







ETUDE DE DANGERS

Projet de renouvellement du parc éolien de Lanfains

Commune de Lanfains - Côtes d'Armor

Citation recommandée	EnviroScop, 2017 <i>version complétée, septembre 2018</i> . Etude de dangers du renouvellement du parc éolien de Lanfains (Commune de Lanfains - 22). Dossier de demande d'autorisation environnementale d'une unité de production d'électricité de type Parc éolien pour la société KALLISTA OEN
Responsable projet, rédacteur :	Nathalie BILLER, ingénieure Environnement, SIG et paysage, Etienne PEYRAS, ingénieur Environnement
	<p style="text-align: center;">EnviroScop</p> <p style="text-align: center;">640 rue du Bout d'Aval 76690 SAINT-GEORGES-SUR-FONTAINE www.enviroscop.fr</p> <p style="text-align: center;"><i>Signataire de la Charte d'engagement des bureaux d'études dans le domaine de l'évaluation environnementale</i> (voir site du Ministère¹)</p> <p style="text-align: center;"><small>Charte d'engagement des bureaux d'études dans le domaine de l'évaluation environnementale</small></p>  

Pour le compte de :	
Demandeur :	KALLISTA OEN CENTRALE LANFAINS 2 LA CROIX DU JUBILE 22800 LANFAINS
Maîtrise d'ouvrage déléguée / assistance à maîtrise d'ouvrage :	Groupe Kallista Energy 82 boulevard Haussmann 75008 Paris - France Standard : +33 (0)1 58 22 18 80 Fax : +33 (0)1 58 22 18 90 www.KallistaEnergy.com Chef de projet : Mélina SAÏAH msaiah@kallistaenergy.com
	
Éoliennes :	6 éoliennes de 90 m de hauteur en bout de pale
Puissance du parc :	9,9 MW

Rédaction de l'étude sur la base de la « Trame type de l'étude de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens » de l'Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques (INERIS), examinée par la Direction Générale de la Prévention des Risques (DGPR).

¹ <http://www.developpement-durable.gouv.fr/La-charte-d-engagement-des-bureaux,43760.html>

Sommaire

Le résumé non technique est joint dans une pièce à part.

A. PREAMBULE	5		
A.1. OBJECTIF DE L'ETUDE DE DANGERS	5		
A.2. CONTEXTE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE	5		
A.3. CAS DES EOLIENNES ET METHODOLOGIE	6		
B. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION	6		
B.1. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS	6		
B.2. LOCALISATION DU SITE	6		
B.3. DEFINITION DE L'AIRES D'ETUDE	6		
C. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION	8		
C.1. ENVIRONNEMENT HUMAIN	8		
C.2. ENVIRONNEMENT NATUREL	11		
C.3. ENVIRONNEMENT MATERIEL	14		
C.4. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE	16		
D. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION	19		
D.1. CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION	19		
D.2. FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION	21		
E. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION	31		
E.1. POTENTIELS DE DANGERS LIES AUX PRODUITS	31		
E.2. POTENTIELS DE DANGERS LIES AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION	31		
E.3. REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS A LA SOURCE	32		
F. ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE	32		
F.1. INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS EN FRANCE	32		
F.2. INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS A L'INTERNATIONAL	33		
F.3. INVENTAIRE DES ACCIDENTS MAJEURS SURVENUS SUR LES SITES DE L'EXPLOITANT	34		
F.4. SYNTHESE DES PHENOMENES DANGEREUX REDOUTES ISSUS DU RETOUR D'EXPERIENCE	34		
F.5. LIMITES D'UTILISATION DE L'ACCIDENTOLOGIE	34		
G. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES	35		
G.1. OBJECTIF DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES	35		
G.2. RECENSEMENT DES EVENEMENTS INITIATEURS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES	35		
G.3. RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES	35		
G.4. SCENARIOS ETUDIES DANS L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES	36		
G.5. EFFETS DOMINOS	38		
G.6. MISE EN PLACE DES MESURES DE SECURITE	38		
G.7. CONCLUSION DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES	41		
H. ETUDE DETAILLEE DES RISQUES	41		
H.1. RAPPEL DES DEFINITIONS	41		
H.2. NIVEAU DE RISQUE	43		
H.3. CARACTERISATION DES SCENARIOS RETENUS	43		
H.4. SYNTHESE DE L'ETUDE DETAILLEE DES RISQUES	50		
I. CONCLUSION	54		
J. ANNEXES	55		
J.1. CADRE METHODOLOGIQUE	55		
J.2. METHODE DE COMPTAGE DES PERSONNES POUR LA DETERMINATION DE LA GRAVITE POTENTIELLE D'UN ACCIDENT A PROXIMITE D'UNE EOLIENNE	58		
J.3. TABLEAU DE L'ACCIDENTOLOGIE FRANÇAISE	59		
J.4. SCENARIOS GENERIQUES ISSUS DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES	65		
J.5. PROBABILITE D'ATTEINTE ET RISQUE INDIVIDUEL	66		
J.6. GLOSSAIRE	67		
J.7. BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES UTILISEES	68		

