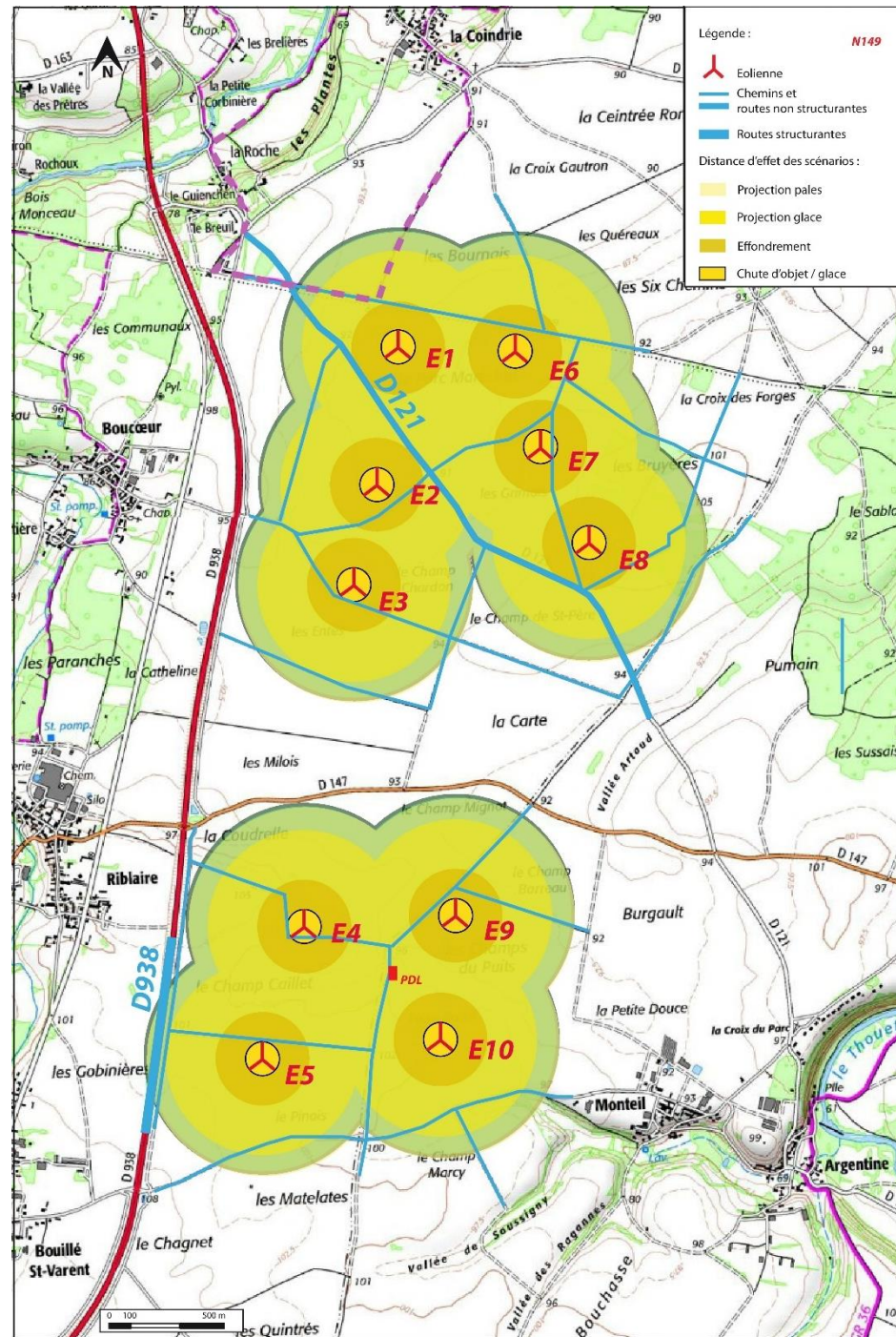
L'étude conclut à l'acceptabilité du risque généré par le parc éolien du Saint-Varentais.

En effet, le risque associé à chaque événement redouté central étudié est acceptable, quelle que soit l'éolienne considérée du parc (éoliennes E1 à E10) et quel que soit le modèle étudié (V150 et N149).

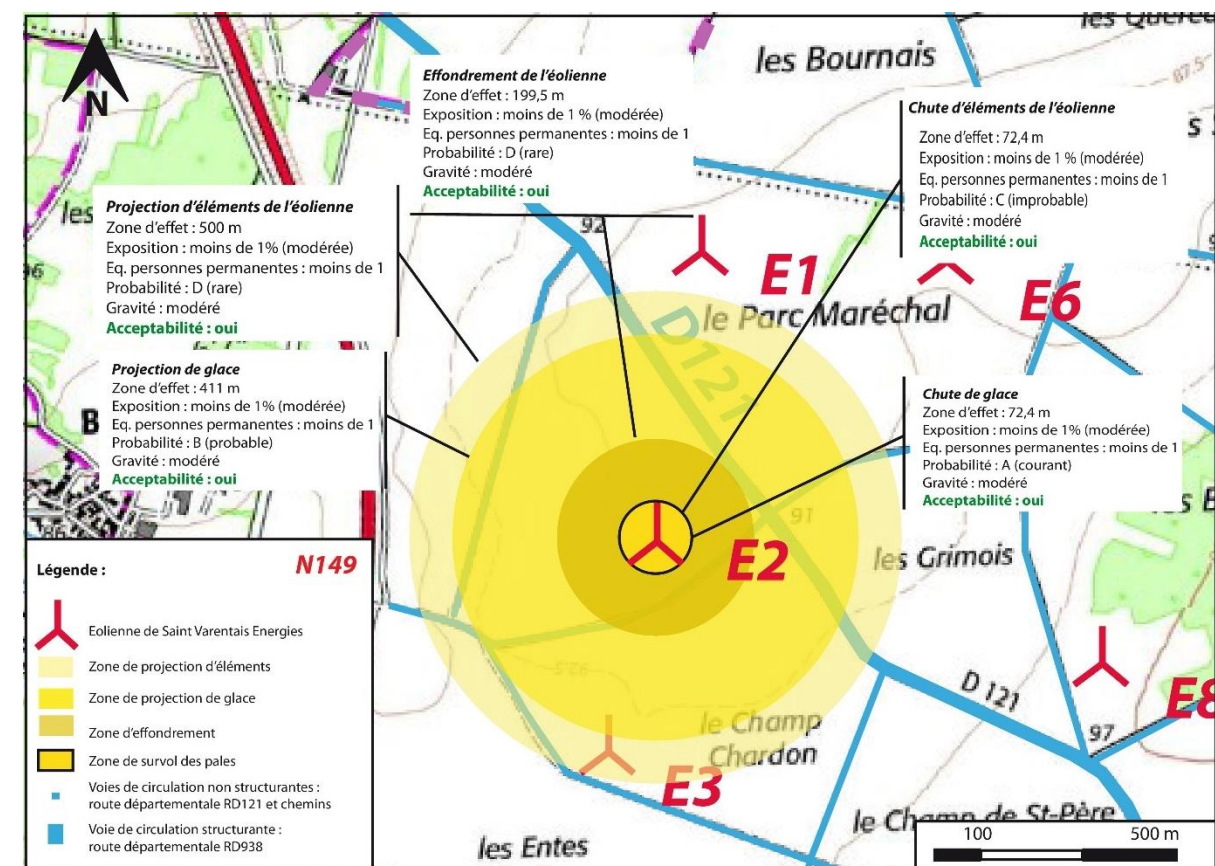
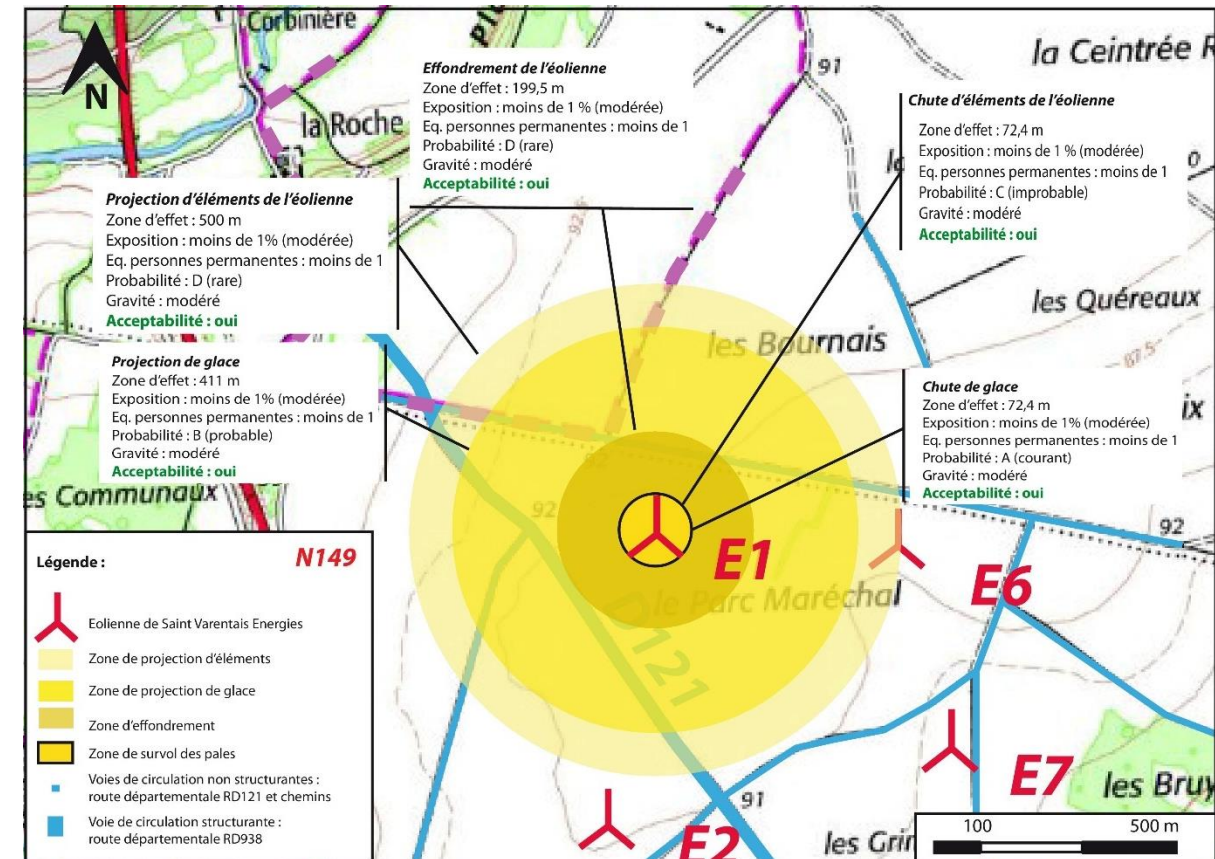


