

PARC EOLIEN DE CHARNIZAY NORD

PIECE N°8 – Etude de dangers et son Résumé Non Technique

Demande d'Autorisation Environnementale

Pétitionnaire - SAS PARC EOLIEN DE CHARNIZAY NORD



CONTENU DE LA PIECE

	Code de l'environnement	Page
- Etude de dangers	D. 181-13-5° CE	Intégralité

Mai 2022- Version 2

Parc éolien de Charnizay Nord SAS
770 rue Alfred Nobel
34000 Montpellier





PARC EOLIEN DE CHARNIZAY, COMMUNE DE CHARNIZAY (37)

Dossier d'autorisation environnementale

Dossier n°8 - Etude de dangers



Dossier 19050046-V2
09/05/2022

réalisé par



Auddicé
Environnement
Zone Ecoparc
Rue des petites granges
49400 SAUMUR
02 32 32 53 38



PARC EOLIEN DE CHARNIZAY, COMMUNE DE CHARNIZAY (37)

Dossier d'autorisation environnementale

Dossier n°8 - Etude de dangers

Rapport – Version finale

Version	Date	Description
Rapport – Version finale	Janvier 2022	Etude de dangers

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE 1. PREAMBULE	6
1.1 Objectif de l'étude de dangers.....	7
1.2 Contexte législatif et réglementaire	7
1.3 Nomenclature des installations classées	8
1.4 Document de référence, guide technique INERIS/SER FEE	8
CHAPITRE 2. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION.....	9
2.1 Renseignements administratifs	10
2.2 Localisation du site	10
2.3 Définition de l'aire d'étude	10
CHAPITRE 3. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION.....	12
3.1 Environnement humain	13
3.1.1 Zones urbanisées.....	13
3.1.2 Etablissements recevant du public (ERP)	13
3.1.3 Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et installations nucléaires de base	13
3.1.4 Autres activités.....	13
3.2 Environnement naturel.....	15
3.2.1 Contexte climatique	15
3.2.2 Risques naturels	15
3.3 Environnement matériel.....	17
3.3.1 Voies de communication	17
3.3.2 Réseaux publics et privés	17
3.3.3 Autres ouvrages publics	17
3.4 Cartographie de synthèse.....	18
3.4.1 Méthodologie de comptage	18
CHAPITRE 4. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION	20
4.1 Caractéristiques de l'installation	21
4.1.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien	21
4.1.1.1 Eléments constitutifs d'un aérogénérateur	21
4.1.1.2 Emprise au sol.....	21
4.1.1.3 Chemins d'accès.....	22
4.1.2 Activité de l'installation	22
4.1.3 Composition de l'installation.....	22
4.2 Fonctionnement de l'installation.....	25
4.2.1 Principe général du fonctionnement d'un aérogénérateur	25
4.2.2 Découpage fonctionnel de l'installation.....	26
4.2.2.1 Modèle NORDEX N149	26
4.2.2.2 Modèle VESTAS V150.....	27
4.2.3 Caractéristiques techniques	30
4.2.4 Sécurité de l'installation	31
4.2.4.1 Règles de conception et système qualité	31
4.2.4.2 Conformité aux prescriptions de l'arrêté ministériel.....	32
4.2.4.3 Sécurité positive de l'éolienne – redondance des capteurs	32
4.2.4.4 Gestion à distance du fonctionnement des éoliennes	32
4.2.4.5 Dans le cas où le système SCADA est défectueux	33
4.2.4.6 Dans le cas d'une rupture du réseau de fibre optique	33
4.2.4.7 Méthodes et moyens d'intervention.....	33
4.2.5 Opérations de maintenance de l'installation	33
4.2.6 Stockage et flux de produits dangereux.....	34
4.3 Fonctionnement des réseaux de l'installation	35
4.3.1 Raccordement électrique habituel d'un parc éolien.....	35
4.3.1.1 Réseau inter-éolien.....	35
4.3.1.2 Poste de livraison.....	35
4.3.1.3 Réseau électrique externe.....	35
4.3.2 Raccordement électrique du parc.....	35
4.3.3 Autres réseaux	35
CHAPITRE 5. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION.....	36
5.1 Potentiels de dangers liés aux produits.....	37
5.1.1 Inventaire des produits	37
5.1.2 Dangers des produits	37
5.2 Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation	38
5.3 Réduction des potentiels de dangers à la source.....	39
5.3.1 Principales actions préventives.....	39
5.3.1.1 Réduction des dangers liés aux produits	39
5.3.1.2 Réduction des dangers liés aux installations	39
5.3.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles.....	40
CHAPITRE 6. ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE	41
6.1 Inventaire des accidents et incidents en France	42
6.2 Inventaire des accidents et incidents à l'international.....	43
6.3 Inventaire des accidents majeurs sur les sites de l'exploitant.....	44
6.4 Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience	44
6.4.1 Analyse de l'évolution des accidents en France.....	44
6.4.2 Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents	44
6.4.3 Limites d'utilisation de l'accidentologie	44
CHAPITRE 7. ANALYSE PRILIMINAIRE DES RISQUES.....	45
7.1 Objectif de l'analyse préliminaire des risques.....	46
7.2 Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques.....	46
7.3 Recensement des agressions externes potentielles.....	46
7.3.1 Agressions externes liées aux activités humaines	46
7.3.2 Agressions externes liées aux phénomènes naturels	47
7.4 Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques.....	48
7.5 Effets dominos.....	50
7.6 Mise en place des mesures de sécurité.....	50
7.7 Conclusion de l'analyse préliminaire des risques	54
CHAPITRE 8. ETUDE DETAILLEE DES RISQUES	56
8.1 Rappel des définitions	57

8.1.1	Cinétique	57
8.1.2	Intensité.....	57
8.1.3	Gravité	58
8.1.4	Probabilité	58
8.1.5	Acceptabilité.....	59
8.2	Sélection de l'éolienne la plus impactante	60
8.3	Caractérisation des scénarios retenus.....	61
8.3.1	Effondrement de l'éolienne	61
8.3.1.1	Zone d'effet.....	61
8.3.1.2	Intensité.....	61
8.3.1.3	Gravité	61
8.3.1.4	Probabilité.....	62
8.3.1.5	Acceptabilité	62
8.3.2	Chute de glace	63
8.3.2.1	Considérations générales.....	63
8.3.2.2	Zone d'effet	63
8.3.2.3	Intensité.....	63
8.3.2.4	Gravité	63
8.3.2.5	Probabilité.....	64
8.3.2.6	Acceptabilité	64
8.3.3	Chute d'éléments de l'éolienne	64
8.3.3.1	Zone d'effet	64
8.3.3.2	Probabilité.....	65
8.3.3.3	Acceptabilité	65
8.3.4	Projection de pales ou de fragments de pales	66
8.3.4.1	Zone d'effet.....	66
8.3.4.2	Intensité.....	66
8.3.4.3	Gravité	66
8.3.4.4	Probabilité.....	66
8.3.4.5	Acceptabilité	67
8.3.5	Projection de glace	67
8.3.5.1	Zone d'effet.....	67
8.3.5.2	Gravité	68
8.3.5.3	Acceptabilité	68
8.4	Synthèse de l'étude détaillée des risques.....	69
8.4.1	Tableau de synthèse des scénarios étudiés.....	69
8.4.2	Synthèse de l'acceptabilité des risques	69
8.4.3	Cartographie des risques.....	70
CHAPITRE 9.	CONCLUSION	75
CHAPITRE 10.	ANNEXES.....	78
	Annexe 1 – Bibliographie	79
	Annexe 2 - Analyse de conformité à l'arrêté du 26 août 2011	80
	Annexe 3 – Annexes au guide technique INERIS et compléments à l'accidentologie.....	82
	Annexe 4 - Compléments à l'accidentologie de parcs éoliens en France	92

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.	Rubrique des installations classées au titre des ICPE	8
Tableau 2.	Identité du demandeur.....	10
Tableau 3.	Arrêtés de catastrophes naturelles sur la commune de Charnizay	16
Tableau 4.	Modèles d'aérogénérateur	22
Tableau 5.	Découpage fonctionnel de l'installation (Source : Nordex)	27
Tableau 6.	Découpage fonctionnel de l'installation (Source : Vestas)	28
Tableau 7.	Caractéristiques techniques des éoliennes (Source : Nordex/Vestas)	31
Tableau 8.	Raccordement électrique des installations	35
Tableau 9.	Inventaires des produits présents dans une éolienne (D4000-N149 TS125) (Source : Nordex)	37
Tableau 10.	Dangers potentiels d'une éolienne.....	38
Tableau 11.	Agressions externes liées aux activités humaines	46
Tableau 12.	Agressions externes liées aux phénomènes naturels.....	47
Tableau 13.	Analyse générique des risques	49
Tableau 14.	Scénarios exclus de l'étude détaillée	54
Tableau 15.	Grille de cotation en intensité issue du guide technique	57
Tableau 16.	Grille de cotation en gravité de l'arrêté du 29 septembre 2005	58
Tableau 17.	Grille de cotation en probabilité de l'arrêté du 29 septembre 2005.....	58
Tableau 18.	Cotation des risques selon la matrice de criticité de la circulaire du 10 mai 2010	59
Tableau 19.	Degré d'exposition calculé par phénomène et par modèle d'éolienne.....	60
Tableau 20.	Intensité des phénomènes selon le modèle d'éolienne.....	60
Tableau 21.	Zone d'effet selon le modèle d'éolienne.....	60
Tableau 22.	Scénario d'effondrement – Caractéristiques des éoliennes	61
Tableau 23.	Scénario d'effondrement – calcul de l'intensité	61
Tableau 24.	Scénario d'effondrement – cotation de la gravité	61
Tableau 25.	Scénario d'effondrement – acceptabilité du risque.....	62
Tableau 26.	Scénario chute de glace – caractéristiques des éoliennes	63
Tableau 27.	Scénario chute de glace – calcul de l'intensité	63
Tableau 28.	Scénario chute de glace – cotation de la gravité	63
Tableau 29.	Scénario chute de glace – acceptabilité du risque	64
Tableau 30.	Scénario chute d'éléments de l'éolienne – caractéristiques des éoliennes	64
Tableau 31.	Scénario chute d'éléments de l'éolienne – calcul de l'intensité	65
Tableau 32.	Scénario chute d'éléments de l'éolienne – cotation de la gravité	65
Tableau 33.	Scénario chute d'éléments de l'éolienne – acceptabilité du risque	65
Tableau 34.	Scénario projection de pales ou de fragments de pales – caractéristiques des éoliennes	66
Tableau 35.	Scénario projection de pales ou de fragments de pales – calcul de l'intensité.....	66
Tableau 36.	Scénario projection de pales ou de fragments de pales – cotation de la gravité.....	66
Tableau 37.	Probabilité de rupture de tout ou partie de pale et valeurs retenues	66
Tableau 38.	Scénario projection de pales ou de fragments de pales – acceptabilité du risque	67
Tableau 39.	Scénario projection de glace – caractéristique des éoliennes.....	67
Tableau 40.	Scénario projection de glace – calcul de l'intensité.....	68
Tableau 41.	Scénario projection de glace – cotation de la gravité.....	68

Tableau 42. Scénario projection de glace – acceptabilité du risque	68
Tableau 43. Synthèse de la cotation des risques – étude détaillée.....	69
Tableau 44. Cotation des risques selon la matrice de criticité de la circulaire du 10 mai 2010.....	69

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Schéma simplifié d'un aérogénérateur.....	21
Figure 2. Illustration des emprises au sol d'une éolienne	22
Figure 3. Modèle N149 (source : Nordex).....	23
Figure 4. Modèle V150 (source : Vestas)	24
Figure 5. Description installation V150 (Source : Vestas)	28
Figure 6. Répartition des évènements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et 2020	42
Figure 1. Répartition des évènements accidentels dans le monde entre 2000 et 2020	43
Figure 2. Répartition des causes premières d'effondrement.....	43
Figure 3. Répartition des causes premières de ruptures de pales.....	43
Figure 4. Répartition des causes premières d'incendie	43
Figure 5. Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées	44

LISTE DES CARTES

Carte 1. Localisation du projet	11
Carte 2. Distance du projet aux habitations	14
Carte 3. Carte des enjeux	19
Carte 4. Carte des risques – Eolienne E1	71
Carte 5. Carte des risques – Eolienne E2	72
Carte 6. Carte des risques – Eolienne E3	73
Carte 7. Carte des risques – Eolienne E4	74

CHAPITRE 1. PREAMBULE

1.1 Objectif de l'étude de dangers

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par Eurocape New Energy pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du parc éolien de Charnizay sur la commune de Charnizay (37 290), 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 de Charnizay. 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 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 prédispositions techniques et organisationnelles dans l'arrêté d'autorisation ;
- Informer le public dans la meilleure transparence possible en lui fournissant des éléments d'appréciation clairs sur les risques.

1.2 Contexte législatif et réglementaire

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

L'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations 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. Les atteintes à l'environnement, l'impact sur le fonctionnement des radars et les

problématiques liées à la circulation aérienne feront l'objet d'une évaluation détaillée au sein de l'étude d'impact.

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

Selon le principe de proportionnalité, le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation, compte tenu de son environnement et de sa vulnérabilité. Ce contenu est conforme à la méthodologie habituelle :

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

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.

1.3 Nomenclature des installations classées

Un parc éolien est classé au titre de la loi relative aux Installations classées pour la protection de l'environnement¹.

Le décret n° 2011-984 du 23 août 2011 modifiant la nomenclature des installations classées inscrit les éoliennes terrestres au régime des Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) par la rubrique suivante :

Rubrique	Libellé de l'installation	Classement	Rayon d'affichage
2980	Installation terrestre de production à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs : 1. Comprenant au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m	A : Autorisation	6 km
	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 : Autorisation	6 km
	b) inférieure à 20 MW	D : Déclaration	-

Tableau 1. Rubrique des installations classées au titre des ICPE

Le parc éolien de Charnizay, dont les éoliennes ont une hauteur de mât au sens ICPE (mât + rotor) de 200 m, est soumis 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 environnementale.

1.4 Document de référence, guide technique INERIS/SER FEE

Cette étude se base sur le guide technique « Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens » version de mai 2012, qui a été réalisé par un groupe de travail constitué de l'INERIS et de professionnels du Syndicat des énergies renouvelables. Dans la suite de l'étude, ce guide sera appelé « guide technique ».

« Il s'agit d'un document de type nouveau dans son approche, qui a pour vocation d'accompagner les différents acteurs de l'éolien (porteurs de projets, exploitants, services de l'Etat, associations, etc.) dans la démarche d'évaluation des risques potentiels liés à un parc éolien. Compte tenu de la technologie mise en œuvre dans les parcs éoliens, il apparaissait possible et souhaitable de traiter cette analyse de manière générique, afin de pouvoir transcrire les résultats présentés dans ce guide à l'ensemble des parcs éoliens installés en France.

Ainsi, ce guide est le reflet de l'état de l'art en matière de maîtrise des risques technologiques pour les parcs éoliens, en l'état actuel des connaissances des experts ayant participé à son élaboration. Si d'autres techniques ou méthodes apparaissent à l'avenir, elles seraient étudiées en détail et intégrées à l'analyse menée dans ce guide. »

Dans le cadre de cette étude, de nombreux paragraphes génériques ont été repris directement de ce guide technique.

¹Loi N°76-663 du 19 juillet 1976 modifiée, Code de l'environnement (Art. L511-1)

CHAPITRE 2. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

2.1 Renseignements administratifs

Raison sociale	PARC EOLIEN DE CHARNIZAY NORD
Forme juridique	Société par Actions Simplifiée - SAS
Capital social	100 euros
Siège social	770 rue Alfred Nobel 34000 MONTPELLIER
SIREN	890978984

Tableau 2. Identité du demandeur

Société de projet / Maître d'ouvrage : **SAS Parc éolien de Charnizay Nord**, filiale d'EUROCAPE NEW ENERGY

Maître d'œuvre : **Eurocape New Energy**, 770 rue Alfred Nobel, 34000 MONPELLIER

Etude de dangers réalisée par le bureau d'études Auddicé environnement,

AUTEXIER Sarah : Ingénieur environnement

Auddicé environnement Val de Loire

Virginie MATHYS : Cartographe SIG

Zac Eco parc

Rue des Petites Granges

49400 SAUMUR

Tél : 02 41 51 98 39

2.2 Localisation du site

Le parc éolien de Charnizay, composé de 4 aérogénérateurs et d'1 poste de livraison, est localisé dans le département de l'Indre-et-Loire (37), en région Centre-Val-de-Loire.

Cf. Carte 1, Localisation du projet, p.11

2.3 Définition de l'aire d'étude

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

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

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 de la présente étude ont en effet montré l'absence d'effet à l'extérieur du poste de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant les affecter.

L'aire d'étude (périmètre de 500 m de rayon autour des éoliennes) du parc se situe sur les communes suivantes :

- Charnizay (37) ;
- Saint-Flovier (37).

Cf. Carte 1, Localisation du projet, p.11

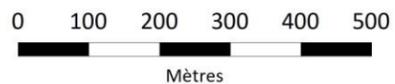
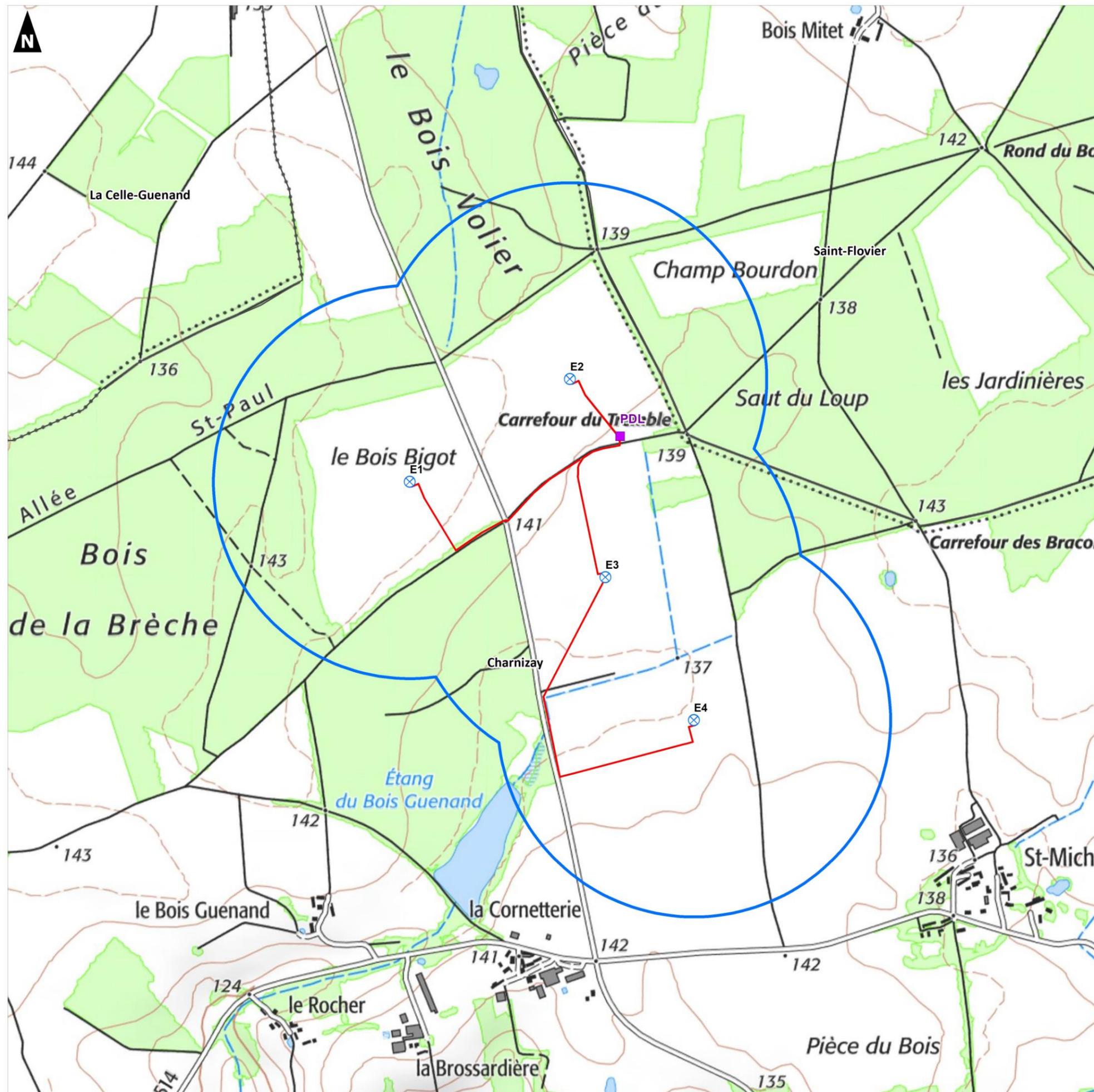
□ Limites communales

PROJET :

⊗ Eolienne projetée

■ Poste de livraison

— Raccordement électrique interne



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

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

3.1 Environnement humain

3.1.1 Zones urbanisées

La description du milieu humain à proximité (communes, nombre d'habitants, etc.) est réalisée dans l'état initial de l'étude d'impact.

De même, l'analyse de la conformité du projet avec le document d'urbanisme a également été réalisée dans l'étude d'impact.

Le projet est en accord avec le Règlement national d'urbanisme (RNU) de Charnizay, qui ne possède aucun document d'urbanisme.

Cf. Dossier n°5- Etude d'impact sur l'environnement

Les habitations les plus proches des éoliennes sont les habitations et hameaux suivants :

Eolienne la plus proche	Distance par rapport à l'éolienne la plus proche	Lieu-dit	Commune
E1	1078 m	Le Bois Guenand	Charnizay
E2	1133 m	Bois Mitet	Saint-Flovier
E3	972 m	La Cornetterie	Charnizay
E4	722 m 737 m	La Cornetterie Saint-Michel	Charnizay

Cf. Carte 2, Distance du projet aux habitations, p.14

Le parc éolien se situe en zone agricole. Les mâts d'éoliennes sont situés à au moins 722 m de toute construction à usage d'habitation, de tout immeuble habité, ainsi que de toute zone constructible.

Conformément à l'article 3 de l'arrêté du 26 août 2011, l'installation est implantée de telle sorte que les aérogénérateurs soient situés à une distance minimale de 500 m 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.

3.1.2 Etablissements recevant du public (ERP)

Aucun ERP n'est situé dans l'aire d'étude.

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

Aucun établissement SEVESO ni aucun périmètre d'effet, ni aucune Installation classée pour la protection de l'environnement (ICPE) ne se situe dans l'aire d'étude de 500 m autour des éoliennes.

3.1.4 Autres activités

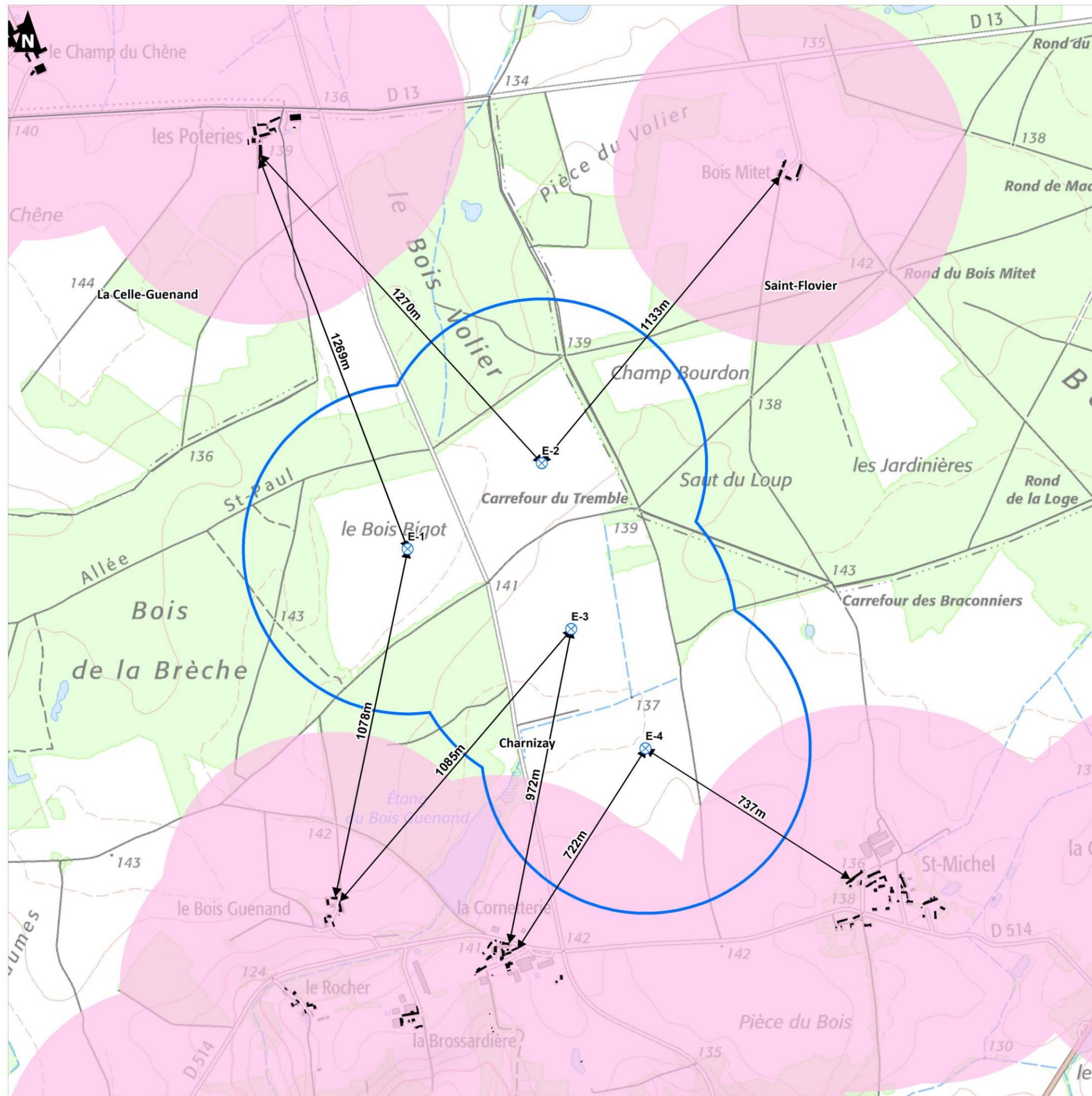
L'aire d'étude est principalement occupée par des parcelles agricoles qui ne sont pas aménagées pour l'accueil du public. On retiendra toutefois l'hypothèse de quelques promeneurs occasionnels.

On note également la présence de boisements dans l'aire d'étude des 500 m, qui ne sont pas non plus aménagés pour l'accueil du public. Comme pour les parcelles agricoles, on retiendra l'hypothèse de quelques promeneurs occasionnels.

Aucune autre activité (industrielle, commerciale ou de loisirs) n'est présente dans l'aire d'étude de 500 m.

Distance du projet aux habitations

-  Eoliennes projetées
-  Aire d'étude (500 m)
-  Limite communale
-  Distance (m)
-  Zone d'habitation
-  Zone tampon de 500 m autour des zones urbanisées les plus proches



3.2 Environnement naturel

Les paragraphes ci-dessous sont étudiés dans l'état initial de l'étude d'impact. Nous en reprenons les principales conclusions.

3.2.1 Contexte climatique

Le secteur du projet bénéficie d'un climat à dominance océanique dégradé. C'est un climat principalement océanique mais qui peut subir des influences continentales venant de l'Est de l'Europe.

La station météorologique de Châteauroux (36) située à une soixantaine de kilomètres à l'est du projet, indique :

- Une pluviométrie annuelle moyenne de 61,4 mm répartis sur 114 jours par an (> 1mm) ;
- Une température moyenne de 11,8 °C, avec janvier et février comme les mois les plus froids (T°C moy : 1,3°C) et juillet et août les mois le plus chauds (T°C moy : 20,7°C).
- 50,8 jours de gel par an (température minimale < 0°C),
- 49 jours par an avec des rafales de vent de vitesse supérieure à 16 m/s (57 km/h) et 1,1 jour avec des rafales de vent de vitesse supérieure à 28 m/s (101 km/h).
- Phénomènes climatiques (nombre moyen de jours par an) :
 - 37,8 jours de brouillard,
 - 17,6 jours d'orage,
 - 1,4 jours de grêle,
 - 6 jours de neige répartis sur 4 mois de l'année
Nota : Aucun nombre moyen annuel n'est calculé pour ce phénomène climatique. Seuls 4 mois de l'année comptabilisent des chutes de neige : janvier (2,6 jours), février (3 jours), mars (1,2 jours) et avril (0,2 jour).

Dans le cadre du projet éolien de Charnizay, un mât de mesure spécifique au projet a été installé pour déterminer les vitesses de vent. Celui-ci a été installé en octobre 2019 et retiré en octobre 2021.

La vitesse mesurée à la future hauteur de mât (125m) est de 6.41m/s.

3.2.2 Risques naturels

■ Risque sismique

En vertu de l'article D. 563-8-1 du Code de l'environnement, la commune du parc éolien, Charnizay, est classée en zone de sismicité 1 (très faible).

■ Risque foudre

La densité de foudroiement dans les communes du département de l'Indre-et-Loire est de 0,5 coup/km²/an, parmi les valeurs les plus faibles sur le territoire national.

La hauteur des éoliennes (pale + mât) augmente cependant le risque de foudroiement.

■ Risque feu de forêt

La commune de Charnizay n'est pas concernée. Toutefois des boisements se trouvent à proximité du projet. La sensibilité au risque de feu de forêt est donc considérée comme très faible.

■ Risques tempête

On parle de tempête lorsque les vents moyens dépassent 89 km/h durant 10 mn (soit 48 nœuds, degré 10 de l'échelle de Beaufort). Les rafales peuvent atteindre 130 à 140 km/h.

L'aléa « tempête » est un aléa peu fréquent dans la Région Centre-Val-de-Loire.

La station de Châteauroux compte 49 jours au cours avec des rafales de vents d'une vitesse supérieure à 57 km/h et 1,1 jour avec des rafales de vents d'une vitesse supérieure à 101 km/h (Cf. § 15*ci-contre*).

■ Risques géotechniques et mouvements de terrain

• Mouvements de terrain

Aucun mouvement de terrain n'est recensé dans l'aire d'étude de 500 m autour du projet² et les communes ne sont pas recensées comme étant soumises à ce risque.

²Source : Base de données nationale des risques naturels en France métropolitaine (« <http://www.georisques.gouv.fr> »)

- **Cavités**

Aucune cavité n'est recensée au niveau du projet ni à proximité³.

- **Aléa « Retrait gonflement des argiles »**

D'après le site Internet du BRGM, l'emprise de la ZIP se situe en zone d'aléa moyen à fort.

L'étude géotechnique viendra confirmer l'absence de risque dans le cadre du dimensionnement des fondations.

- **Risque inondation**

L'emprise du projet présente une sensibilité variable au « inondation par remontée de nappe »³. La zone ouest de la ZIP est concernée par un risque potentiel d'inondation de caves.

- **Arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle**

Le tableau suivant présente la liste des arrêtés de reconnaissance de catastrophe naturelle pour la commune de Charnizay (seule commune concernée par l'implantation des éoliennes) :

Événement recensé	Début de l'événement	Fin de l'événement
Inondations, coulées de boue et mouvement de terrain	25/12/1999	29/12/1999
Inondations et coulées de boue	08/12/1982	31/12/1982
Mouvement de terrain consécutif à la sécheresse	01/01/1991	31/12/1991
	01/01/1992	31/04/1993
Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols	01/05/1993	31/08/1996
	01/09/1996	30/09/1998
	01/10/2018	31/12/2018

Tableau 3. Arrêtés de catastrophes naturelles sur la commune de Charnizay (Source : Etude d'impact sur l'environnement)

La commune de Charnizay a ponctuellement été concernée par des arrêtés de catastrophes naturelles.

Il s'agit en majorité d'évènements liés à des mouvements de terrain (5 évènements recensés). La commune a aussi été touchée en 1999 par les tempêtes Lothar et Martin.