Liste des illustrations

Carte 1 de situation du renouvellement du parc éolien de Lanfains et de l'aire d'étude de dangers _____	7	Tableau 1 de la nomenclature ICPE pour l'éolien _____	6
Carte 2 d'éloignement des éoliennes aux habitations et aux zones d'habitation _____	8	Tableau 2 de l'écart en kilomètre entre les éoliennes du parc _____	15
Carte 86 de distance du projet aux premières habitations _____	9	Tableau 3 des sources potentielles de danger retenues pour l'analyse préliminaire des risques pour le renouvellement du parc éolien de Lanfains _____	16
Carte 3 de synthèse des enjeux humains dans la zone d'étude _____	10	Tableau 4 des coordonnées des éoliennes _____	20
Carte 4 de la fréquence des tornades en France _____	11	Tableau 5 des caractéristiques techniques de l'installation _____	23
Carte 5 de l'aléa sismique _____	12	Tableau 6 des types et quantités de produits présents dans l'éolienne _____	31
Carte 6 de foudroiement par commune (extrait) _____	13	Tableau 7 des types et quantités de produits présents en petite quantité dans l'éolienne _____	31
Carte 7 du site LDC Bretagne en limite des 500m de l'éolienne E5 _____	14	Tableau 8 des potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation _____	32
Carte 8 de synthèse de l'environnement pour E1 _____	16	Tableau 9 des principales agressions externes liées aux activités humaines _____	35
Carte 9 de synthèse de l'environnement pour E2 _____	17	Tableau 10 des principales agressions externes liées aux phénomènes naturels _____	36
Carte 10 de synthèse de l'environnement pour E3 _____	17	Tableau 11 d'analyse préliminaire des risques _____	38
Carte 11 de synthèse de l'environnement pour E4 _____	18	Tableau 12 des mesures de sécurité _____	40
Carte 12 de synthèse de l'environnement pour E5 _____	18	Tableau 13 des scénarios exclus de l'étude détaillée _____	41
Carte 13 de synthèse de l'environnement pour E6 _____	19	Tableau 14 de définition de l'intensité des effets _____	42
Carte 14 du plan simplifié du parc éolien _____	21	Tableau 15 de définition des seuils de gravité _____	42
Carte 15 schématique du raccordement interne au parc et d'une des possibilités de raccordement électrique externe _____	30	Tableau 16 de définition des échelles de probabilité _____	42
Carte 16 de synthèse des risques de l'éolienne E1 _____	51	Tableau 17 de définition des niveaux de risques _____	43
Carte 17 de synthèse des risques de l'éolienne E2 _____	52	Tableau 18 de l'intensité de l'effondrement d'une éolienne _____	43
Carte 18 de synthèse des risques de l'éolienne E3 _____	52	Tableau 19 de la gravité du risque de l'effondrement d'une éolienne _____	44
Carte 19 de synthèse des risques de l'éolienne E4 _____	53	Tableau 20 du niveau de risque et de l'acceptabilité de l'effondrement d'une éolienne _____	44
Carte 20 de synthèse des risques de l'éolienne E5 _____	53	Tableau 21 de l'intensité de chute de glace _____	45
Carte 21 de synthèse des risques de l'éolienne E6 _____	54	Tableau 22 de la gravité du risque de chute de glace _____	45
Figure 1 de la distance d'éloignement aux lieux-dits de Lanfains des éoliennes les plus proches _____	8	Tableau 23 du niveau de risque et de l'acceptabilité de chute de glace _____	45
Figure 2 de l'estimation des enjeux humains _____	10	Tableau 24 de l'intensité de chute d'éléments _____	46
Figure 3 des normales climatiques à Saint-Brieuc _____	11	Tableau 25 de la gravité de chute d'éléments _____	46
Figure 4 du nombre de jours moyen de gel et de neige à Saint-Brieuc _____	11	Tableau 26 du niveau de risque et de l'acceptabilité de chute d'éléments _____	46
Figure 5 du nombre de jours moyen de vents violents (rafales) à Saint-Brieuc _____	11	Tableau 27 de l'intensité de projection de pale ou de fragment de pale _____	47
Figure 6 du nombre de jours moyen de conditions climatiques orageuses et de grêles à Saint-Brieuc (Météo France) _____	13	Tableau 28 de la gravité de projection de pale ou de fragment de pale _____	48
Figure 7 des rubriques ICPE de l'établissement abattoir LDC Bretagne _____	14	Tableau 29 du niveau de risque et de l'acceptabilité de projection de pale ou de fragment de pale _____	48
Figure 8 du schéma simplifié d'un aérogénérateur _____	20	Tableau 30 de l'intensité de projection de morceaux de glace _____	49
Figure 9 du schéma de principe des emprises au sol d'une éolienne _____	20	Tableau 31 de la gravité de projection de morceaux de glace _____	49
Figure 10 des dimensions et spécificités de l'éolienne du projet _____	20	Tableau 32 du niveau de risque et de l'acceptabilité de projection de morceaux de glace _____	50
Figure 11 de la vue d'ensemble de l'éolienne LEITWIND LTW80 1650 _____	22	Tableau 33 de synthèse des scénarios étudiés _____	50
Figure 12 du système de détection de givre _____	23	Tableau 34 de définition des niveaux de risques _____	51
Figure 13 du système de surveillance de la température à la base de la tour (section) _____	24		
Figure 14 des mécanismes de fermeture - armoires de contrôle _____	24		
Figure 15 des capteurs de température sur le moyeu, le générateur et le châssis principal _____	24		
Figure 16 du conducteur de protection contre la foudre entre les pales du rotor et le moyeu _____	25		
Figure 17 de l'extincteur situé dans le châssis principal _____	25		
Figure 18 : principe du raccordement électrique des installations _____	29		
Figure 19 : répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et mi 2018 _____	33		
Figure 20 d'évolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées _____	34		

Les illustrations du présent document, hors mention contraire, sont réalisées par EnviroScop, à partir de fonds cartographiques sous les licences suivantes : Scan 25® licence KALLISTA n°2017-01-136269-216242e et 2017-01-136269-216243e, Scan100® licence KALLISTA n°2017--01-136269-216244e ©IGN PARIS copie et reproduction interdites, BD Alti® 75m ©IGN PARIS-2016 licence ouverte ETALAB, BD Carthage® licence ouverte ETALAB, DREAL, DRAC, BRGM, EAU France, Ministères, ... licence ouverte ETALAB, Registre parcellaire graphique agricole (contours des îlots culturels et leur groupe de cultures majoritaire des exploitations) de l'Agence de services et de paiement, licence ouverte ETALAB ; open street map (OSM) licence libre ODbL. Par défaut, les cartes sont orientées au nord, sauf mention contraire.

A. PREAMBULE

A.1. OBJECTIF DE L'ETUDE DE DANGERS

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par la société **KALLISTA OEN** pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du projet de renouvellement du parc éolien de Lanfains, 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 renouvellement du parc éolien de Lanfains. 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 à la complexité des installations et de leurs risques.

Elle précise l'ensemble des mesures de maîtrise des risques mises en œuvre sur le renouvellement du parc éolien de Lanfains, qui réduisent le risque à l'intérieur et à l'extérieur des éoliennes à un niveau jugé acceptable par l'exploitant.

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

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

Nous rappellerons ici les définitions de danger et de risque retenues dans la présente étude :

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 ». (Glossaire des risques technologiques, circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers).

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).

A.2. CONTEXTE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE

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

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

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

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

- description de l'environnement et du voisinage
- description des installations et de leur fonctionnement
- identification et caractérisation des potentiels de danger
- estimation des conséquences de la concrétisation des dangers
- réduction des potentiels de danger
- enseignements tirés du retour d'expérience (des accidents et incidents représentatifs)
- analyse préliminaire des risques
- étude détaillée de réduction des risques
- quantification et hiérarchisation des différents scénarios en termes de gravité, de probabilité et de cinétique de développement en tenant compte de l'efficacité des mesures de prévention et de protection
- représentation cartographique
- résumé non technique de l'étude des dangers.

De même, la circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les *règles méthodologiques applicables aux études de dangers*, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003 [11] précise le contenu attendu de l'étude de dangers et apporte des éléments d'appréciation des dangers pour les installations classées soumises à autorisation.