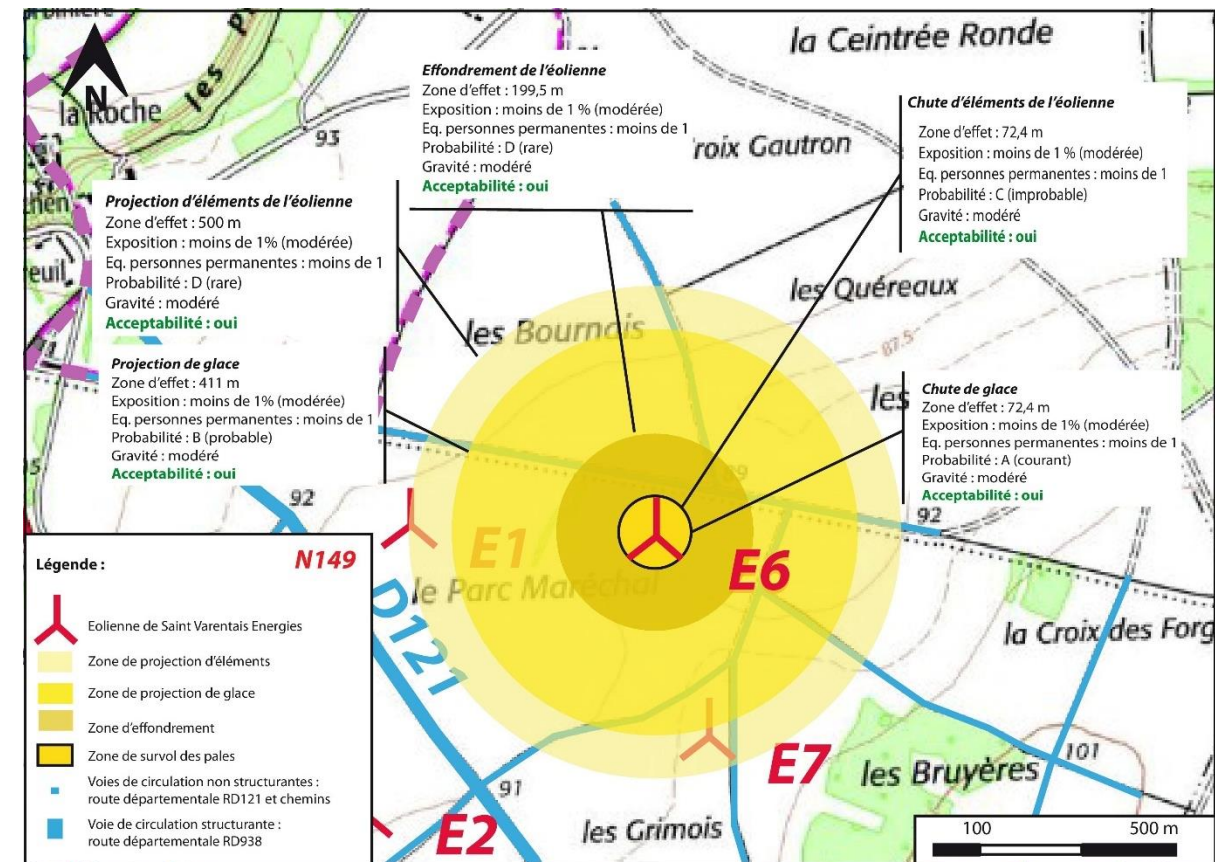
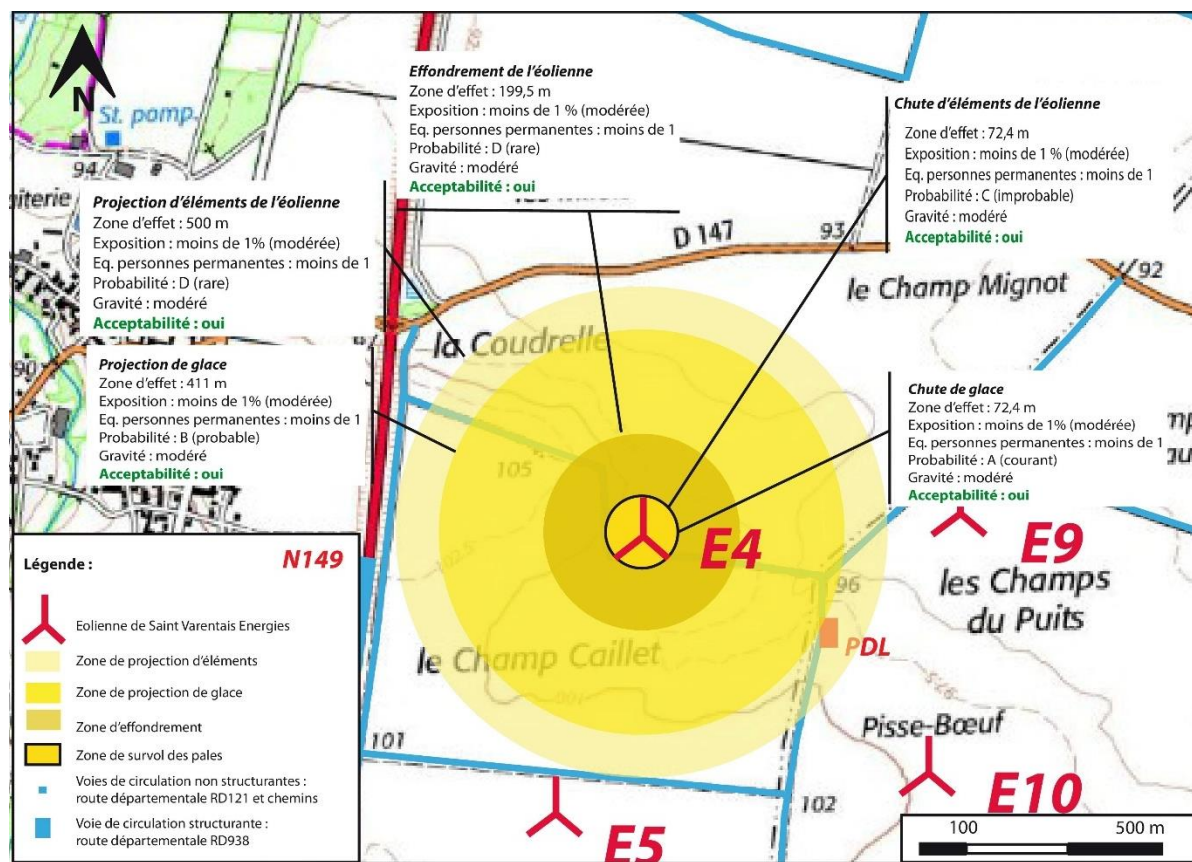