A noter que plus récemment, le 22 juin 2021, un séisme de magnitude 2,9 sur l'échelle de Richter a touché le sud de la Touraine. L'épicentre du séisme était localisé sur la commune de Ferrière-Larçon. Celui-ci a été ressenti sur les communes limitrophes (Betz-le-Château, Ligueil).

Cet évènement n'a pas fait l'objet d'arrêté de catastrophe naturelle.

³Source : Base de données nationale des risques naturels en France métropolitaine (« <http://www.georisques.gouv.fr> »)

3.3 Environnement matériel

3.3.1 Voies de communication

■ Transport routier

Les voies de circulation routière qui traversent l'aire d'étude des 500m sont :

- Des chemins d'exploitation agricole,
- La route communale menant de Charnizay à Sainte-Julitte.

Au-delà de la zone d'étude deux axes principaux sont présents : Les départementales D41 et D514. Aucune donnée n'est disponible concernant le trafic sur ces axes, mais l'hypothèse retenue, compte-tenu de la nature des infrastructures, est celle d'une fréquentation inférieure à 2 000 véhicules/jour.

■ Transport ferroviaire

L'aire d'étude du projet n'est concernée par aucune voie ferrée.

■ Transport fluvial

L'aire d'étude du projet n'est concernée par aucune voie navigable.

■ Transport aérien

La Direction générale de l'Aviation civile (DGAC) ne formule aucune objection au projet pour des éoliennes d'une hauteur sommitale de 200 m.

L'Armée de l'air a émis des recommandations par rapport à l'aéroport de Tours - Val de Loire. EUROCAPE respectera les recommandations des forces armées pour l'implantation des éoliennes (soit une hauteur finale maximale à 266m NGF). Le radar présent sur l'aéroport doit néanmoins disparaître en 2021.

■ Randonnées pédestres

Dans l'aire d'étude de 500 m autour des éoliennes, un chemin de randonnée (inscrit au Plan départemental des itinéraires de promenade et de randonnée (PDIPR)) sillonne la ZIP en partie est sur un axe nord-sud, à proximité des éoliennes E3 et E4.

3.3.2 Réseaux publics et privés

Aucun ouvrage de transport de gaz ou d'électricité ne passe à côté du projet.

3.3.3 Autres ouvrages publics

Aucun autre ouvrage public (barrages, digues, château d'eau, bassin de rétention) n'est présent sur la zone d'étude.

Un étang est recensé dans le secteur sud de l'aire d'étude. Ce n'est pas un ouvrage aménagé.

3.4 Cartographie de synthèse

3.4.1 Méthodologie de comptage

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

Cf. Chapitre 10, ANNEXES, p.78

Ainsi, pour chaque phénomène dangereux identifié, nous comptabiliserons l'ensemble des personnes présentes dans la zone d'effet correspondante.

Dans chaque zone couverte par les effets d'un phénomène dangereux issu de l'analyse de risques, nous identifierons les ensembles homogènes (ERP, zones habitées, zones industrielles, commerces, voies de circulation, terrains non bâtis...) et nous en déterminerons la surface (pour les terrains non bâtis, les zones d'habitat) et/ou la longueur (pour les voies de circulation et chemins de randonnée).

Hypothèses de travail

- **Concernant les zones agricoles**, elles sont constituées d'éléments disparates : champs, voies de circulation non structurantes (chemins d'exploitation et chemins ruraux faiblement fréquentés) et une voie communale.

Selon la circulaire :

- Un champ est classé terrain non aménagé et très peu fréquenté. Compter 1 personne par tranche de 100 ha.
- Les voies de circulation non structurantes sont classées en terrains aménagés mais peu fréquentés. Compter 1 personne par tranche de 10 ha.
 - Pour simplifier l'analyse, nous ne différencierons pas les différents éléments et nous classerons donc les zones agricoles en terrains aménagés mais peu fréquentés (catégorie la plus majorante quant aux victimes potentielles), donc 1 personne par tranche de 10 ha.
- **Concernant les boisements**, ils n'ont pas vocation de loisirs et ne sont pas aménagés en tant que tels. Comme les zones agricoles, nous les classerons donc en terrains aménagés mais peu fréquentés.
 - Aucun boisement (à vocation de loisirs ou aménagés) n'est localisé dans l'aire d'étude.
- **Pour les voies de communication**, conformément au guide technique, elles n'ont à être prises en considération que si elles sont empruntées par un nombre significatif de personnes, les voies de

circulation non structurantes (inférieures à 2 000 véhicules/jour) étant déjà comptées dans la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés.

- Aucune voie structurante n'emprunte l'aire d'étude.

- **Les chemins de randonnée** sont des chemins piétonniers à prendre en compte. Concernant la fréquentation du chemin de randonnée qui passe à proximité, nous retenons l'hypothèse d'une fréquentation inférieure ou égale à 100 promeneurs/jour en moyenne, ce qui correspondrait à 36 500 promeneurs par an.

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

- Des chemins de randonnées inscrits au PDIPR de l'Indre-et-Loire emprunte l'aire d'étude de l'étude de dangers et notamment à proximité des éoliennes E2 et E3.

Toutes les hypothèses sont majorantes vis-à-vis du comptage du nombre de victimes potentielles.

Les différents enjeux identifiés précédemment apparaissent sur la carte des enjeux présentée ci-après.

Cf. Carte 3, Carte des enjeux, p.19

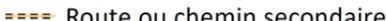
Le détail des calculs pour l'aire d'étude de 500 m figure quant à lui ici :

Cf. Tableau 37, Scénario projection de pales ou de fragments de pales – cotation de la gravité, p.66

-  Eolienne projetée
-  Poste de livraison
-  Raccordement électrique interne
-  Fondation
-  Batiment du poste de livraison
-  Aire du poste de livraison
-  Aire de grutage
-  Aire de stockage temporaire
-  Virage créé
-  Contre virage
-  Chemin créé

ENJEUX :

Réseau routier :

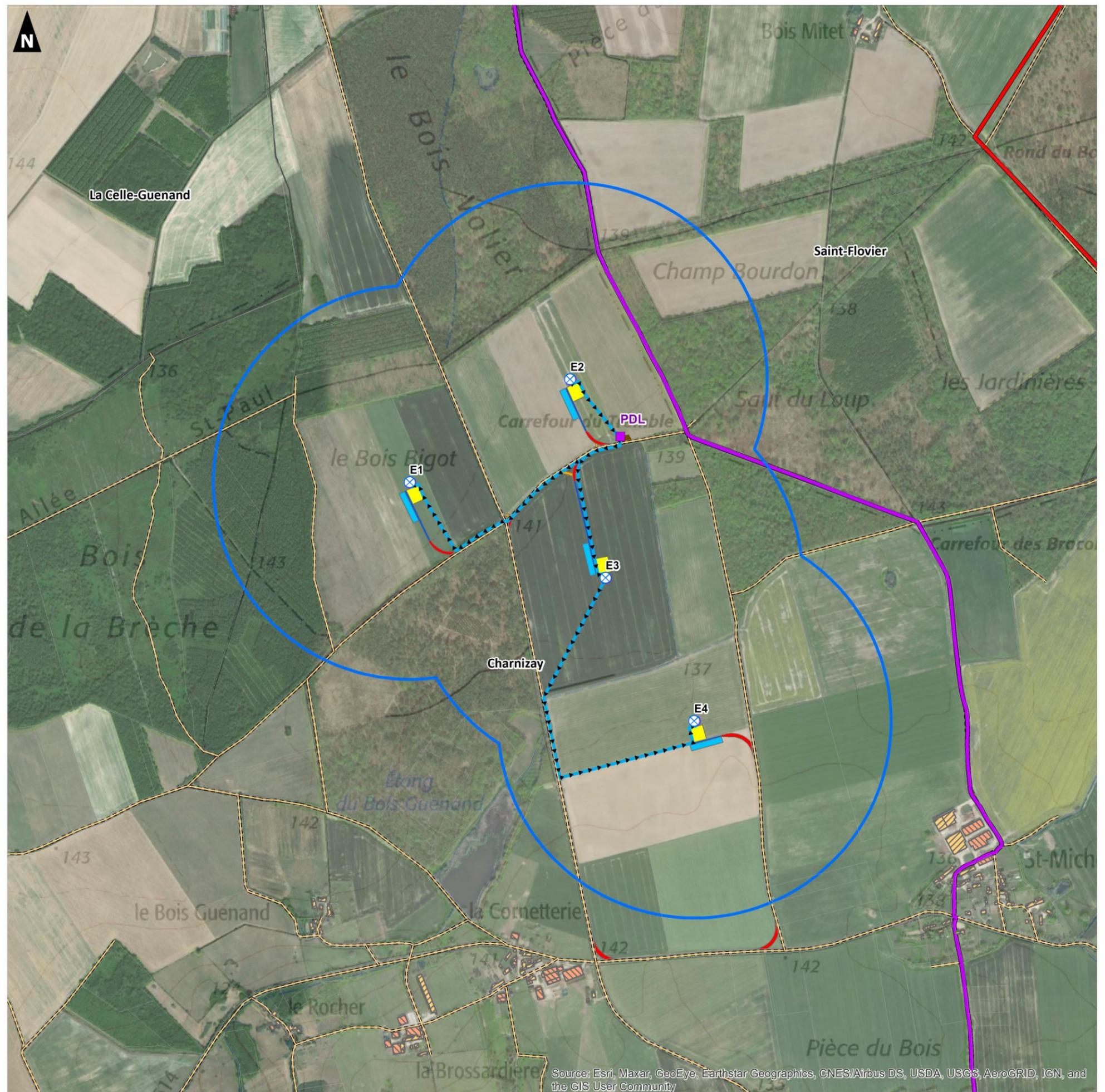
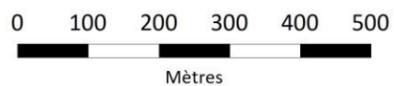
-  Route ou chemin secondaire

Chemins de randonnée :

-  Circuit de Grande Randonnée de Pays Touraine Sud
-  Chemins de randonnée 37 (PDIPR)

Zones urbanisées :

-  Bâti dur
-  Bâti léger
-  Limites communales
-  Limites cadastrales



CHAPITRE 4. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

4.1 Caractéristiques de l'installation

4.1.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien

Cf. §4.2, Fonctionnement de l'installation, p.25

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

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

4.1.1.1 Éléments constitutifs d'un aérogénérateur

Au sens de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent au sein d'une installation soumise à autorisation au titre de la rubrique 2980 de la législation des installations classées pour la protection de l'environnement, les aérogénérateurs (ou éoliennes) sont définis comme un dispositif mécanique destiné à convertir l'énergie du vent en électricité, composé des principaux éléments suivants : un mât, une nacelle, le rotor auquel sont fixées les pales, ainsi qu'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 4 à 6 tronçons en acier (parfois plus) ou 15 à 20 anneaux de béton surmonté d'un ou plusieurs tronçons en acier. Dans la plupart des éoliennes, il abrite le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique
- **La nacelle** abrite plusieurs éléments fonctionnels :
 - 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 aérienne.

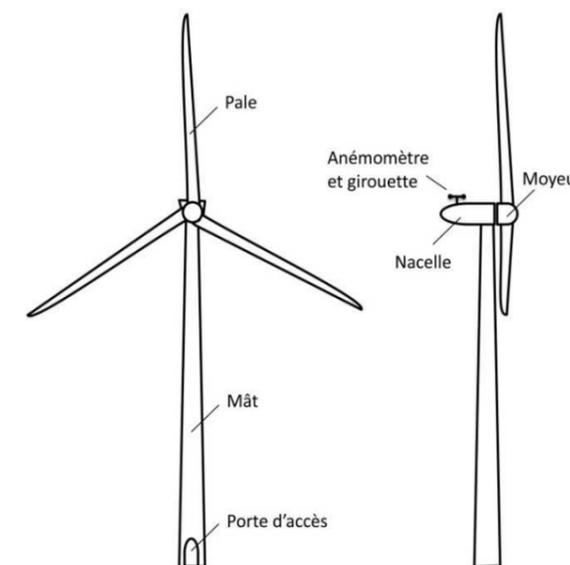


Figure 1. Schéma simplifié d'un aérogénérateur

4.1.1.2 Emprise au sol

Plusieurs emprises au sol sont nécessaires pour la construction et l'exploitation d'un parc éolien :

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

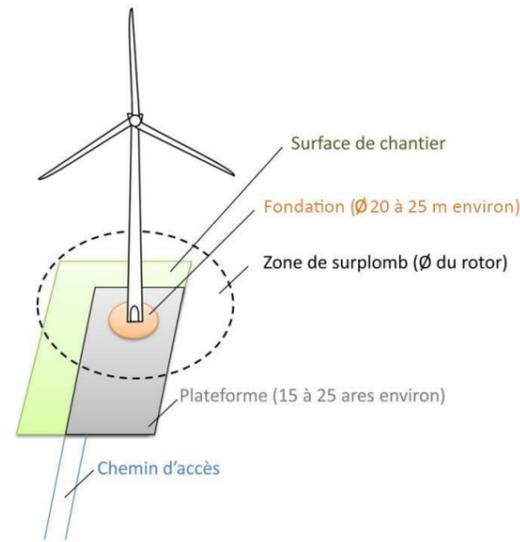


Figure 2. Illustration des emprises au sol d'une éolienne

4.1.1.3 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 construction 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 d'exploitation existants pour une surface de 4425 m² ;
- En complément de nouveaux chemins d'accès pour desservir les éoliennes sont créés sur une surface totale de 5584 m². Des virages doivent également être aménagés sur le site et au niveau du chemin emprunté par les convois exceptionnels sur 6658 m². Le tout fait 12 242 m².

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

Cf. §1.3, Nomenclature des installations classées, p.8

L'activité du parc éolien de Charnizay est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent. Cette installation est soumise à la rubrique 2980 des Installations classées pour la protection de l'environnement.

4.1.3 Composition de l'installation

Le parc éolien de Charnizay est composé de 4 éoliennes et d'un poste de livraison.

Afin de garantir le principe de mise en concurrence des fabricants d'éoliennes, aucun choix définitif de fabricant ne sera présenté dans ce dossier, et les dimensions des machines sont données ici en gabarit.

Le porteur de projet à envisager un gabarit d'éolienne aux caractéristiques dimensionnelles suivantes :

- Un rotor de 150 m diamètre maximum ;
- Une hauteur au moyeu de 125 m ;
- Une hauteur en bout de pale de 200 m maximum,
- Une garde au sol de 50 m minimum.

Les dimensions plancher et plafond visées ci-dessus définissent ainsi l'enveloppe étudiée à laquelle devra se conformer le modèle de turbine finalement sélectionnée une fois l'autorisation obtenue.

Deux types de gabarit sont retenus :

- Le gabarit a
- Le gabarit b

Afin de procéder à l'analyse comparative des deux gabarits, deux modèles reprenant ces caractéristiques ont été étudiés. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

Modèle d'éolienne	Gabarit a	Gabarit b
	Nordex N149	Vestas V150
Puissance	4,5 MW	4,2 MW
Vitesse maximale avant coupure	20 m/s	20 m/s
Hauteur au moyeu	125,4 m	125 m
Longueur de pale	72,4 m	73 m
Diamètre du rotor	149,1 m	150 m
Hauteur totale en bout de pale	199,9 m	200 m
Largeur à la base du mât	4,3 m	4,3 m
Largeur maximale d'une pale	3 m	4 m

Tableau 4. Modèles d'aérogénérateur

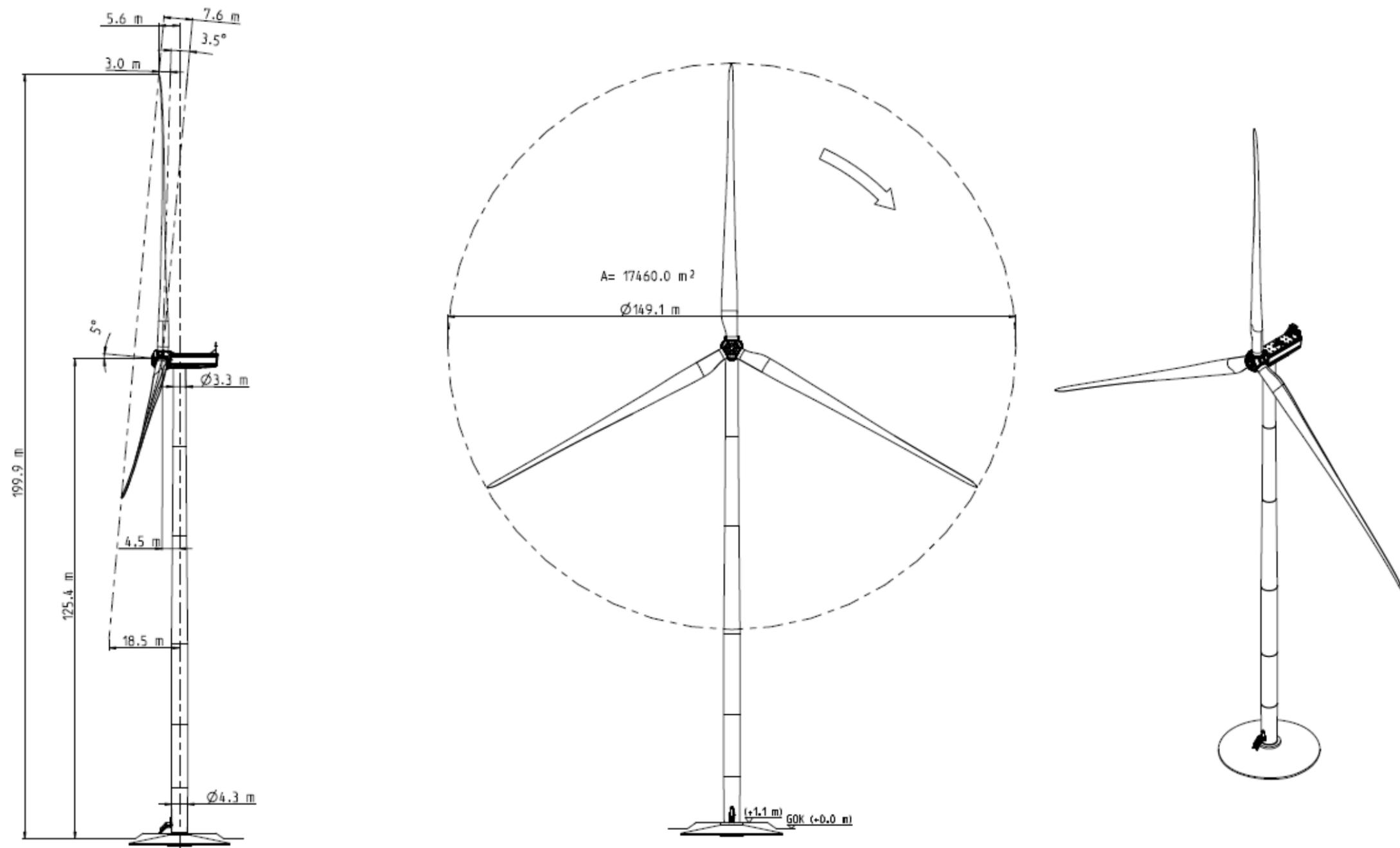


Figure 3. Modèle N149 (source : Nordex)

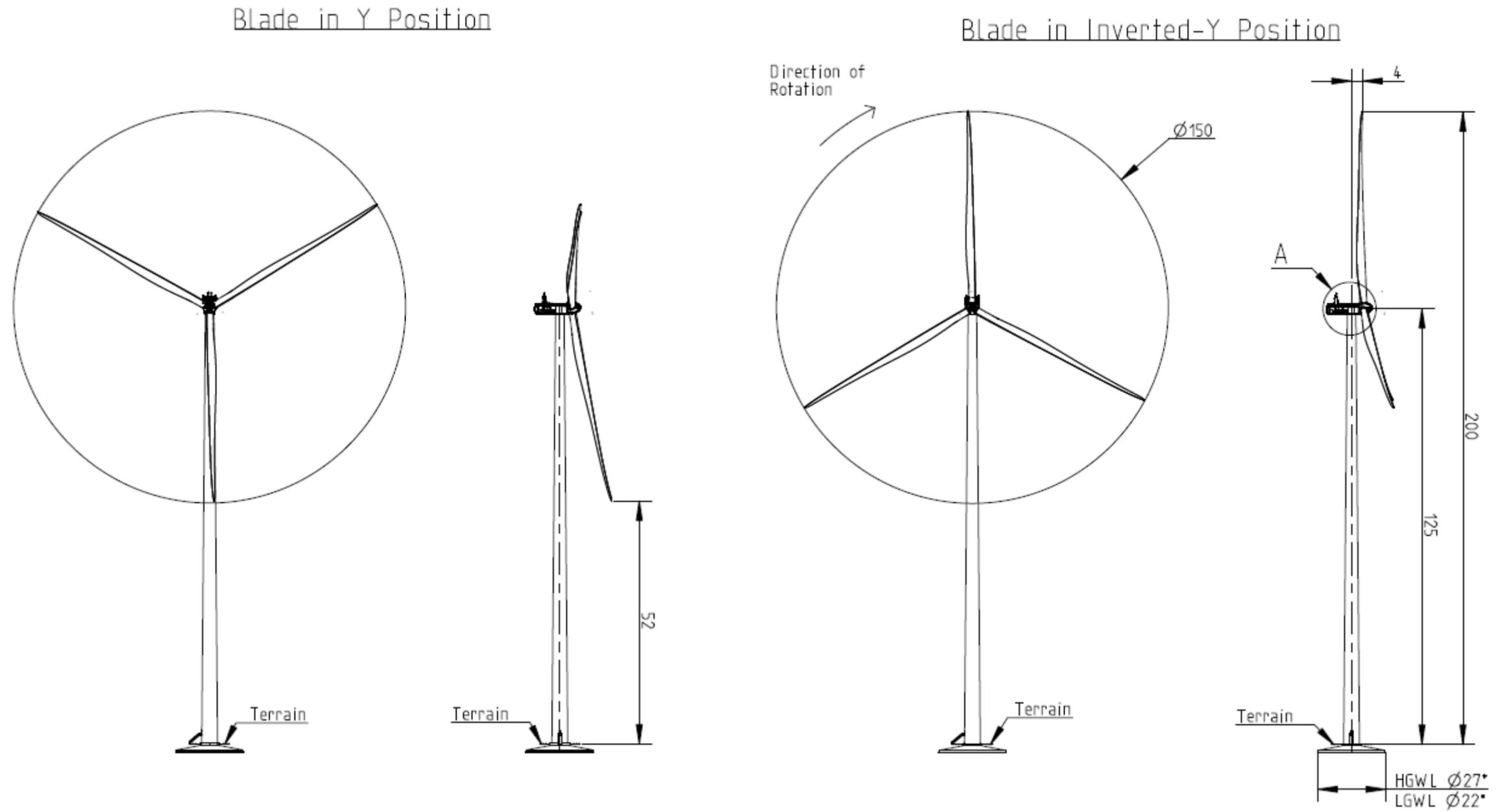


Figure 4. Modèle V150 (source : Vestas)

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

Nom de l'installation	Lambert 93 (m)		WGS 84		Altitude du terrain naturel (m NGF)	Altitude au sommet de l'infrastructure (m NGF)
	X	Y	E	N		
E1	546185,57	6652365,48	0°58'38.1940"	46°57'13.5439"	142	342
E2	546593,35	6652626,66	0°58'57.1746"	46°57'22.3445"	141	341
E3	546683,21	6652122,67	0°59'2.0364"	46°57'6.0887"	138	338
E4	546908,66	6651759,37	0°59'13.1428"	46°56'54.5035"	138	338
PDL	546719,34	6652480,79	0°59'3.3133"	46°57'17.7224"	140	143,4

Tableau 5. Coordonnées des éoliennes et du poste de livraison

Les différents aérogénérateurs, le poste de livraison, les plateformes, les chemins d'accès et les réseaux enterrés sont représentés sur les plans réglementaires du Dossier de Demande d'Autorisation Environnementale.

Cf. DDAE - Dossier 11 et 12 - Plan de situation et plans d'ensemble

4.2 Fonctionnement de l'installation

4.2.1 Principe général du fonctionnement d'un aérogénérateur

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

Les pales se mettent en mouvement lorsque l'anémomètre (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 2 m/s, et c'est seulement à partir de 3 m/s 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 14 tr/min) aux engrenages du multiplicateur, dont l'arbre dit « rapide » tourne environ 100 -120 fois plus vite que l'arbre lent. 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 10 m/s (36 km/h) à hauteur de nacelle, l'éolienne fournit sa puissance maximale. Cette puissance est dite « nominale ».

Pour un aérogénérateur de 4,5 MW, la production électrique atteint 4500kWh dès que le vent atteint 10 m/s. La plage de vitesse de rotation du rotor est de 6,4 à 12,3 tours/min, dans le cas du rotor de type a (Nordex N149) par exemple.

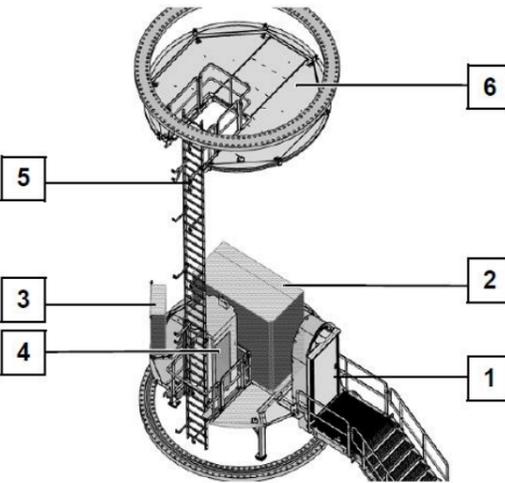
L'électricité produite par la génératrice correspond à un courant alternatif de fréquence 50 Hz avec une tension de 660 V. La tension est ensuite élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur placé dans chaque éolienne pour être ensuite injectée dans le réseau électrique public.

Lorsque la mesure de vent, indiquée par l'anémomètre dépasse la vitesse maximale de fonctionnement (ici 20 m/s), 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. Ce frein mécanique n'est activé que par un arrêt d'urgence ou pour les besoins d'une opération de maintenance.

4.2.2 Découpage fonctionnel de l'installation

4.2.2.1 Modèle NORDEX N149

Fondations	La construction des fondations dépend de la nature du sol du site d'implantation prévu. Pour l'ancrage du mât, une cage d'ancrage est bétonnée dans les fondations. Le mât et la cage d'ancrage sont vissés ensemble.						
Tour / mât	<p>Pour l'ensemble des éoliennes du parc, le mât est une tour tubulaire composée de plusieurs sections en acier couverte d'un revêtement époxy (protection anti-corrosion) et de peinture acrylique, d'une hauteur de 125 m ou 123m, équipée à son sommet d'une nacelle qui s'oriente en permanence en direction du vent. Le mât comporte des plateformes intermédiaires et est équipé d'une échelle pourvue d'un système antichute (rail), de plateformes de repos et d'un élévateur de personnel.</p>  <p><i>Fig. 1 Overview of the bottom section in a tubular steel tower, tower plates not shown</i></p> <table border="0"> <tr> <td>1 Tower access</td> <td>2 MV switchgear</td> <td>3 Control cabinet</td> </tr> <tr> <td>4 Tower service lift</td> <td>5 Ladder path</td> <td>6 Flange platform</td> </tr> </table>	1 Tower access	2 MV switchgear	3 Control cabinet	4 Tower service lift	5 Ladder path	6 Flange platform
1 Tower access	2 MV switchgear	3 Control cabinet					
4 Tower service lift	5 Ladder path	6 Flange platform					
Nacelle	Une vue d'ensemble de la nacelle est présentée sur l'illustration suivante :						

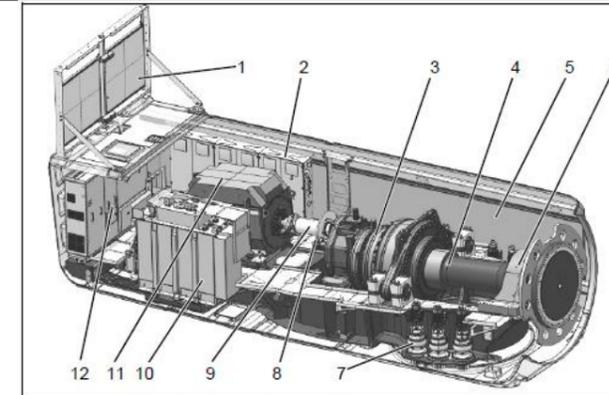


Abb. 2: Schematic diagram of the nacelle

- | | |
|-------------------|----------------|
| 1 Passive cooler | 7 Yaw drives |
| 2 Switch cabinet | 8 Rotor brake |
| 3 Gearbox | 9 Coupling |
| 4 Rotor shaft | 10 Transformer |
| 5 Nacelle housing | 11 Generator |
| 6 Rotor bearing | 12 Converter |

La couronne d'orientation : La direction du vent est mesurée de manière continue à hauteur de moyeu par deux appareils indépendants. L'un d'entre eux est un appareil ultrasonique. Tous les anémomètres sont chauffés. Si la direction du vent relevée diffère du positionnement de la nacelle d'une valeur supérieure à la valeur limite, la nacelle est réorientée via quatre entraînements constitués d'un moteur électrique, d'un engrenage planétaire à plusieurs niveaux et de pignons d'entraînement. Les freins d'orientation sont activés.

Le train d'entraînement transmet le mouvement de rotation du rotor à la génératrice.

L'arbre du rotor transmet les forces radiales et axiales du rotor au châssis machine.

Le roulement du rotor contient un dispositif de verrouillage mécanique du rotor.

Un multiplicateur : il augmente la vitesse de rotation au niveau nécessaire pour la génératrice. L'huile du multiplicateur assure non seulement la lubrification mais aussi le refroidissement du multiplicateur. La température des roulements du multiplicateur et de l'huile est surveillée en permanence

Une frette de serrage qui relie entre eux l'arbre de rotor et le multiplicateur.

Un coupleur : il compense les décalages entre multiplicateur et génératrice. Une protection contre les surcharges (limitation prédéfinie de couple) est montée sur l'arbre de la génératrice. Elle empêche la transmission de pics de couple qui peuvent avoir lieu dans la génératrice en cas de panne de réseau. Le coupleur est isolé électriquement.

La génératrice : La transformation de l'énergie éolienne en énergie électrique s'effectue grâce à une génératrice asynchrone à double alimentation de 4500 kW à 50 Hz. Elle est maintenue à une température de fonctionnement optimale grâce au circuit de refroidissement. Son stator est directement relié au réseau du parc éolien, son rotor l'est via un convertisseur de fréquence à commande spéciale.