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 comprend des dispositions constructives et en phase d'exploitation concernant notamment la sécurité (par exemple, normes, sécurité face aux incendies, foudre...). La circulaire du 29 août 2011 relative aux conséquences et orientations du classement des éoliennes dans le régime des installations classées donne des éclairages sur l'instruction. Elle précise notamment que *les études de dangers pourront présenter un caractère plus léger que bon nombre d'autres installations classées, bien plus dangereuses, dans un souci de proportionnalité.*

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

NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSEES

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

N°	A – Nomenclature des installations classées		
	Désignation de la rubrique.	A, E, D, S, C (1)	Rayon (2)
2980	Production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent (ensemble des machines d'un site) :		
	- Comprenant au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m ;	A	6
	- Comprenant uniquement des aérogénérateurs dont le mât à 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 :		
	- supérieure ou égale à 20 MW	A	6
	- inférieure à 20 MW	D	

(1) A : autorisation, E : enregistrement, D : déclaration, S : servitude d'utilité publique, C : soumis au contrôle périodique prévu par l'article L. 512-11 du code de l'environnement (2) Rayon d'affichage en kilomètres / Décret n°2011-984 du 23 août 2011

Tableau 1 de la nomenclature ICPE pour l'éolien

Le renouvellement du parc éolien de Lanfains comprend au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m (Hauteur du mât au sommet de la nacelle de 53 m). **Cette installation est donc soumise à autorisation (A)** au titre des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement et doit présenter une étude de dangers au sein de sa demande d'autorisation environnementale.

A.3. CAS DES EOLIENNES ET METHODOLOGIE

Le cadre juridique de l'activité de la production d'énergie éolienne a été modifié depuis la loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, dite « Loi Grenelle 2 ». En effet, depuis le 14 juillet 2011 les éoliennes sont désormais inscrites à la nomenclature des activités soumises au respect des règles applicables **aux Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE)**.

L'éolien est l'une des branches des énergies renouvelables les plus matures, sa technologie étant désormais bien maîtrisée. Sa croissance dans le monde est considérable depuis une dizaine d'années et la puissance éolienne totale installée s'élevait à 486,8 GW fin 2016 (source : GWEC). En France, des éoliennes sont opérationnelles depuis 1991 (Port-La-Nouvelle). Au 30 juin 2017, la France totalisait 12 333 MW de puissance installée sur son territoire (source : SOeS), ce qui représente environ 1 560 parcs éoliens pour lesquels **très peu d'accidents majeurs** sont recensés du fait d'un retour d'expériences important à travers le monde (environ 140 000 éoliennes exploitées).

Dans la Circulaire du 29 août 2011, relative aux conséquences et orientations du classement des éoliennes dans le régime des installations classées (DEVP1119997C), le ministre de l'écologie, du développement durable, des transports et du logement précise que « les études de dangers, désormais exigibles pour les éoliennes soumises à autorisation, pourront présenter un caractère plus léger que bon nombre d'autres installations classées, bien plus dangereuses, dans un souci de proportionnalité ».

La présente étude de dangers respecte les prescriptions de R.512-9 du Code de l'environnement et a donc été réalisée sur la base de la « Trame type de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens » achevée par l'INERIS (version de Mars 2012). En effet, le renouvellement du parc éolien de Lanfains est représentatif au sens où il ne présente aucune particularité ni dans sa taille, ni dans sa conception, ni dans son implantation.

Par ailleurs, ce guide est le **référentiel officiel** pour l'élaboration des études de dangers de parc éolien validé par la Direction Générale de la Prévention de Risques (DGPR) du ministère en charge de l'environnement en 2012 et transmis à toutes les DREAL pour l'instruction des dossiers éoliens.

B. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

B.1. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS

Société porteuse du projet : **KALLISTA OEN**

- Adresse du siège : 82 BOULEVARD HAUSSMANN - 75008 PARIS
- Adresse des sites de production : CENTRALE LANFAINS 2 - LA CROIX DU JUBILE ZE101 22800 LANFAINS
- Forme juridique : SASU Société par actions simplifiée à associé unique
- Capital : 37 500,00 €
- SIRET : 479 764 961 00096
- Code APE : 3511Z (Production d'électricité)

Le KBIS est présenté dans le volet administratif de la demande.

B.2. LOCALISATION DU SITE

Le renouvellement du parc éolien de Lanfains, composé de **6 aérogénérateurs et d'un poste de livraison électrique**, est localisé sur la commune de Lanfains, dans le département des Côtes d'Armor, en région Bretagne.

Les positions des éoliennes sont présentées dans le Tableau 4 des coordonnées des éoliennes, page 20.

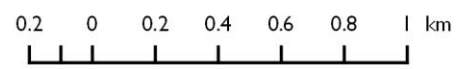
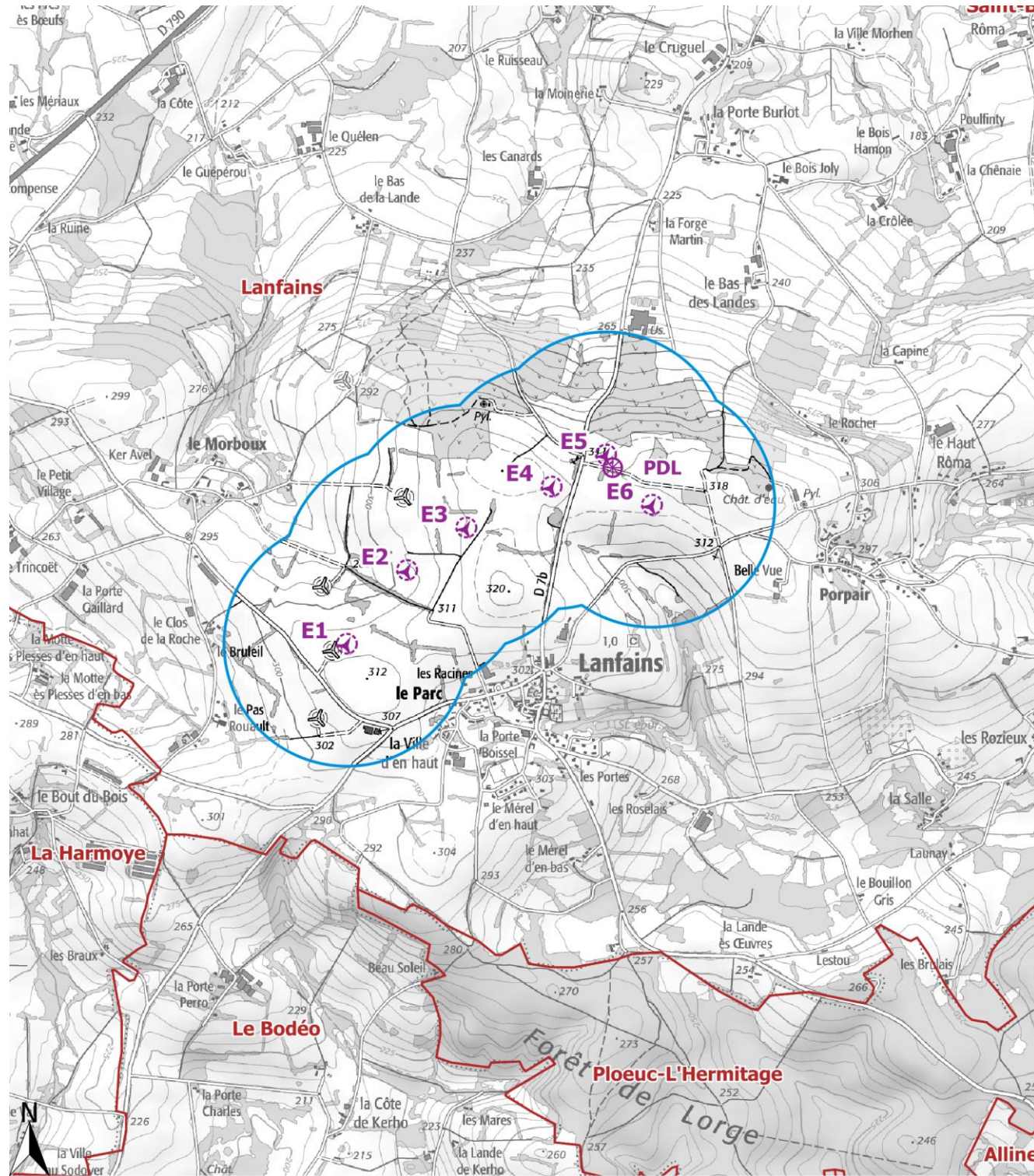
B.3. DEFINITION DE L'AIRE D'ETUDE