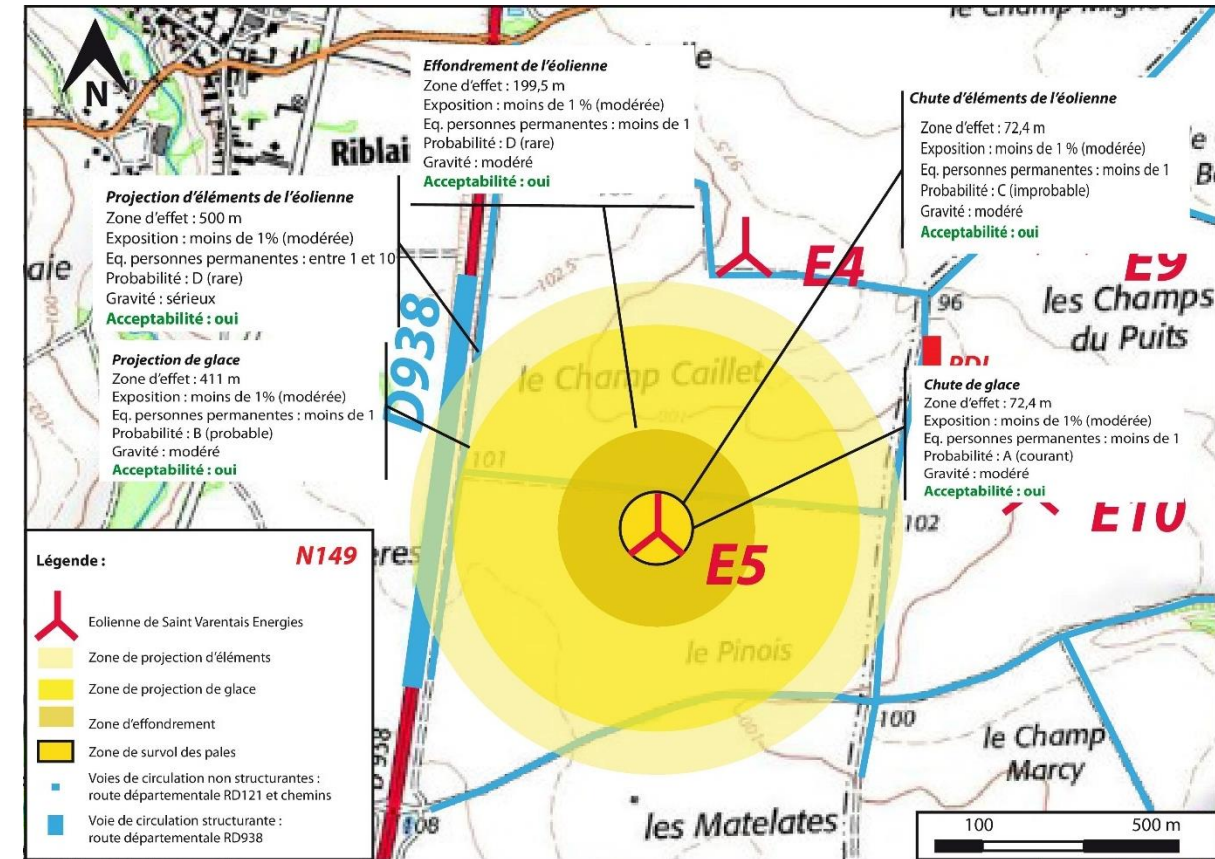
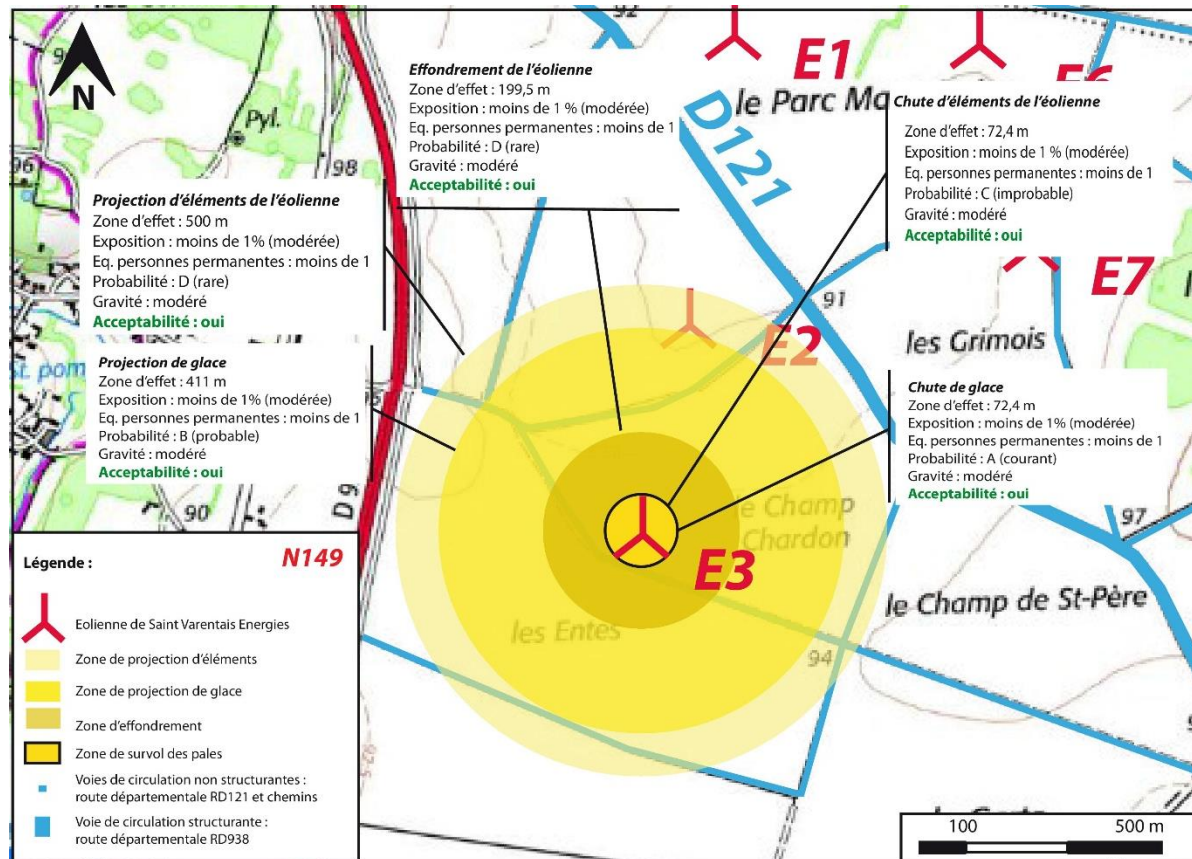