	<p><u>Le transformateur électrique</u> (permettant d'élever la tension de 660 Volts en sortie de la génératrice à 20 000 Volts dans le réseau inter-éolien) est installé à l'arrière sur le flanc droit de la nacelle. Il remplit les conditions de classe de protection incendie F1.</p> <p><u>Le convertisseur de fréquence</u> est situé à l'arrière de la nacelle. Grâce à un système générateur-convertisseur à régime variable, les pics de charge et pointes de surtension sont limités.</p> <p><u>Le circuit de refroidissement</u> : multiplicateur, génératrice, convertisseur sont refroidis via un échangeur air/eau couplé avec un échangeur eau/huile pour le multiplicateur.</p> <p>Tous les systèmes sont conçus de manière à garantir des températures de fonctionnement optimales même en cas de températures extérieures élevées. La température de chaque roulement de multiplicateur, de l'huile du multiplicateur, des bobinages et des roulements de la génératrice ainsi que du réfrigérant est contrôlée en permanence et en partie de manière redondante par le système contrôle-commande.</p> <p><u>Les freins</u> : L'éolienne est équipée d'un frein aérodynamique disposant de deux niveaux de freinage. Ce frein est déclenché par rotation des pales. Il peut être couplé à un deuxième système de freinage mécanique disposant lui aussi de deux niveaux de freinage.</p>
--	--

Rotor	<p>Le rotor permet de convertir l'énergie cinétique du vent en mouvement de rotation de l'éolienne. Il est composé de trois pales, d'un moyeu de rotor, de trois roulements et de trois entraînements pour l'orientation des pales.</p> <p><u>Le moyeu du rotor</u> est une construction en fonte modulaire et rigide. Le roulement d'orientation de pale et la pale sont montés dessus.</p> <p><u>Les pales</u> d'une longueur de 72,4 à 73 mètres. Elles sont constituées de deux moitiés collées ensemble. Le matériau du noyau de cette construction à plusieurs couches est en balsa et mousse de PVC. Le profil aérodynamique des pales résiste bien aux salissures et à la glace, ce qui permet une réduction des pertes de puissance. Chaque pale est pourvue d'une pointe en aluminium qui dévie le courant de foudre par un câble en acier vers le moyeu du rotor. Les pales sont fixées au roulement d'orientation du système Pitch à l'aide de boulons en T.</p> <p><u>Le système à pas variable</u> place les pales du rotor dans les positions définies par la commande. Chaque pale est commandée et entraînée séparément par un entraînement électromagnétique avec moteur triphasé, un engrenage planétaire, et une unité de commande avec convertisseur de fréquence et alimentation électrique de secours. Le système à pas variable est le frein principal de l'éolienne. Les pales se tournent ainsi de 90° pour le freinage, ce qui interrompt la portance et crée une grande résistance de l'air provoquant ainsi le freinage du rotor (frein aérodynamique).</p>
--------------	--

Tableau 6. Découpage fonctionnel de l'installation (Source : Nordex)

4.2.2.2 Modèle VESTAS V150

Fondations	<p><u>Fonction</u> : Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol</p> <p><u>Description</u> : Le massif de fondation est composé de béton armé et conçu pour répondre aux prescriptions de l'Eurocode 2. Les fondations ont entre 3 et 5 mètres d'épaisseur pour un diamètre de l'ordre d'une vingtaine de mètres. Ceci représente une masse de béton d'environ 1 000 tonnes. Un insert métallique disposé au centre du massif sert de fixation pour la base de la tour. Il répond aux prescriptions de l'Eurocode 3.</p> <p>Cette structure doit répondre aux calculs de dimensionnement des massifs qui prennent en compte les caractéristiques suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Le type d'éolienne ; - La nature des sols ; - Les conditions météorologiques extrêmes ; - Les conditions de fatigue.
-------------------	--

Tour / mât	<p><u>Fonction</u> : Supporter la nacelle et le rotor</p> <p><u>Description</u> : La tour des éoliennes (également appelée mât) est constituée de plusieurs sections tubulaires en acier, de plusieurs dizaines de millimètres d'épaisseur et de forme tronconique, qui sont assemblées entre elles par brides. Fixée par une bride à l'insert disposé dans le massif de fondation, la tour est autoportante.</p> <p>La hauteur de la tour, ainsi que ses autres dimensions, sont en relation avec le diamètre du rotor, la classe des vents, la topologie du site et la puissance recherchée.</p> <p>La tour a avant tout une fonction de support de la nacelle mais elle permet également le cheminement des câbles électriques de puissance et de contrôle et abrite :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Une échelle d'accès à la nacelle ; - Un élévateur de personnes ; - Une armoire de contrôle et des armoires de batteries d'accumulateurs (en point bas) ; - Les cellules de protection électriques. <p><u>Tension dans les câbles présents dans la tour</u> : Jusqu'à 20 000 V.</p>
-------------------	---

Nacelle	<p><u>Fonction :</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Supporter le rotor - Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité <p><u>Description :</u> La nacelle se situe au sommet de la tour et abrite les composants mécaniques, hydrauliques, électriques et électroniques, nécessaires au fonctionnement de l'éolienne (voir figure ci-après).</p> <p>Elle est constituée d'une structure métallique habillée de panneaux en fibre de verre, et est équipée de fenêtres de toit permettant d'accéder à l'extérieur.</p> <p>Le système de refroidissement Vestas CoolerTop™ assure le refroidissement des principaux éléments de l'éolienne et sert également de support pour les balisages lumineux et les capteurs de vent (voir la photo ci-après). Ces capteurs à ultrasons mesurent en permanence la vitesse et la direction du vent.</p> <p>Une sonde de température extérieure est placée sous la nacelle et reliée au contrôle commande.</p> <p>La nacelle n'est pas fixée de façon rigide à la tour. La partie intermédiaire entre la tour et la nacelle constitue le système d'orientation, appelé « yaw system », permettant à la nacelle de s'orienter face au vent, c'est-à-dire de positionner le rotor dans la direction du vent (l'orientation du rotor est forcée).</p> <p>Le système d'orientation est constitué de plusieurs dispositifs motoréducteurs solidaires de la nacelle, dont les arbres de sortie comportent un pignon s'engrenant sur une couronne dentée solidaire de la tour. Ces dispositifs permettent la rotation de la nacelle et son maintien en position face au vent. La vitesse maximum d'orientation de la nacelle est de moins de 0,45 degrés par seconde soit environ une vingtaine de minutes pour faire un tour complet.</p> <p>Afin d'éviter une torsion excessive des câbles électriques reliant la génératrice au réseau public, il existe un dispositif de contrôle de rotation de la nacelle. Celle-ci peut faire 3 à 5 tours de part et d'autre d'une position moyenne. Au-delà, un dispositif automatique provoque l'arrêt de l'éolienne, le retour de la nacelle à sa position dite « zéro », puis la turbine redémarre.</p> <p><u>Tension dans les armoires électriques :</u> Entre 0 et 1 200 V.</p>
---------	---

Tableau 7. Découpage fonctionnel de l'installation (Source : Vestas)

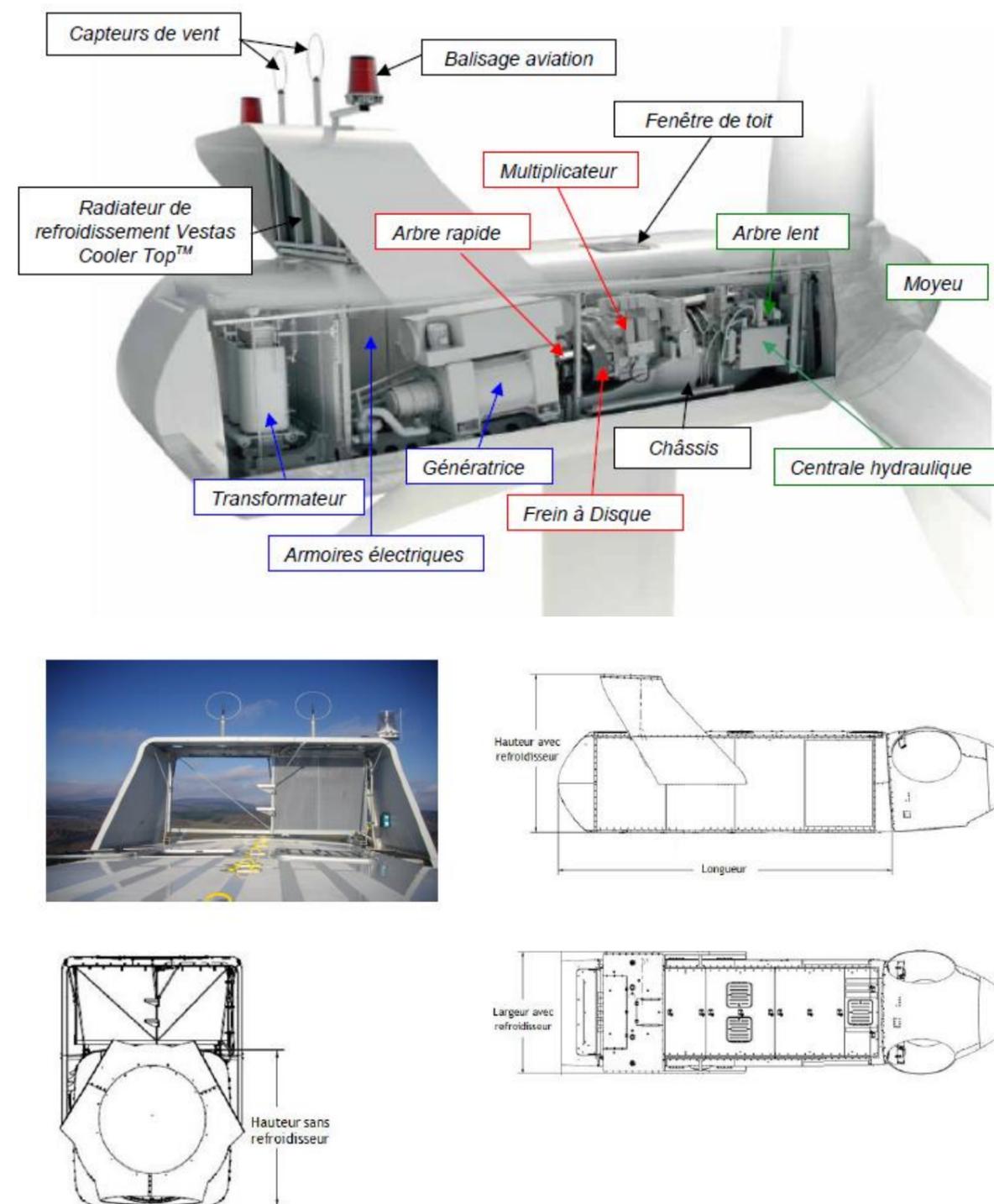


Figure 5. Description installation V150 (Source : Vestas)

Rotor	<p>Fonction : Capturer l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice</p> <p>Description : Les rotors Vestas sont composés de trois pales fixées au moyeu via des couronnes à deux rangées de billes et double contact radial. La rotation du rotor permet de convertir l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique. Elle est transmise à la génératrice via le multiplicateur.</p> <p>Les pales peuvent pivoter d'environ 90 degrés sur leur axe grâce à des vérins hydrauliques montés dans le moyeu. La position des pales est alors ajustée par un système d'inclinaison, appelé «Vestas Pitch System». Ainsi, les variations de vitesse de vents sont constamment compensées par l'ajustement de l'angle d'inclinaison des pales. Le « Vestas Pitch System » est conçu pour optimiser au maximum la production de l'éolienne.</p> <p>Dans le cas où la vitesse de vent devient trop importante, risquant d'amener une usure prématurée des divers composants ou de conduire à un emballement du rotor, le « Vestas Pitch System » ramène les pales dans une position où elles offrent le moins de prise au vent, dite « en drapeau », conduisant à l'arrêt du rotor (freinage aérodynamique). Ce système comprend également la présence d'accumulateurs hydropneumatiques disposés au plus près des vérins. Ces accumulateurs permettent, même en cas de perte du système de contrôle, de perte d'alimentation électrique ou de défaillance du système hydraulique, de ramener les pales en drapeau.</p> <p>Chaque pale est indépendante et équipée de son propre pitch system afin de garantir un calage continu même en cas de dysfonctionnement du contrôle commande.</p> <p>Plusieurs notions caractérisent les pales :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La longueur, fonction de la puissance désirée ; - La corde (largeur maximale), fonction du couple nécessaire au démarrage et de celui désiré en fonctionnement ; - Les matériaux, fonction de la résistance souhaitée. - La géométrie de la pale est légèrement vrillée autour de son axe longitudinal pour un meilleur rendement.
--------------	---

Multiplicateur (Gearbox)	<p>Fonction : Multiplier la vitesse de rotation issue de l'arbre lent</p> <p>Description : Le rotor est directement relié à un arbre de transmission appelé « arbre lent ». Cet arbre, qui tourne à la vitesse du rotor est connecté au multiplicateur. Le multiplicateur (Gearbox) permet de multiplier la vitesse de rotation d'un facteur compris entre 100 et 120 selon les modèles, de telle sorte que la vitesse de sortie (« arbre rapide ») est d'environ 1 450-1 550 tours par minute.</p> <p>Le dispositif de transmission entre l'arbre rapide et la génératrice (coupling) est un dispositif flexible, réalisé en matériau composite afin de compenser les défauts d'alignement mais surtout afin de constituer une zone de moindre résistance et de pouvoir rompre en cas de blocage d'un des deux équipements.</p> <p>Sur l'arbre rapide du multiplicateur est monté un disque de frein, à commande hydraulique, utilisé pour l'arrêt de la turbine en cas d'urgence.</p>
---------------------------------	---

Générateur et transformateur	<p>Fonction :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Produire de l'énergie électrique à partir d'énergie mécanique - Elever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau <p>Description : Les éoliennes sont équipées d'un système générateur/transformateur fonctionnant à vitesse variable (et donc à puissance mécanique fluctuante).</p> <p>Le générateur est ici de type synchrone délivrant un courant alternatif sous 750 V à vitesse nominale. Un système de conversion appelé « Grid Streamer™ converter » permet d'assurer la régulation du fonctionnement du générateur et la qualité du courant produit. Il permet d'alimenter le transformateur élévateur de tension en courant alternatif 50 Hz sous 750 V.</p> <p>Cette tension est élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur sec, puis réglée par des dispositifs électroniques de façon à pouvoir être compatible avec le réseau public. Le transformateur est localisé dans une pièce fermée à l'arrière de la nacelle.</p> <p>Un câble relie ensuite la nacelle et les cellules de protection du réseau, disposées dans une armoire en partie basse de la tour. Il s'agit de cellules à isolation gazeuse (SF₆) qui permettent une séparation électrique de l'éolienne par rapport aux autres machines du champ éolien en cas d'anomalie (court-circuit, surtension, défaut d'isolement, ...).</p> <p>Le refroidissement du générateur et du dispositif de conversion est effectué par une boucle d'eau.</p>
-------------------------------------	---

Connexion au réseau électrique public	Fonction : Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public.
	Description : Les éoliennes d'un même champ éolien sont ensuite raccordées au réseau électrique de distribution (Enedis ou régies) ou de transport (RTE) via un ou plusieurs postes de livraison. Ces postes font ainsi l'interface entre les installations et le réseau électrique.
	Chaque poste est équipé d'appareils de comptage d'énergie indiquant l'énergie soutirée au réseau mais également celle injectée. Il comporte aussi la protection générale dont le but est de protéger les éoliennes et le réseau inter-éolien en cas de défaut sur le réseau électrique amont.
	Les liaisons électriques entre éoliennes et poste(s) de livraison sont assurées par des câbles souterrains.
	Tension en sortie du transformateur des éoliennes : 20kV
	Tension dans les câbles de raccordement au poste de livraison : 20kV

4.2.3 Caractéristiques techniques

Eolienne		Nordex N149	Vestas V150
Conditions climatiques	Température ambiante de survie	-40 °C à +50 °C	-40 °C à +50 °C
	Arrêter	-20 °C, redémarrage à -18 °C	-20 °C, redémarrage à -18 °C . >45°C
	Certificat	Norme CEI 61400-1	Norme CEI 61400-1
Conception technique	Puissance nominale	4,5 MW	4,2 MW
	Régulation de puissance	Variation active de pale individuelle	Variation active de pale individuelle
	Diamètre du rotor	149,1 m	150 m
	Hauteur du moyeu	125,4 m	125 m
	Concept de l'installation	Boite de vitesse, vitesse de rotation variable	Boite de vitesse, vitesse de rotation variable
	Plage de vitesse de rotation du rotor	6,4 à 12,3 tours par min	4,9-12,0 tours/min
Rotor <i>Capte l'énergie mécanique du vent et la transmette à la génératrice</i>	Type	Orientation active des pales face au vent	Orientation active des pales face au vent ; OptiTip
	Sens de rotation	Sens horaire	Sens horaire
	Nombre de pales	3	3

Eolienne		Nordex N149	Vestas V150
	Surface balayée	17 460 m ²	17 671 m ²
	Contrôle de vitesse	Variable via microprocesseur	Variable via microprocesseur
	Contrôle de survitesse	Pitch électro motorisé indépendant sur chaque pale	Pitch électro motorisé indépendant sur chaque pale ; Système de contrôle VMP8000 active le « full feathering »
	Matériau des pales	Plastique renforcé à la fibre de verre et de carbone	Plastique renforcé à la fibre de verre et de carbone
Nacelle <i>Supporte le rotor et abrite le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice, etc.) ainsi que les dispositifs de contrôle et de sécurité</i>	Arbre de rotor <i>Transmet le mouvement de rotation des pales</i>	Entraîné par les pales	Entraîné par les pales
	Multiplicateur <i>Augmente le nombre de rotation de l'arbre</i>	Engrenage planétaire à plusieurs étages + étage à roue dentée droite ou entraînement différentiel Tension nulle	Engrenage planétaire à plusieurs étages + étage hélicoïdale Tension nulle
	Génératrice <i>Produit l'électricité</i>	Générateur triphasé synchrone à double alimentation Tension de 660 / 690 V	Générateur triphasé synchrone à double alimentation Tension de 660 / 690 V
Système de freinage	Frein principal aérodynamique	Orientation individuelle des pales par activation électromécanique avec alimentation de secours	Orientation individuelle des pales par activation électromécanique avec alimentation de secours
	Frein auxiliaire mécanique	Frein à disque à actionnement actif sur l'arbre rapide	Frein à disque à actionnement actif sur l'arbre rapide

Eolienne		Nordex N149	Vestas V150
Mât <i>Supporte le rotor et la nacelle</i>	Type	Tubulaire en acier	Tubulaire en acier
	Nombre de sections	6	6
	Protection contre la corrosion	Revêtements multicouches résine époxy	Revêtements multicouches résine époxy
	Fixation du pied du mât	Cage d'ancrage noyée dans le béton de fondation	Cage d'ancrage noyée dans le béton de fondation
Transformateur <i>Elève la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau</i>	Caractéristiques	Situé en nacelle Tension de 20kV à la sortie	Situé en nacelle Tension de 20kV à la sortie
Fondation <i>Ancre et stabilise le mât dans le sol</i>	Type	En béton armé, de forme octogonale	En béton armé, de forme octogonale
	Dimensions	Design adapté en fonction des études géotechnique et hydrogéologique réalisées avant la construction	Design adapté en fonction des études géotechnique et hydrogéologique réalisées avant la construction
Périodes de fonctionnement	1,1 à 3 m/s	Un automate, informé par une girouette, commande aux moteurs d'orientation de placer l'éolienne face au vent	Un automate, informé par une girouette, commande aux moteurs d'orientation de placer l'éolienne face au vent
	Environ 3 m/s	Le vent est suffisant pour générer de l'électricité. L'éolienne peut être couplée au réseau électrique	Le vent est suffisant pour générer de l'électricité. L'éolienne peut être couplée au réseau électrique
	> 3 m/s	La génératrice délivre un courant électrique alternatif, dont l'intensité varie en fonction de la vitesse du vent	La génératrice délivre un courant électrique alternatif, dont l'intensité varie en fonction de la vitesse du vent
	L'éolienne fournit sa puissance nominale. Cette dernière est maintenue constante grâce à une réduction progressive de la portance des pales. La plage de fonctionnement est dépendante de la puissance nominale de la turbine	13 à 26 m/s	10 à 24,5 m/s
Poste de livraison <i>Adapte les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public</i>	Caractéristiques	Equipé de différentes cellules électriques et automates qui permettent la connexion et la déconnexion du parc éolien au réseau 20 kV	Equipé de différentes cellules électriques et automates qui permettent la connexion et la déconnexion du parc éolien au réseau 20 kV

Tableau 8. Caractéristiques techniques des éoliennes (Source : Nordex/Vestas)

4.2.4 Sécurité de l'installation

4.2.4.1 Règles de conception et système qualité

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

Les aérogénérateurs installés font l'objet d'évaluations de conformité (tant lors de la conception que lors de la construction), de certifications de type (certifications CE) par un organisme agréé et de déclarations de conformité aux standards et directives applicables. Les équipements projetés répondront aux normes internationales de la Commission électrotechnique internationale (CEI) et Normes françaises (NF) homologuées relatives à la sécurité des éoliennes, et notamment :

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

D'autres normes de sécurité sont applicables :

- La génératrice est construite suivant le standard IEC60034 et les équipements mécaniques répondent aux règles fixées par la norme ISO81400-4.
- La protection foudre de l'éolienne répond au standard IEC61400-24 et aux standards non spécifiques aux éoliennes comme IEC62305-1, IEC62305-3 et IEC62305-4.
- La Directive 2004/108/EC du 15 décembre 2004 relative aux réglementations qui concernent les ondes électromagnétiques.
- Le traitement anticorrosion des éoliennes répond à la norme ISO 9223.

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

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

4.2.4.2 Conformité aux prescriptions de l'arrêté ministériel

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

Cela concerne notamment :

- L'éloignement de 500 mètres de toute construction à usage d'habitation, de tout immeuble habité ou de toute zone destinée à l'habitation telle que définie dans les documents d'urbanisme opposables en vigueur au 13 juillet 2010 et de 300 mètres d'une installation nucléaire,
- L'implantation de façon à ne pas perturber de manière significative le fonctionnement des radars et des aides à la navigation utilisés dans le cadre des missions de sécurité de la navigation aérienne et de sécurité météorologique des personnes et des biens,
- La présence d'une voie d'accès carrossable entretenue permettant l'intervention des services d'incendie et de secours,
- Le respect des normes suivantes : norme NF EN 61 400-1 (version de juin 2006) ou CEI 61 400-1 (version de 2005) ou toute norme équivalente en vigueur dans l'Union européenne,
- L'installation conforme aux dispositions de l'article R. 111-38 du code de la construction et de l'habitation,
- Le respect des normes suivantes : norme IEC 61 400-24 (version de juin 2010), normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NFC 13-100 (version de 2001) et NFC 13-200 (version de 2009),
- L'installation conforme aux dispositions de la directive du 17 mai 2006 susvisée qui leur sont applicables,
- Le balisage de l'installation conformément aux dispositions prises en application des articles L. 6351-6 et L.6352-1 du code des transports, des articles R. 243-1 et R. 244-1 du code de l'aviation civile, et de l'arrêté du 23 avril 2018 relatif à la réalisation du balisage des obstacles à la navigation aérienne,
- Le maintien fermé à clé des accès à l'intérieur de chaque aérogénérateur, du poste de transformation, de raccordement ou de livraison, afin d'empêcher les personnes non autorisées d'accéder aux équipements,
- L'affichage visible des prescriptions à observer par les tiers sur un panneau sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, sur le poste de livraison et, le cas échéant, sur le poste de raccordement,
- La réalisation d'essais d'arrêt permettant de s'assurer du fonctionnement correct de l'ensemble des équipements avant la mise en service industrielle des aérogénérateurs,

- L'interdiction d'entreposage à l'intérieur de l'aérogénérateur de matériaux combustibles ou inflammables,
- La description détaillée des différents systèmes de sécurité de l'installation sera quant à elle effectuée au stade de l'analyse préliminaire des risques.

Cf. § 7.6, Mise en place des mesures de sécurité, p.50.

Cf. Annexe 2 - Analyse de conformité à l'arrêté du 26 août 2011, p.80

4.2.4.3 Sécurité positive de l'éolienne – redondance des capteurs

L'éolienne est équipée d'un grand nombre de capteurs, par mesure de sécurité, la totalité de ceux pouvant avoir un impact sur l'intégrité structurelle de la turbine sont redondants. Les capteurs concernés sont par exemple les capteurs de température, de vitesse de vent, de vitesse de rotation...

Ainsi, si l'un d'eux est défaillant, le second prendra le relais et relayera l'information par le biais du système de supervision (SCADA) monitoré 24 h sur 24 et 7 jours sur 7.

4.2.4.4 Gestion à distance du fonctionnement des éoliennes

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

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

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

De plus, les éoliennes sont équipées d'un système de contrôle à distance des données. La supervision peut s'effectuer à distance depuis un PC équipé d'un navigateur Internet et d'une connexion ADSL ou RNIS. Un logiciel de supervision est utilisé (SCADA – Supervising Control And Data Acquisition).

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

4.2.4.5 Dans le cas où le système SCADA est défectueux

Le réseau SCADA permet le contrôle à distance du fonctionnement des éoliennes. Ainsi, chaque éolienne dispose de son propre SCADA relié lui-même à un SCADA central qui a pour objectif principal :

- De regrouper et permettre la visualisation du parc éolien dans sa globalité
- De permettre l'envoi de commande au parc éolien. L'automate SCADA se chargera de relayer la commande aux éoliennes concernées

Ainsi en cas de dysfonctionnement (survitesse, échauffement) ou d'incident (incendie), l'exploitant est immédiatement informé et peut réagir.

Dans le cas d'un dysfonctionnement du système de SCADA central, le contrôle de commande des éoliennes à distance est maintenu puisque ces machines disposent d'un SCADA qui leur est propre. Le seul inconvénient est qu'il faut donner l'information à chacune des éoliennes du parc. Dans le cas d'un dysfonctionnement du système SCADA propre à une éolienne, ce dernier entraîne l'arrêt immédiat de la machine.

Ainsi, en cas de défaillance éventuelle du système SCADA de commande à distance, le parc éolien est maintenu sous contrôle soit via le système SCADA propre à la machine, soit par l'arrêt automatique de la machine.

4.2.4.6 Dans le cas d'une rupture du réseau de fibre optique

Le système de contrôle de commande des éoliennes est relié par fibre optique aux différents capteurs en forme d'anneau. En cas de rupture de la fibre optique entre deux éoliennes, la transmission peut s'effectuer directement dans le sens inverse et permettre ainsi de garantir une communication continue avec les éoliennes.

4.2.4.7 Méthodes et moyens d'intervention

■ Moyens mis en œuvre par l'exploitant

L'exploitant mettra en place une astreinte 24/7 pour la télésurveillance des éoliennes de Charnizay, comme c'est le cas aujourd'hui pour l'ensemble des parcs exploités par l'entreprise.

En cas de situation anormale, des capteurs/détecteurs présents dans chaque éolienne, déclenchent une alarme et l'arrêt automatique de l'éolienne. Le système de supervision émet immédiatement une alerte (email et notification sur le téléphone portable) pour prévenir l'exploitant de la situation anormale suspectée. L'exploitant réalise alors une levée de doute par analyse des signaux de l'éolienne (ex : détection de fumée via capteurs, alarme émise par l'éolienne et arrêt automatique, envoi d'une alerte de suspicion d'incendie à l'exploitant, vérification des signaux de température par l'exploitant).

Si l'analyse des signaux confirme une situation anormale, l'exploitant appelle les services de secours. Une zone de sécurité est alors définie et balisée autour de l'éolienne concernée.

En fonction de la situation rencontrée, l'exploitant fera appel si nécessaire, en plus du maintenancier, à une société experte (en dépollution des sols, en analyse de risques...) pour combattre les effets d'un éventuel sinistre dans les meilleurs délais.

■ Intervention des services de secours

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

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

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

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

4.2.5 Opérations de maintenance de l'installation

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

- Type 1 : vérification après 500 à 1500 heures de fonctionnement (contrôle visuel du mât, des fixations fondation/tour, tour/nacelle, rotor...et test du système de déclenchement de la mise en sécurité de l'éolienne),
- Type 3 : vérification annuelle des matériaux (soudures, corrosions), des équipements mécaniques et hydrauliques, de l'électrotechnique et des éléments de raccordement électrique,
- Type 4 : vérification quinquennale de forte ampleur pouvant inclure le remplacement de pièces.

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

Pour la maintenance, une équipe de techniciens spécialisés est implantée à Vars, distante d'environ 56 km du parc éolien. En cas de déviance sur la production ou d'avarie technique, une équipe de maintenance interviendra sur le site.

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

4.2.6 Stockage et flux de produits dangereux

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

4.3 Fonctionnement des réseaux de l'installation

4.3.1 Raccordement électrique habituel d'un parc éolien

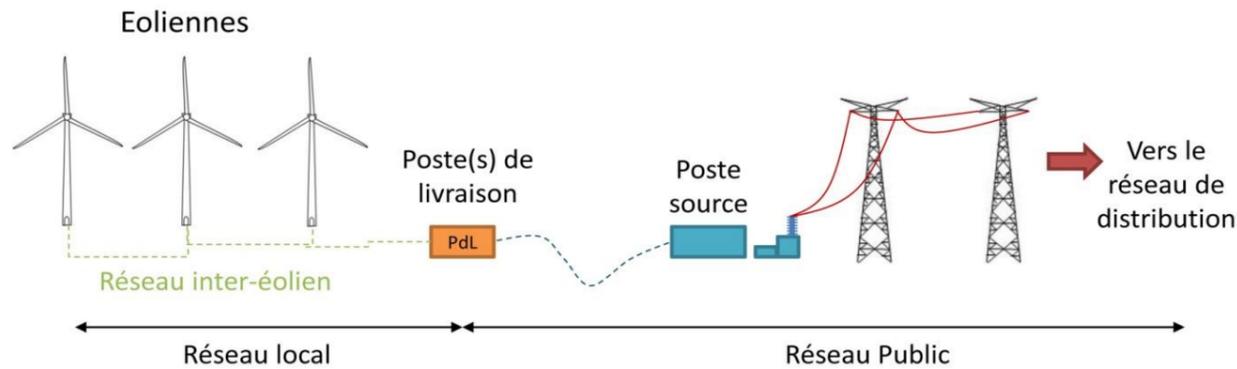


Tableau 9. Raccordement électrique des installations

4.3.1.1 Réseau inter-éolien

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur, intégré dans chaque éolienne, au point de raccordement avec le réseau public. Ce réseau comporte également une liaison de télécommunication qui relie chaque éolienne au terminal de télésurveillance. Ces câbles constituent le réseau interne de la centrale éolienne, ils sont tous enfouis à une profondeur minimale de 80 cm en accotement de voies et à 120 cm environ en plein champ.

4.3.1.2 Poste de livraison

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

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

4.3.1.3 Réseau électrique externe

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

4.3.2 Raccordement électrique du parc

Les différents aérogénérateurs, le poste de livraison, les réseaux électriques enterrés sont représentés sur les plans d'ensemble du dossier de demande d'autorisation environnementale.

Cf. Dossier 11 et 12- Plan de situation et plans d'ensemble

Le raccordement des éoliennes entre elles et au poste de livraison, ainsi que la jonction au réseau extérieur seront réalisés en souterrain, depuis le poste de livraison vers le poste source qui sera défini par le gestionnaire du réseau (par exemple Enedis).

4.3.3 Autres réseaux

Le parc éolien de Charnizay 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.

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

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

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

5.1 Potentiels de dangers liés aux produits

Les produits utilisés dans le cadre du parc éolien de Charnizay permettent 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 dangereux ;
- Produits de nettoyage et d'entretien des installations (solvants, dégraissants, nettoyeurs...) et les déchets non dangereux associés (pièces usagées non souillées, cartons d'emballage...).

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

5.1.1 Inventaire des produits

La liste en est fournie dans le tableau suivant :

Lieu de lubrification	Désignation	Lubrifiant	Quantité	Classe de matière dangereuse
Système de refroidissement /Génératrice, /Convertisseur	Varidos FSK 45	Liquide de refroidissement	env. 300 L	Xn
Roulements de la génératrice	Klüberplex BEM 41-132	Graisse	env. 12 kg	-
Multiplicateurs, circuits de refroidissement inclus	Mobilgear SHC XMP 320 Castrol Optigear Synthetic X320 Fuchs RENOLIN UNISYN CLP 320	Huile minérale Huile synthétique	Max. 800 L	-
Système Hydraulique	Shell Tellus S4 VX 32	Huile minérale	env. 25 L	-
Roulement du rotor	Mobil SHC Graisse 460 WT	Graisse	env. 30 kg	-

Lieu de lubrification	Désignation	Lubrifiant	Quantité	Classe de matière dangereuse
Roulement d'orientation des pales	Fuchs Gleitmo 585K	Graisse	Approx. 35 kg	-
Boîte de vitesse du système d'orientation des pales	Mobil SHC 629	Huile synthétique	3 x 11 L	-
Boîte de vitesse du système d'orientation de la nacelle	Mobil SHC 629	Huile synthétique	4x 27 L	-
Roulements du système d'orientation de la nacelle	Fuchs Gleitmo 585K	Graisse	13 kg	-
Transformateur	-	-	-	-

Nota : Graisse = lubrifiant solide ; huile = lubrifiant liquide.

Tableau 10. Inventaires des produits présents dans une éolienne (D4000-N149 TS125) (Source : Nordex)

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

5.1.2 Dangers des produits

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

L'incendie : des produits combustibles sont présents le site. Ainsi, la présence d'une charge calorifique peut alimenter un incendie en cas de départ de feu.

La toxicité : Ce risque peut survenir suite à un incendie créant certains produits de décomposition nocifs, entraînés dans les fumées de l'incendie.