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

Chaque aire d'étude correspond à **l'ensemble des points situés à une distance inférieure ou égale à 500 m à partir de l'emprise du mât de l'aérogénérateur**. Cette distance équivaut à la distance d'effet retenue pour les phénomènes de projection, telle que définie au paragraphe H.3 - 4.

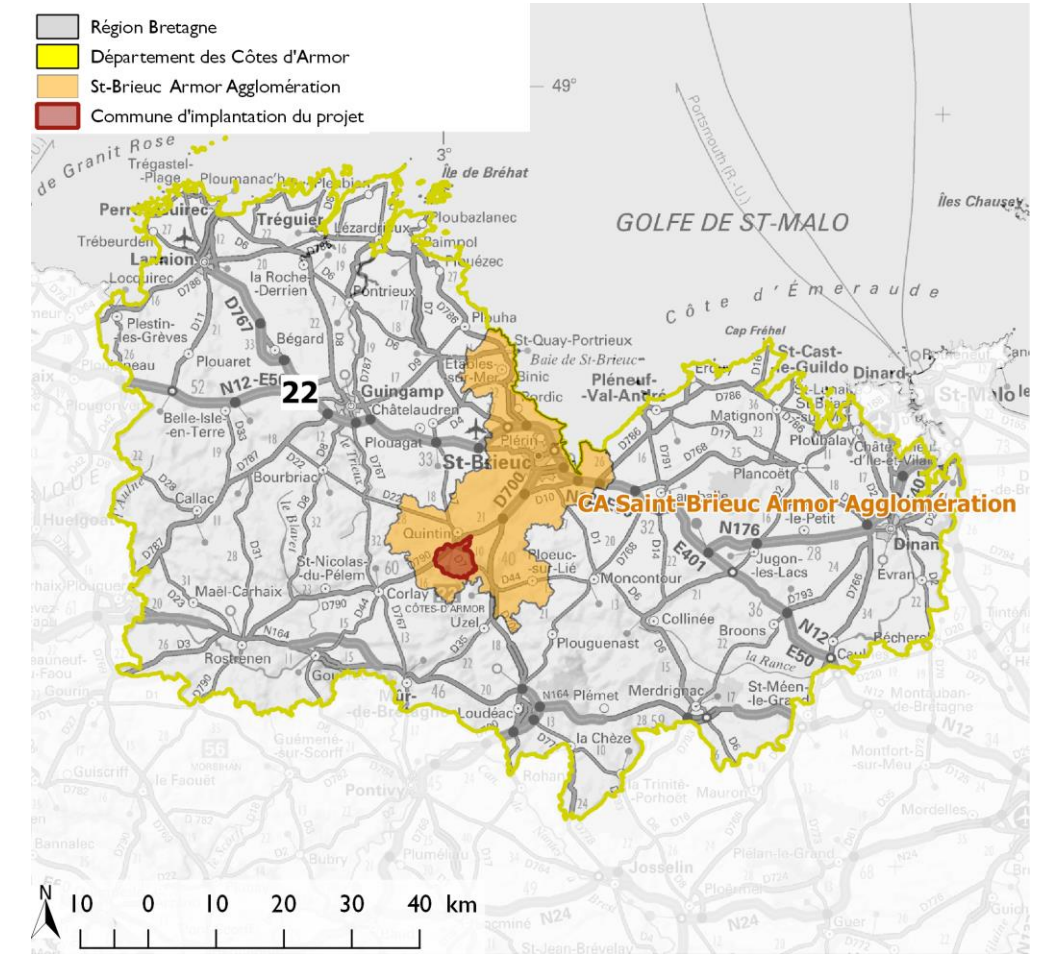
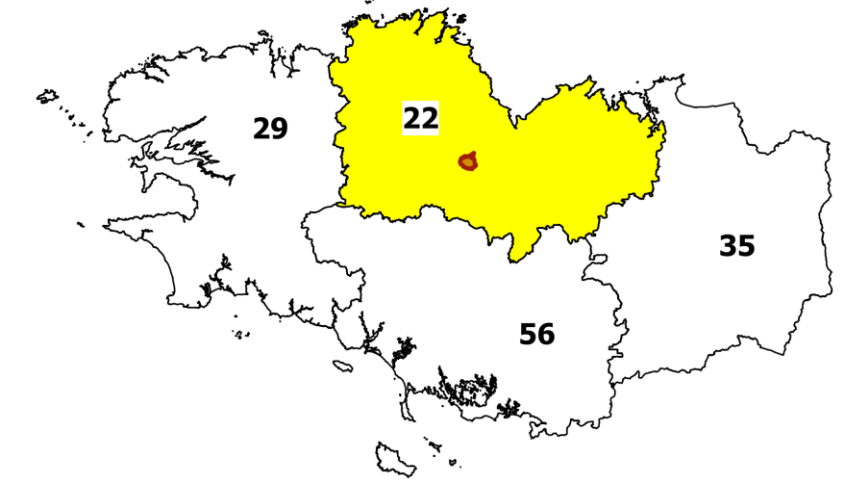
Note. Dans le document, sans mention précisant l'éolienne concernée, le terme « aire d'étude » fera référence aux aires d'étude de toutes les éoliennes du parc (notamment lors de la description de l'environnement de l'installation).

L'aire d'étude n'intègre pas les environs des postes de livraison, qui sont néanmoins représentés sur la carte. Les modélisations réalisées dans le cadre du **guide de l'INERIS ont en effet démontré l'absence d'effet à l'extérieur du poste de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter**.



- Projet
- Aire d'étude de danger
- Zone de survol
- Limites communales

Carte 1 de situation du renouvellement du parc éolien de Lanfains et de l'aire d'étude de dangers



C. DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

Ce chapitre a pour objectif de décrire l'environnement dans l'aire d'étude de l'installation, afin d'identifier :

- les principaux intérêts à protéger (enjeux humains)
- et les facteurs de risque que peut représenter l'environnement vis-à-vis de l'installation (agresseurs potentiels : environnement naturel et environnement matériel).