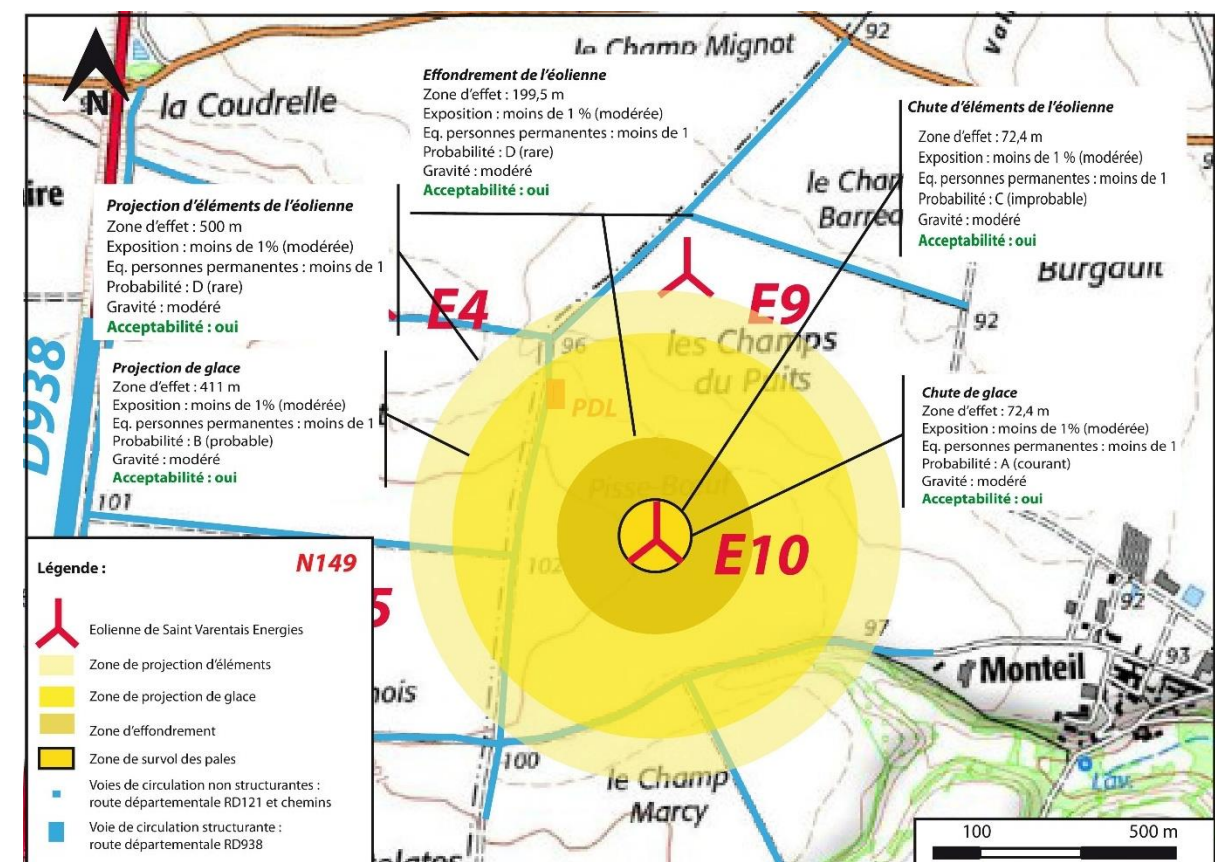
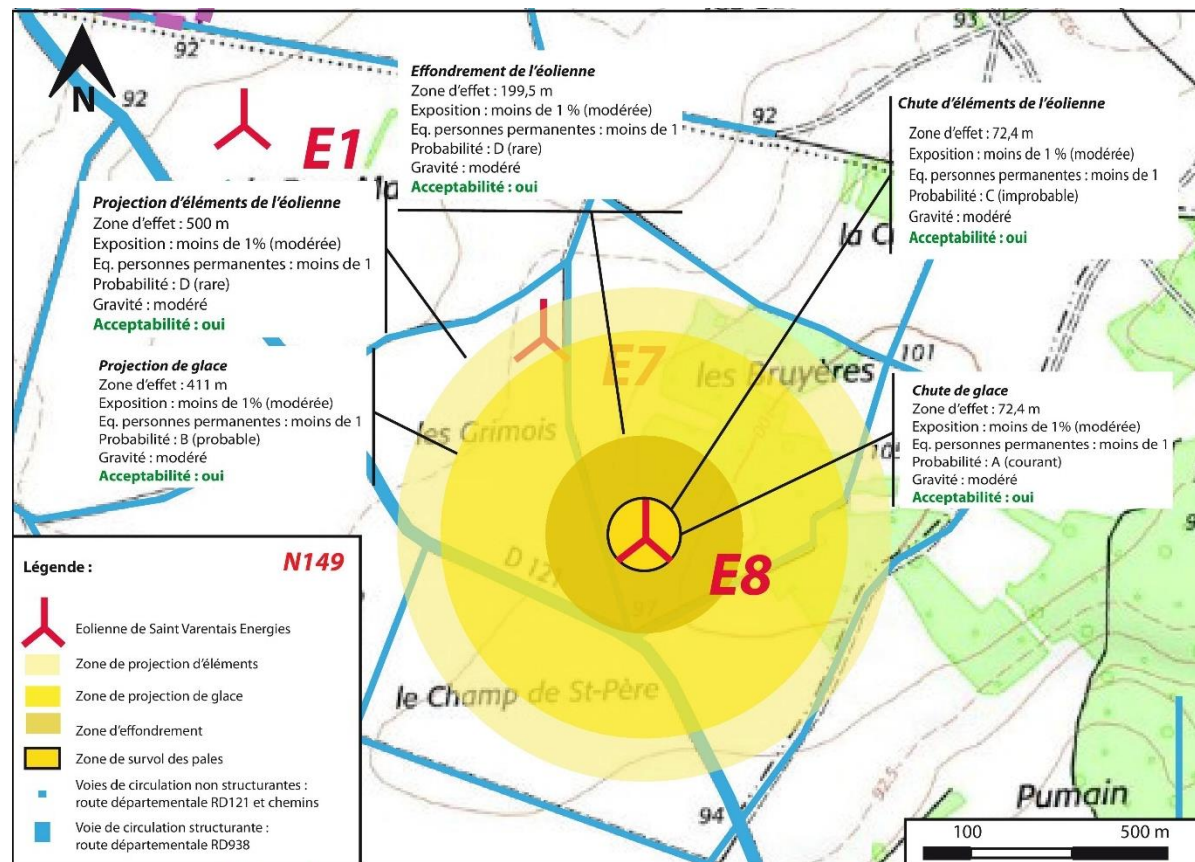
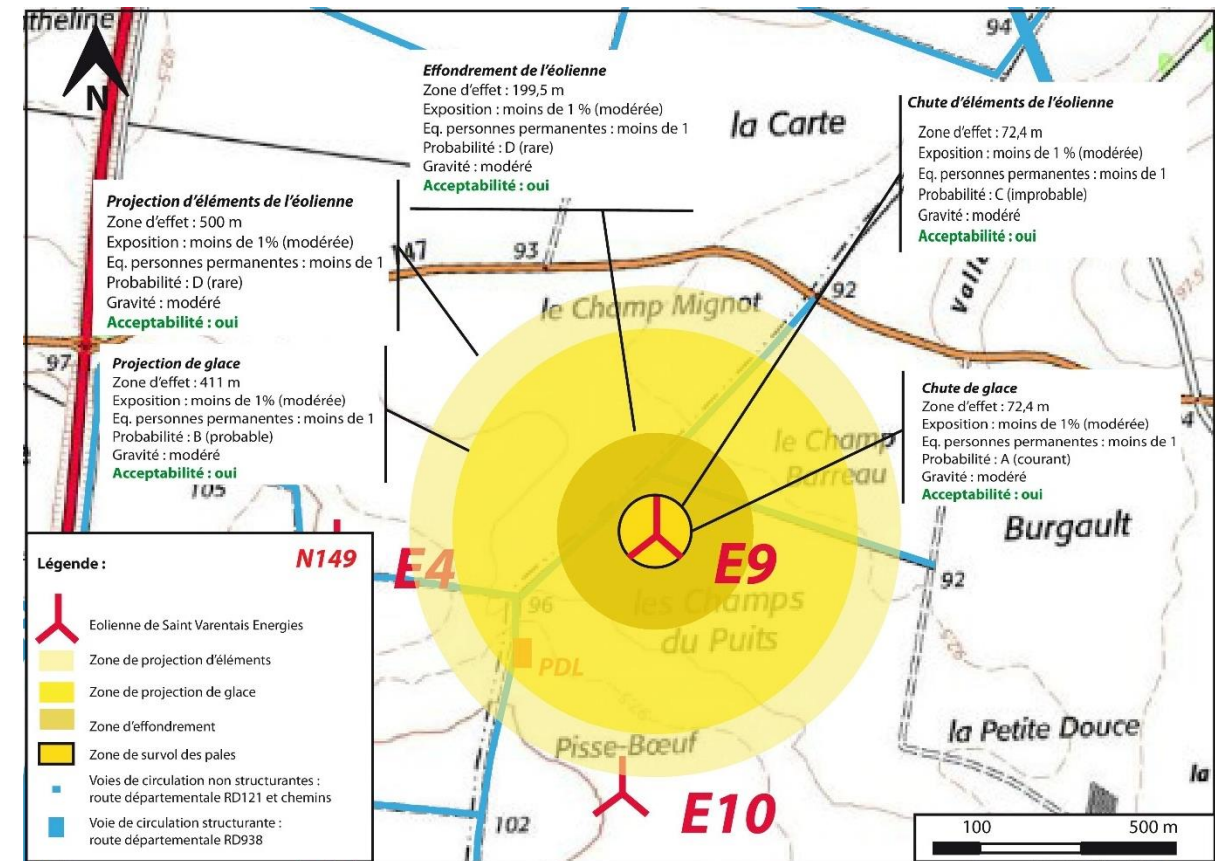
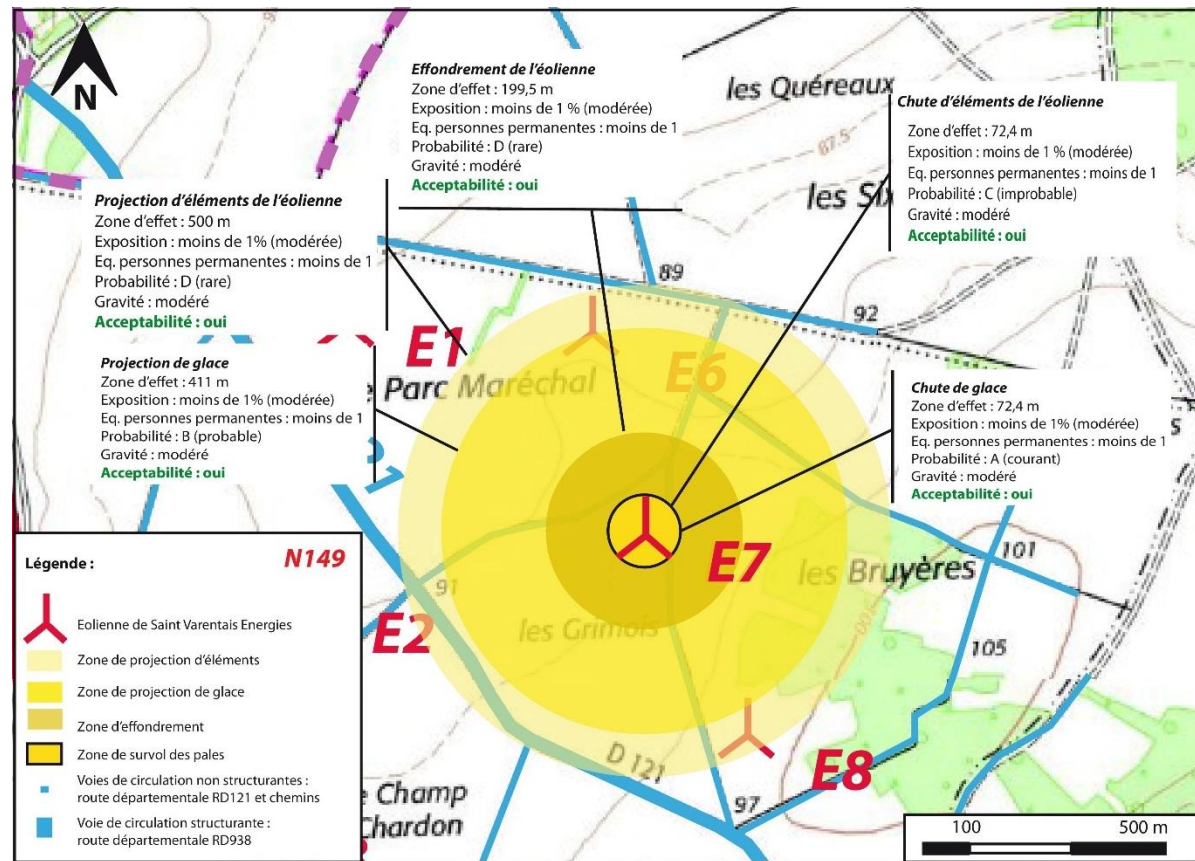