La pollution : En cas de fuite sur une capacité de stockage, la migration des produits liquides dans le sol peut entraîner une pollution, également en cas d'entraînement dans les eaux d'extinction incendie.

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

Le classement des substances utilisées sur le site sera conforme à l'arrêté du 20 avril 1994 modifié en janvier 2009 relatif à la déclaration, la classification, l'emballage et l'étiquetage des substances.

Les produits seront présents en quantité restreinte sur le site.

Compte tenu de la nature des matières stockées sur le site et de leur quantité, aucune mesure n'est prévue hormis les kits anti-pollution qui équiperont les véhicules de maintenance.

Cf. § 7.6, Mise en place des mesures de sécurité, p.50

Il n'y a pas de problème d'incompatibilité des produits entre eux ou bien vis-à-vis des matériaux utilisés pour leur stockage

5.2 Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

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

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

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant.

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

Tableau 11. Dangers potentiels d'une éolienne

5.3 Réduction des potentiels de dangers à la source

5.3.1 Principales actions préventives

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

5.3.1.1 Réduction des dangers liés aux produits

Comme précédemment indiqué, les produits présents dans une éolienne sont des lubrifiants. La quantité est estimée à environ 1 250 litres par éolienne, et les lubrifiants doivent être contrôlés et partiellement renouvelés tous les 6 mois à 5 ans selon le type.

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

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

On note que la nacelle fait office de bac de récupération en cas de fuite au niveau de la couronne d'orientation. Le transformateur, présent dans la nacelle de l'éolienne, ne nécessite pas de bac de récupération lorsqu'un système sec est utilisé, qui ne nécessite l'usage d'aucun lubrifiant. Lorsqu'un transformateur à huile est utilisé, la nacelle et la plateforme supérieure du mât sont conçues pour collecter les éventuelles fuites.

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

5.3.1.2 Réduction des dangers liés aux installations

Les principaux choix qui ont été effectués par le porteur de projet au cours de sa conception permettent de réduire les potentiels de danger identifiés et garantir une sécurité optimale de l'installation.

Ces choix sont synthétisés ci-après :

- Des mesures de vents ont été effectuées en amont du projet permettant une prévision des conditions climatiques. Le choix de la machine est adapté à ces conditions ;
- Le respect des prescriptions générales de l'arrêté du 26 août 2011 impose au projet :
 - Un éloignement des aérogénérateurs de 500 m des habitations et zones constructibles,
 - Un choix d'aérogénérateurs respectant des normes de sécurité et disposant d'équipements de prévention des risques,
 - La réalisation obligatoire d'un contrôle technique des ouvrages.
- Les moyens techniques d'Eurocape New Energy et du constructeur sont mis à disposition via un contrat d'exploitation et de maintenance ;
- Le projet bénéficie de l'expérience d'Eurocape New Energy dans le développement et l'exploitation de projet éolien.

En outre, les mesures générales de prévention limitant les risques d'accident sur le parc éolien de Charnizay sont les suivantes :

- Le constructeur sélectionné, fournisseur des éoliennes et assurant leur maintenance, dispose d'un système de management HSE respecté par tous ses salariés.
- Le respect des règles de conduite et la limitation de la vitesse de circulation des engins et véhicules seront imposés. Un plan de circulation sera établi pour l'accès depuis les routes les plus proches.
- Les interventions se font par du personnel possédant l'habilitation électrique et la législation du travail dans les installations en hauteur, après visite de conformité par un organisme de contrôle agréé. Les techniciens du constructeur sélectionné sont formés, entraînés et autorisés. Ils sont équipés de leurs EPI.
- Des procédures d'installation et de maintenance claires et détaillées seront disponibles pour chacun des équipements.
- Le design et l'assemblage des équipements respectent les normes en vigueur et normes constructeur.

5.3.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles

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

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

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

CHAPITRE 6. ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE

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

6.1 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. Cet inventaire se base sur le retour d'expérience de la filière éolienne effectué en mars 2012, et complété par les données disponibles de la base de données ARIA (consultation en octobre 2020).

Cf. Annexe 3 – Annexes au guide technique INERIS et compléments à l'accidentologie, p. 82

Cf. Annexe 4 - Compléments à l'accidentologie de parcs éoliens en France (mise à jour en juin 2021, source : base ARIA), p.92

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

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

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

Dans l'état actuel, la base de données élaborée par le groupe de travail de SER/FEE ayant élaboré le guide technique d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis l'année 2000. L'ensemble de ces sources permet d'arriver à un inventaire aussi complet que possible des incidents survenus en France. Un total de 37 incidents avait pu être recensé entre 2000 et début 2012. Ce tableau de travail a été validé par les membres du groupe de travail précédemment mentionné. Il est complété, en 2020, par 57 incidents supplémentaires enregistrés en France entre 2012 et début 2020.

Il apparaît dans ce recensement que les aérogénérateurs accidentés sont principalement des modèles anciens (parcs installés dans les années 90 et la première moitié des années 2000), qui ne bénéficient généralement pas des dernières avancées technologiques.

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et 2020. Cette synthèse exclut les accidents du travail (maintenance, chantier de construction, etc.) et les événements qui n'ont pas conduit à des effets sur les zones autour des aérogénérateurs.

Dans ce graphique sont présentés :

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

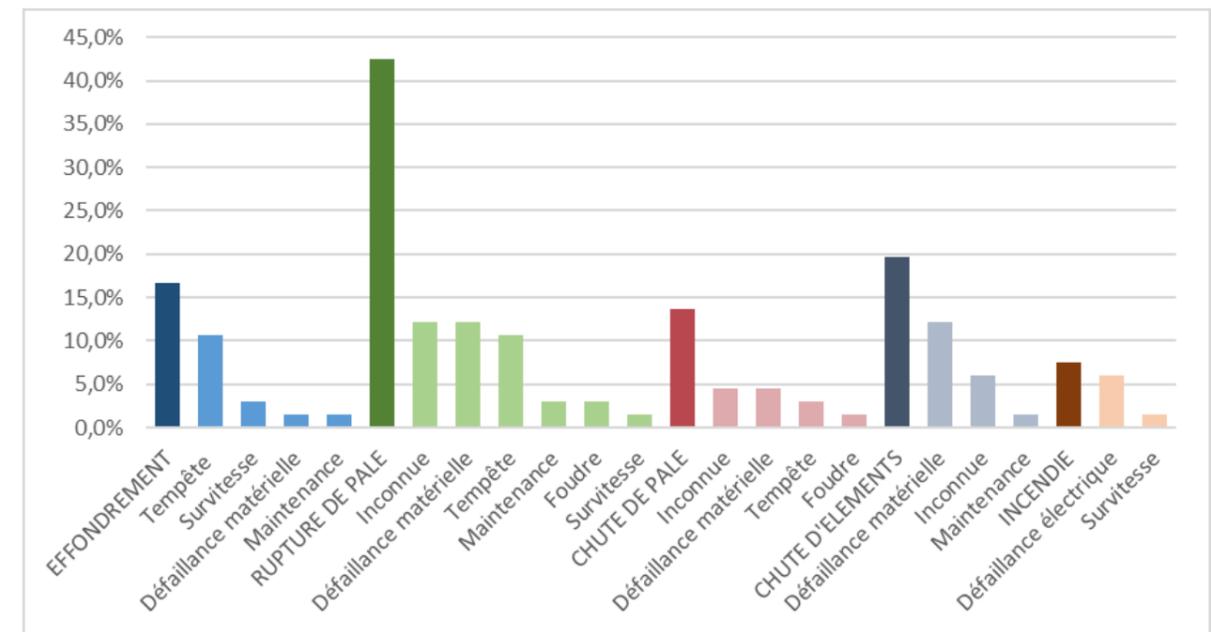


Figure 6. Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateurs français entre 2000 et 2020

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

6.2 Inventaire des accidents et incidents à l'international

Un inventaire des incidents et accidents à l'international a également été réalisé. Il se base lui aussi sur le retour d'expérience de la filière éolienne au 31 juin 2020.

La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur les 2 697 accidents décrits dans la base de données au moment de sa mise à jour au 30 juin 2020, 1 368 sont considérés comme des « accidents majeurs ». Les autres concernant plutôt des accidents du travail, des presque-accidents, des incidents, etc. et ne sont donc pas pris en compte dans l'analyse suivante.

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

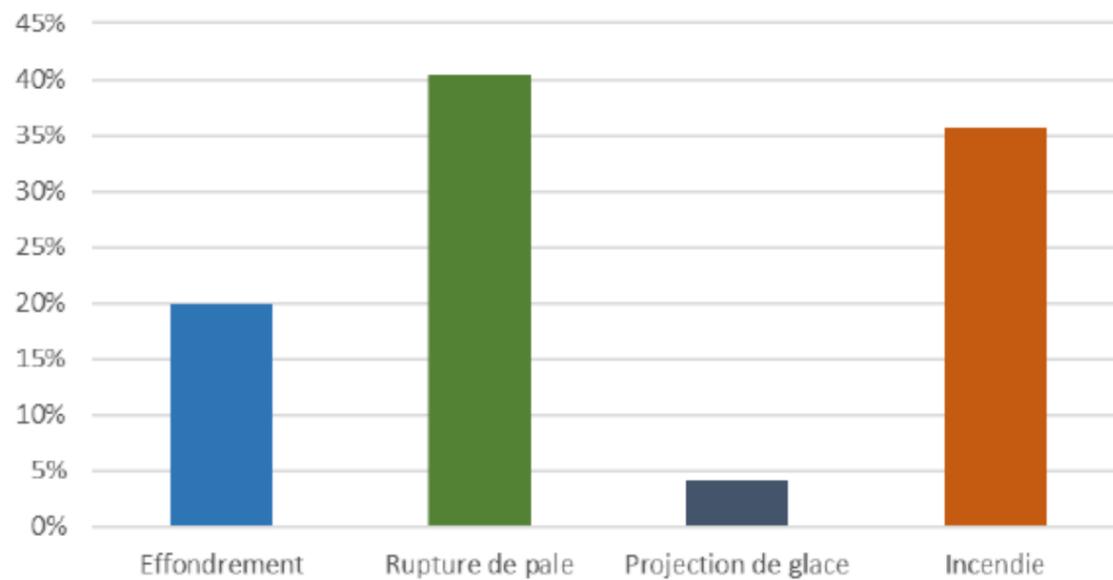


Figure 1. Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2020

La répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2020 du même ordre de grandeur que celle qui avait été observée entre 2000 et 2011 par le groupe de travail de SER/FEE.

Ci-contre, le recensement des causes premières présenté pour chacun des événements accidentels recensés (données en répartition par rapport à la totalité des accidents analysés) est celui qui porte sur les données 2000-2011 analysées par le groupe de travail mentionné précédemment.

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.

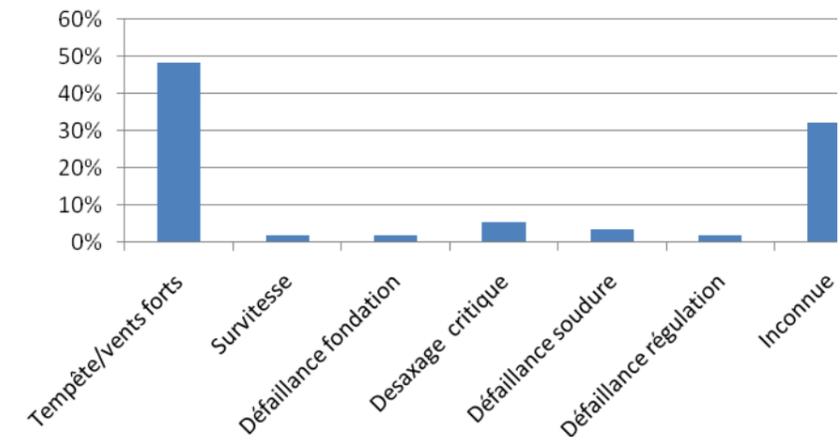


Figure 2. Répartition des causes premières d'effondrement

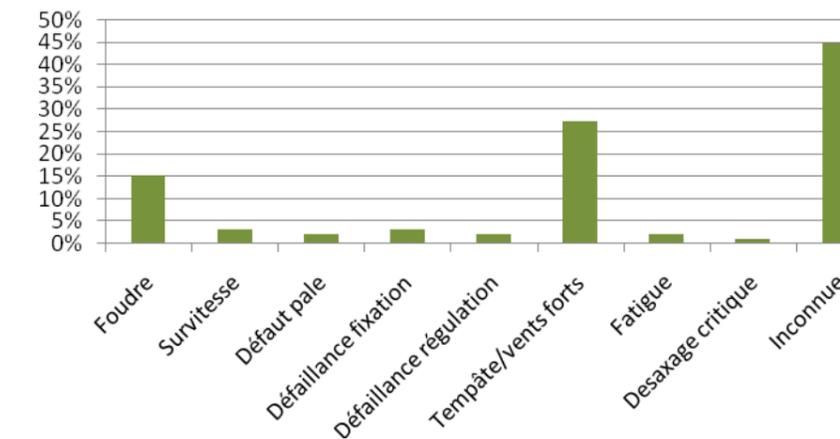


Figure 3. Répartition des causes premières de ruptures de pales

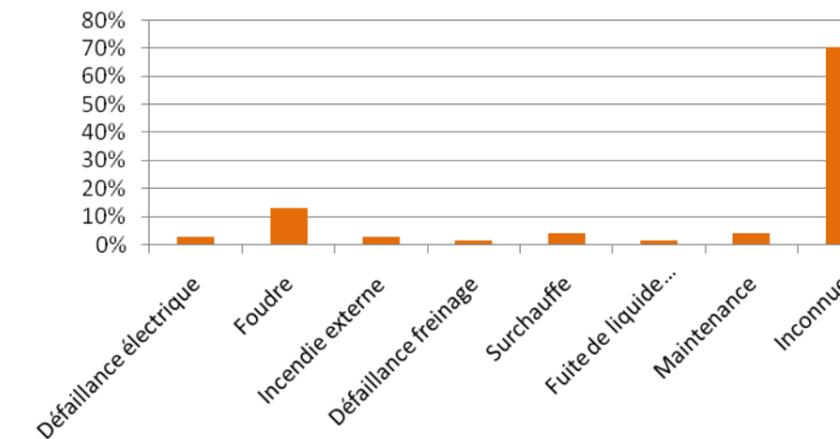


Figure 4. Répartition des causes premières d'incendie

6.3 Inventaire des accidents majeurs sur les sites de l'exploitant

L'installation visée ne relève pas de l'extension d'une installation existante ni d'une révision de l'étude de dangers.

Toutefois, la société Eurocape New Energy ne dénombre aucun accident sur les parcs exploités actuellement. Cette société exploite à l'heure actuelle 128 MW de puissance installée éolienne et solaire.

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

6.4.1 Analyse de l'évolution des accidents en France

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

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

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

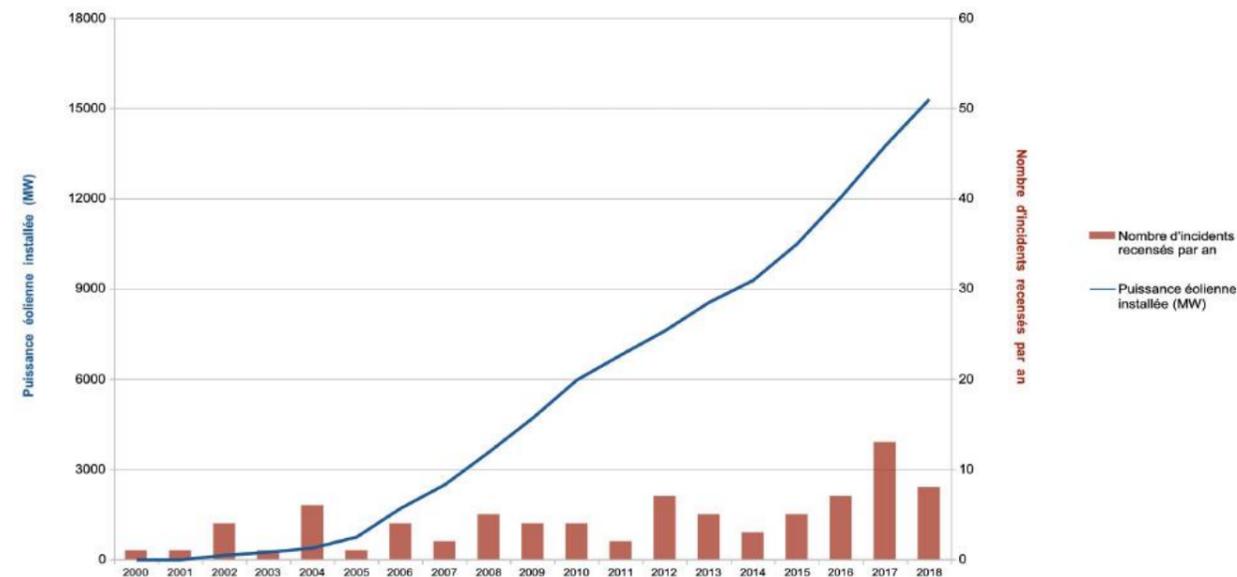


Figure 5. Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées

6.4.2 Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

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

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

6.4.3 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.

CHAPITRE 7. ANALYSE PRILIMINAIRE DES RISQUES

7.1 Objectif de l'analyse préliminaire des risques

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

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

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

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

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

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

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

7.3 Recensement des agressions externes potentielles

7.3.1 Agressions externes liées aux activités humaines

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

Infrastructure	Fonction	Événement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Distance par rapport au mât des éoliennes
Voies de circulation	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	Pas de voie structurante <ul style="list-style-type: none"> • E1 : à 150 m du chemin agricole ; • E2 : à 150 m du chemin agricole ; • E3 : à 250 m de la voie communale reliant le hameau de la Cornetterie (Charnizay) et le hameau des Poteries à La Celle-Guenand / à 300 m du chemin agricole (accès E3) ; • E4 : à 150 m du chemin agricole.
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2000 m	Non concerné - Infrastructure au-delà du périmètre de 2 km.
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	Non concerné - Absence de lignes THT dans le périmètre.
Autres aérogénérateurs	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	Non concerné – Distances inter-éoliennes supérieures à 500 m.

Tableau 12. Agressions externes liées aux activités humaines

7.3.2 Agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

Agression externe*	Fonction
Vents et tempête	<p>Aucun arrêté de reconnaissance de catastrophe naturelle lié à une tempête a été recensé dans les communes de l'aire d'étude (Charnizay). Néanmoins la commune a été touchée par la tempête Lothar et Martin en décembre 1999 pour laquelle la commune a obtenu un arrêté de catastrophe naturelle pour inondations, coulées de boue et mouvements de terrain.</p> <p>La fréquence des vents violents⁴ (jours pendant lesquels on enregistre des rafales dont la vitesse est supérieure à 58 km/h) est de 49 jours environ par an (dont 1,1 jour au cours duquel la vitesse du vent est supérieure à 100 km/h) pour la station de Châteauroux. Il est à noter que les régions les plus exposées aux vents violents le sont une centaine de jours par an.</p> <p>Selon les statistiques 1981-2010, la station de Châteauroux a enregistré une rafale maximale de 126 km/h, qui s'est produite le 27 décembre 1999, lors de la tempête Lothar et Martin qui avait touché toute la France.</p> <p>La relative constance des vents observée sur le secteur d'implantation constitue un paramètre favorable à l'implantation des éoliennes.</p>
Foudre	<p>Il est à retenir, d'une part, que la densité de foudroiement du site est faible (0,5 coup/km²/an). D'autre part, les éoliennes retenues respectent la norme IEC 61 400-24 et sont en outre équipées d'un dispositif agréé reliant les pales à la terre. Ce dispositif permet de réduire considérablement les risques d'atteinte grave de l'éolienne en cas de foudre.</p>
Glissement de sols / Affaissements miniers	<p>D'après la base de données Georisques, aucun glissement de sols n'a été recensé dans l'aire d'étude.</p> <p>A l'échelle communale, plusieurs arrêtés de catastrophes naturels ont été pris depuis 1980 concernant les mouvements de terrain. Le dernier en date remonte à 2018 et est principalement lié à des mouvements différentiels consécutifs à des périodes de sécheresses puis de réhydratation des sols. Cela s'explique notamment par la nature argileuse du sol (phénomène de retrait-gonflement des argiles identifié comme un aléa moyen à fort sur la zone d'étude)</p>

*On entend par agressions externes à la fois les arrêtés de catastrophes naturelles pris sur la commune de Charnizay pour un événement passé ainsi que les événements liés à des risques naturels recensés sur la commune de Charnizay, n'ayant pas fait l'objet d'arrêté de catastrophes naturelles.

Tableau 13. Agressions externes liées aux phénomènes naturels

Le cas spécifique des effets directs de la foudre et du risque de « tension de pas » n'est pas traité dans l'analyse des risques et dans l'étude détaillée des risques puisque 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.

Cf. § 7.6, Mise en place des mesures de sécurité, p.50

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.

⁴Sur l'échelle de Beaufort, une tempête correspond à des vents dont la vitesse est comprise, entre 89 et 102 km/h ; le terme d'ouragan est parfois employé, sous nos latitudes, pour désigner une tempête dont les vents soufflent à plus de 118 km/h (Source : F. BRUEL, www.alertes-meteo.com)

7.4 Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques

Le tableau ci-après 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, elles sont numérotées de façon à être listées dans le chapitre « mise en place des mesures de sécurité » ;
- 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 et correspond :

- 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 du groupe de travail INERIS/SER FEE (« 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).

Voir précisions en annexe :

Cf. Annexe 4 - Compléments à l'accidentologie de parcs éoliens en France (mise à jour en juin 2021, source : base ARIA), p.92

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
G01	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales, le mât et la nacelle	Chute de glace lorsque les éoliennes sont arrêtées	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace (N°2)	Impact de glace sur les enjeux	1
G02	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	Projection de glace lorsque les éoliennes sont en mouvement	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de la glace (N°1)	Impact de glace sur les enjeux	2
I01	Humidité / Gel	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I02	Dysfonctionnement électrique	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les courts-circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I03	Survitesse	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3) Prévenir la survitesse (N°4)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I04	Désaxage de la génératrice / Pièce défectueuse / Défaut de lubrification	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I05	Conditions climatiques humides	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
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
C03	Défaut fixation nacelle – pivot central – mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop importante sur les pales	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Impact sur cible	2

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
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	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Chute fragments et chute mât	2
E08	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°12)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E09	Fatigue	Défaillance 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
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

Tableau 14. Analyse générique des risques

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

7.5 Effets dominos

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

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

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

Le guide technique préconise de limiter l'évaluation de la probabilité d'impact d'un élément de l'aérogénérateur sur une autre installation ICPE que lorsque celle-ci se situe dans un rayon de 100 mètres.

Aucune installation ICPE ne se situe dans ce périmètre.

7.6 Mise en place des mesures de sécurité

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

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

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
Mesures de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage.		
Description	Système de détection ou de déduction redondant du givre permettant, en cas de détection de glace, une mise à l'arrêt 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), des systèmes additionnels peuvent être envisagés.		
Temps de réponse	De 15 à 60s (selon programme de freinge) 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 suivant une périodicité qui ne peut excéder un an, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité	2
Mesures de sécurité	Panneautage sur le chemin d'accès des éoliennes. Eloignement des zones habitées et fréquentées.		
Description	Mise en place de panneaux informant de la possible formation de glace sur le chemin d'accès des éoliennes (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 Systèmes de refroidissement indépendants pour le multiplicateur et la génératrice		
Description	Tout les principaux composants sont équipés de capteurs de température. Un certain nombre de seuils sont prédéfinis dans le système de contrôle de l'éolienne. En cas de dépassement de seuils, des codes d'état associés à des alarmes sont activés et peuvent, le cas échéant, entraîner un ralentissement de la machine (bridage préventif), voire son arrêt. Tout phénomène anormal est automatiquement répertorié, tracé via le système SCADA de l'éolienne et donne lieu à des analyses, et si nécessaire, des interventions de maintenance sur site afin de corriger les problèmes constatés.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	A préciser si possible		
Maintenance	Maintenance préventive annuelle de la génératrice et de son système de refroidissement, ainsi que du multiplicateur (y compris le système de refroidissement de l'huile du multiplicateur). Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage. Éléments du système de protection contre la survitesse conformes aux normes IEC 61508 (SIL 2) et EN 954-1		
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	15 à 60 s (arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage adapté) L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011.		
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 (maintenance préventive annuelle) conformément 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 d'organes de coupures et de protection adéquats et correctement dimensionnés. Tout fonctionnement anormal des composants électriques est suivi d'une coupure de la transmission électrique et à la transmission d'un signal d'alerte vers l'exploitant qui prend alors les mesures appropriées.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	De l'ordre de la seconde		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Des vérifications de tous les composants électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrées dans la plupart des mesures de maintenance préventive mises en œuvre. Les installations électriques sont contrôlées avant la mise en service du parc puis à une fréquence annuelle, conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011.		

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur.		
Description	Respect de la norme IEC 61 400 – 24 (juin 2010) Parafoudres sur la nacelle + récepteurs de foudre sur les 2 faces des pales Mise à la terre (nacelle/mât, sections de mât, mât/fondation) Parasurtenseurs sur les circuits électriques		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	Mesure de terre lors des vérifications réglementaires des installations électriques		
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011. Contrôle de l'état de l'installation de mise à la terre dans le mât à chaque maintenance préventive.		

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 transmise à un poste de contrôle Intervention des services de secours		
Description	DéTECTEURS de fumée qui lors de leur déclenchement conduisent à la mise en arrêt de la machine et au découplage du réseau électrique. De manière concomitante, un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance. L'éolienne est également équipée d'extincteurs qui peuvent être utilisés par les personnels d'intervention (cas d'un incendie se produisant en période de maintenance).		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	< 1 minute pour les détecteurs et l'enclenchement de l'alarme L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur. Le temps d'intervention des services de secours est, quant à lui, dépendant de la zone géographique.		
Efficacité	100 %		
Tests	Vérification de la plausibilité des mesures de température		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 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 Systèmes d'étanchéité et dispositifs de collecte / récupération Procédure d'urgence Kit antipollution		
Description	Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. Présence de plusieurs bacs collecteurs au niveau des principaux composants. 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	Surveillance des vibrations Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.) Procédures qualités		
Description	La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi la nacelle, le moyeu, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23. Les éoliennes sont équipées de capteurs de vibration, qui entraînent l'arrêt en cas de dépassement des seuils définis. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223 (peinture et revêtement anti-corrosion).		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	15 à 60 s (arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage adapté)		
Efficacité	100 %		
Tests	Déclenchement manuel des capteurs de vibration et vérification de la réponse du système		
Maintenance	Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du pitch system, couronne du Yaw Gear, boulons de fixation de la nacelle...) sont vérifiés au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Inspection visuelle du mât et, si besoin, nettoyage lors des maintenances préventives annuelles.		

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	/		
Maintenance	Les opérations de maintenance font l'objet d'un rapport permettant la réalisation d'un suivi.		

Fonction de sécurité	Prévenir la dégradation de l'état des équipements	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	Inspection et suivi des données mesurées par les capteurs et sondes présentes dans les éoliennes		
Description	Toutes les pièces de l'éolienne sont protégées contre la corrosion et les autres influences néfastes de l'environnement au moyen d'un revêtement spécial à plusieurs couches. Toutes les pièces de l'éolienne sont protégées contre la corrosion et les autres influences néfastes de l'environnement au moyen d'un revêtement spécial à plusieurs couches. Des contrôles visuels sont réalisés lors des opérations de maintenance. Les données mesurées par les capteurs et les sondes présentes dans l'éolienne sont suivies, enregistrées et traitées afin de détecter les éventuelles dégradations des équipements. Lorsqu'elle s'avère nécessaire, une inspection de l'équipement potentiellement dégradé est réalisée.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	1NA		
Efficacité	100 %		
Tests	Test des programmes de freinage lors de la mise en service de l'éolienne. /		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	12
Mesures de sécurité	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pales) par le système de conduite		
Description	L'éolienne est mise à l'arrêt si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale pour laquelle elle a été conçue.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	15 à 60 s suivant le programme de freinage		
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	Test des programmes de freinage lors de la mise en service de l'éolienne. Test automatique du système de freinage mécanique et du fonctionnement de chaque système pitch (freinage aérodynamique) lors de la séquence de démarrage de l'éolienne.		
Maintenance	Maintenance préventive du système pitch (les points contrôlés varient suivant le type de maintenance – T1 / T3 / T4), notamment vérification du câblage et du système de lubrification automatique, graissage des roulements de pitch. Maintenance préventive du frein mécanique (les points contrôlés varient suivant le type de maintenance – T1 / T3 / T4), notamment inspection visuelle, vérification de l'épaisseur des plaquettes de frein et des capteurs du frein mécanique.		

Fonction de sécurité	Empêcher la perte de contrôle de l'éolienne en cas de défaillance réseau	N° de la fonction de sécurité	13
Mesures de sécurité	Détection des défaillances du réseau électrique Batteries pour chaque système pitch Système d'alimentation sans coupure (UPS)		
Description	Surveillance du réseau + surveillance des défaillances réseau par le convertisseur principal qui entraîne la déconnexion de l'éolienne du réseau électrique. Commande de l'éolienne et communication externe assurées pendant environ 10 min, permettant l'arrêt automatique de l'éolienne.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	150 ms pour identifier une défaillance réseau 15 à 60 s pour l'arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage		
Efficacité	100%		
Tests	Vérification de la charge des batteries d'alimentation de secours des systèmes pitch lors de la séquence de démarrage de l'éolienne		
Maintenance	Remplacement des batteries du système pitch au cours de la maintenance quinquennal. Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.		

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 réalisera une vérification de l'état fonctionnel des équipements de mise à l'arrêt, de mise à l'arrêt d'urgence et de mise à l'arrêt depuis un régime de survitesse en application des préconisations du constructeur de l'aérogénérateur.

7.7 Conclusion de l'analyse préliminaire des risques

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

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	<p>En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m² n'est pas atteinte (pour rappel, la nacelle dans le cas présent sera située entre 123 et 125 m de haut).</p> <p>Dans le cas d'un incendie au niveau du mât les effets sont également mineurs et l'arrêté du 26 août 2011 encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques.</p> <p>Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.</p>
Incendie du poste de livraison ou du transformateur	<p>En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 août 2011 [9] et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200).</p>
Infiltration d'huile dans le sol	<p>En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs.</p> <p>Ce scénario peut ne pas être explicité dans le chapitre de l'étude détaillée des risques sauf en cas d'implantation dans un périmètre de protection rapprochée d'une nappe phréatique.</p>

Tableau 15. Scénarios exclus de l'étude détaillée

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

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

Pour le scénario suivant : Effondrement de l'éolienne, chute ou projection d'élément de l'éolienne sur un poste de livraison, le guide INERIS précise que les expertises réalisées ont montré l'absence d'effet à l'extérieur des postes de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter. Ce scénario n'est donc pas développé dans le présent rapport.

CHAPITRE 8. ETUDE DETAILLEE DES RISQUES

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

8.1 Rappel des définitions

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

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

8.1.1 Cinétique

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

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

Dans le cadre d'une étude de dangers pour des aérogénérateurs, il est supposé, de manière prudente, que tous les accidents considérés ont une cinétique rapide.

Ce paramètre ne sera donc pas détaillé à nouveau dans chacun des phénomènes redoutés étudiés par la suite.

8.1.2 Intensité

L'intensité des effets des phénomènes dangereux est définie par rapport à des valeurs de référence exprimées sous forme de seuils d'effets toxiques, d'effets de surpression, d'effets thermiques et d'effets liés à l'impact d'un projectile, pour les hommes et les structures (article 9 de l'arrêté du 29 septembre 2005 [13]).

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

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

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

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

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

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

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

Tableau 16. Grille de cotation en intensité issue du guide technique

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

8.1.3 Gravité

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

	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
Intensité	Gravité		
« Désastreux »	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées
« Catastrophique »	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées
« Important »	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
« Sérieux »	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
« Modéré »	Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement	Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement	Présence humaine exposée inférieure à « une personne »

Tableau 17. Grille de cotation en gravité de l'arrêté du 29 septembre 2005

■ Méthodologie et hypothèse de travail des comptages

La détermination du nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) présentes dans chacune des zones d'effet est effectuée à l'aide de la méthode présentée en annexe 3.A du guide.