C.1. ENVIRONNEMENT HUMAIN

C.1 - 1. Zones urbanisées

Dans un périmètre de 500 m des éoliennes du renouvellement du parc éolien de Lanfains, ne sont concernés que des espaces à vocation agricole dans la commune de Lanfains (commune d'implantation). Les autres communes proches sont Le Bodéo à 800 m environ, La Harmoye à 875 m et Plœuc-l'Hermitage à plus de 1 km. Les secteurs d'habitation se concentrent au sein du village de Lanfains et dans de nombreux petits hameaux. Aucun de ses secteurs n'est à moins de 500m. L'aire de 500 m autour des éoliennes et les écarts aux habitations les plus proches sont indiqués en Carte 2 ci-dessous.

Pour rappel, les éoliennes du parc à démanteler sont intégralement situées à moins de 500m des zones destinées à l'habitation. Les distances vont de 370 m pour l'éolienne E1 (éolienne la plus proche) à 460 m pour l'éolienne E2 (la plus éloignée).

Le projet de renouvellement est éloigné des plus proches habitations de :

- 500, 530, 580 m au nord du bourg de Lanfains, au sud-est respectivement des éoliennes E1, E2 et E3 ;
- 625, 685 et 575 m du nord du bourg de Lanfains, au sud-est respectivement des éoliennes E4, E5 et E6.

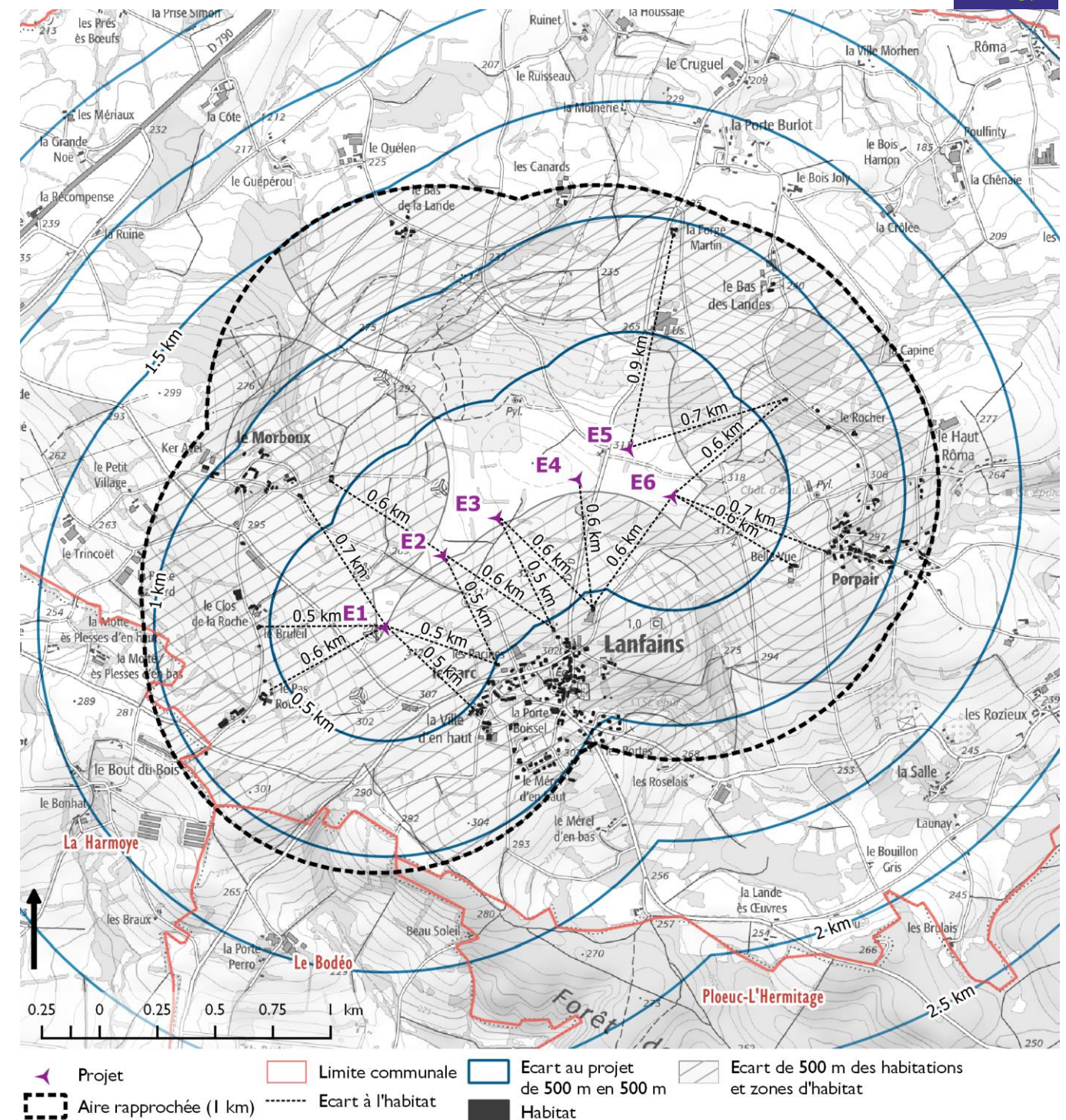
Les autres habitations les plus proches (à moins de 1 km) sont également toutes situées à Lanfains.

Les écarts des éoliennes aux différents lieux-dits riverains sur la commune de Lanfains sont détaillés ci-après :

Lieux-dits	Ecart de l'éolienne (km)						Ecart minimal
	E1	E2	E3	E4	E5	E6	
LANFAINS le Parc	0,50	0,57	0,72	0,97	1,18	1,14	0,50
LANFAINS les Racines	0,50	0,53	0,64	0,88	1,10	1,06	0,50
LANFAINS la Ville d'en Haut	0,52	0,67	0,84	1,10	1,32	1,27	0,52
LANFAINS Lanfains nord	0,72	0,57	0,54	0,56	0,71	0,60	0,54
LANFAINS Le Bruleil	0,54	0,84	1,13	1,52	1,77	1,87	0,54
LANFAINS le Clos de la Roche	0,56	0,83	1,11	1,49	1,75	1,86	0,56
LANFAINS le Pas Rouault	0,57	0,94	1,24	1,62	1,87	1,93	0,57
LANFAINS le Morboux	0,66	0,58	0,73	1,07	1,30	1,48	0,58
LANFAINS Belle Vue	1,77	1,51	1,28	0,99	0,86	0,59	0,59
LANFAINS le Rocher	1,98	1,62	1,33	0,95	0,70	0,63	0,63
LANFAINS Porpair	1,92	1,65	1,42	1,11	0,95	0,70	0,70
LANFAINS centre-bourg	0,83	0,78	0,80	0,91	1,08	0,95	0,78
LANFAINS La Forge Martin	2,09	1,71	1,43	1,12	0,93	1,12	0,93
LANFAINS les Canards	1,98	1,61	1,38	1,18	1,09	1,34	1,09
LANFAINS le Bas de la Lande	1,68	1,39	1,27	1,28	1,33	1,61	1,27
Ecart minimal	0,50	0,57	0,72	0,97	1,18	1,14	0,50

Les distances arrondies sont données ici à titre indicatif. Ne sont mentionnées que les distances à l'éolienne la plus proche, tel que figurées dans la carte suivante. Source. KALLISTA Energy, cadastre informatisé Ministère de l'Intérieur.