Carte de synthèse des risques pour le parc éolien du Saint-Ventais (N149)







10. Conclusion

L'analyse des risques liés aux installations et équipements du site est basée sur un recensement des accidents possibles, sur l'évaluation de leurs conséquences, de leur probabilité de se réaliser en prenant en compte les moyens de secours et de prévention adaptés notamment à la vitesse d'apparition de l'accident.

À l'issue de l'analyse détaillée des risques effectuée dans l'étude de dangers, les risques potentiels retenus pour les installations du site sont les suivants :

- Risques liés à l'effondrement de l'éolienne, la zone impactée correspondant à une surface dont le rayon est limité à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale ;
- Risques de projection d'objets et plus particulièrement de pales ou parties de pale avec une distance d'effet retenue de 500 mètres issue de l'accidentologie et d'études de risques ;
- Risque de projection de glace en période hivernale, la distance d'effet se calculant à l'aide d'une formule basée sur la hauteur et le diamètre de l'éolienne ;
- Risque de chute de morceaux de glace en période hivernale ou d'éléments d'éolienne, la zone impactée correspondant à la zone de survol des pales c'est-à-dire à un disque de rayon égal à un demi diamètre de rotor.

Les tableaux ci-après sont une reprise du tableau d'analyse des risques présentant les scénarios retenus pour modélisation, pour chaque modèle de turbine étudié (V150 et N149).

L'examen de l'accidentologie et de l'analyse des risques permet de retenir des risques d'effondrement d'éoliennes, de chute et de projection d'éléments (de l'éolienne ou de glace). Le risque de projection de pales ou parties de pales apparaît comme le risque principal au niveau des installations.

Les catégories de scénarios retenus sont les suivants :

- Effondrement de l'éolienne 1
- Chute de glace..... 2
- Chute d'éléments de l'éolienne 3
- Projection de tout ou une partie de pale 4
- Projection de glace..... 5

Légende de la matrice

Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible		acceptable
Risque faible		acceptable
Risque important		non acceptable

Conséquence	Classe de Probabilité V150 ou N149				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		4b			
Modéré		1, 4a	3	5	2

L'étude de dangers a mis en évidence que les risques associés aux scénarios étudiés sont modérés ou sérieux compte tenu des mesures de maîtrise du risque (moyens de prévention et de protection) mis en œuvre.

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

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

D'après la matrice de criticité et les mesures de maîtrise des risques mises en place, on peut conclure que pour le parc éolien du Saint-Varentais, les risques analysés sont acceptables pour les personnes.

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

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

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

D'autre part, cette méthode permet ensuite de déterminer la gravité associée à chaque phénomène dangereux retenu dans l'étude détaillée des risques (partie 9).

Terrains non bâtis

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

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

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

Voies de circulation

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

Voies de circulation automobiles

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

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

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

Voies ferroviaires

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

Voies navigables

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

Chemins et voies piétonnes

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

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

Logements

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

Etablissements recevant du public (ERP)

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

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

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

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

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

Zones d'activité

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

12. Annexe 2 - Tableau de l'accidentologie française

Le tableau ci-dessous a été établi par le groupe de travail constitué pour la réalisation du présent guide. Il recense l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne entre 2000 et juin 2017.

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

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5m à 50m, mat intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	Incident identique à celui s'étant produit 15 jours auparavant
Rupture de pale	2004	Escalles-Conilhac	Aude	0,75	2003	Non	Bris de trois pales		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale + incendie	22/12/2004	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne (survitesse de plus de 60 tr/min)	Survitesse due à une maintenance en cours, problème de régulation, et dysfonctionnement du système de freinage	Base de données ARIA Article de presse (La Tribune du 30/12/2004) Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2005	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris de pale		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale	08/10/2006	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2004	Non	Chute d'une pale de 20 m pesant 3 tonnes	Allongement des pales et retrait de sécurité (débridage), pas de REX suite aux précédents accidents sur le même parc	Site FED Articles de presse (Ouest France) Journal FR3	-
Incendie	18/11/2006	Roquetaillade	Aude	0,66	2001	Oui	Acte de malveillance: explosion de bonbonne de gaz au pied de 2 éoliennes. L'une d'entre elles a mis le feu en pieds de mat qui s'est propagé jusqu'à la nacelle.	Malveillance / incendie criminel	Communiqués de presse exploitant Articles de presse (La Dépêche, Midi Libre)	-
Effondrement	03/12/2006	Bondues	Nord	0,08	1993	Non	Sectionnement du mât puis effondrement d'une éolienne dans une zone industrielle	Tempête (vents mesurés à 137Kmh)	Article de presse (La Voix du Nord)	-
Rupture de pale	31/12/2006	Ally	Haute-Loire	1,5	2005	Oui	Chute de pale lors d'un chantier de maintenance visant à remplacer les rotors	Accident faisant suite à une opération de maintenance	Site Vent de Colère	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident pendant la phase chantier)
Rupture de pale	03/2007	Clitourps	Manche	0,66	2005	Oui	Rupture d'un morceau de pale de 4 m et éjection à environ 80 m de distance dans un champ	Cause pas éclaircie	Site FED Interne exploitant	-
Chute d'élément	11/10/2007	Plouvien	Finistère	1,3	2007	Non	Chute d'un élément de la nacelle (trappe de visite de 50 cm de diamètre)	Défaut au niveau des charnières de la trappe de visite. Correctif appliqué et retrofit des boulons de charnières effectué sur toutes les machines en exploitation.	Article de presse (Le Télégramme)	-
Emballement	03/2008	Dinéault	Finistère	0,3	2002	Non	Emballement de l'éolienne mais pas de bris de pale	Tempête + système de freinage hors service (boulon manquant)	Base de données ARIA	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (événement unique et sans répercussion potentielle sur les personnes)