Cette méthode se base sur la fiche n°1 de la circulaire du 10 mai 2010 relative aux règles méthodologiques applicables aux études de dangers. Cette fiche permet de compter aussi simplement que possible, selon des règles forfaitaires, le nombre de personnes exposées.

Ainsi, pour chaque phénomène dangereux identifié, nous comptabiliserons l'ensemble des personnes présentes dans la zone d'effet correspondante.

Dans chaque zone couverte par les effets d'un phénomène dangereux issu de l'analyse de risque, nous identifierons les ensembles homogènes (ERP, zones habitées, zones industrielles, commerces, voies de

circulation, terrains non bâtis...) et nous en déterminerons la surface (pour les terrains non bâtis, les zones d'habitat) et/ou la longueur (pour les voies de circulation).

Cf. §3.4, Cartographie de synthèse, p.18

§ 18 Méthodologie de comptage, p.18

§ 18 Hypothèses de travail, p.18

8.1.4 Probabilité

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

Niveaux	Echelle qualitative	Echelle quantitative (probabilité annuelle)
A	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 Evénement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité.	$10^{-4} < P \leq 10^{-3}$
D	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.	$\leq 10^{-5}$

Tableau 18. Grille de cotation en probabilité de l'arrêté du 29 septembre 2005

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

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

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

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

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

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

P_{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

Cf. Annexe 3 – Annexes au guide technique INERIS et compléments à l'accidentologie, p.82

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 (P_{ERC}) a été retenue.

8.1.5 Acceptabilité

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

L'analyse d'acceptabilité est basée sur la matrice de criticité ci-dessous, adaptée de la circulaire du 29 septembre 2005 et reprise dans la circulaire du 10 mai 2010.

L'acceptabilité résulte du croisement entre probabilité d'occurrence et gravité de l'accident.

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

Tableau 19. Cotation des risques selon la matrice de criticité de la circulaire du 10 mai 2010

Légende de la matrice :

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

8.2 Sélection de l'éolienne la plus impactante

Le type d'éolienne n'étant pas encore déterminé (il sera choisi après délivrance des autorisations administratives nécessaires), l'étude de dangers a été réalisée de manière à se placer dans les conditions les plus impactantes.

Pour cela, le degré d'exposition a été calculé pour chaque phénomène et pour chaque type d'éolienne d'après leurs dimensions respectives.

Cf. §4.1, Caractéristiques de l'installation Annexe 4 - Compléments à l'accidentologie de parcs éoliens en France (mise à jour en juin 2021, source : base ARIA), p.21

Le résultat des calculs est présenté dans le tableau suivant :

Scénario	Modèles d'éolienne	
	Nordex N149	Vestas V150
Effondrement	0,6965 %	0,7853 %
Chute de glace	0,0056 %	0,0056 %
Chute d'éléments	0,6048 %	0,8185 %
Projection de pale ou fragment de pale	0,0138 %	0,0185 %
Projection de glace	0,0001 %	0,0002 %

Tableau 20. Degré d'exposition calculé par phénomène et par modèle d'éolienne

Les degrés d'exposition ainsi calculés ont permis d'évaluer l'intensité des phénomènes pour chaque type d'éolienne :

Scénario	Modèles d'éolienne	
	Nordex N149	Vestas V150
Effondrement	Exposition modérée	
Chute de glace	Exposition modérée	
Chute d'éléments	Exposition modérée	
Projection de pale ou fragment de pale	Exposition modérée	
Projection de glace	Exposition modérée	

Tableau 21. Intensité des phénomènes selon le modèle d'éolienne

Compte tenu de leurs dimensions, les éoliennes N149 et V150 ne présentent pas de différence significative concernant l'intensité des phénomènes, et ce quelque soit le scénario considéré.

Nous allons donc considérer les zones d'effet de ces scénarios, qui sont les suivants pour les deux modèles d'éolienne envisagés :

Scénario	Modèles d'éolienne	
	Nordex N149	Vesta V150
Effondrement	199,9 m	200 m
Chute de glace	75,6 m	75,35 m
Chute d'éléments	75,6 m	75,35 m
Projection de pale ou fragment de pale	500 m	500 m
Projection de glace	411,75 m	412,5 m

Tableau 22. Zone d'effet selon le modèle d'éolienne

Les zones d'effet de chaque scénario correspondent à :

- Effondrement : Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale ;
- Chute de glace : Rayon de survol
- Chute d'éléments : Rayon de survol
- Projection de pale ou fragment de pale : 500 m autour de l'éolienne
- Projection de glace : 1,5 x (Hauteur éolienne + Diamètre du rotor) autour de l'éolienne

Compte tenu de ces dimensions, la V150 présente des zones d'effet légèrement supérieures à celles de la N149.

Afin de se placer dans des conditions majorantes, les calculs présentés dans l'analyse détaillée des risques ci-après sont par conséquent ceux effectués avec les dimensions de la V150.

8.3 Caractérisation des scénarios retenus

Toutes les formules employées dans ce chapitre sont issues du guide technique INERIS/SER FEE.

8.3.1 Effondrement de l'éolienne

8.3.1.1 Zone d'effet

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale, soit, dans le cas des éoliennes du parc éolien de Charnizay : 200 m.

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

8.3.1.2 Intensité

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

	Eolienne V150
R est la longueur d'une pale	R = 73 m
H est la hauteur au moyeu	H = 125 m
D/2 est la longueur d'un demi-diamètre	D/2 = 75 m
LB est la largeur maximale de la pale	LB = 4 m
L est la largeur à la base du mât	L = 4,3 m

Tableau 23. Scénario d'effondrement – Caractéristiques des éoliennes

Le tableau suivant permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Charnizay.

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale), soit H+D/2				
	Zone d'impact (Zi) en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$ZI = (H) \times L + 3 \times D/2 \times LB/2$	$Z_E = \pi \times (H+D/2)^2$	$= Z_i \times 100 / Z_E$	
Eolienne V150	987,9 m ²	125 789,401 m ²	0,7853%	Modérée

Tableau 24. Scénario d'effondrement – calcul de l'intensité

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

8.3.1.3 Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (Cf. § 57 « Rappel des définitions »), 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 :

V150 : Exposition modérée
Plus de 1000 personnes exposées → « Désastreux »
Entre 100 et 1000 personnes exposées → « Catastrophique »
Entre 10 et 100 personnes exposées → « Important »
Moins de 10 personnes exposées → « Sérieux »
Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré »

Le tableau suivant indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène 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)						
Eol.	Terrains dans la zone d'effet (zone agricole, boisements, voie communale, chemins d'exploitation)*		Chemin de randonnée		Comptage du nombre de personnes total	Gravité
	Surface en m ²	Comptage du nombre de personnes sur la zone	Longueur en ml	Comptage du nombre de personnes sur le chemin		
E1	125 789,401 m ²	1,25	0	0	1,25	Sérieux
E2	125 789,401 m ²	1,25	0	0	1,25	Sérieux
E3	125 789,401 m ²	1,25	0	0	1,25	Sérieux
E4	125 789,401 m ²	1,25	0	0	1,25	Sérieux

Tableau 25. Scénario d'effondrement – cotation de la gravité

8.3.1.4 Probabilité

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

Source	Fréquence	Justification
Guide for risk based zoning of wind turbines [5]	$4,5 \times 10^{-4}$	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'expérience⁵, soit une probabilité de $4,47 \times 10^{-4}$ par éolienne et par an.

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

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

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

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

De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 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 » car celle-ci est plus représentative de la probabilité d'occurrence de ces événements.

8.3.1.5 Acceptabilité

Dans le cas d'implantation d'éoliennes équipées des technologies récentes, compte tenu de la classe de probabilité d'un effondrement, on pourra conclure à l'acceptabilité de ce phénomène si moins de 100 personnes sont exposées.

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

Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Sérieux	Acceptable
E2	Sérieux	Acceptable
E3	Sérieux	Acceptable
E4	Sérieux	Acceptable

Tableau 26. Scénario d'effondrement – acceptabilité du risque

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

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

8.3.2 Chute de glace

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

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

8.3.2.2 Zone d'effet

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne d'après le guide INERIS.

Toutefois, le moyeu ne se situant pas tout à fait dans l'axe du mat, le diamètre de la zone de survol (Ds) est légèrement supérieur au diamètre du rotor (D).

Pour le parc éolien de Charnizay, la zone d'effet a donc un rayon de : 75,35 m.

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

8.3.2.3 Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace.

	Eolienne V150
Z _i est la zone d'impact	
Z _e est la zone d'effet	
SG est la surface du morceau de glace majorant	SG = 1m ²
R est la longueur de pale	R = 73 m
Ds/2 est la longueur du demi-diamètre de la zone de survol	Ds/2 = 75,35 m

Tableau 27. Scénario chute de glace – caractéristiques des éoliennes

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 égal à la zone de survol)				
	Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	Z _i = SG	Z _E = π x (Ds/2) ²	= Z _i x 100 / Z _E	
Eolienne V150	1,0 m ²	17 836, 7771 m ²	0,0056%	Exposition modérée

Tableau 28. Scénario chute de glace – calcul de l'intensité

8.3.2.4 Gravité

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

Chute de glace (dans un rayon égal à la zone de survol)						
Eol.	Terrains dans la zone d'effet (zone agricole, boisements, voie communale, chemins d'exploitation)*		Chemin de randonnée		Comptage du nombre de personnes total	Gravité
	Surface en m ²	Comptage du nombre de personnes sur la zone	Longueur en ml	Comptage du nombre de personnes sur le chemin		
E1	17 836, 7771 m ²	0,179	0	0	0,179	Modéré
E2	17 836, 7771 m ²	0,179	0	0	0,179	Modéré
E3	17 836, 7771 m ²	0,179	0	0	0,179	Modéré
E4	17 836, 7771 m ²	0,179	0	0	0,179	Modéré

Tableau 29. Scénario chute de glace – cotation de la gravité

8.3.2.5 Probabilité

Au regard de la difficulté d'établir un retour d'expérience précis, il est considéré que la probabilité est de classe « B », c'est-à-dire une probabilité comprise entre $10^{-3} < P \leq 10^{-2}$.

La classe B correspond à un événement probable qui s'est produit et/ou peut se produire pendant la durée de vie des installations.

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

8.3.2.6 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, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à la zone de survol)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modéré	Acceptable
E2	Modéré	Acceptable
E3	Modéré	Acceptable
E4	Modéré	Acceptable

Tableau 30. Scénario chute de glace – acceptabilité du risque

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

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

8.3.3 Chute d'éléments de l'éolienne

8.3.3.1 Zone d'effet

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

Le risque de chute d'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 d'après le guide INERIS.

Toutefois, le moyeu ne se situant pas tout à fait dans l'axe du mat, le diamètre de la zone de survol (D_s) est légèrement supérieur au diamètre du rotor (D).

Pour le parc éolien de Charnizay, la zone d'effet a donc un rayon de : 75,35 m.

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

■ Intensité

Pour le phénomène de chute 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 suivant permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien de Charnizay.

	Eolienne V150
d est le degré d'exposition	
Z_i est la zone d'impact	
Z_e est la zone d'effet	
R est la longueur de pale	R= 73 m
LB est la largeur maximale de la pale	LB= 4 m
$D_s/2$ est la longueur du demi-diamètre de la zone de survol	$D_s/2 = 75,35m$

Tableau 31. Scénario chute d'éléments de l'éolienne – caractéristiques des éoliennes

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon égal à la zone de survol)				
	Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_i = R \cdot LB / 2$	$Z_E = \pi \times (Ds/2)^2$	$= Z_i \times 100 / Z_E$	
Eolienne V150	146 m ²	17 836, 7771 m ²	0,8185%	Exposition modérée

Tableau 32. Scénario chute d'éléments de l'éolienne – calcul de l'intensité

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

■ Gravité

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

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

Chute de glace (dans un rayon égal à la zone de survol)						
Eol.	Terrains dans la zone d'effet (zone agricole, boisements, voie communale, chemins d'exploitation)*		Chemin de randonnée		Comptage du nombre de personnes total	Gravité
	Surface en m ²	Longueur en ml	Longueur en ml	Comptage du nombre de personnes sur le chemin		
E1	17 836, 7771 m ²	0	0	0	0,178	Modéré
E2	17 836, 7771 m ²	0	0	0	0,178	Modéré
E3	17 836, 7771 m ²	0	0	0	0,178	Modéré
E4	17 836, 7771 m ²	0	0	0	0,178	Modéré

Tableau 33. Scénario chute d'éléments de l'éolienne – cotation de la gravité

8.3.3.2 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 » (8 chutes et 5 incendies pour 15 667 années d'expérience, soit $8,3 \times 10^{-4}$ événement par éolienne et par an).

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

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

8.3.3.3 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 100 dans la zone d'effet.

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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à la zone de survol)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modéré	Acceptable
E2	Modéré	Acceptable
E3	Modéré	Acceptable
E4	Modéré	Acceptable

Tableau 34. Scénario chute d'éléments de l'éolienne – acceptabilité du risque

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

8.3.4 Projection de pales ou de fragments de pales

8.3.4.1 Zone d'effet

Dans l'accidentologie française rappelée en annexe, la distance maximale relevée et vérifiée par le groupe de travail INERIS/SER FEE 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].

Les études de risques déjà réalisées à l'échelle mondiale utilise le plus souvent une distance de 500 mètres. (Cf. 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.

8.3.4.2 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).

	Eolienne V150
Z _i est la zone d'impact	
Z _E est la zone d'effet	
R est la longueur de pale	R = 73 m
LB est la largeur maximale de la pale	LB = 4 m
Ds/2 est la longueur du demi-diamètre de la zone de survol	Ds/2 = 75,6 m

Tableau 35. Scénario projection de pales ou de fragments de pales – caractéristiques des éoliennes

Projection ou fragments de pales				
	Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_i = R \cdot LB / 2$	$Z_E = \pi \times (500)^2$	$= Z_i \times 100 / Z_E$	
Eolienne V150	146 m ²	785 398,2 m ²	0,0185%	Exposition modérée

Tableau 36. Scénario projection de pales ou de fragments de pales – calcul de l'intensité

8.3.4.3 Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe « Rappel des définitions », 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.

Le tableau page suivante indique, pour chaque aérogénérateur du Parc éolien de Charnizay, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de projection de pale ou de fragment de pale et la gravité associée.

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)						
Eol.	Terrains dans la zone d'effet (zone agricole, boisements, voie communale, chemins d'exploitation)*		Chemin de randonnée		Comptage du nombre de personnes total	Gravité
	Surface en m ²	Comptage du nombre de personnes	Longueur en ml	Comptage du nombre de personnes sur le chemin		
E1	785 398,20	7,854	0	0	7,854	Sérieux
E2	785 398,20	7,854	865	1,73	9,584	Sérieux
E3	785 398,20	7,854	334	0,66	8,514	Sérieux
E4	785 398,20	7,854	0	0	7,854	Sérieux

Tableau 37. Scénario projection de pales ou de fragments de pales – cotation de la gravité

8.3.4.4 Probabilité

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

Source	Fréquence	Justification
Site specific hazard assesment for a wind farm project [4]	1×10^{-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

Tableau 38. Probabilité de rupture de tout ou partie de pale et valeurs retenues

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

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

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

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

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

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

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

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

8.3.4.5 Acceptabilité

Avec une classe de probabilité 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.

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

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

Tableau 39. Scénario projection de pales ou de fragments de pales – acceptabilité du risque

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

8.3.5 Projection de glace

8.3.5.1 Zone d'effet

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

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

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

Soit dans le cas du projet éolien de Charnizay : 412,5 m

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

■ 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.

	Eolienne V150
d est le degré d'exposition	
Z _i est la zone d'impact	
Z _e est la zone d'effet	
D est la longueur du diamètre du rotor	D = 150 m
H est la hauteur au moyeu	H = 125 m
SG est la surface du morceau de glace majorant	SG = 1m ²

Tableau 40. Scénario projection de glace – caractéristique des éoliennes

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de zone d'effet (R _{PG}) = 1,5 x (H+D) autour de l'éolienne)				
	Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	Z _i = SG	$Z_E = \pi \times (1,5 \times (H+D))^2$	$= Z_i \times 100 / Z_E$	
Eolienne V150 1,5 x (H+D) = 412,5 m	1,0 m ²	534 561,625 m ²	0,0002%	Exposition modérée

Tableau 41. Scénario projection de glace – calcul de l'intensité

8.3.5.2 Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe « Rappel des définitions », 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.

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

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de RPG = 1,5 x (H+D) autour de l'éolienne)						
Eol.	Terrains dans la zone d'effet (zone agricole, boisements, voie communale, chemins d'exploitation)*		Chemin de randonnée		Comptage du nombre de personnes total	Gravité
	Surface en m ²	Comptage du nombre de personnes sur la zone	Longueur en ml	Comptage du nombre de personnes sur le chemin		
E1	534 561,625 m ²	5,345	0	0	5,345	Sérieux
E2	534 561,625 m ²	5,345	683	1,36	6,705	Sérieux
E3	534 561,625 m ²	5,345	0	0	5,345	Sérieux
E4	534 561,625 m ²	5,345	0	0	5,345	Sérieux

Tableau 42. Scénario projection de glace – cotation de la gravité

■ 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 proposée pour cet événement.

8.3.5.3 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, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de RPG = 1,5 x (H+D) autour de l'éolienne)			
Eolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage *	Niveau de risque
E1	Sérieux	oui	Acceptable
E2	Sérieux	oui	Acceptable
E3	Sérieux	oui	Acceptable
E4	Sérieux	oui	Acceptable

Tableau 43. Scénario projection de glace – acceptabilité du risque

* Cf. Fonction de sécurité n° 1, p.51

Ainsi, pour le parc éolien de Charnizay, le phénomène de projection de glace constitue un risque acceptable pour les personnes.

8.4 Synthèse de l'étude détaillée des risques

8.4.1 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. Il regroupe les éoliennes qui ont le même profil de risque.

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
S1	Effondrement de l'éolienne Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale Soit 200 m	Rapide	Exposition modérée	D	Sérieux
S2	Chute de glace Zone de survol Soit 75,35 m	Rapide	Exposition modérée	B	Modéré
S3	Chute d'éléments de l'éolienne Zone de survol Soit 75,35 m	Rapide	Exposition modérée	C	Modéré
S4	Projection de pale ou de fragments de pale 500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D	Sérieux
S5	Projection de glace 1,5 x (H + D) autour de l'éolienne Soit 412,5 m	Rapide	Exposition modérée	B	Sérieux

Tableau 44. Synthèse de la cotation des risques – étude détaillée

Les scénarios ci-dessus sont repris dans la matrice d'acceptabilité (voir paragraphe suivant).

8.4.2 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 et reprise dans la circulaire du 10 mai 2010 mentionnée ci-dessus, sera utilisée.

Les scénarios étudiés et synthétisés précédemment sont insérés dans la matrice de la circulaire :

Conséquence	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux	Jaune	Rouge	Rouge	Rouge	Rouge
Catastrophique	Jaune	Jaune	Rouge	Rouge	Rouge
Important	Jaune	Jaune	Jaune	Rouge	Rouge
Sérieux	Vert	S1 S4	Jaune	S5	Rouge
Modéré	Vert	Vert	S3	S2	Jaune

Tableau 45. Cotation des risques selon la matrice de criticité de la circulaire du 10 mai 2010

Légende de la matrice :

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

Rappel des scénarios

S1	Effondrement de l'éolienne
S2	Chute de glace
S3	Chute d'éléments de l'éolienne
S4	Projection de pale ou fragments
S5	Projection de glace

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 sont mises en place (fonctions détaillées à la page ci-dessous)

Cf. § 7.6, Mise en place des mesures de sécurité, p.50

8.4.3 Cartographie des risques

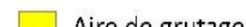
La cartographie des risques a été réalisée. Elle indique les différents périmètres de risques ainsi que les enjeux vulnérables identifiés.

Cf. Carte 4, Carte des risques – Eolienne E1 , p.71

Cf. Carte 5, Carte des risques – Eolienne E2, p.72

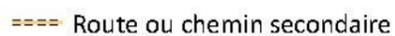
Cf. Carte 6, Carte des risques – Eolienne E3, p.73

Cf. Carte 7, Carte des risques – Eolienne E4, p.74

-  Eolienne projetée
-  Poste de livraison
-  Raccordement électrique interne
-  Fondation
-  Batiment du poste de livraison
-  Aire du poste de livraison
-  Aire de grutage
-  Aire de stockage temporaire
-  Virage créé
-  Contre virage
-  Chemin créé

Enjeux :

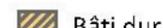
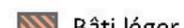
Réseau routier :

-  Route ou chemin secondaire

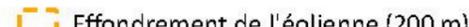
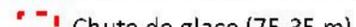
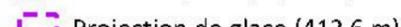
Chemins de randonnée ;

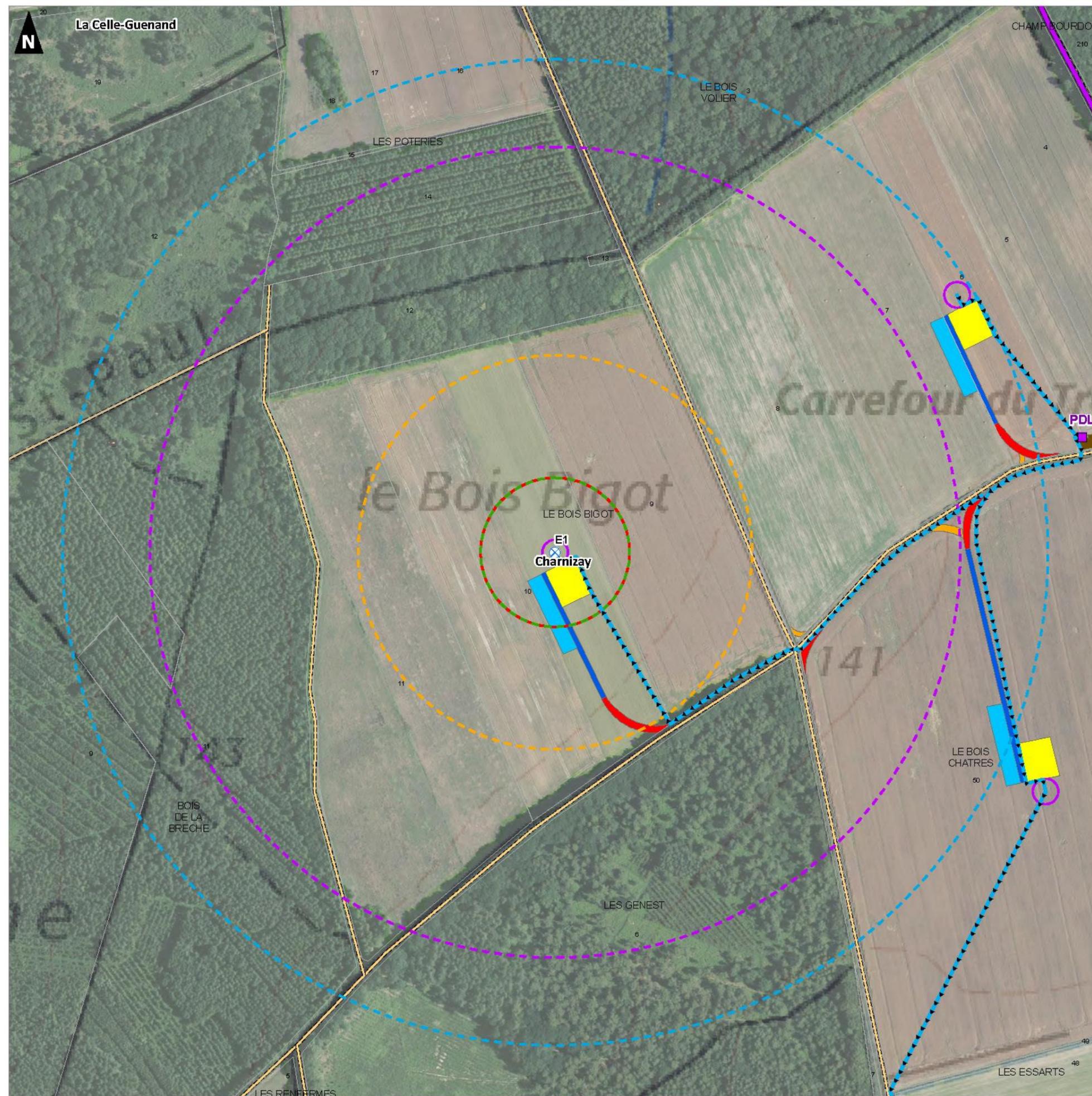
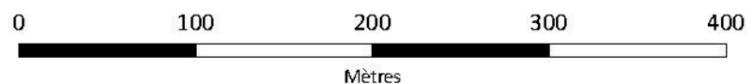
-  Chemins de randonnée 37 (PDIPR)

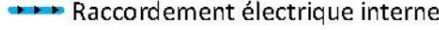
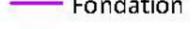
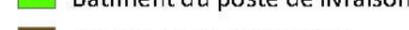
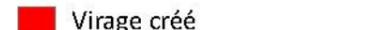
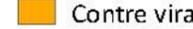
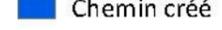
Zones urbanisées :

-  Bâti dur
-  Bâti léger
-  Limites communales
-  Limites cadastrales

Périmètres de zones d'effet des scénarios :

-  Effondrement de l'éolienne (200 m)
-  Chute d'éléments (75,35 m)
-  Chute de glace (75,35 m)
-  Projection de glace (412,6 m)
-  Projection ou fragment de pale (500 m)



-  Eolienne projetée
-  Poste de livraison
-  Raccordement électrique interne
-  Fondation
-  Batiment du poste de livraison
-  Aire du poste de livraison
-  Aire de grutage
-  Aire de stockage temporaire
-  Virage créé
-  Contre virage
-  Chemin créé

Enjeux :

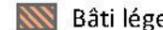
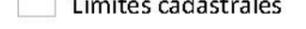
Réseau routier :

-  Route ou chemin secondaire

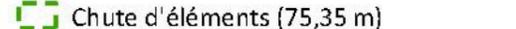
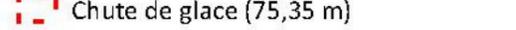
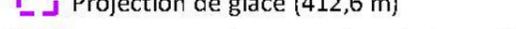
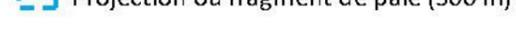
Chemins de randonnée ;

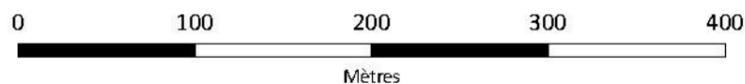
-  Chemins de randonnée 37 (PDIPR)

Zones urbanisées :

-  Bâti dur
-  Bâti léger
-  Limites communales
-  Limites cadastrales

Périmètres de zones d'effet des scénarios :

-  Effondrement de l'éolienne (200 m)
-  Chute d'éléments (75,35 m)
-  Chute de glace (75,35 m)
-  Projection de glace (412,6 m)
-  Projection ou fragment de pale (500 m)



-  Eolienne projetée
-  Poste de livraison
-  Raccordement électrique interne
-  Fondation
-  Batiment du poste de livraison
-  Aire du poste de livraison
-  Aire de grutage
-  Aire de stockage temporaire
-  Virage créé
-  Contre virage
-  Chemin créé

Enjeux :

Réseau routier :

-  Route ou chemin secondaire

Chemins de randonnée ;

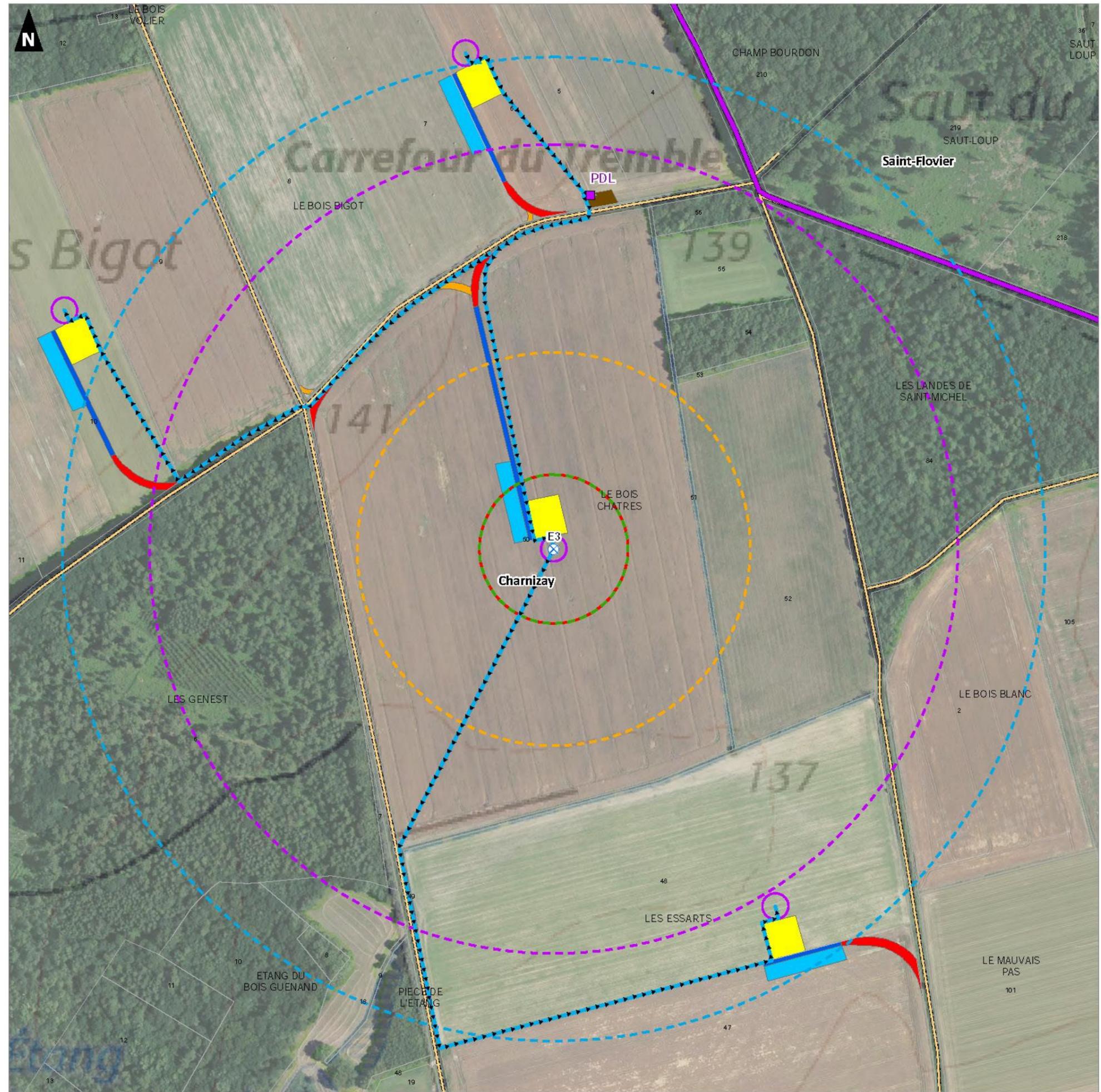
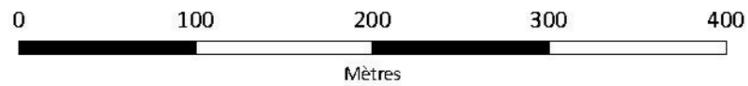
-  Chemins de randonnée 37 (PDIPR)

Zones urbanisées :

-  Bâti dur
-  Bâti léger
-  Limites communales
-  Limites cadastrales

Périmètres de zones d'effet des scénarios :

-  Effondrement de l'éolienne (200 m)
-  Chute d'éléments (75,35 m)
-  Chute de glace (75,35 m)
-  Projection de glace (412,6 m)
-  Projection ou fragment de pale (500 m)



-  Eolienne projetée
-  Poste de livraison
-  Raccordement électrique interne
-  Fondation
-  Batiment du poste de livraison
-  Aire du poste de livraison
-  Aire de grutage
-  Aire de stockage temporaire
-  Virage créé
-  Contre virage
-  Chemin créé