Figure 1 de la distance d'éloignement aux lieux-dits de Lanfains des éoliennes les plus proches



Source. OSM 2016 / DDTM22 2017

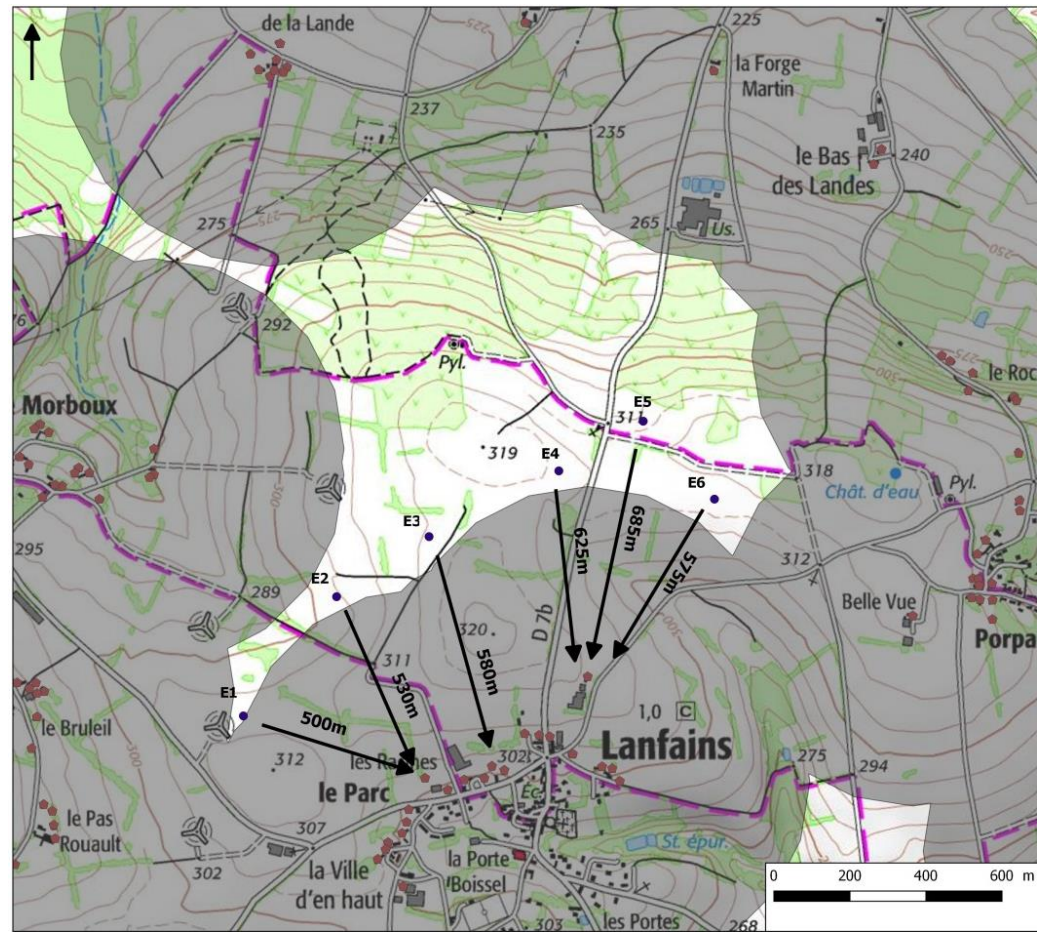
Les distances sont approximatives et données à titre indicatif. Pour plus de lisibilité, toutes les distances ne sont pas indiquées.

Carte 2 d'éloignement des éoliennes aux habitations et aux zones d'habitation

L'habitation la plus proche dans la commune de La Harmoye est dans le hameau de la Motte à Plesses d'en Bas (E1 à 1,1 km) ; celle dans la commune de Le Bodéo est dans le hameau de Beau Soleil (E1 à 1,38 km) ; celle dans la commune de Plœuc-l'Hermitage est dans le hameau de La lande Blanche (E6 à 2,60 km).

Ces distances minimales sont ainsi cohérentes avec la réglementation ICPE, d'autant que les éoliennes sont ici d'une taille modeste avec seulement 90 m en bout de pale (et non 150 ou 180 m comme les autres projets déposés ces dernières années).

La commune de Lanfains ne dispose pas d'un document d'urbanisme en vigueur (PLU en cours de réalisation). Aucune zone destinée à l'habitation du PLU n'est présente à proximité du parc éolien.



Projet de renouvellement du parc éolien de Lanfains

Distance du projet aux premières habitations

Légende

- Eoliennes
- Habitations
- 500m aux habitations

Les éoliennes figurant sur le fond IGN correspondent aux éoliennes à démanteler

© Groupe Kallista Energy - 82 boulevard Haussmann 75008 Paris - Tél.: 01 52 22 18 80

Carte 3 de distance du projet aux premières habitations

Aucune construction à usage d'habitation ou zone destinée à l'habitation, selon le document d'urbanisme opposable, n'est située à moins de 500 m du renouvellement du parc éolien de Lanfains.

C.1 - 2. Etablissements recevant du public (ERP)

Constituent des ERP tous les bâtiments, locaux et enceintes dans lesquels des personnes sont admises, soit librement, soit moyennant une rétribution ou une participation quelconque, ou dans lesquels sont tenues des réunions ouvertes à tout venant ou sur invitation, payantes ou non. » Source : Article R 123-2 du code de la construction et de l'habitation

Cela regroupe donc un très grand nombre d'établissements, comme les magasins et centres commerciaux, les cinémas, les théâtres, les hôpitaux, les écoles et universités, les hôtels et restaurants... que ce soient des structures fixes ou provisoires (chapiteaux, tentes, structures gonflables).

Les établissements recevant du public à proximité du site sont de type églises, écoles, mairies, commerces, cimetière... Ils sont situés dans les bourgs ou en limite de zone urbaine dans les hameaux.

Aucun établissement recevant du public n'est recensé dans la zone d'étude de 500 m des éoliennes.