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Collision avion	04/2008	Plouguin	Finistère	2	2004	Non	Léger choc entre l'aile d'un bimoteur Beechcraftch (liaison Ouessant-Brest) et une pale d'éolienne à l'arrêt. Perte d'une pièce de protection au bout d'aile. Mise à l'arrêt de la machine pour inspection.	Mauvaise météo, conditions de vol difficiles (sous le plafond des 1000m imposé par le survol de la zone) et faute de pilotage (altitude trop basse)	Articles de presse (Le Télégramme, Le Post)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident aéronautique)
Rupture de pale	19/07/2008	Erize-la-Brûlée - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale et projection de morceaux de pale suite à un coup de foudre	Foudre + défaut de pale	Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain 22/07/2008)	-
Incendie	28/08/2008	Vauvillers	Somme	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Problème au niveau d'éléments électroniques	Dépêche AFP 28/08/2008	-
Rupture de pale	26/12/2008	Raival - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale		Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain)	-
Maintenance	26/01/2009	Clastres	Aisne	2,75	2004	Oui	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance	Accident électrique (explosion d'un convertisseur)	Base de données ARIA	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Rupture de pale	08/06/2009	Bollène	Vaucluse	2,3	2009	Oui	Bout de pale d'une éolienne ouvert	Coup de foudre sur la pale	Interne exploitant	Non utilisable dans les chutes ou les projections (la pale est restée accrochée)
Incendie	21/10/2009	Froidfond - Espinassière	Vendée	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit dans transformateur sec embarqué en nacelle ?	Article de presse (Ouest-France) Communiqué de presse exploitant Site FED	-
Incendie	30/10/2009	Freyssenet	Ardèche	2	2005	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit faisant suite à une opération de maintenance (problème sur une armoire électrique)	Base de données ARIA Site FED Article de presse (Le Dauphiné)	-
Maintenance	20/04/2010	Toufflers	Nord	0,15	1993	Non	Décès d'un technicien au cours d'une opération de maintenance	Crise cardiaque	Article de presse (La Voix du Nord 20/04/2010)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	30/05/2010	Port la Nouvelle	Aude	0,2	1991	Non	Effondrement d'une éolienne	Le rotor avait été endommagé par l'effet d'une survitesse. La dernière pale (entière) a pris le vent créant un balourd. Le sommet de la tour a plié et est venu buter contre la base entraînant la chute de l'ensemble.	Interne exploitant	-
Incendie	19/09/2010	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Emballement de deux éoliennes et incendie des nacelles.	Maintenance en cours, problème de régulation, freinage impossible, évacuation du personnel, survitesse de +/- 60 tr/min	Articles de presse Communiqué de presse SER-FEE	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Maintenance	15/12/2010	Pouillé-les-Côteaux	Loire Atlantique	2,3	2010	Oui	Chute de 3 m d'un technicien de maintenance à l'intérieur de l'éolienne. L'homme de 22 ans a été secouru par le GRIMP de Nantes. Aucune fracture ni blessure grave.		Interne SER-FEE	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Transport	31/05/2011	Mesvres	Saône-et-Loire	-	-	-	Collision entre un train régional et un convoi exceptionnel transportant une pale d'éolienne, au niveau d'un passage à niveau. Aucun blessé.		Article de presse (Le Bien Public 01/06/2011)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident de transport hors site éolien)
Rupture de pale	14/12/2011	Non communiqué	Non communiqué	2,5	2003	Oui	Pale endommagée par la foudre. Fragments retrouvés par l'exploitant agricole à une distance n'excédant pas 300 m.	Foudre	Interne exploitant	Information peu précise sur la distance d'effet
Incendie	03/01/2012	Non communiqué	Non communiqué	2,3	2006	Oui	Départ de feu en pied de tour. Acte de vandalisme : la porte de l'éolienne a été découpée pour y introduire des pneus et de l'huile que l'on a essayé d'incendier. Le feu ne s'est pas propagé, dégâts très limités et restreints au pied de la tour.	Malveillance / incendie criminel	Interne exploitant	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'incendie)
Rupture de pale	05/01/2012	Widehem	Pas-de-Calais	0,75	2000	Non	Bris de pales, dont des fragments ont été projetés jusqu'à 380 m. Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne).	Tempête + panne d'électricité	Article de presse (La Voix du Nord 06/01/2012) Vidéo DailyMotion Interne exploitant	-
Rupture de pale	22/05/2012	Chemin d'Albis	Eure et Loir	2	2008	Oui	Chute de pale dans le périmètre de fonctionnement de l'éolienne. Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne).		Article de presse (Le Parisien du 22/05/2012)	
Incendie	17/03/2013	Euvy	Marne	2,5	2011	Oui	Incendie en nacelle et destruction partielle des pales.		Article de presse (L'Union du 17 mars 2013)	

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	20/06/2013	Labastide-sur-Besorgues	Ardèche				Pale en partie déchirée sans chute. Destruction du parafoudre et boîtier basse tension du poste	Foudre	ARIA	
Maintenance	01/07/2013	Cambon-et-Salvergues	Hérault				Blessure (fracture) lors d'une intervention sur un accumulateur sous pression	Méconnaissance et faiblesse du système d'alerte	ARIA	Défaut corrigé en amont sur les machines
Maintenance	03/08/2013	Moreac	Morbihan				Pollution du sol par fuite sur chariot élévateur (270 l d'huile)		ARIA	Système de dépollution efficace (excavation et recyclage)
Incendie	09/01/2014	Antheny	Ardennes	2,5		Oui	Incendie de la nacelle sans chute de pale ou de rotor. Balisage aéronautique HS	Incident électrique	ARIA	Périmètre de sécurité
Rupture de pale	20/01/2014	Sigean	Aude				Chute de pale	Fissuration et dislocation d'une pièce de jonction (« alu ring »)	ARIA	
Rupture de pale	14/11/2014	Saint-Cirgues-en-Montagne	Ardèche				Chute de pale avec vol de débris à 150 m du mât	Orage et fort vent (>130 km/h)	ARIA	
Rupture de pale	05/12/2014	Fitou	Aude				Chute d'éléments de pale (extrémité de 3 m) à 80 m du mât	Aucune	ARIA	
Incendie	29/01/2015	Rémigny	Aisne		2015	Oui	Incendie lors de la phase de test	Défaut d'isolation au niveau de connexions électriques	ARIA	
Incendie	06/02/2015	Lusseray	Deux-Sèvres				Incendie d'une armoire électrique	Aucune	ARIA	

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	12/11/2015	Ménil-la-Horgne	Meuse		2007	Oui	Chute du rotor et des 3 pales	Aucune	Article de Presse (L'Est Républicain du 1 ^{er} Décembre 2015)	
Rupture de l'aérofrein d'une pale d'éolienne	07/02/2016	Conilhac-Corbieres	Aude				L'aérofrein d'une des 3 pales d'une éolienne se rompt et chute au sol	Rupture d'un point d'attache du système mécanique de commande de l'aérofrein		
Feu dans une éolienne	18/08/2016	Dargies	Oise					Défaillance électrique		
Rupture de pale	27/02/2017	Lavallee	Meuse	2	2011	Oui	La pointe d'une pale d'éolienne se rompt, en 3 morceaux, à 200 m de l'éolienne.	Orage	ARIA	
Chute d'un élément d'une pale d'éolienne	27/02/2017	Trayes	Deux-Sèvres				les 7 derniers mètres d'une pale de 44 m sont projetés jusqu'à 150 m du mât	Défaut au niveau de la pale	ARIA	
Feu du moteur d'une éolienne	06/06/2017	Allonnes	Sarthe				L'ensemble a été détruit		L'écho Républicain	

13. Annexe 3 - Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques

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

Le tableau générique issu de l'analyse préliminaire des risques est présenté dans la partie VII.4. de la trame type de l'étude de dangers. Il peut être considéré comme représentatif des scénarios d'accident pouvant potentiellement se produire sur les éoliennes et pourra par conséquent être repris à l'identique dans les études de dangers.

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

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

Scénario G01

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

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

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

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

Scénario G02

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Scénarios relatifs aux risques de fuites (F01 à F02)

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

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

Scénario F01

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

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

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

Deux événements peuvent être aggravants :

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

Scénario F02

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

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

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

Ce scénario est à adapter en fonction des produits utilisés.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Scénario P01

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

Scénario P02

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

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

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

Scénarios P03

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

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

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

- Erreur de dimensionnement de la fondation : Contrôle qualité, respect des spécifications techniques du constructeur de l'éolienne, étude de sol, contrôle technique de construction ;

Non-respect des instructions de montage et/ou de maintenance : Formation du personnel intervenant

- Causes externes dues à l'environnement : séisme, ...

15. Annexe 4 - Prévention des risques

Circulation sur le parc et accès aux installations

Phase d'activité particulière	Identification du risque	Mesure de prévention
Circulation / Accès au parc	Heurt avec une personne à pied	<ul style="list-style-type: none"> Port du gilet fluorescent pour les piétons lors d'une opération aux abords du site Vitesse réduite à 20 km/h aux abords du site
Accès	Augmentation du risque lié à la prise de drogues, médicaments ou alcool	<ul style="list-style-type: none"> Interdiction formelle de conduire ou d'accéder au site sous l'effet de l'alcool, ou de toute substance susceptible de provoquer des somnolences, vertiges, pertes d'attention
Circulation / Accès au poste	Postes HTA	<ul style="list-style-type: none"> Limitation aux abords du poste à 20 km/h
Accès au transformateur à l'extérieur de l'éolienne et dans le pied de l'éolienne	Zone haute tension => Electrocutation, électrisation	<ul style="list-style-type: none"> Zone réservée au personnel autorisé Accès à la zone de transformateur fermé à clé Port des EPI
Accès dans la tour	Risque de chute et de heurt	<ul style="list-style-type: none"> Présence d'un système d'évacuation dans chaque nacelle et dans chaque véhicule (1 système pour 2 personnes) Montée dans l'éolienne interdite au-dessus de 18 m/s de vent sur une période de 10 minutes
Accès dans la tour	Chute de l'échelle	<ul style="list-style-type: none"> Port des EPI S'assurer de la bonne fixation de son stop-chute sur le rail Formation aux travaux en hauteur Fermer les trappes à chaque passage
Accès dans la tour	Chute dans le cas d'une défaillance de l'élévateur de personnes	<ul style="list-style-type: none"> Utilisation de l'élévateur qu'en présence de personnes formées (2 personnes maxi) Présence de la notice d'utilisation de l'élévateur dans celui-ci Vérification de la dernière date de contrôle de l'élévateur (tous les 6 mois) Port des EPI Port du harnais et attache de la longe au point d'ancrage situé en haut de l'élévateur Possibilité d'évacuer l'élévateur en se mettant en sécurité sur l'échelle
Accès à la nacelle et au hub	Mécanismes en mouvement (arbre lent, rotor ...) en présence de personnes à l'intérieur =>Ecrasement, happage	<ul style="list-style-type: none"> Sécurité intrinsèque de la machine (arrêt de celle-ci avant ascension en s'assurant qu'on ne puisse pas la redémarrer à distance) Blocage mécanique et hydraulique du rotor Ne pas porter des vêtements trop larges ou avec des éléments qui dépassent et pourraient se prendre dans les mécanismes Etre vigilant aux longes et bords de vêtements Téléphone portables et radio
Accès au transformateur des éoliennes	Risque d'électrocution / d'électrisation	<ul style="list-style-type: none"> Voir les procédures d'accès au transformateur