Enjeux :

Réseau routier :

-  Route ou chemin secondaire

Chemins de randonnée ;

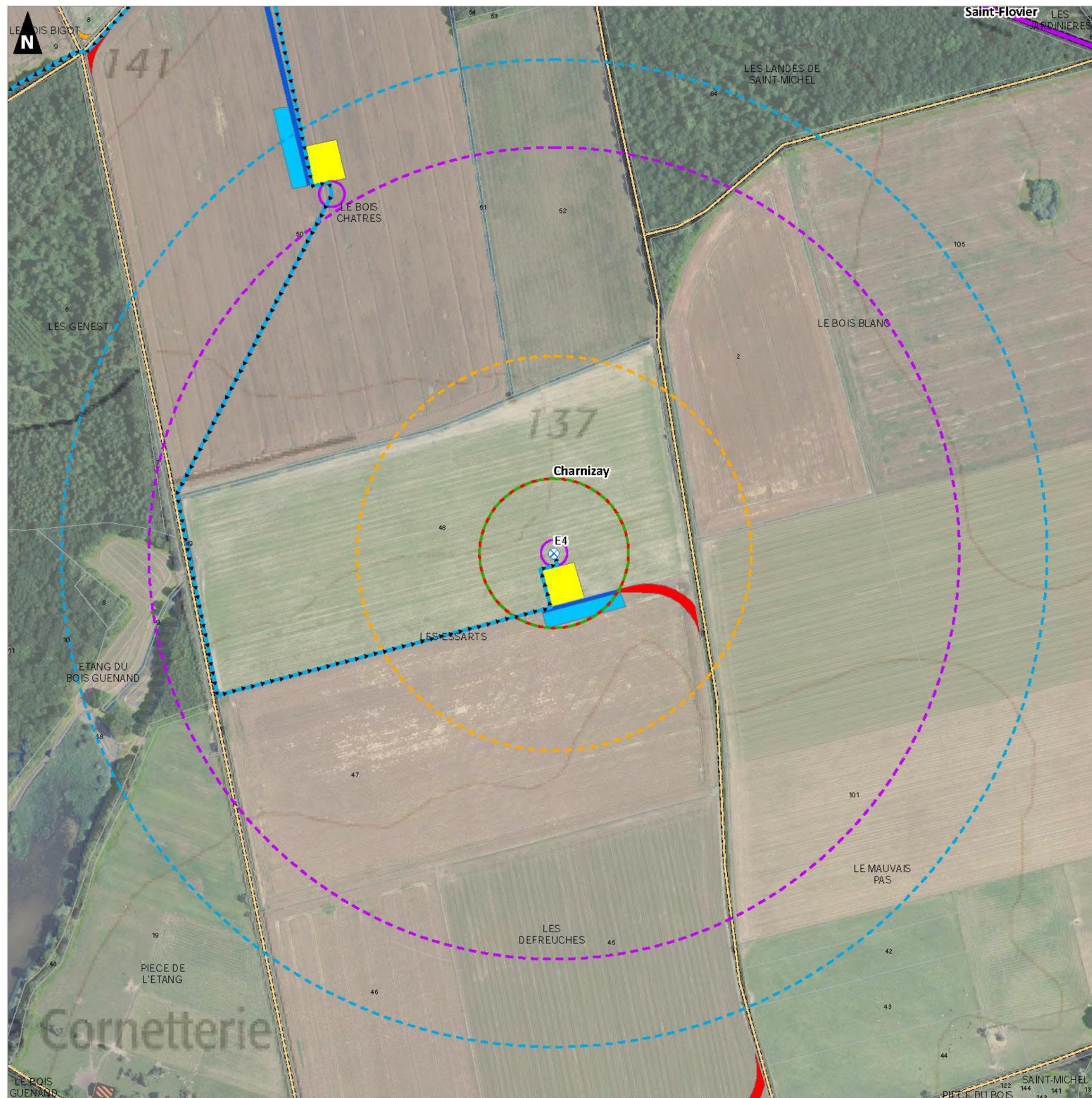
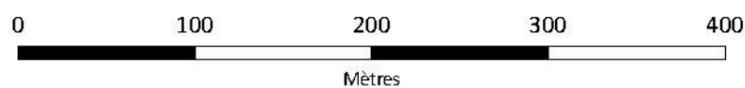
-  Chemins de randonnée 37 (PDIPR)

Zones urbanisées :

-  Bâti dur
-  Bâti léger
-  Limites communales
-  Limites cadastrales

Périmètres de zones d'effet des scénarios :

-  Effondrement de l'éolienne (200 m)
-  Chute d'éléments (75,35 m)
-  Chute de glace (75,35 m)
-  Projection de glace (412,6 m)
-  Projection ou fragment de pale (500 m)



CHAPITRE 9. CONCLUSION

Après la description de l'installation et de son environnement, il ressort que les potentiels de dangers d'un parc éolien sont relatifs :

- A des causes externes :
 - Présence d'ouvrages (voies de communication, réseaux) ;
 - Risques naturels (vents violents, foudre, mouvements de terrains, tremblements de terre, inondations) ;
- A des causes internes liées au fonctionnement des machines et aux produits utilisés :
 - Chute d'éléments de l'aérogénérateur (boulons, morceaux d'équipements, pale, etc.) ;
 - Projection d'éléments (morceaux de pale, morceaux de glace, etc.) ;
 - Effondrement de tout ou partie de l'aérogénérateur ;
 - Echauffement de pièces mécaniques ;
 - Courts-circuits électriques (aérogénérateur ou poste de livraison).

Une analyse préliminaire des risques a été réalisée, basée d'une part sur l'accidentologie permettant d'identifier les accidents les plus courants et basée d'autre part sur une identification des scénarios d'accidents.

Pour chaque scénario d'accident, l'étude a procédé à une analyse systématique des mesures de maîtrise des risques.

Cinq catégories de scénarios sont ressorties de l'analyse préliminaire et font l'objet d'une étude détaillée des risques :

- 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. Une cotation en intensité, probabilité, gravité et cinétique de ces événements permet de caractériser les risques pour toutes les séquences d'accidents.

Une recherche d'enjeux humains vulnérables a été réalisée dans chaque périmètre d'effet des cinq scénarios d'accident, permettant de repérer les interactions possibles entre les risques et les enjeux.

La cotation en gravité et probabilité pour chacune des éoliennes permet de classer le risque de chaque scénario selon la grille de criticité employée et inspirée de la circulaire du 10 mai 2010.

Après analyse détaillée des risques, selon la méthodologie de la circulaire du 10 mai 2010, il apparaît que tous les scénarios étudiés sont acceptables.

L'exploitant a mis en œuvre des mesures adaptées pour maîtriser les risques :

- L'implantation permet d'assurer un éloignement suffisant des zones fréquentées,
- L'exploitant respecte les prescriptions générales de l'arrêté du 26 août 2011,
- Les systèmes de sécurité des aérogénérateurs sont adaptés aux risques.

Les systèmes de sécurité des aérogénérateurs seront maintenus dans le temps et testés régulièrement en conformité avec la section 4 de l'arrêté du 26 août 2011.

Le projet du Parc éolien de Charnizay 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 actuelles.

CHAPITRE 10. ANNEXES

Annexe 1 – Bibliographie

- [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 ; A ce jour, ce texte est modifié par l'arrêté du 22 juin 2020.
- [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.

Annexe 2 - Analyse de conformité à l'arrêté du 26 août 2011

Art.	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	C/NC	Eléments de justification	N° annexe	Commentaires
Section 3 Dispositions constructives					
3	L'installation est implantée 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 ; 300 mètres d'une installation nucléaire de base visée par l'article 28 de la loi n° 2006-686 du 13 juin 2006 relative à la transparence et à la sécurité en matière nucléaire ou d'une installation classée pour l'environnement soumise à l'arrêté du 10 mai 2000 susvisé en raison de la présence de produits toxiques, explosifs, comburants et inflammables. Cette distance est mesurée à partir de la base du mât de chaque aérogénérateur.	C	Ces prescriptions sont respectées		
7	Le site dispose en permanence d'une voie d'accès carrossable au moins pour permettre l'intervention des services d'incendie et de secours.	C	Voir plans réglementaires	Dossier 6-	Les chemins autour des éoliennes sont renforcés pour permettre l'accès des camions en phase chantier. Les machines seront donc accessibles par les services de secours.
	Cet accès est entretenu. Les abords de l'installation placés sous le contrôle de l'exploitant sont maintenus en bon état de propreté.	C	L'exploitant s'engage à respecter cette prescription		
8	L'aérogénérateur est conforme 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, à l'exception des dispositions contraires aux prescriptions du présent arrêté.	C	Certificat de conformité NORDEX non encore disponible		
	L'exploitant tient à disposition de l'inspection des installations classées les rapports des organismes compétents attestant de la conformité des aérogénérateurs à la norme précitée.	C	L'exploitant s'engage à respecter cette prescription		
	En outre l'exploitant tient à disposition de l'inspection des installations classées les justificatifs démontrant que chaque aérogénérateur de l'installation est conforme aux dispositions de l'article R. 111-38 du code de la construction et de l'habitation.	C	L'exploitant s'engage à respecter cette prescription		Les éoliennes sont soumises obligatoirement au contrôle technique réalisé par un organisme agréé. A l'issue de celui-ci, l'exploitant archivera les rapports de contrôle.
9	L'installation est mise à la terre.	C	Le constructeur s'engage à respecter cette prescription	2	
	Les aérogénérateurs respectent les dispositions de la norme IEC 61 400-24 (version de juin 2010).	C	La protection foudre de l'éolienne répond au standard IEC61400-24 et aux standards non spécifiques aux éoliennes comme IEC62305-1, IEC62305-3 et IEC62305-4		Concerne la protection contre la foudre
	L'exploitant tient à disposition de l'inspection des installations classées les rapports des organismes compétents attestant de la conformité des aérogénérateurs à la norme précitée.	C	L'exploitant s'engage à respecter cette prescription		
	Les opérations de maintenance incluent un contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre.	C	Voir Etude de dangers, § 7.6. Mise en place des mesures de sécurité / Tableaux des fonctions de sécurité		
10	Les installations électriques à l'intérieur de l'aérogénérateur respectent les dispositions de la directive du 17 mai 2006 susvisée qui leur sont applicables.	C	Le constructeur s'engage à respecter cette prescription	2	Cela concerne la directive 2006/42/CE du parlement européen et du conseil du 17 mai 2006.

Art.	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	C/NC	Eléments de justification	N° annexe	Commentaires
10	Les installations électriques extérieures à l'aérogénérateur sont conformes aux normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NFC 13-100 (version de 2001) et NFC 13-200 (version de 2009).	C	Conformité vis-à-vis des normes vérifiées par un bureau de contrôle agréé qui délivre une attestation de conformité indispensable pour obtenir le Consuel lui-même exigé par ERDF avant toute mise sous tension. NORDEX remet à la société SNC CPENR de Bena un certificat de conformité aux normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NFC 13-100 (version de 2001) et NFC 13-200 (version de 2009).		Cela concerne le poste de livraison.
	Ces installations sont entretenues et maintenues en bon état et sont contrôlées avant la mise en service industrielle puis à une fréquence annuelle, après leur installation ou leur modification par une personne compétente.	C	Voir Etude de dangers, § 7.6. Mise en place des mesures de sécurité / Tableaux des fonctions de sécurité	Dossier 5-	Cela concerne l'arrêté du 10 octobre 2000 fixant la périodicité, l'objet et l'étendue des vérifications des installations électriques au titre de la protection des travailleurs
	La périodicité, l'objet et l'étendue des vérifications des installations électriques ainsi que le contenu des rapports relatifs aux dites vérifications sont fixés par l'arrêté du 10 octobre 2000 susvisé.	C	Voir Etude de dangers, § 7.6. Mise en place des mesures de sécurité / Tableaux des fonctions de sécurité	Dossier 5-	
11	Le balisage de l'installation est conforme 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.	C	Le constructeur s'engage à respecter cette prescription		
Section 4 Exploitation					
13	Les personnes étrangères à l'installation n'ont pas d'accès libre à l'intérieur des aérogénérateurs. Les accès à l'intérieur de chaque aérogénérateur, du poste de transformation, de raccordement ou de livraison sont maintenus fermés à clef afin d'empêcher les personnes non autorisées d'accéder aux équipements.	C	Les ouvrages sont fermés à clef et l'exploitant s'engage à respecter cette prescription		
14	Les prescriptions à observer par les tiers sont affichées soit en caractères lisibles, soit au moyen de pictogrammes sur un panneau sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur, sur le poste de livraison et, le cas échéant, sur le poste de raccordement. Elles concernent notamment : – les consignes de sécurité à suivre en cas de situation anormale ; – l'interdiction de pénétrer dans l'aérogénérateur ; – la mise en garde face aux risques d'électrocution ; – la mise en garde, le cas échéant, face au risque de chute de glace.	C	Voir Etude de dangers, § 7.6. Mise en place des mesures de sécurité / Tableaux des fonctions de sécurité	Dossier 5-	
15	Avant la mise en service industrielle d'un aérogénérateur, l'exploitant réalise des essais permettant de s'assurer du fonctionnement correct de l'ensemble des équipements. Ces essais comprennent : – un arrêt ; – un arrêt d'urgence ; – un arrêt depuis un régime de survitesse ou une simulation de ce régime.	C	Voir Etude de dangers, § 7.6. Mise en place des mesures de sécurité / Tableaux des fonctions de sécurité	Dossier 5-	
	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.	C	Voir Etude de dangers, § 7.6. Mise en place des mesures de sécurité / Tableaux des fonctions de sécurité	Dossier 5-	
16	L'intérieur de l'aérogénérateur est maintenu propre. L'entreposage à l'intérieur de l'aérogénérateur de matériaux combustibles ou inflammables est interdit.	C	Voir § 4.2.4. De l'étude de dangers	Dossier 5-	
17	Le fonctionnement de l'installation est assuré par un personnel compétent disposant d'une formation portant sur les risques présentés par l'installation, ainsi que sur les moyens mis en œuvre pour les éviter. Il connaît les procédures à suivre en cas d'urgence et procède à des exercices d'entraînement, le cas échéant, en lien avec les services de secours.	C	Voir § 4.3.6.2. De l'étude d'impact sur l'environnement	Dossier 4-	
18	Trois mois, puis un an après la mise en service industrielle, puis suivant une périodicité qui ne peut excéder trois ans, l'exploitant procède à un contrôle de l'aérogénérateur consistant en un contrôle des brides de fixation, des brides de mât, de la fixation des pales et un contrôle visuel du mât. Selon une périodicité qui ne peut excéder un an, l'exploitant procède à un contrôle des systèmes instrumentés de sécurité.	C	Voir Etude de dangers, § 7.6. Mise en place des mesures de sécurité / Tableaux des fonctions de sécurité	Dossier 5-	
	Ces contrôles font l'objet d'un rapport tenu à la disposition de l'inspection des installations classées.	C	L'exploitant s'engage à respecter cette prescription		

Art.	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	C/NC	Eléments de justification	N° annexe	Commentaires
19	L'exploitant dispose d'un manuel d'entretien de l'installation dans lequel sont précisées la nature et les fréquences des opérations d'entretien afin d'assurer le bon fonctionnement de l'installation. L'exploitant tient à jour pour chaque installation un registre dans lequel sont consignées les opérations de maintenance ou d'entretien et leur nature, les défaillances constatées et les opérations correctives engagées.	C	L'exploitant s'engage à respecter cette prescription		
Section 5 Risques					
22	Des consignes de sécurité sont établies et portées à la connaissance du personnel en charge de l'exploitation et de la maintenance. Ces consignes indiquent : – les procédures d'arrêt d'urgence et de mise en sécurité de l'installation ; – les limites de sécurité de fonctionnement et d'arrêt ; – les précautions à prendre avec l'emploi et le stockage de produits incompatibles ; – les procédures d'alertes avec les numéros de téléphone du responsable d'intervention de l'établissement, des services d'incendie et de secours.	C	Les consignes de sécurité NORDEX seront transmises aux équipes d'exploitation de la société SNC CPENR de Bena.		
	Les consignes de sécurité indiquent également les mesures à mettre en œuvre afin de maintenir les installations en sécurité dans les situations suivantes : survitesse, conditions de gel, orages, tremblements de terre, haubans rompus ou relâchés, défaillance des freins, balourd du rotor, fixations détendues, défauts de lubrification, tempêtes de sable, incendie ou inondation.	C	Voir Etude de dangers, § 7.6. Mise en place des mesures de sécurité / Tableaux des fonctions de sécurité	Dossier 5-	
	Chaque aérogénérateur est doté d'un système de détection qui permet d'alerter, à tout moment, l'exploitant ou un opérateur qu'il aura désigné, en cas d'incendie ou d'entrée en survitesse de l'aérogénérateur.	C	Voir Etude de dangers, § 7.6. Mise en place des mesures de sécurité / Tableaux des fonctions de sécurité	Dossier 5-	
23	L'exploitant ou un opérateur qu'il aura désigné est en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de quinze minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur.	C	Voir Etude de dangers, § 7.6. Mise en place des mesures de sécurité / Tableaux des fonctions de sécurité	Dossier 5-	
	L'exploitant dresse la liste de ces détecteurs avec leur fonctionnalité et détermine les opérations d'entretien destinées à maintenir leur efficacité dans le temps.	C	Cette liste est réalisée par NORDEX. Les opérations d'entretien sont listées dans le Plan de sécurité et de santé. Voir Etude de dangers, § 33 Opérations de maintenance de l'installation	Dossier 5-	
	Chaque aérogénérateur est doté de moyens de lutte contre l'incendie appropriés aux risques et conformes aux normes en vigueur, notamment :	/			
	– d'un système d'alarme qui peut être couplé avec le dispositif mentionné à l'article 23 et qui informe l'exploitant à tout moment d'un fonctionnement anormal. Ce dernier est en mesure de mettre en œuvre les procédures d'arrêt d'urgence mentionnées à l'article 22 dans un délai de soixante minutes ;		Voir § 31 de l'étude de dangers	Dossier 5-	
24	– d'au moins deux extincteurs situés à l'intérieur de l'aérogénérateur, au sommet et au pied de celui-ci. Ils sont positionnés de façon bien visible et facilement accessibles.		Voir Etude de dangers, § 7.6. Mise en place des mesures de sécurité / Tableaux des fonctions de sécurité	Dossier 5-	
	Les agents d'extinction sont appropriés aux risques à combattre.		Voir Etude de dangers, § 7.6. Mise en place des mesures de sécurité / Tableaux des fonctions de sécurité	Dossier 5-	
	Cette disposition ne s'applique pas aux aérogénérateurs ne disposant pas d'accès à l'intérieur du mât.	/			
	Chaque aérogénérateur est équipé d'un système permettant de détecter ou de déduire la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur.		Voir Etude de dangers, § 7.6. Mise en place des mesures de sécurité / Tableaux des fonctions de sécurité	Dossier 5-	
25	En cas de formation importante de glace, l'aérogénérateur est mis à l'arrêt dans un délai maximal de soixante minutes.		Voir Etude de dangers, § 7.6. Mise en place des mesures de sécurité / Tableaux des fonctions de sécurité	Dossier 5-	
	L'exploitant définit une procédure de redémarrage de l'aérogénérateur en cas d'arrêt automatique lié à la présence de glace sur les pales. Cette procédure figure parmi les consignes de sécurité mentionnées à l'article 22.	C	Voir Etude de dangers, § 7.6. Mise en place des mesures de sécurité / Tableaux des fonctions de sécurité	Dossier 5-	

Art.	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	C/NC	Eléments de justification	N° annexe	Commentaires
	Lorsqu'un référentiel technique permettant de déterminer l'importance de glace formée nécessitant l'arrêt de l'aérogénérateur est reconnu par le ministre des installations classées, l'exploitant respecte les règles prévues par ce référentiel.	/			Aucun référentiel technique existe à ce jour. Seul le guide technique INERIS/SER traite du risque de formation de glace.
	Cet article n'est pas applicable aux installations implantées dans les départements où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C.	/			

Annexe 3 – Annexes au guide technique INERIS et compléments à l'accidentologie

Cf. pages suivantes

Guide technique INERIS/SER FEE version mai 2012 – Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens

ANNEXE A – MÉTHODE DE COMPTAGE DES PERSONNES POUR LA DÉTERMINATION DE LA GRAVITÉ POTENTIELLE D'UN ACCIDENT À PROXIMITÉ D'UNE ÉOLIENNE

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

Dans le cadre de l'étude de dangers des parcs éoliens, cette méthode permet tout d'abord, au stade de la description de l'environnement de l'installation (partie III.4), de comptabiliser les enjeux humains présents dans les ensembles homogènes (terrains non bâtis, voies de circulation, zones habitées, ERP, zones industrielles, commerces...) situés dans l'aire d'étude de l'éolienne considérée.

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

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.

1 / 18

Guide technique INERIS/SER FEE version mai 2012 – Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens

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

Voies ferroviaires

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

Voies navigables

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

Chemins et voies piétonnes

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

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

Logements

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

Etablissements recevant du public (ERP)

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

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

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

2 / 18

Guide technique INERIS/SER FEE version mai 2012 – Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens

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

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

Zones d'activité

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

3 / 18

Guide technique INERIS/SER FEE version mai 2012 – Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens

ANNEXE B – 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 fin 2011. L'analyse de ces données est présentée dans la partie VI. de la trame type de l'étude de dangers.

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Sourc(e)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)	-

4 / 18

Guide technique INERIS/SER FEE version mai 2012 – Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens

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	Sources de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	25/02/2002	Saillables-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Brûlé 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	Saillables-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Brûlé de pales en bois (avec inserts) sur trois éoliennes. Morceaux de pales disséminés sur 300 m.	Dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Article de presse (Midi Libre du 15/11/2003)	-
Effondrement	01/01/2004	Le Portel – Boulogne sur Mer	Pas de Calais	0,75	2002	Non	Cassure d'une pale, chute du mât et destruction totale. Une pale tombe sur la plage et les deux autres dérivent sur 8 km.	Tempête	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (Windpower Monthly May 2004, La Voix du Nord du 02/01/2004)	-
Effondrement	20/03/2004	Loon Plage – Port de Dunkerque	Nord	0,3	1996	Non	Couchage du mât d'une des 9 éoliennes suite à l'arrachement de la fondation	Rupture de 3 des 4 micropieux de la fondation, erreur de calcul (facteur de 10)	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (La Voix du Nord du 20/03/2004 et du 21/03/2004)	-
Rupture de pale	22/06/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50 m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	-
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	Incident identique à celui s'étant produit 15 jours auparavant
Rupture de pale	2004	Escalles-Cornillac	Aude	0,75	2003	Non	Brûlé de trois pales		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale + incendie	22/12/2004	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Brûlé 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	-

5 / 18

Guide technique INERIS/SER FEE version mai 2012 – Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens

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	Sources de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Rupture de pale	2005	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Brûlé 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	Clitoups	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 retrait des boulons de charnières effectué sur toutes les machines en exploitation.	Article de presse (Le Télégramme)	-

6 / 18

Guide technique INERIS/SER FEE version mai 2012 – Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens

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	Sourcé(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Emballlement	03/2008	Dinéault	Finistère	0,3	2002	Non	Emballlement de l'éolienne mais pas de bris de pale	Tempête + système de freinage hors service (boullon manquant)	Base de données ARIA	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (événement unique et sans répétition potentielle sur les personnes)
Collision avion	04/2008	Plouguin	Finistère	2	2004	Non	Léger choc entre l'aile d'un bimoteur Beechcraft (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	26/11/2008	Raival - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale		Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain)	-
Maintenance	26/01/2009	Clastras	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	Boillène	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)

7 / 18

Guide technique INERIS/SER FEE version mai 2012 – Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens

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	Sourcé(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
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	Emballlement 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	-

8 / 18

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	Sources 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	Widéhém	Pas-de-Calais	0,75	2000	Non	Bris de pales, dont des fragments ont été projetés jusqu'à 380 m. Aucun blessé et aucun dégat matériel (en dehors de l'éolienne).	Tempête + panne d'électricité	Article de presse (La Voix du Nord 06/01/2012) Vidéo DailyMotion Interne exploitant	-

9 / 18

ANNEXE C – 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 préventions intégrés stopperont le rotor. La chute de ces éléments interviendra donc dans l'aire surplombée par le rotor, le déport induit par le vent étant négligeable.

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

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

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

Scénario G02

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

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

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

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

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

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

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

10 / 18

Guide technique INERIS/SER FEE version mai 2012 – Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens

L'incendie peut aussi être provoqué par l'échauffement des pièces mécaniques en cas d'emballage 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'emballage 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.

11 / 18

Guide technique INERIS/SER FEE version mai 2012 – Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens

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 dispersera rapidement les produits dans le sol.

Scénario F02

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

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

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

Ce scénario est à adapter en fonction des produits utilisés.

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

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

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

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

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

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

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

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

L'emballage de l'éolienne constitue un facteur aggravant en cas de projection de tout ou partie d'une pale. Cet emballage 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.

12 / 18

Guide technique INERIS/SER FEE version mai 2012 – Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens

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, ...

13 / 18

Guide technique INERIS/SER FEE version mai 2012 – Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens

ANNEXE D – PROBABILITE 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.

14 / 18

Guide technique INERIS/SER FEE version mai 2012 – Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens

ANNEXE 5 – GLOSSAIRE

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

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

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

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

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

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

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

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

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

15 / 18

Guide technique INERIS/SER FEE version mai 2012 – Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens

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

16 / 18

Guide technique INERIS/SER FEE version mai 2012 – Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens

sont effectivement exposées, 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.

Guide technique INERIS/SER FEE version mai 2012 – Elaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens

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

Annexe 4 - Compléments à l'accidentologie de parcs éoliens en France (mise à jour en juin 2021, source : base 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
Complément à l'accidentologie listée dans le guide INERIS de mai 2012										
Rupture de pale	15/05/2012	Chemin d'Ablis	Eure-et-Loir	2	2008	Oui	Chute d'une pale de 9 tonnes et rupture du roulement raccordant la pale au hub	Traces de corrosion dans les trous d'alésage traversant une des bagues du roulement	Articles de presse (leFigaro 22/05/2012) et ARIA (n°42919)	-
Effondrement de la tour	30/05/2012	Non communiqué	Aude	0,2	1991	Non	Effondrement de la tour en treillis de 30 m de haut	Rafales de vent à 130 km/h observées durant la nuit	ARIA (n°43110)	-
Projection d'un élément de la pale	01/11/2012	Non communiqué	Cantal	2,5	2011	Oui	Projection d'un élément de 400 g constitutif d'une pale d'éolienne à 70 m du mât		ARIA (n°43120)	-
Incendie	05/11/2012	Non communiqué	Aude	0,66	-	-	Projections incandescentes enflamment 80 m ² de garrigue environnante	Câbles électriques non résistants au feu à l'intérieur du mât	ARIA (n°43228)	-
Incendie	17/03/2013		Marne		2011	Oui	Feu dans la nacelle d'une éolienne. Une des pales tombe au sol, une autre menace de tomber.	Défaillance électrique	ARIA (n°43630)	L'exploitant et la société chargée de la maintenance étudient la possibilité d'installer des détecteurs de fumées dans les éoliennes.

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Incendie	09/01/2014		Champagne-Ardenne	2,5	-	-	Feu se déclarant vers 18 h au niveau de la partie moteur d'une éolienne.	Incident électrique	ARIA (n°44831)	-
Rupture de pale	20/01/2014		Aude				Chute de pale liées à la rupture d'une pièce à la base de la pale	Usure prématurée	ARIA (n°44870)	Changement du design des pièces
Rupture de pale	14/11/2014	Sources de la Loire	Ardèche				Chute d'une pale un jour d'orage ou les vents atteignent 130km/h		ARIA (n°45960)	
Rupture de pale	05/12/2014		Aude				Lors d'une inspection, des techniciens de maintenance constatent le détachement de l'extrémité d'une pale	Défaillance matérielle ou à un décollage sur les plaques en fibre de verre	ARIA (n°46030)	
Incendie	24/08/2015		Eure-et-Loir		2007		Le moteur d'une éolienne a pris feu		Article de presse (la république du centre 24/08/2015)	
Chute d'élément	10/11/2015	Ménil-la-Horgne	Meuse	10.5	2007		Chute des trois pales et du rotor d'une éolienne		Article de presse (France 3 Lorraine 14/11/2015 et L'est républicain 13/11/2015)	

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	07/02/2016	Conilhac-Corbières	Aude				Chute de l'aérovein d'une des pales	Rupture du point d'attache du système mécanique de commande de l'aérovein	ARIA (n°47675)	
Chute de pale	08/02/2016	Dineault	Finistère	0,3 MW	1999		Une pale chute au sol, un autre se déchire et est retrouvé à 40m du pied du mât		ARIA (n°47680)	
Chute de pale	07/03/2016	Calanhel	Côtes-d'Armor	0,80 MW			Rupture et chute de la pale à 5m du mât.	Rupture du système d'orientation	ARIA (n°47763)	
Détérioration	11/01/2017	Le Quesnoy	Nord				Fissuration d'une pale		Base de données ARIA (N° 49413)	
Chute de pale	12/01/2017	Tuchan	Aude	0,6 M>	2002		3 pales chutent au sol	Défaillance matérielle	Base de données ARIA (N° 49104)	
Chute de pale	18/01/2017	Nurlu	Somme				Décrochage et chute d'une partie de pale	Tempête ?	Article de presse (France 3 Picardie 19/01/2017) Base de données ARIA (N° 49151)	

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	27/02/2017	Parc éolien de Levoncourt	Meuse	2 MW	2011		La pointe d'une pale d'éolienne s'est rompue pendant un orage	Rafale de vent	Base de données ARIA (N° 49359)	
Rupture de pale	27/02/2017	Commune de Traves	Deux-Sèvres	2 MW	2011		Fragments de pale projetés	Défaillance matérielle	Base de données ARIA (N° 49374)	
Incendie	06/06/2017	Allonnes	Eure-et-Loir				Incendie du moteur de l'éolienne	Défaillance matérielle	Article de presse (L'écho républicain, 06/06/2017) Base de données ARIA (N° 49746)	
Chute de pale	08/06/2017	Aussac-Vadalle	Charente					Foudre	Base de données ARIA (N° 49768)	
Chute de pale	24/06/2017	Conchy-sur-Canche	Pas-de-Calais				Une pale d'une éolienne se brise au niveau de sa jonction avec le rotor	Inconnue	Base de données ARIA (N° 49902)	
Chute d'éléments	17/07/2017	Fécamp	Seine-Maritime				Un aérofrein se détache d'une pale d'éolienne	Défaillance matérielle ou humaine	Base de données ARIA (N° 50291)	L'exploitant étudie l'opportunité d'augmenter la fréquence d'inspection des mécanismes de fixation des aérofreins ou leur modification

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
Fuite d'huile	24/07/2017	Mauron	Morbihan					Rupture flexible	Base de données ARIA (N° 50898)	
Rupture de pale	03/08/2017	Parc de l'Osière, commune de Priez	Aisne				Rupture d'une partie de la pale d'éolienne		Article de presse (L'ardennais, 10/08/2017, l'Union 10/08/2017) Base de données ARIA (N° 50148)	
Chute d'éléments	08/11/2017	Commune de Roman	Eure		2010		le carénage de la pointe de la nacelle d'une éolienne tombe au sol	Défaillance dans l'installation	Base de données ARIA (N° 50694)	
Effondrement de l'éolienne	01/01/2018	Parc éolien de Bouin	Vendée	2,4 MW	2003		Effondrement de l'éolienne	Tempête Le protocole des inspections de maintenance ne couvrait pas la liaison mécanique entre le moteur et les freins. L'usure de cet équipement n'a pas été détectée	Presse Base de données ARIA (N° 50913)	
Chute de pale	04/01/2018	Parc éolien de Rampont	Meuse	2 MW	2008		Chute d'une pale d'éolienne	Episode venteux	Base de données ARIA (n°50905 – 04/01/2018)	Les morceaux les plus éloignés sont ramassés à 200 m