C.1 - 3. Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et installations nucléaires de base

Aucun bâtiment abritant une Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE) autre que le projet, ni aucune installation SEVESO, ni aucune installation nucléaire de base (INB) n'est présent dans les limites de la zone d'étude (voir C.3 - 1c. en page 14). Dans la limite de 500 m de l'éolienne E5, est présente une frange du parking et de l'accès à l'abattoir LDC. L'abattoir est un établissement comptant entre 100 et 199 salariés. Considérant la superficie du site à 2,98 ha au cadastre, cela représente un ratio de 66,66 personnes/ha pour la fourchette haute de 199 personnes, dans le cadre d'une approche majorante. En effet, les salariés n'étant pas tous présents en même temps et en permanence sur le site.

C.1 - 4. Autres activités pouvant présenter des enjeux humains

ACTIVITES AGRICOLES, EXPLOITATION DU PARC EOLIEN ET AUTRES OCCUPATIONS DES SOLS PONCTUELLES

Dans l'aire d'étude de dangers, sont recensées l'occupation des sols et activités suivantes :

- terres à vocation agricole (cultures et prairies, voire de landes) en majeure partie,
- de rares bois, sur les versants souvent pentus,
- des plateformes de levage des éoliennes du renouvellement du parc éolien de Lanfains pouvant constituer une zone de stationnement pour la maintenance de l'installation (voir C.3 - 1c. en page14).

On recense également les sites suivants très ponctuellement :

- un château d'eau en limite est de l'aire d'étude,
- un pylône électrique,
- l'extrémité d'un jardin,
- une zone de stockage agricole avec un hangar, et une fraction en limite de l'aire d'étude au lieu-dit des Racines.
- une frange du parking (parking, accès privé et espaces verts) de l'abattoir LDC, en limite nord-est de l'aire d'étude.

Les principaux usagers du site sont donc les exploitants agricoles ou forestiers sur les surfaces agricoles, de landes ou de forêt, les équipes de maintenance du renouvellement du parc éolien de Lanfains considérées sur les aires de levage permanentes, les équipes techniques du château d'eau, du pylône électrique et d'une fraction du parking de l'abattoir sur leurs emprises et les personnes dans le jardin.

CIRCULATION SUR LES ROUTES ET LES CHEMINS

La zone d'étude est traversée par plusieurs routes bitumées : la RD 7b (826 véhicules/j) et des voies communales (VC1 et VC5). Aucun survol des pales n'est observé au-dessus de routes bitumées. Plusieurs chemins ruraux ou privés (voir C.3 - 2. en page 15) sont présents. On prend compte ici les accès créés pour le projet. Les pistes créées pour le projet sont également prises en compte, tels des chemins.

On retiendra ainsi la circulation des véhicules (principalement agricoles) sur les chemins au regard de leur surface concernée.

ITINERAIRE DE PROMENADE

Aucun chemin de grande randonnée GR ou chemin de randonnée de pays n'est recensé dans l'aire d'étude de 500 m des éoliennes. On recense dans l'aire d'étude de dangers, deux chemins empruntés pour la promenade, inscrits au Plan départemental des itinéraires de promenade et de randonnées (PDIPR). Aucun comptage de la fréquentation de cet axe local de promenade n'est disponible et sera retenue une hypothèse majorante (soit 100 personnes par jour) pour sa fréquentation sur la base de la démarche retenue par le guide INERIS.

On retiendra ainsi la circulation des promeneurs selon le linéaire d'itinéraire de promenade.

Aucune autre activité ou infrastructure nécessitant la présence de personne n'est observée dans la zone d'étude.

C.1 - 5. Synthèse des enjeux humains dans l'environnement de l'installation

Dans la zone d'étude, nous considérons que les enjeux humains sont localisés :

- sur les terrains non aménagés et très peu fréquentés à savoir : les parcelles agricoles et les boisements ;
- sur les terrains aménagés mais peu fréquentés à savoir : la RD 7b et les autres voies de circulation non structurantes telles que les voies communales et chemins, l'aire d'exploitation du château d'eau et du pylône électrique, le stockage agricole, l'extrémité d'un jardin, les aires permanentes des éoliennes (maintenance) ;
- sur les terrains aménagés et potentiellement fréquentés à très fréquentés, à savoir une fraction du parking de l'abattoir ;
- les promeneurs sur le chemin inscrit au PDIPR.

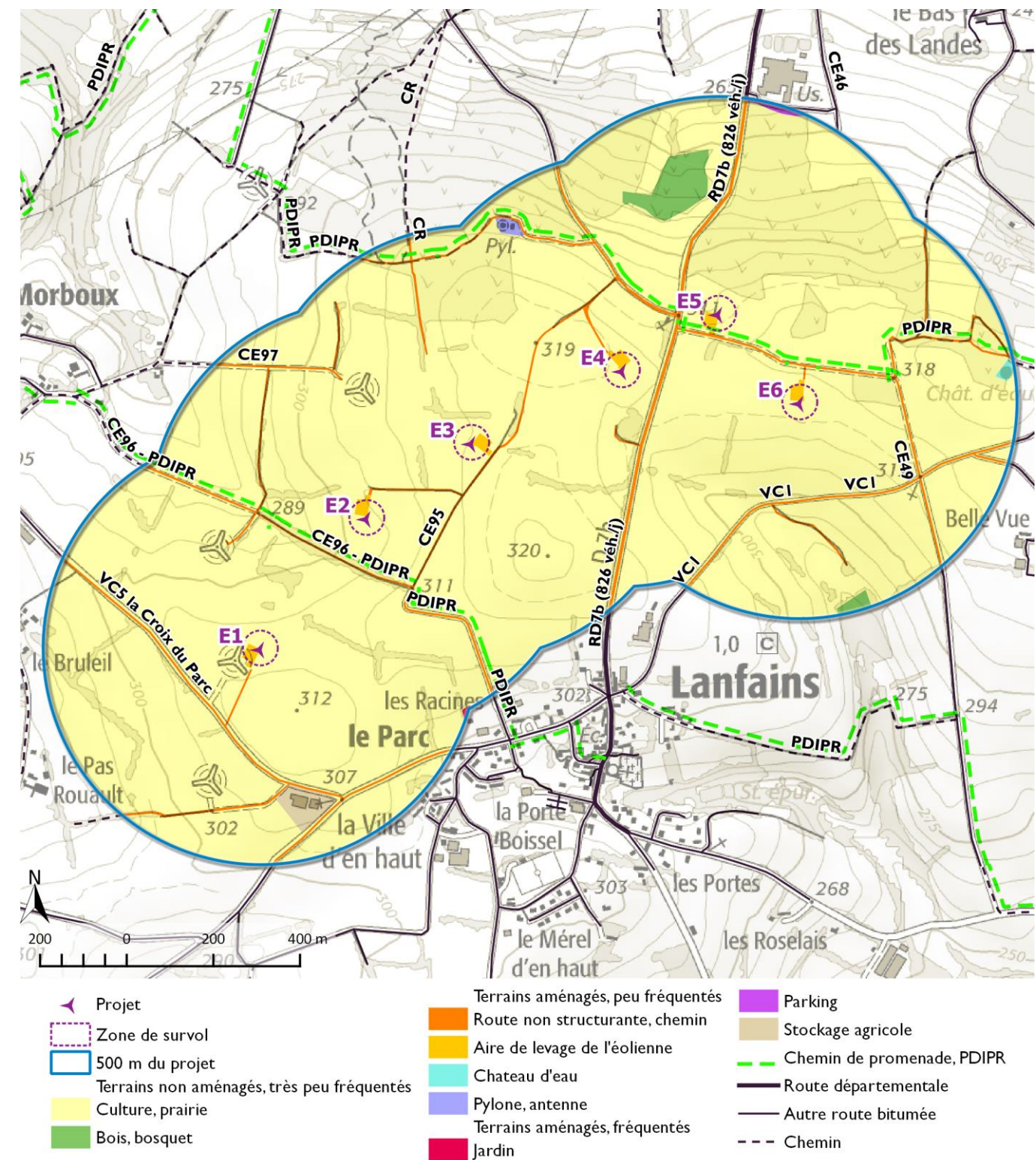
L'estimation des enjeux humains est menée selon la démarche retenue par le guide INERIS et plus précisément l'annexe fixant les comptages de personnes en fonction de la surface ou du linéaire concerné (voir J.2. Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne en page 58). Pour les chemins ruraux, d'exploitations ou piste d'accès aux éoliennes, nous considérerons une largeur moyenne de 5 m. **Le nombre de personnes exposées dans l'abattoir est basé sur un ratio de 66,66 personnes pour 1 ha dans une approche majorante.**