Phase d'activité particulière	Identification du risque	Mesure de prévention
Accès au hub	Chute dans le moyeu (carénage de protection)	<ul style="list-style-type: none"> Port du casque et des chaussures de sécurité Téléphone portable et radio Utilisation de l'échelle d'accès au HUB Port du harnais Accès au HUB interdit au-dessus de 15 m/s de vent sur une période moyenne de 10 minutes Mise en drapeau des pales
Accès sur le toit de la nacelle	Chute en hauteur	<ul style="list-style-type: none"> Port des EPI Accroche de la longe aux points d'ancrage spécifiques Accès au toit interdit au-dessus de 15 m/s de vent sur une période moyenne de 10 minutes
Accès aux armoires électriques ou aux cellules	Exposition à des pièces nues sous tension =>risque d'électrocution, d'électrisation	<ul style="list-style-type: none"> Port des EPI Habilitation des personnes conforme aux travaux à effectuer Consignation des éoliennes ; séparation ; condamnation + signalisation ; identification ; vérification d'absence de tension ; mise à la terre et en court-circuit (seulement pour la HT)

Conditions climatiques

Phase d'activité particulière	Identification du risque	Mesure de prévention
Conditions climatiques	Tempêtes, Orages, Chute de glace	<ul style="list-style-type: none"> Interdiction de s'approcher de la machine pour le foudroiement, attendre minimum une heure après l'évènement pour s'approcher des machines
Travail dans l'éolienne	Malaise en cas de forte chaleur	<ul style="list-style-type: none"> S'hydrater régulièrement Porter des vêtements de travail adaptés Information des salariés
Travail sur le toit de la nacelle	Insolation / hypothermie	<ul style="list-style-type: none"> Prévoir des vêtements adaptés aux conditions climatiques Porter des lunettes de soleil ainsi qu'une crème de protection S'hydrater suffisamment

Manipulation d'engins et outils spécifiques

Phase d'activité particulière	Identification du risque	Mesure de prévention
Travail avec des machines-outils	Risque mécanique	<ul style="list-style-type: none"> Vérification du bon état des outils Utilisation adéquate des outils Port des EPI appropriés
Travail dans l'éolienne	Outils électroportatifs, ou pneumatiques (perceuse, clé dynamo...)	<ul style="list-style-type: none"> Vérification du bon état de marche du matériel Port des EPI Marquage CE Rangement du matériel à la fin de l'utilisation Enlèvement des déchets et produits utilisés

Travail en hauteur

Phase d'activité particulière	Identification du risque	Mesure de prévention
Travail dans l'éolienne	Travailleur isolé (risque d'accident ou d'incident)	<ul style="list-style-type: none"> • Interdiction d'être seul dans une éolienne ; travail en binôme impératif • Téléphone portable et radio
Travail dans la nacelle	Chute de hauteur, foulure, entorse ...	<ul style="list-style-type: none"> • Fermer la trappe entre la tour et la nacelle • Port des EPI
Travail dans la nacelle	Utilisation du treuil (risque de chute de la personne à l'ouverture de la trappe)	<ul style="list-style-type: none"> • Port du harnais de sécurité et accroche à un point d'ancrage dans la nacelle (matérialisé en jaune) AVANT l'ouverture de la trappe
Travail dans l'éolienne	Chute d'outils ou d'objets (dans la tour, à l'extérieur de la nacelle)	<ul style="list-style-type: none"> • Fermer les trappes de la tour à chaque passage pour éviter la chute d'objet • En cas de travail entre paliers, pas de personnel sur le palier du dessous • Les outils sont montés, soit au treuil, soit à l'échelle dans un sac prévu à cet effet • Port des EPI • Fermeture de la trappe de la nacelle dès la fin de l'utilisation
Travail dans la nacelle	Risque d'écrasement au sol	<ul style="list-style-type: none"> • Balisage de la zone d'évolution du treuil • Utilisation du treuil uniquement par du personnel formé • Respect de la charge maximale autorisée
Travail sur l'ensemble du site	Risque de chute de plein pied	<ul style="list-style-type: none"> • Port des chaussures de sécurité • Port du casque • Port du gilet fluorescent • Ne pas encombrer les voies de circulation • Ne pas se précipiter

Produits utilisés

Phase d'activité particulière	Identification du risque	Mesure de prévention
Travail dans l'éolienne	Risque lié à l'écoulement, au contact et à l'inhalation de produits (huile du transformateur, fluides réfrigérants, huiles, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> • Présence de bacs de rétention dimensionnés pour collecter la totalité des produits, en cas de fuite • Port des EPI • Fiches produits • Rangement du matériel à la fin de l'utilisation • Enlèvement des déchets et produits utilisés
Travail dans le poste de livraison	Risque lié à l'écoulement, au contact et à l'inhalation de produits (huile)	<ul style="list-style-type: none"> • Présence de bacs de rétention, dimensionnés pour collecter la totalité des produits, en cas de fuite • Port des EPI • Fiches produits • Rangement du matériel à la fin de l'utilisation • Enlèvement des déchets et produits utilisés


Installations électriques

Phase d'activité particulière	Identification du risque	Mesure de prévention
Travail dans les cellules des éoliennes	Présence de pièces nues sous tension =>risque d'électrocution / d'électrisation	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation des EPI • Habilitation des personnes • Application des mesures de consignation et le cas échéant attestation de consignation • Etre 2 dans le poste • Balisage de la zone de travail
Accès au poste de livraison	Risque d'électrocution / d'électrisation	<ul style="list-style-type: none"> • La porte doit être fermée en permanence • Accès INTERDIT aux personnes non autorisées • Autorisation d'accès au site délivrée par le chargé d'exploitation du site
Travail dans le poste de livraison	Risque d'électrocution / d'électrisation	<ul style="list-style-type: none"> • Utilisation des EPI • Habilitation des personnes • Autorisation de travail obligatoire avant tous travaux ou interventions à délivrer par le chargé d'exploitation du site • Application des mesures de consignation et le cas échéant attestation de consignation • Etre 2 dans le poste • Balisage de la zone de travail • Suivre procédure de consignation présente dans le PDL • Obtenir l'autorisation de l'exploitant avant d'entrer
Travaux sur site	Risque incendie	<ul style="list-style-type: none"> • Voir les consignes en cas d'incendie (annexe I) • Réalisation d'un permis feu (activité de soudure, perçage...)

Circuits d'évacuation en cas de sinistre

Un plan d'évacuation et de sauvetage est présent en pied d'éolienne et dans la nacelle. Il précise notamment les consignes à tenir en cas d'incendie ou d'accident et localise les issues de secours, les extincteurs et les troussees de secours.

Consignes en cas d'incendie

	<ul style="list-style-type: none"> Point de regroupement : Poste de livraison
	<ul style="list-style-type: none"> Dans le cas d'un départ de feu : utiliser les extincteurs disponibles à proximité du sinistre
	<ul style="list-style-type: none"> Dans le cas d'un incendie déclaré, ne pas combattre le feu, évacuer selon les consignes et les plans d'évacuation 
	<p>Dans tous les cas, contacter les sapeurs-pompiers : 112 ou 18</p> <p>Et dites : <i>Ici parc éolien du Saint-Varentais, communes de Saint-Généroux et Saint-Varent</i></p> <p><u>PRECISEZ LA NATURE DE L'INCENDIE</u> Par exemple : je suis en présence d'un feu d'éolienne au niveau du rotor ... <u>ET LA PRESENCE DE VICTIME</u> : une personne encore dans le mât, à 20 m, Si intervention en hauteur (en nacelle ou dans le mât) précisez-le et demander l'intervention du GRIMP (Groupe de Recherche et d'Intervention en milieux périlleux). <u>FIXER UN POINT DE RENDEZ-VOUS</u> Envoyez quelqu'un à ce point pour guider les secours NE RACCROCHEZ PAS LE PREMIER : Faites répéter le message.</p>
	<ul style="list-style-type: none"> Si vous êtes dans la nacelle, quitter l'éolienne en utilisant l'EPI contre la chute et l'appareil d'évacuation via les points d'accrochage / issues de secours caractérisées Si vous êtes dans la partie inférieure de la tour (travaux sur le convertisseur) il faut quitter l'éolienne via l'échelle vers la porte de sortie L'appareil de secours/de descente en corde ne sera fixé en cas d'urgence avec l'anneau d'accrochage que sur un point d'accrochage caractérisé