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute d'élément	06/02/2018	Parc éolien de Conilhac-Corbières	Aude	2,3 MW	2014		L'aérofrein d'une pale d'éolienne a chuté au sol	Défaut sur l'électronique de puissance	Base de données ARIA (n°51122 – 06/02/2018)	
Incendie	01/06/2018	Parc éolien de Marsanne	Drôme	2 MW	2008		Incendie	Incendie criminel	Communiqué de presse (RES, 01/06/2018) Base de données ARIA (n°51675)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers
Incendie	05/06/2018	Parc éolien du Causse d'Aumelas	Hérault	1,45 MW	2013	Non	Incendie de la nacelle et chute d'éléments au sol	Incendie électrique	Base de données ARIA (n°51681)	
Chute de pale	04/07/2018	Commune de Port-la-Nouvelle	Aude		1993	Non	Dislocation de deux pales d'une éolienne		Base de données ARIA (n° 51853)	Des éléments sont projetés à 150 m du mât après s'être décrochés
Incendie	03/08/2018	Parc des Monts de l'Ain	Ain	2,05 MW	2017		Incendie	Incendie criminel	France 3 Auvergne-Rhône-Alpes (03/08/2018)	
Incendie	28/09/2018	Sauveterre	Tarn		2009		Incendie	Incendie criminel	Base de données ARIA (n°52641)	

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 de l'éolienne	06/11/2018	Parc éolien de la Vallée du Moulin, commune de Guigneville	Loiret	3 MW	2010		Effondrement de l'éolienne	Une survitesse de rotation des pales de l'éolienne a conduit à une surcharge de contraintes sur la structure	Article de presse (France Info Centre Val de Loire, 07/11/2018) Base de données ARIA N°52558	
Chute d'éléments	18/11/2018	Parc éolien de Conilhac-Corbières	Aude	2,3 MW	2014		Les 3 aérofreins d'une pale d'éolienne a chuté au sol	L'éolienne s'est arrêtée à la suite de l'ouverture de la chaîne de sécurité	Base de données ARIA N° 52653	
Rupture de pale	19/11/2018	Parc éolien des Tournevent du Cos, Commune d'Ollezy	Aisne	2,4 MW	2017		Chute d'un morceau de pale	Défaut de fabrication	Base de données ARIA N°52638	Un morceau de 40 m est au sol à environ 60 m, dans un champ
Chute d'éléments	03/01/2019	Parc éolien de la Limouzinière	Loire Atlantique	2,05 MW	2010		Un feu se déclare au niveau de la nacelle d'une éolienne de 78 m de haut, avec débris au sol et huile enflammée au sol.	Un phénomène harmonique à la fréquence de rotation de la génératrice	Base de données ARIA N°52838	
Incendie	20/01/2019	Commune de Roussas	Drôme	1,75 MW	2006				Base de données ARIA N°52993	
Effondrement d'une éolienne	23/01/2019	Parc éolien de Boutavent	Oise	1,2 MW	2011		Mât de l'éolienne plié en 2 probablement dû à un problème sur le générateur		France 3 Hauts-de-France Base de données ARIA N°53010	Débris retrouvés dans un rayon de 300 m autour de l'éolienne

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute d'une pale	30/01/2019	Parc éolien de Roquetaillade	Aude		2001	Non	La pale d'un aérogénérateur a chuté au sol.	Défaillance matérielle	Ladepeche.fr (19/02/2019) Base de données ARIA N°53139	Incidents similaires déjà produits sur ce parc éolien
Rupture de pale	17/01/2019	Parc éolien du Bambesch	Moselle	2 MW	2007		Bris et projection de plusieurs morceaux de pale	Défaillance matérielle	Le Républicain Lorrain (30/01/2019) Base de données ARIA N° 52967	Deux morceaux, l'un de 5 m (coque) et l'autre de 28 m (fibre de verre), chutent au sol. Celui de 28 m est projeté à 100 m de l'éolienne
Incendie	18/06/2019	Parc éolien de Quesnoy sur Airaines	Somme	> 2,05 MW	2011-2013				Base de données ARIA N°53857	Selon la presse, un court-circuit sur un condensateur est à l'origine du sinistre
Chute d'éléments	25/06/2019	Parc éolien d'Ambon	Morbihan	1,67 MW	2008		Suite à un incendie, des éléments chutent de l'éolienne	Maintenance	Base de données ARIA N°53860	
Rupture de pale	27/06/2019	Parc éolien de la Picoterie, Commune de Charly-sur-Marne	Aisne	2 MW	2009		Projection d'un bout de pale abîmée lors de la mise à l'arrêt suite à une inspection	Défaillance	Base de données ARIA N° 53894	Projection de deux morceaux, l'un à 15 m, l'autre à 100 m
Détérioration	03/07/2019	Port la Nouvelle – Sigean	Aude	0,66	2000		Impact de foudre sur une pale causant une ouverture du bout de la pale	Foudre	Base de données ARIA N° 53955	

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute d'éléments	04/09/2019	Parc éolien d'Escales-Corniilhac	Aube	750 kW	2003		Arrêt brutal suivi de la chute de deux aérofreins	Inconnue	Base de données ARIA N°54407	Débris retrouvés à 5 et 65 m du mât de l'éolienne
Chute d'éléments	28/11/2019	Hangest-en-Santerre	Somme	2,05 MW	2015		Le capot se situant à l'extrémité de la nacelle d'une éolienne se décroche et tombe au sol.	Inconnue	Base de données ARIA N°54761	
Rupture de pale	09/12/2019	Parc éolien de Montjean, commune de la Forêt de Tessé	Charente	2 MW	2016		Pale brisée en plusieurs morceaux	Inconnue	Base de données ARIA N°54810	
Incendie	17/12/2019	Parc éolien de Mont Gomont, Commune d'Ambonville	Haute-Marne	2 MW	2010			Défaillance électrique	Base de données ARIA N°54820	
Chute d'éléments	22/01/2020	Parc éolien de Saint-Seine-L'Abbaye	Côte d'Or		2009		Glissement d'un joint de pale	Défaillance matérielle	Base de données ARIA N°55331	
Rupture de pale	09/02/2020	Parc éolien de Beaufeuve	Alsne	2 MW	2009		Chute d'une pale lors de l'arrêt d'une machine pour maintenance	Tempête	Base de données ARIA N°55055	

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Chute d'éléments	26/02/2020	Parc éolien de Theil-Rabier	Charente	2 MW	2016		Une pale d'éolienne se rompt et des fragments tombent au sol	Défaillance matérielle	Base de données ARIA N°55311	
Incendie	29/03/2020	Commune de Boisbergues	Somme	2 MW	2015		Fuite d'huile		Base de données ARIA N°55133	
Incendie	24/03/2020	Parc éolien de la Bouleste, commune de Flavin	Aveyron	2 MW	2010			Inconnue	Base de données ARIA N°55294	
Incendie	20/04/2020	Parc éolien de Morne-Carrière, commune du Vauclin	Martinique		2004		Incendie sur éolienne au sol en cours de démantèlement	Présence animale	Base de données ARIA N°55456	



PARC EOLIEN DE CHARNIZAY, COMMUNE DE CHARNIZAY (37)

Dossier d'autorisation environnementale

Dossier n°8 - Résumé non technique de l'étude de dangers



Dossier 19050046-V2
10/05/2022

réalisé par



Auddicé
Environnement
Zone Ecoparc
Rue des petites granges
49400 SAUMUR
02 32 32 53 38



PARC EOLIEN DE CHARNIZAY, COMMUNE DE CHARNIZAY (36)

Dossier d'autorisation environnementale

Dossier n°8 - Résumé non technique de l'étude de dangers

Rapport – Version finale

Version	Date	Description
Rapport – Version finale	Janvier 2022	RNT - Etude de dangers mise à jour

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE 1. PREAMBULE	4
CHAPITRE 2. PRESENTATION DE L'INSTALLATION.....	5
CHAPITRE 3. IDENTIFICATION DES DANGERS ET ANALYSE DES RISQUES ASSOCIES.....	7
3.1 Les sources de dangers.....	7
3.2 Les enjeux à protéger	9
3.3 Réduction des potentiels de dangers à la source.....	11
3.3.1 Principales actions préventives	11
3.3.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles.....	11
3.4 Analyse des risques	11
3.4.1 Analyse du retour d'expérience.....	11
3.4.2 Analyse préliminaire des risques.....	11
3.4.3 Mesures de maîtrise des risques.....	12
3.4.4 Conclusion sur l'analyse préliminaire	12
3.5 Etudes détaillées des risques.....	13
3.5.1 Définitions	13
3.5.2 Sélection de l'éolienne la plus impactante.....	15
3.5.3 Tableau de synthèse de l'étude détaillée des risques	16
3.5.4 Synthèse de l'acceptabilité des risques	16
3.5.5 Cartographie des risques.....	17
CHAPITRE 4. CONCLUSION	22

LISTE DES CARTES

Carte 1.	Localisation du projet	6
Carte 2.	Carte des enjeux	10
Carte 3.	Carte des risques – Eolienne E1.....	18
Carte 4.	Carte des risques – Eolienne E2.....	19
Carte 5.	Carte des risques – Eolienne E3.....	20
Carte 6.	Carte des risques – Eolienne E4.....	21

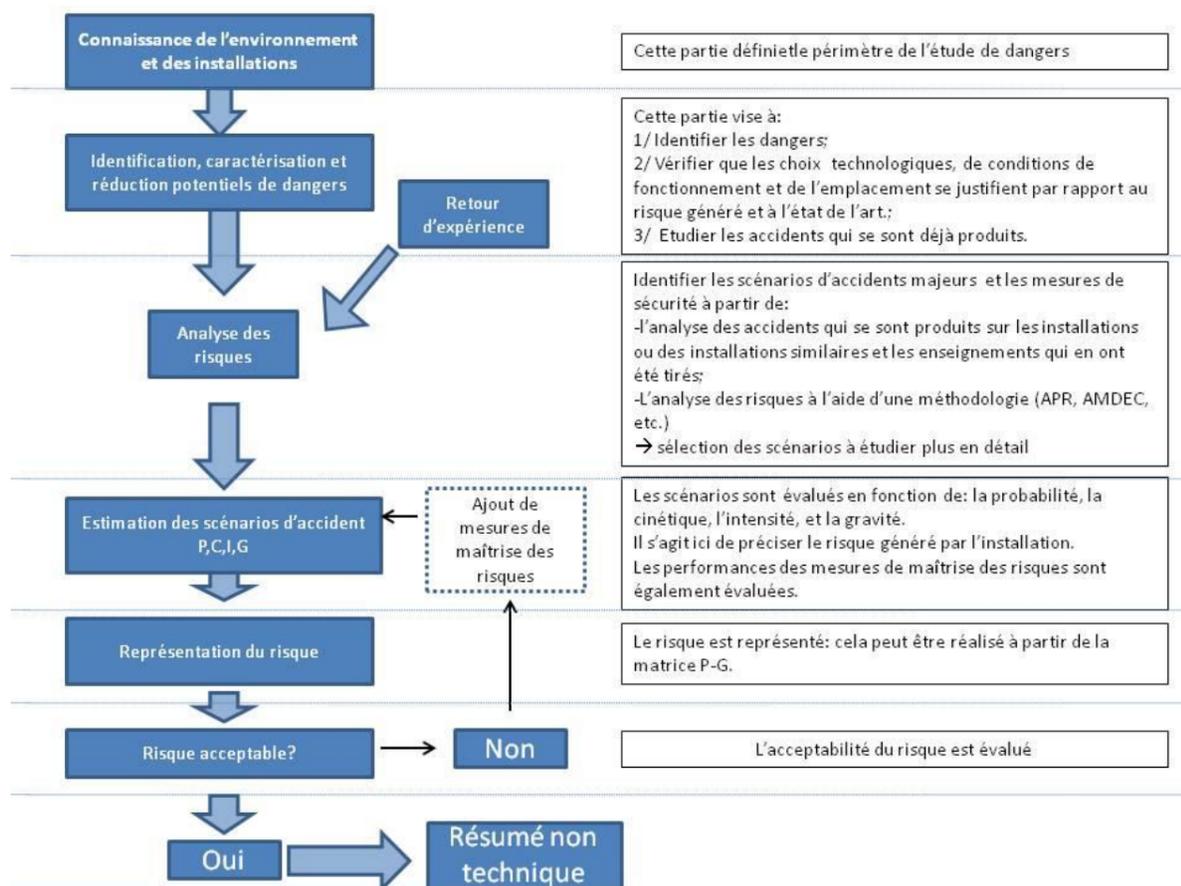
CHAPITRE 1. PREAMBULE

Selon l'article L. 512-1 du Code de l'environnement, l'étude de dangers expose les risques que peut présenter l'installation pour les intérêts visés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation. Les impacts de l'installation sur ces intérêts en fonctionnement normal sont traités dans l'étude d'impact sur l'environnement.

La démarche de l'étude consiste en une identification des dangers, des enjeux vulnérables et des conséquences éventuelles d'accidents. L'ajout systématique de mesures de prévention et/ou de protection doit permettre de diminuer le niveau de risque à un niveau acceptable.

Cette étude se base sur le guide technique dans sa version de mai 2012, qui a été réalisée par un groupe de travail constitué de l'INERIS et de professionnels du Syndicat des énergies renouvelables. Dans la suite de l'étude, ce guide sera appelé « guide technique ».

La démarche de l'étude est résumée ainsi :



Démarche de l'étude (Source : guide technique INERIS)

CHAPITRE 2. PRESENTATION DE L'INSTALLATION

Le parc éolien de Charnizay, composé de 4 éoliennes et d'un poste de livraison, est localisé dans le département de l'Indre-et-Loire (37), en région Centre-Val-de-Loire.

Cf. Carte 1, Localisation du projet, p.6

Afin de garantir le principe de mise en concurrence des fabricants d'éoliennes, aucun choix définitif de fabricant n'est arrêté, et les dimensions des machines sont données ici en gabarit.

Le porteur de projet a envisagé un gabarit d'éolienne aux caractéristiques dimensionnelles suivantes :

- Un rotor de 150 m de diamètre maximum ;
- Une hauteur au moyeu de 125 m ;
- Une hauteur en bout de pale de 200 m maximum ;
- Une garde au sol de 50m minimum.

Les dimensions plancher et plafond visées ci-dessus définissent ainsi l'enveloppe étudiée à laquelle devra se conformer le modèle de turbine finalement sélectionné une fois l'autorisation obtenue.

Afin de procéder à l'analyse comparative des deux gabarits, deux modèles reprenant ces caractéristiques ont été étudiés. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

Gabarit / Modèle d'éolienne	Gabarit a	Gabarit b
	Nordex N149	Vestas V150
Puissance	4,5 MW	4,2 MW
Vitesse maximale avant coupure	20 m/s	20 m/s
Hauteur au moyeu	125,4 m	125 m
Longueur de pale	72,4 m	73 m
Diamètre du rotor	149,1 m	150 m
Hauteur totale en bout de pale	199,9 m	200 m
Largeur à la base du mât	4,3 m	4,3 m
Largeur maximale d'une pale	3 m	4 m

Gabarits et modèles d'aérogénérateur projetés

Nom de l'installation	Lambert 93 (m)		WGS 84		Altitude du terrain naturel (m NGF)	Altitude au sommet de l'infrastructure (m NGF)
	X	Y	E	N		
E1	546185,57	6652365,48	0°58'38.1940"	46°57'13.5439"	142	342
E2	546593,35	6652626,66	0°58'57.1746"	46°57'22.3445"	141	341
E3	546683,21	6652122,67	0°59'2.0364"	46°57'6.0887"	138	338
E4	546908,66	6651759,37	0°59'13.1428"	46°56'54.5035"	138	338
PDL	546719,34	6652480,79	0°59'3.3133"	46°57'17.7224"	140	143,4

Coordonnées des éoliennes et du poste de livraison

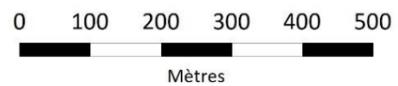
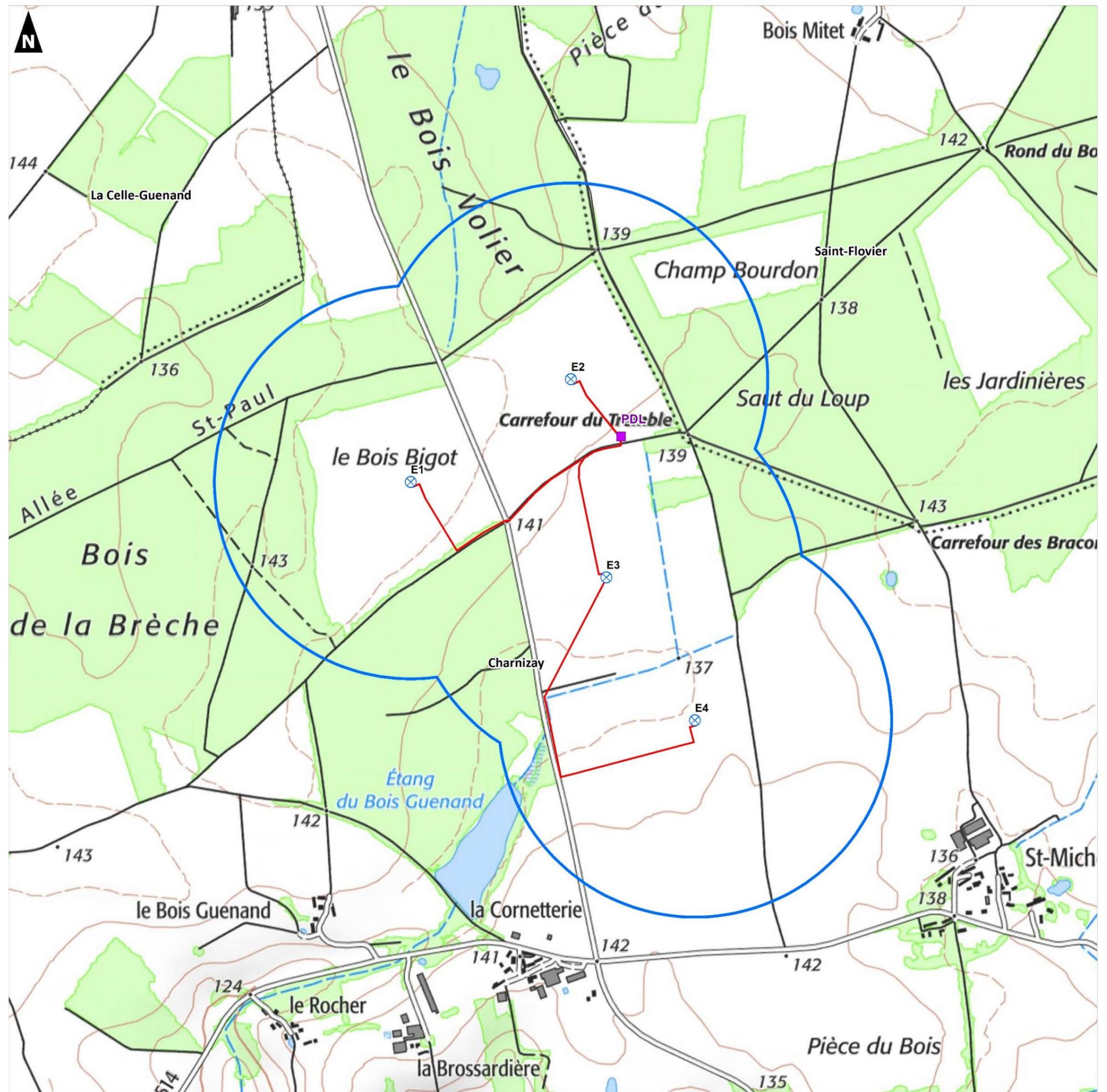
□ Limites communales

PROJET :

⊗ Eolienne projetée

■ Poste de livraison

— Raccordement électrique interne



CHAPITRE 3. IDENTIFICATION DES DANGERS ET ANALYSE DES RISQUES ASSOCIES

3.1 Les sources de dangers

Un parc éolien est soumis aux risques naturels par les dimensions imposantes de l'ouvrage mais également aux risques de défaillance d'équipements constituant l'éolienne.

Les risques naturels sont susceptibles de constituer des agresseurs potentiels et sont donc pris en compte dans l'analyse préliminaire des risques :

- Sismicité ;
- Mouvements de terrain (aléas glissement de terrain, cavités souterraines, etc.) ;
- Aléa retrait-gonflement des argiles ;
- Foudre ;
- Vents violents ;
- Incendies de forêts et de cultures ;
- Inondations.

Des ouvrages (voies de communications par exemple) ou des installations classées à proximité des aérogénérateurs, peuvent présenter également un risque externe.

Les dangers potentiels relatifs au fonctionnement des éoliennes sont recensés dans le tableau suivant.

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

Dangers potentiels relatifs au fonctionnement des éoliennes

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

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

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

Les tableaux suivants synthétisent les principales agressions externes liées aux activités humaines et aux phénomènes naturels.

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

Infrastructure	Fonction	Événement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Distance par rapport au mât des éoliennes
Voies de circulation	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	Pas de voie structurante (fréquentation supérieure à 2000 véhicules/jour à moins de 200m)
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2000 m	Non concerné - Infrastructure au-delà du périmètre de 2000 m.
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	Non concerné - Absence de lignes THT dans le périmètre.
Autres aérogénérateurs	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	Non concerné

Agressions externes liées aux activités humaines

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

Agression externe*	Fonction
Vents et tempête	<p>Aucun arrêté de reconnaissance de catastrophe naturelle lié à une tempête a été recensé dans les communes de l'aire d'étude (Charnizay). Néanmoins la commune a été touchée par la tempête Lothar et Martin en décembre 1999 pour laquelle la commune a obtenu un arrêté de catastrophe naturelle pour inondations, coulées de boue et mouvements de terrain.</p> <p>La fréquence des vents violents¹ (jours pendant lesquels on enregistre des rafales dont la vitesse est supérieure à 58 km/h) est de 49 jours environ par an (dont 1,1 jour au cours duquel la vitesse du vent est supérieure à 100 km/h) pour la station de Châteauroux. Il est à noter que les régions les plus exposées aux vents violents le sont une centaine de jours par an.</p> <p>Selon les statistiques 1981-2010, la station de Châteauroux a enregistré une rafale maximale de 126 km/h, qui s'est produite le 27 décembre 1999, lors de la tempête Lothar et Martin qui avait touché toute la France.</p> <p>La relative constance des vents observée sur le secteur d'implantation constitue un paramètre favorable à l'implantation des éoliennes.</p>
Foudre	<p>Il est à retenir, d'une part, que la densité de foudroiement du site est faible (0,5 coup/km²/an). D'autre part, les éoliennes retenues respectent la norme IEC 61 400-24 et sont en outre équipées d'un dispositif agréé reliant les pales à la terre. Ce dispositif permet de réduire considérablement les risques d'atteinte grave de l'éolienne en cas de foudre.</p>
Glissement de sols / Affaissements miniers	<p>D'après la base de données Géorisques, aucun glissement de sols n'a été recensé dans l'aire d'étude.</p> <p>A l'échelle communale, plusieurs arrêts de catastrophes naturels ont été pris depuis 1980 concernant les mouvements de terrain. Le dernier en date remonte à 2018 et est principalement lié à des mouvements différentiels consécutifs à des périodes de sécheresses puis de réhydratation des sols. Cela s'explique notamment par la nature argileuse du sol (phénomène de retrait-gonflement des argiles identifié comme aléa moyen à fort sur la zone d'étude).</p>

Agressions externes liées aux phénomènes naturels

*On entend par agressions externes à la fois les arrêts de catastrophes naturelles pris sur la commune de Charnizay pour un événement passé ainsi que les événements liés à des risques naturels recensés sur la commune de Charnizay, n'ayant pas fait l'objet d'arrêtés de catastrophes naturelles.

¹Sur l'échelle de Beaufort, une tempête correspond à des vents dont la vitesse est comprise, entre 89 et 102 km/h ; le terme d'ouragan est parfois employé, sous nos latitudes, pour désigner une tempête dont les vents soufflent à plus de 118 km/h (Source : F. BRUEL, www.alertes-meteo.com)

3.2 Les enjeux à protéger

Les différents enjeux identifiés précédemment apparaissent sur la carte des enjeux présentée page suivante. Le détail des calculs pour l'aire d'étude de 500 m est le suivant ; pour chaque phénomène dangereux identifié, nous comptabiliserons l'ensemble des personnes présentes dans la zone d'effet correspondante :

- Les zones agricoles sont constituées d'éléments disparates : champs, voies de circulation non structurantes (chemins d'exploitation, voies communales faiblement fréquentées) ...
 - Nous ne différencierons pas les différents éléments et nous classerons les zones agricoles en terrains aménagés mais peu fréquentés (catégorie la plus majorante quant aux victimes potentielles), donc 1 personne par tranche de 10 ha.
- Les boisements n'ont pas vocation de loisirs et ne sont pas aménagés en tant que tels. Comme les zones agricoles, nous les classerons donc en terrains aménagés mais peu fréquentés.
 - Aucun boisement (à vocation de loisirs ou aménagés) n'est localisé dans l'aire d'étude.
- Les voies de communication de l'aire d'étude qui sont des voies de circulation non structurantes (inférieures à 2 000 véhicules/jour) sont déjà comptées dans la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés.
 - Aucune voie structurante n'emprunte l'aire d'étude.
- Pour les chemins de randonnée nous retenons l'hypothèse d'une fréquentation inférieure ou égale à 100 promeneurs/jour en moyenne, ce qui correspondrait à 36 500 promeneurs par an. Nous comptons donc 2 personnes pour 1 km par tranche de 100 promeneurs par jour en moyenne.
 - Des chemins de randonnées inscrits au PDIPR de l'Indre-et-Loire emprunte l'aire d'étude de l'étude de dangers et notamment à proximité des éoliennes E2 et E3.

Toutes les hypothèses sont majorantes vis-à-vis du comptage du nombre de victimes potentielles.

Selon les scénarios d'accident, les zones d'effet de celui-ci diffèrent.

Le calcul ci-dessous présente pour la zone d'effet la plus impactante du projet (soit 500m), le nombre de personnes potentiellement impactées.

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)						
Eol.	Terrains dans la zone d'effet (zone agricole, boisements, voie communale, chemins d'exploitation)*		Chemin de randonnée		Comptage du nombre de personnes total	Gravité
	Surface en m ²	Comptage du nombre de personnes	Longueur en ml	Comptage du nombre de personnes sur le chemin		
	E1	785 398,20	7,854	0		
E2	785 398,20	7,854	865	1,73	9,584	Important
E3	785 398,20	7,854	334	0,66	8,514	Important
E4	785 398,20	7,854	0	0	7,854	Important

Détail du comptage pour le scénario de projection de pale (modèle V150)

Chacun des scénarios d'accident fait l'objet d'une étude particulière dans l'étude de danger Cf. dossier n°8 – Etude de dangers

Cf. Carte des enjeux, page ci-après

Ces enjeux sont inclus dans l'analyse des risques d'une part et dans l'étude détaillée d'autre part.

-  Eolienne projetée
-  Poste de livraison
-  Raccordement électrique interne
-  Fondation
-  Batiment du poste de livraison
-  Aire du poste de livraison
-  Aire de grutage
-  Aire de stockage temporaire
-  Virage créé
-  Contre virage
-  Chemin créé

ENJEUX :

Réseau routier :

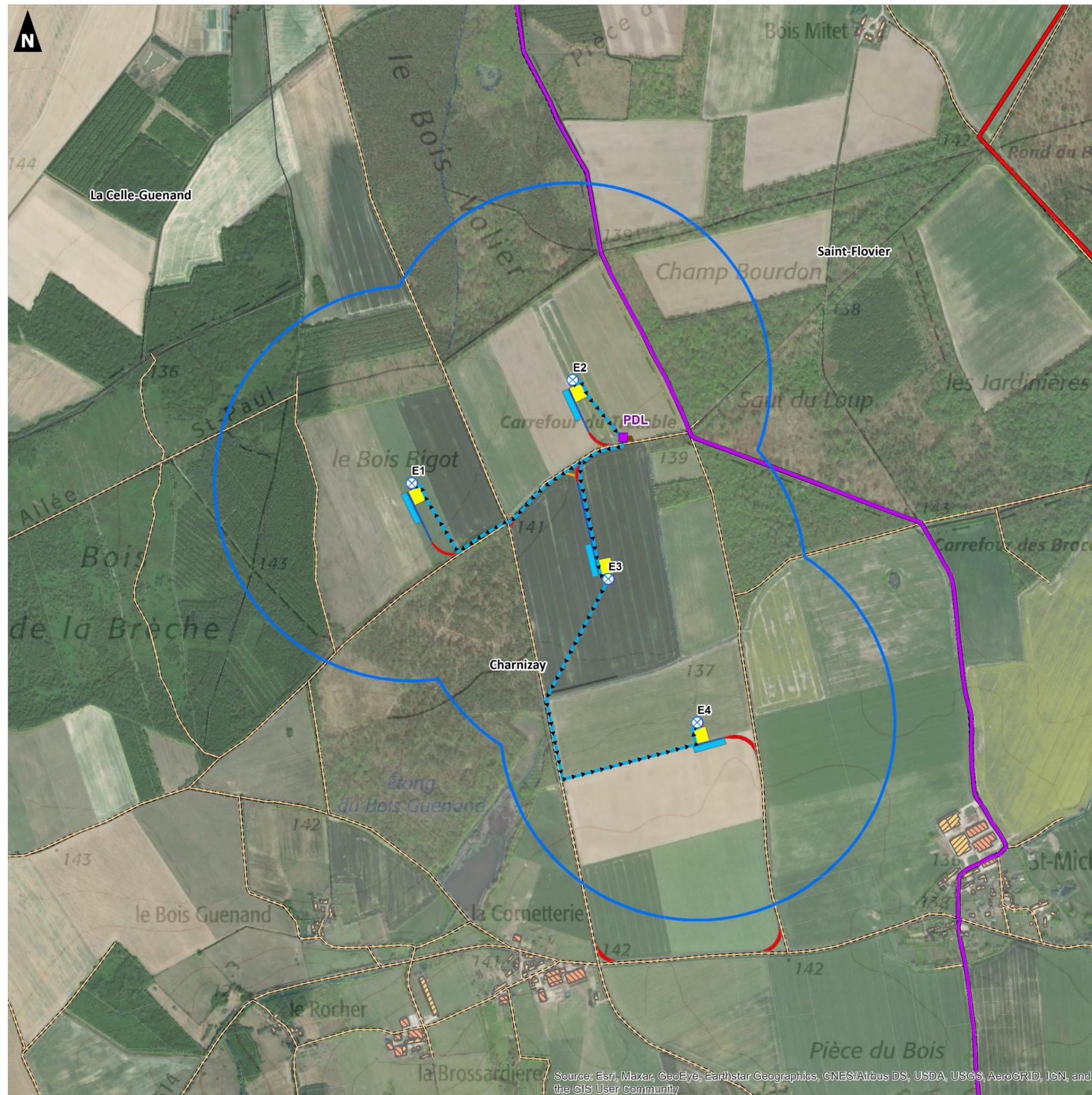
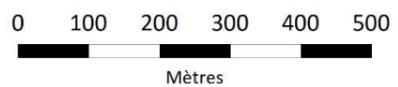
-  Route ou chemin secondaire

Chemins de randonnée :

-  Circuit de Grande Randonnée de Pays Touraine Sud
-  Chemins de randonnée 37 (PDIPR)

Zones urbanisées :

-  Bâti dur
-  Bâti léger
-  Limites communales
-  Limites cadastrales



3.3 Réduction des potentiels de dangers à la source

3.3.1 Principales actions préventives

Les principaux choix qui ont été effectués par le porteur de projet au cours de sa conception permettent de réduire les potentiels de danger identifiés et garantir une sécurité optimale de l'installation.

Ces choix sont synthétisés ci-dessous :

- Des mesures de vents ont été effectuées en amont du projet permettant une prévision des conditions climatiques. Le choix de la machine est adapté à ces conditions ;
- Le respect des prescriptions générales de l'arrêté du 26 août 2011 impose au projet :
- Un éloignement des aérogénérateurs de 500 m des habitations et zones constructibles,
- Un choix d'aérogénérateurs respectant des normes de sécurité et disposant d'équipements de prévention des risques,
- La réalisation obligatoire d'un contrôle technique des ouvrages.
- Les moyens techniques d'EUROCAPE NEW ENERGY et du constructeur sont mis à disposition via un contrat d'exploitation et de maintenance ;
- Le projet bénéficie de l'expérience d'EUROCAPE NEW ENERGY dans le développement et l'exploitation de projet éolien.