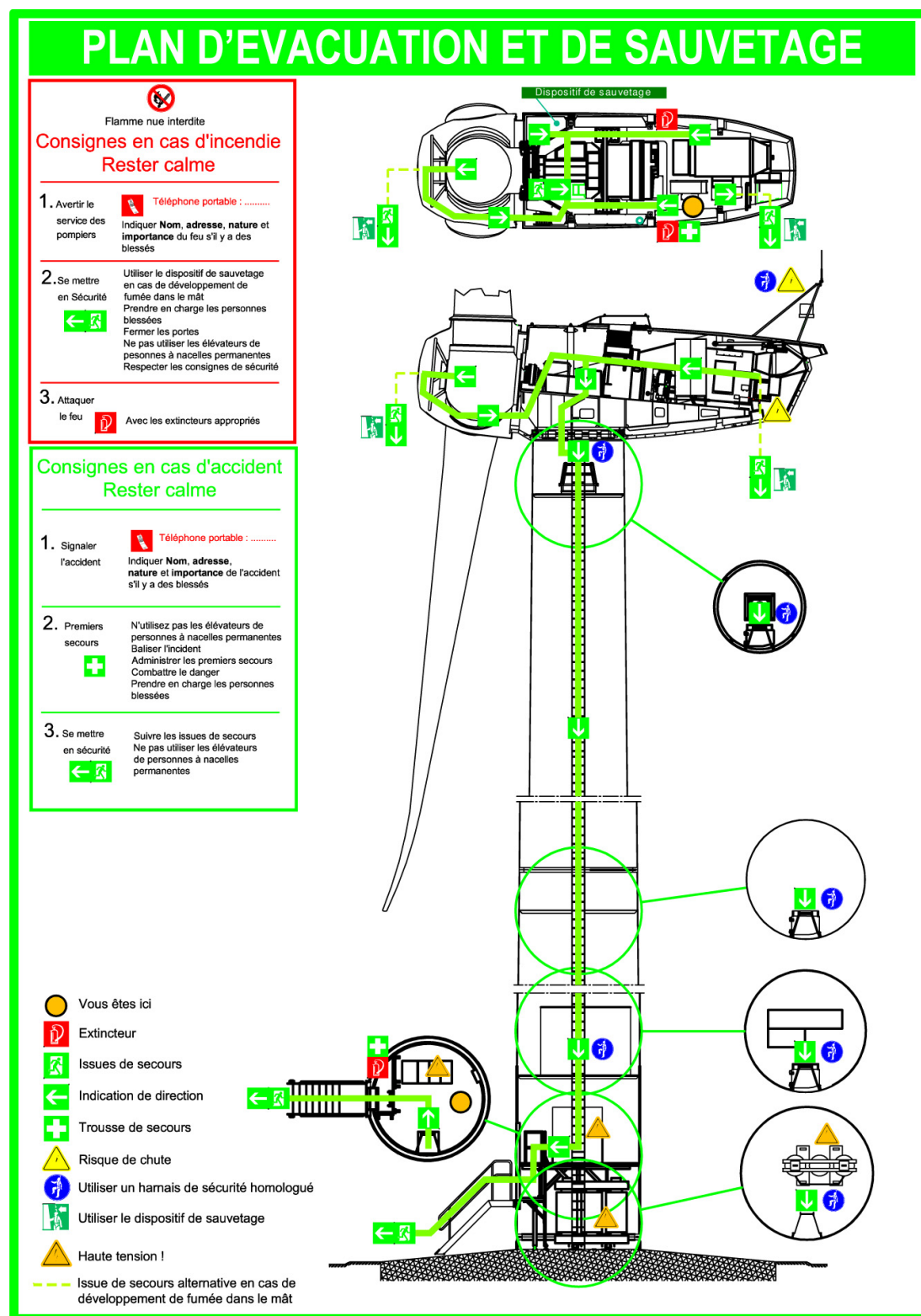
Consignes en cas d'accident

Un kit de premiers secours est disponible dans chaque éolienne.



	<p>Appels en cas d'urgence</p> <p>TELEPHONEZ EN PRIORITE AU : 112 à partir d'un téléphone portable</p> <p>POMPIERS : 18 depuis poste fixe</p> <p>SAMU : 15 depuis un poste fixe</p> <p>POLICE SECOURS : 17 depuis poste fixe</p>
	<p>Et dites : <i>Ici parc éolien du Saint-Varentais, communes de Saint-Généroux et Saint-Varent</i></p> <p><u>PRECISEZ LA NATURE DE L'ACCIDENT</u> Par exemple : asphyxie, chute, blessure,...</p> <p><u>SIGNALEZ LE NOMBRE DE BLESSES ET LEUR ETAT</u> Par exemple : 3 personnes blessées dont une saigne beaucoup et un autre ne parle pas</p> <p><u>ET LA POSITION DU/DES BLESSE(S)</u> : le blessé est au sol, dans l'éolienne à 80 m... et le moyen d'accès. Si intervention en hauteur (en nacelle ou dans le mât) précisez-le aux secours et demander l'intervention du GRIMP (Groupe de Recherche et d'Intervention en milieux périlleux).</p> <p><u>FIXER UN POINT DE RENDEZ-VOUS</u> Envoyez quelqu'un à ce point pour guider les secours</p> <p>NE RACCROCHEZ PAS LE PREMIER : Faites répéter le message.</p>
	<p>CHU Bordeaux Place Amélie Raba Léon 33 076 BORDEAUX CEDEX Tél : +33 (0)5.56.79.56.79 Centre anti-poison le plus proche : Centre anti-poison de Bordeaux : +33 (0)5 56 96 40 80</p>

Exemple de plan d'évacuation et de sauvetage



16. Annexe 5 - Probabilité d'atteinte et Risque individuel

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

17. ANNEXE 6 -Glossaire

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

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

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

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

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

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

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

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

Gravité : On distingue l'intensité des effets d'un phénomène dangereux de la gravité des conséquences découlant de l'exposition d'enjeux de vulnérabilités données à ces effets.

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

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

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

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

- les mesures (ou barrières) de prévention : mesures visant à éviter ou limiter la probabilité d'un événement indésirable, en amont du phénomène dangereux
- les mesures (ou barrières) de limitation : mesures visant à limiter l'intensité des effets d'un phénomène dangereux
- les mesures (ou barrières) de protection : mesures visant à limiter les conséquences sur les enjeux potentiels par diminution de la vulnérabilité.

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

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

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

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

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

Attention aux confusions possibles :

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

SER : Syndicat des Energies Renouvelables

FEE : France Energie Eolienne (branche éolienne du SER)

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

EDD : Etude de dangers

APR : Analyse Préliminaire des Risques

ERP : Etablissement Recevant du Public

18. Annexe 7 - Bibliographie et références utilisées

- [1] L'évaluation des fréquences et des probabilités à partir des données de retour d'expérience (ref DRA-11-117406-04648A), INERIS, 2011
- [2] NF EN 61400-1 Eoliennes - Partie 1 : Exigences de conception, Juin 2006
- [3] Wind Turbine Accident data to 31 March 2011, Caithness Windfarm Information Forum
- [4] Site Specific Hazard Assessment for a wind farm project - Case study - Germanischer Lloyd, Windtest Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH, 2010/08/24
- [5] Guide for Risk-Based Zoning of wind Turbines, Energy research centre of the Netherlands (ECN), H. Braam, G.J. van Mulekom, R.W. Smit, 2005
- [6] Specification of minimum distances, Dr-ing. Veenker ingenieurgesellschaft, 2004
- [7] Permitting setback requirements for wind turbine in California, California Energy Commission - Public Interest Energy Research Program, 2006
- [8] Oméga 10: Evaluation des barrières techniques de sécurité, INERIS, 2005
- [9] Arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement
- [10] Arrêté du 29 Septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation
- [11] Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 Juillet 2003
- [12] Bilan des déplacements en Val-de-Marne, édition 2009, Conseil Général du Val-de-Marne
- [13] Arrêté du 29 Septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation
- [14] Alpine test site Gütisch : monitoring of a wind turbine under icing conditions- R. Cattin et al.
- [15] Wind energy production in cold climate (WECO), Final report - Bengt Tammelin et al. - Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 2000
- [16] Rapport sur la sécurité des installations éoliennes, Conseil Général des Mines - Guillet R., Leteurtois J.-P. - juillet 2004
- [17] Risk analysis of ice throw from wind turbines, Seifert H., Westerhellweg A., Kröning J. - DEWI, avril 2003
- [18] Wind energy in the BSR: impacts and causes of icing on wind turbines, Narvik University College, novembre 2005