3.3.2 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.

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

3.4 Analyse des risques

3.4.1 Analyse du retour 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.

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

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

3.4.2 Analyse préliminaire des risques

Une analyse préliminaire des risques sous forme d'un tableau générique est réalisée permettant d'identifier de manière représentative les scénarios d'accident pouvant potentiellement se produire :

- Scénarios relatifs aux risques liés à la glace ;
- Scénarios relatifs aux risques d'incendie ;
- Scénarios relatifs aux risques de fuites ;
- Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments ;
- Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales ;
- Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes.

L'analyse est réalisée de la manière suivante :

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

3.4.3 Mesures de maîtrise des risques

Afin de limiter les risques d'accidents ou d'incidents liés aux activités du parc éolien de Charnizay, l'exploitant a prévu de mettre en place un certain nombre de mesures de prévention ou de protection en collaboration avec les constructeurs d'aérogénérateurs :

- Systèmes de sécurité contre la survitesse (freins aérodynamiques passifs et actifs, surveillance de la rotation, détections de la vitesse du vent) ;
- Systèmes de sécurité contre le risque de vents forts (coupure de l'éolienne en cas de détection de vents forts) ;
- Systèmes de sécurité contre le risque électrique (organes de coupure électrique, isolement, mise à la terre) ;
- Systèmes contre l'échauffement des pièces mécaniques (détecteurs de températures, systèmes de refroidissement) ;
- Systèmes de sécurité contre le risque de foudre (installation anti foudre comprenant un paratonnerre sur la nacelle et les pales) ;
- Systèmes de sécurité contre le risque d'incendie (détection de fumées, de température, alarme du centre de contrôle et intervention des moyens de secours) ;
- Systèmes de sécurité contre le risque de fuite de liquides (détecteur de niveau de liquide, rétention formée par la structure de l'éolienne) ;
- Systèmes de sécurité contre la formation du givre (bases sur la détection et arrêt de l'éolienne, affichage du risque pour les promeneurs) ;
- Systèmes de sécurité contre le risque d'effondrement de l'éolienne (conception des fondations basées sur des normes et de l'ingénierie, conception des éoliennes adaptée a la force du vent) ;
- Systèmes de sécurité contre le risque d'erreurs de maintenance (formation du personnel, manuel de maintenance).

3.4.4 Conclusion sur l'analyse préliminaire

Dans le cadre de l'analyse préliminaire des risques génériques des parcs éoliens, trois catégories de scénarios sont à priori exclues de l'étude détaillée, en raison de leur faible intensité : incendie du poste de livraison, incendie de l'éolienne et infiltration de liquides dans le sol.

Les scénarios qui doivent faire l'objet d'une étude détaillée sont les suivants :

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

3.5 Etudes détaillées des risques

3.5.1 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 nuage 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.

■ 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 (référence [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.

■ Intensité

L'intensité des effets des phénomènes dangereux est définie par rapport à des valeurs de référence exprimées sous forme de seuils d'effets toxiques, d'effets de surpression, d'effets thermiques et d'effets liés à l'impact d'un projectile, pour les hommes et les structures (article 9 de l'arrêté du 29 septembre 2005 [13]).

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

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

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

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

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

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

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

Grille de cotation en intensité issue du guide technique

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

■ 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 »

Grille de cotation en gravité de l'arrêté du 29 septembre 2005

■ Probabilité

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

Niveaux	Echelle qualitative	Echelle quantitative (probabilité annuelle)
A	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 Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité.	$10^{-4} < P \leq 10^{-3}$
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.	$\leq 10^{-5}$

Grille de cotation en probabilité de l'arrêté du 29 septembre 2005

3.5.2 Sélection de l'éolienne la plus impactante

Le type d'éolienne n'étant pas encore déterminé (elle sera choisi après délivrance des autorisations administratives nécessaires), l'étude de dangers a été réalisée de manière à se placer dans les conditions les plus impactantes.

Pour cela, le degré d'exposition a été calculé pour chaque phénomène et pour chaque type d'éolienne d'après leurs dimensions respectives.

Le résultat des calculs est présenté dans le tableau suivant :

Scénario	Modèles d'éolienne	
	Nordex N149	Vestas V150
Effondrement	0,6965 %	0,7853 %
Chute de glace	0,0056 %	0,0056 %
Chute d'éléments	0,6048 %	0,8185 %
Projection de pale ou fragment de pale	0,0138 %	0,0185 %
Projection de glace	0,0001 %	0,0002 %

Degré d'exposition calculé par phénomène et par modèle d'éolienne

Les degrés d'exposition ainsi calculés ont permis d'évaluer l'intensité des phénomènes pour chaque type d'éolienne :

Scénario	Modèles d'éolienne	
	Nordex N149	Nordex V150
Effondrement	Exposition modérée	
Chute de glace	Exposition modérée	
Chute d'éléments	Exposition modérée	
Projection de pale ou fragment de pale	Exposition modérée	
Projection de glace	Exposition modérée	

Intensité des phénomènes selon le modèle d'éolienne

Compte tenu de leurs dimensions, les éoliennes N149 et V150 ne présentent pas de différence concernant l'intensité des phénomènes, et ce quelque le soit le scénario considéré.

Nous allons donc considérer les zones d'effet de ces scénarios, qui sont les suivants pour les deux modèles d'éolienne envisagés :

Scénario	Modèles d'éolienne	
	Nordex N149	Vesta V150
Effondrement	199,9 m	200 m
Chute de glace	75,6 m	75,35 m
Chute d'éléments	75,6 m	75,35 m
Projection de pale ou fragment de pale	500 m	500 m
Projection de glace	411,75 m	412,5 m

Zone d'effet selon le modèle d'éolienne

Les zones d'effet de chaque scénario correspondent à :

- Effondrement : Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale ;
- Chute de glace : Rayon de survol
- Chute d'éléments : Rayon de survol
- Projection de pale ou fragment de pale : 500 m autour de l'éolienne
- Projection de glace : 1,5 x (Hauteur éolienne + Diamètre du rotor) autour de l'éolienne

Compte tenu de ces dimensions, la V150 présente des zones d'effet légèrement supérieures à celles de la N149.

Afin de se placer dans des conditions majorantes, les calculs présentés dans l'analyse détaillée des risques ci-après sont par conséquent ceux effectués avec les dimensions de la V150.

3.5.3 Tableau de synthèse de l'étude détaillée des risques

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

Scénario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
S1	Effondrement de l'éolienne Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale Soit 200 m	Rapide	Exposition modérée	D	Sérieux
S2	Chute de glace Zone de survol Soit 75,35 m	Rapide	Exposition modérée	B	Modéré
S3	Chute d'éléments de l'éolienne Zone de survol Soit 75,35 m	Rapide	Exposition modérée	C	Modéré
S4	Projection de pale ou de fragments de pale 500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D	Sérieux
S5	Projection de glace 1,5 x (H + D) autour de l'éolienne Soit 412,5 m	Rapide	Exposition modérée	B	Sérieux

Synthèse de la cotation des risques – étude détaillée

Les scénarios ci-dessus sont repris dans la matrice d'acceptabilité (voir paragraphe suivant).

3.5.4 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 et reprise dans la circulaire du 10 mai 2010 mentionnée ci-dessus, sera utilisée.

Les scénarios étudiés et synthétisés précédemment sont insérés dans la matrice de la circulaire :

Conséquence	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		S1 S4		S5	
Modéré			S3	S2	

Cotation des risques selon la matrice de criticité de la circulaire du 10 mai 2010

Légende de la matrice :

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

Rappel des scénarios

S1	Effondrement de l'éolienne
S2	Chute de glace
S3	Chute d'éléments de l'éolienne
S4	Projection de pale ou fragments
S5	Projection de glace

Il apparaît au regard de l'étude détaillée que, selon les règles de cotation de la probabilité, de la gravité et de l'utilisation de la matrice d'acceptabilité issue de la circulaire du 10 mai 2010, le risque associé à chaque événement redouté étudié est acceptable quelle que soit l'éolienne considérée.

3.5.5 Cartographie des risques

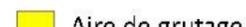
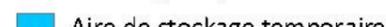
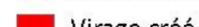
La cartographie des risques a été réalisée. Elle indique les différents périmètres de risques ainsi que les enjeux vulnérables identifiés.

Cf. Carte 3, Carte des risques – Eolienne E1, p.18

Cf. Carte 4, Carte des risques – Eolienne E2, p.19

Cf. Carte 5, Carte des risques – Eolienne E3, p.20

Cf. Carte 6, Carte des risques – Eolienne E4, p.21

-  Eolienne projetée
-  Poste de livraison
-  Raccordement électrique interne
-  Fondation
-  Batiment du poste de livraison
-  Aire du poste de livraison
-  Aire de grutage
-  Aire de stockage temporaire
-  Virage créé
-  Contre virage
-  Chemin créé

Enjeux :

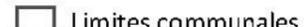
Réseau routier :

-  Route ou chemin secondaire

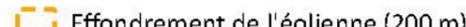
Chemins de randonnée ;

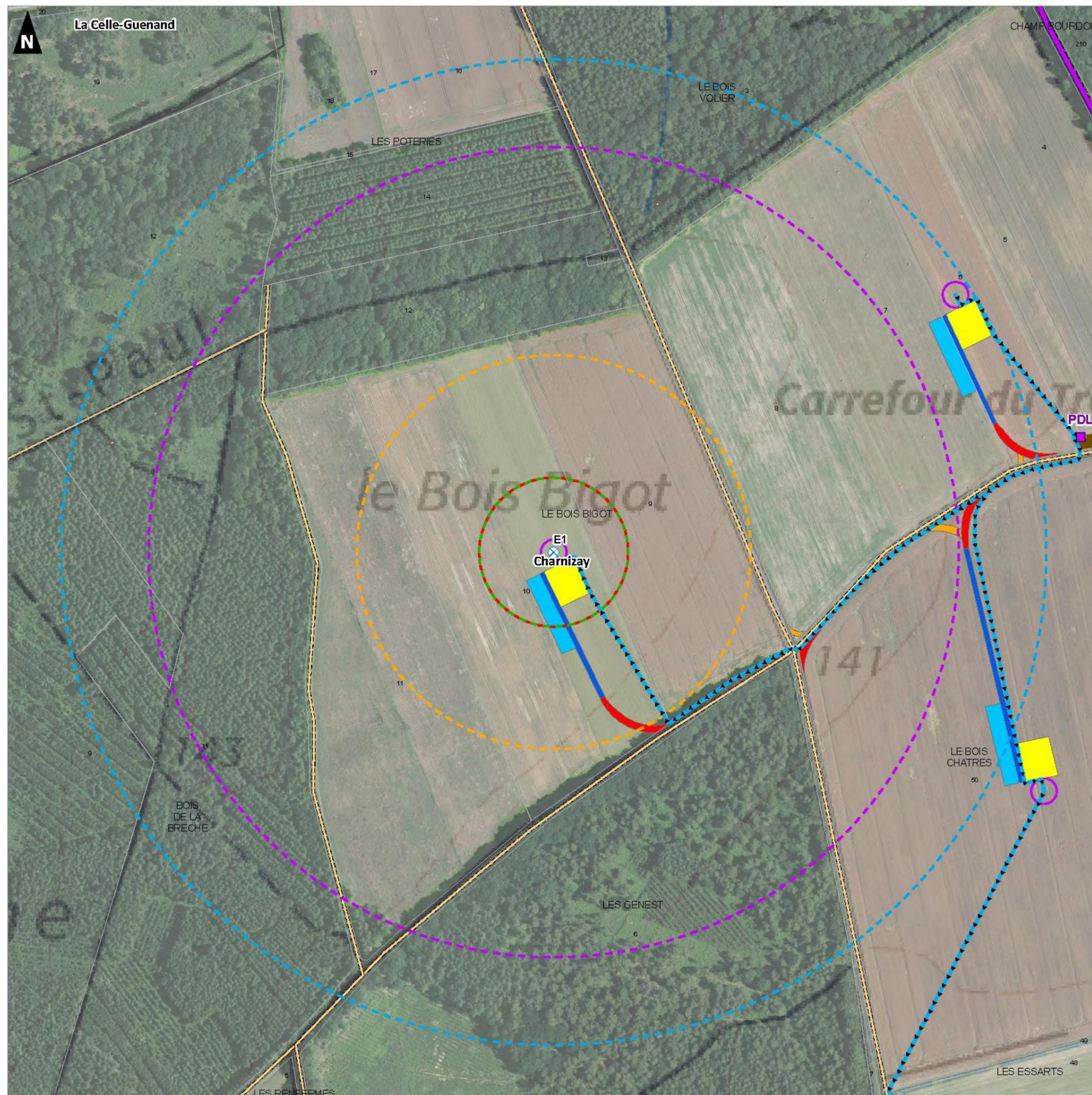
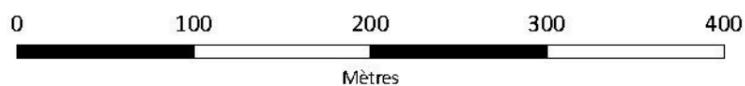
-  Chemins de randonnée 37 (PDIPR)

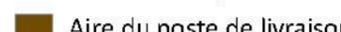
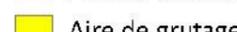
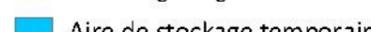
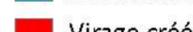
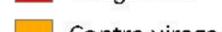
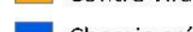
Zones urbanisées :

-  Bâti dur
-  Bâti léger
-  Limites communales
-  Limites cadastrales

Périmètres de zones d'effet des scénarios :

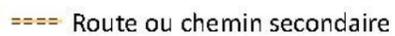
-  Effondrement de l'éolienne (200 m)
-  Chute d'éléments (75,35 m)
-  Chute de glace (75,35 m)
-  Projection de glace (412,6 m)
-  Projection ou fragment de pale (500 m)



-  Eolienne projetée
-  Poste de livraison
-  Raccordement électrique interne
-  Fondation
-  Batiment du poste de livraison
-  Aire du poste de livraison
-  Aire de grutage
-  Aire de stockage temporaire
-  Virage créé
-  Contre virage
-  Chemin créé

Enjeux :

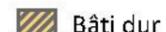
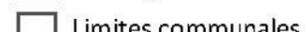
Réseau routier :

 Route ou chemin secondaire

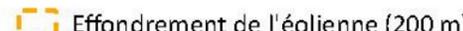
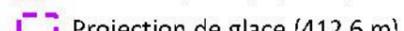
Chemins de randonnée ;

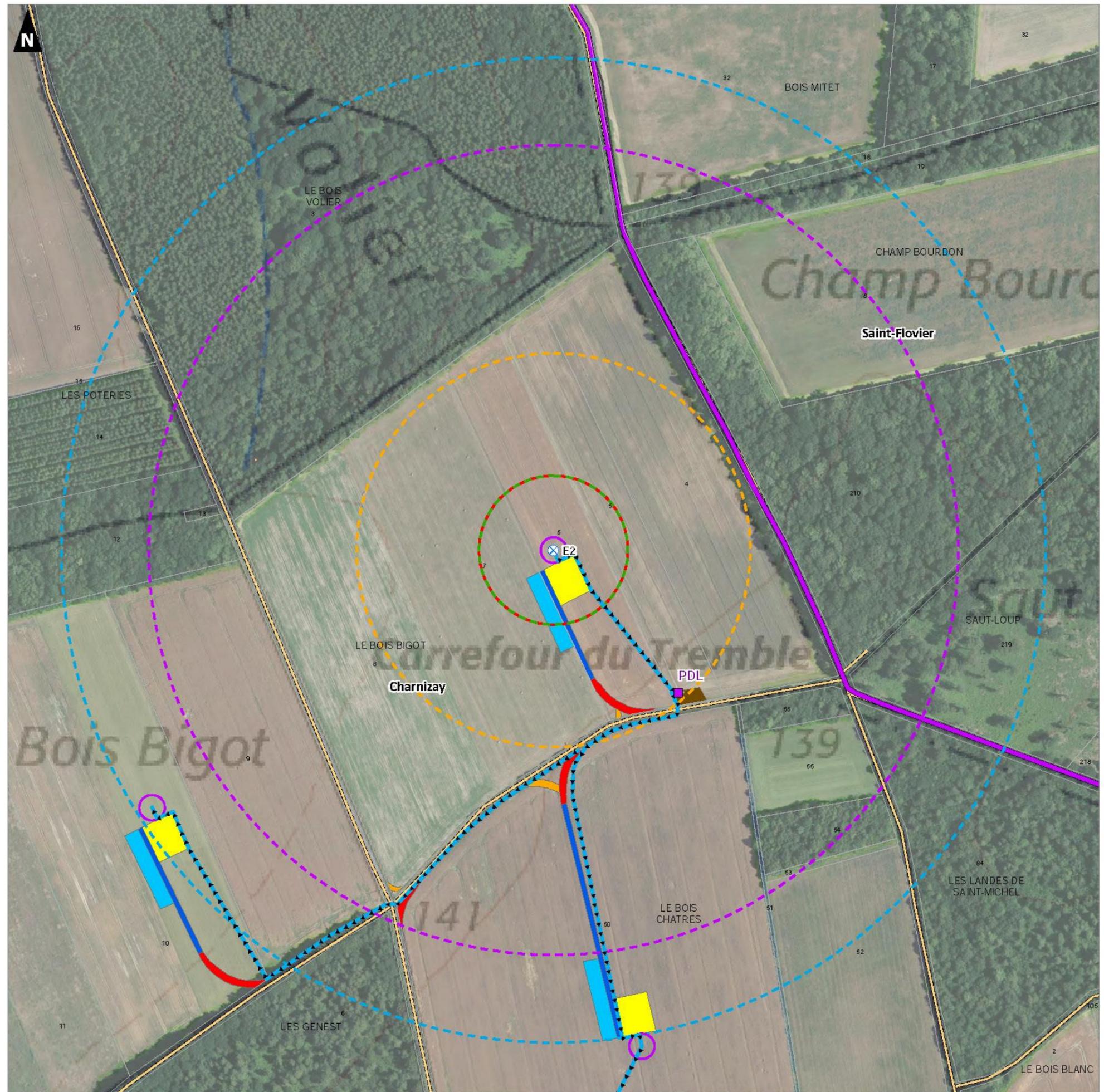
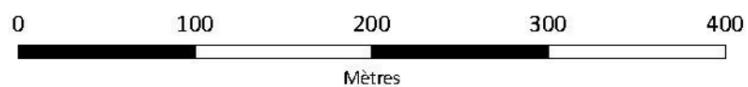
 Chemins de randonnée 37 (PDIPR)

Zones urbanisées :

-  Bâti dur
-  Bâti léger
-  Limites communales
-  Limites cadastrales

Périmètres de zones d'effet des scénarios :

-  Effondrement de l'éolienne (200 m)
-  Chute d'éléments (75,35 m)
-  Chute de glace (75,35 m)
-  Projection de glace (412,6 m)
-  Projection ou fragment de pale (500 m)



-  Eolienne projetée
-  Poste de livraison
-  Raccordement électrique interne
-  Fondation
-  Batiment du poste de livraison
-  Aire du poste de livraison
-  Aire de grutage
-  Aire de stockage temporaire
-  Virage créé
-  Contre virage
-  Chemin créé

Enjeux :

Réseau routier :

 Route ou chemin secondaire

Chemins de randonnée ;

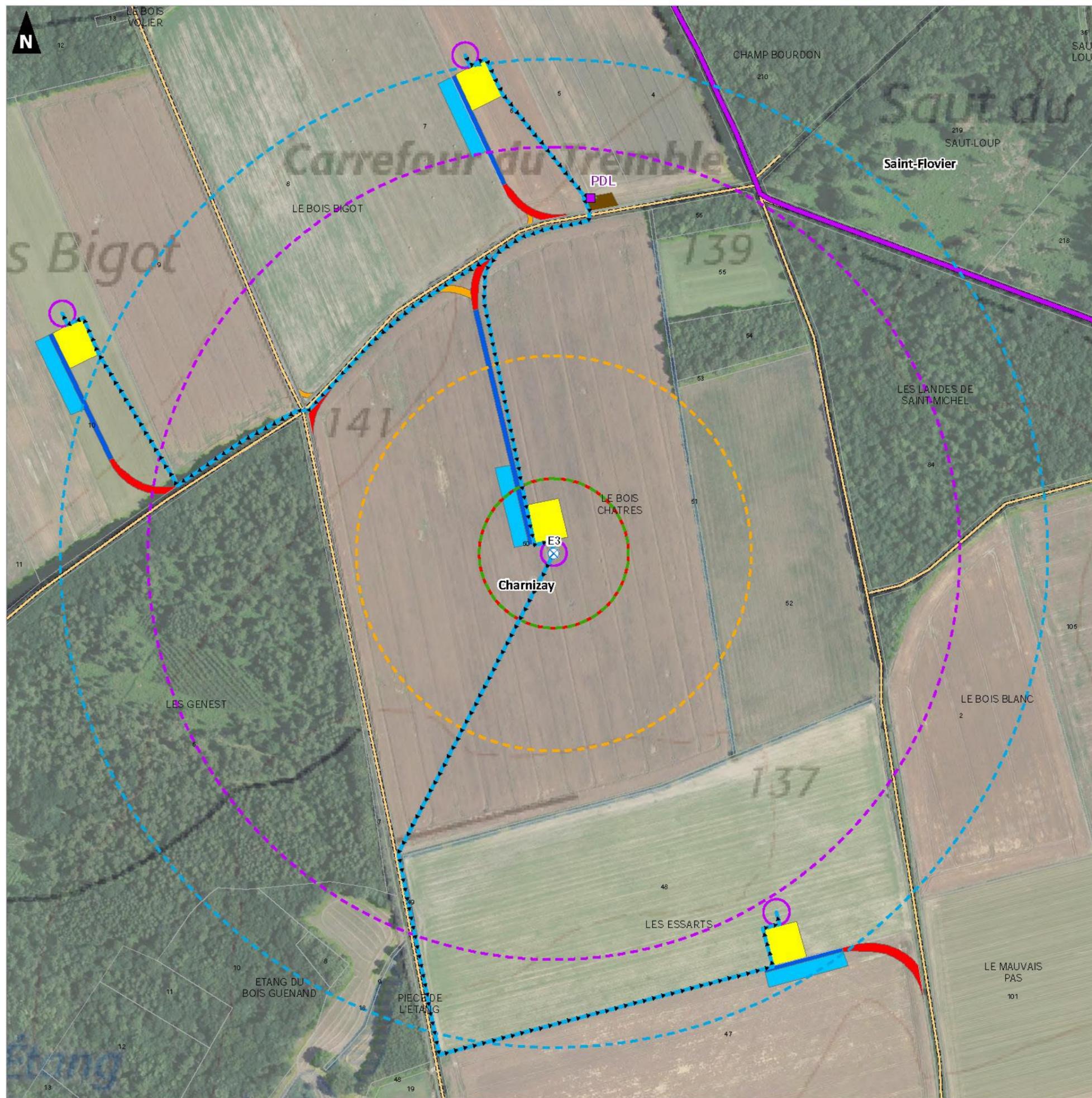
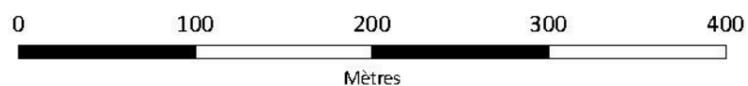
 Chemins de randonnée 37 (PDIPR)

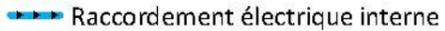
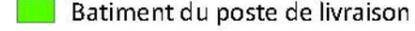
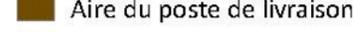
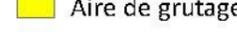
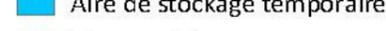
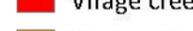
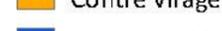
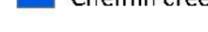
Zones urbanisées :

-  Bâti dur
-  Bâti léger
-  Limites communales
-  Limites cadastrales

Périmètres de zones d'effet des scénarios :

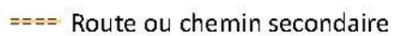
-  Effondrement de l'éolienne (200 m)
-  Chute d'éléments (75,35 m)
-  Chute de glace (75,35 m)
-  Projection de glace (412,6 m)
-  Projection ou fragment de pale (500 m)



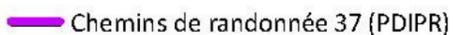
-  Eolienne projetée
-  Poste de livraison
-  Raccordement électrique interne
-  Fondation
-  Batiment du poste de livraison
-  Aire du poste de livraison
-  Aire de grutage
-  Aire de stockage temporaire
-  Virage créé
-  Contre virage
-  Chemin créé

Enjeux :

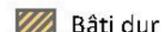
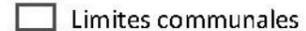
Réseau routier :

 Route ou chemin secondaire

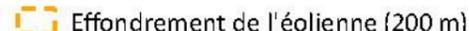
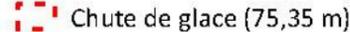
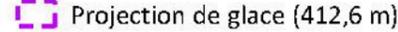
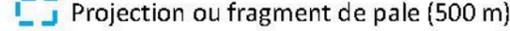
Chemins de randonnée ;

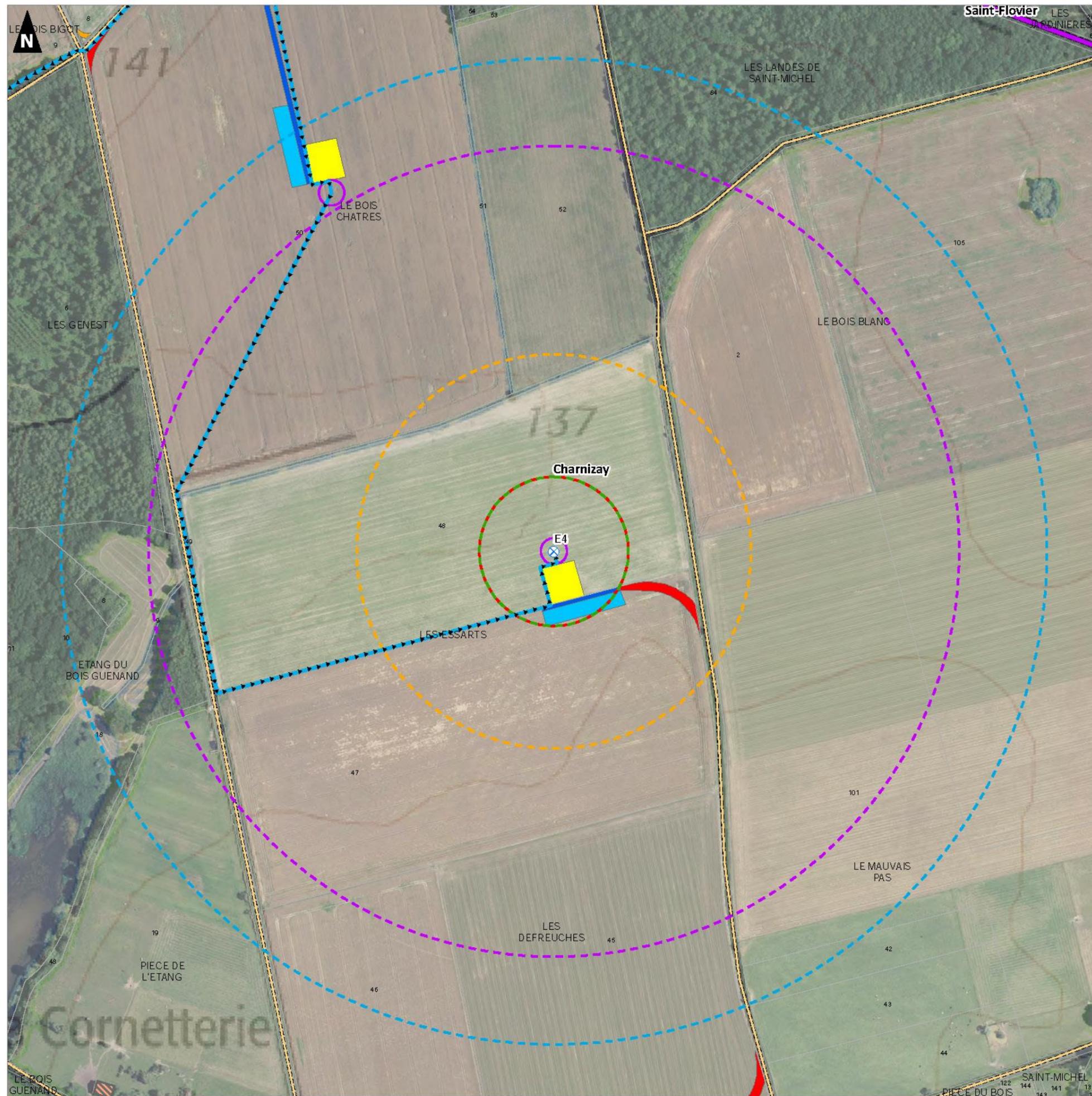
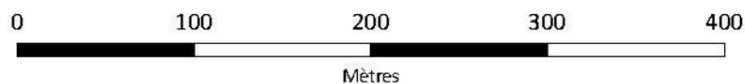
 Chemins de randonnée 37 (PDIPR)

Zones urbanisées :

-  Bâti dur
-  Bâti léger
-  Limites communales
-  Limites cadastrales

Périmètres de zones d'effet des scénarios :

-  Effondrement de l'éolienne (200 m)
-  Chute d'éléments (75,35 m)
-  Chute de glace (75,35 m)
-  Projection de glace (412,6 m)
-  Projection ou fragment de pale (500 m)



CHAPITRE 4. CONCLUSION

Après la description de l'installation et de son environnement, il ressort que les potentiels de dangers du parc éolien sont relatifs :

- A des causes externes :
 - Présence d'ouvrages (voies de communication, réseaux) ;
 - Risques naturels (vents violents, foudre, mouvements de terrains, tremblements de terre, inondations) ;
- A des causes internes liées au fonctionnement des machines et aux produits utilisés :
 - Chute d'éléments de l'aérogénérateur (boulons, morceaux d'équipements, pale, etc.) ;
 - Projection d'éléments (morceaux de pale, morceaux de glace, etc.) ;
 - Effondrement de tout ou partie de l'aérogénérateur ;
 - Echauffement de pièces mécaniques ;
 - Courts-circuits électriques (aérogénérateur ou poste de livraison).

Une analyse préliminaire des risques a été réalisée, basée d'une part sur l'accidentologie permettant d'identifier les accidents les plus courants et basée d'autre part sur une identification des scénarios d'accidents.

Pour chaque scénario d'accident, l'étude a procédé à une analyse systématique des mesures de maîtrise des risques.

Cinq catégories de scénarios sont ressorties de l'analyse préliminaire et font l'objet d'une étude détaillée des risques :

- 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. Une cotation en intensité, probabilité, gravité et cinétique de ces événements permet de caractériser les risques pour toutes les séquences d'accidents.

Une recherche d'enjeux humains vulnérables a été réalisée dans chaque périmètre d'effet des cinq scénarios d'accident, permettant de repérer les interactions possibles entre les risques et les enjeux.

La cotation en gravité et probabilité pour chacune des éoliennes permet de classer le risque de chaque scénario selon la grille de criticité employée et inspirée de la circulaire du 10 mai 2010.

Après analyse détaillée des risques, selon la méthodologie de la circulaire du 10 mai 2010, il apparaît que tous les scénarios étudiés sont acceptables.

L'exploitant a mis en œuvre des mesures adaptées pour maîtriser les risques :

- L'implantation permet d'assurer un éloignement suffisant des zones fréquentées,
- L'exploitant respecte les prescriptions générales de l'arrêté du 26 août 2011,
- Les systèmes de sécurité des aérogénérateurs sont adaptés aux risques.

Les systèmes de sécurité des aérogénérateurs seront maintenus dans le temps et testés régulièrement en conformité avec la section 4 de l'arrêté du 26 août 2011.

Le projet du Parc éolien de Charnizay 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 actuelles.