En se basant sur la méthode de comptage des personnes exposées (Annexe 2) et selon une démarche conservatrice, nous retiendrons :

Catégorie	Nature	Unité	Calcul
Terrains non aménagés et très peu fréquentés	Parcelles agricoles	ha	1 personne pour 100 ha
Terrains aménagés mais peu fréquentés	Chemins et routes, Aire de l'éolienne, Jardin, Château d'eau, Pylône, Stockage agricole	ha	1 personne pour 10 ha
Terrains aménagés et potentiellement fréquentés ou très fréquentés	Parking	ha	66,66 personnes pour 1 ha
Randonnée	Chemin inscrit au PDIPR	km	2 personnes pour 1 km par tranche de 100 promeneurs/jour (hypothèse majorante)
Route non structurante	RD7b	km	3,3 personnes pour 1 km

Figure 2 de l'estimation des enjeux humains

La carte précédente présente les enjeux humains pour les aires d'étude de dangers de toutes les éoliennes. Ces enjeux seront déclinés selon une carte par éolienne en synthèse (voir en page 16).



Carte 4 de synthèse des enjeux humains dans la zone d'étude

C.2. ENVIRONNEMENT NATUREL

C.2 - 1. Contexte climatique

Le climat du secteur d'étude est qualifié de *climat médian à dominante plus océanique* (source : www.bretagne-environnement.org). Le ciel change rapidement. Le temps est lié aux marées et suit les cycles de la lune.

La station de référence pour la commune concernée par la ZIP est celle de Saint-Brieuc. La moyenne mensuelle de la température varie de 5.9°C en janvier à 17°C en août.

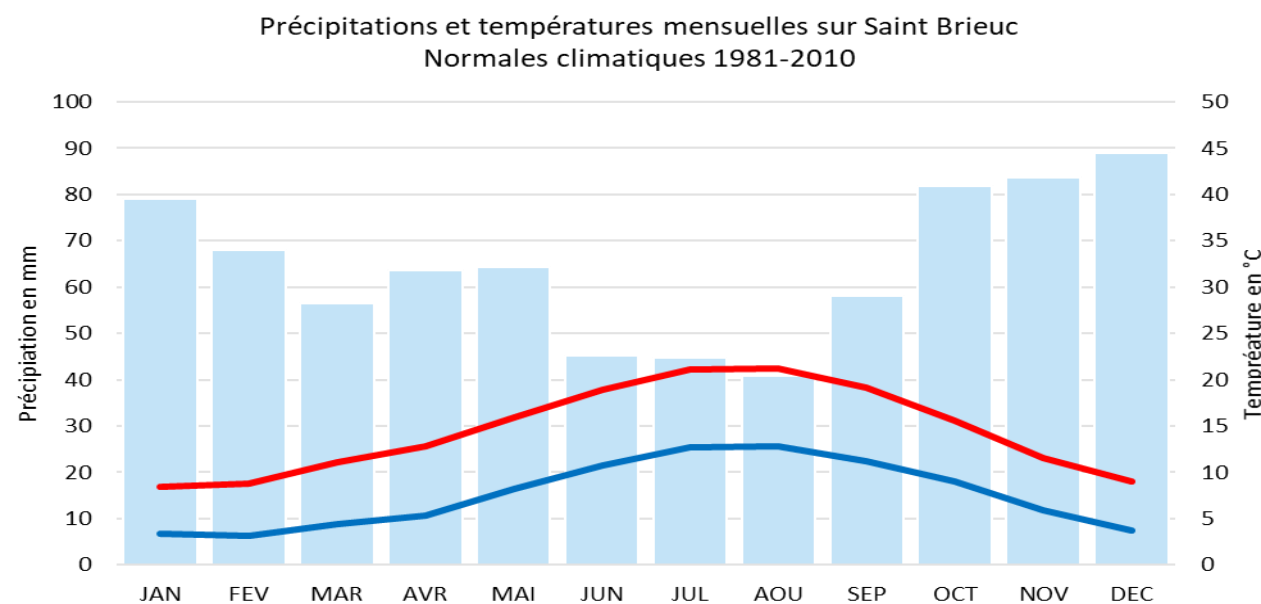


Figure 3 des normales climatiques à Saint-Brieuc

À Saint Brieuc, la moyenne mensuelle de la température varie de 5.9°C en janvier à 17°C en août. Les pluies sont moins abondantes en été, avec un cumul minimum de 40,8 mm en août et un maximum de 80 mm en décembre. Avec 774,7 mm par an, le cumul des précipitations est légèrement inférieur à la moyenne nationale (environ 890 mm/an). Les épisodes de fortes pluies peuvent avoir des conséquences sur les risques de ruissellement notamment lorsque les pentes sont fortes et les sols nus.

Bien que la moyenne des températures soit au-dessus de 0°C, on observe environ 22,1 jours de gel dans l'année en moyenne, répartis d'octobre à avril, et 7,4 jours de neige. Les conditions météorologiques liées à une forte humidité et de gel peuvent constituer des facteurs de risque pour le parc éolien par la formation de givre sur les pales. En outre, les périodes froides peuvent avoir un effet sur le cycle biologique des espèces sauvages, notamment pour la faune volante.

Nombre moyen de jours avec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Année
Gel	6	5,2	2,1	0,7	0	0	0	0	0	0,1	2,1	5,9	22,1
Neige	1,1	2,7	1,1	0,7	0	0	0	0	0	0	0,2	1,6	7,4

Source : Météo France. Altitude 10 m

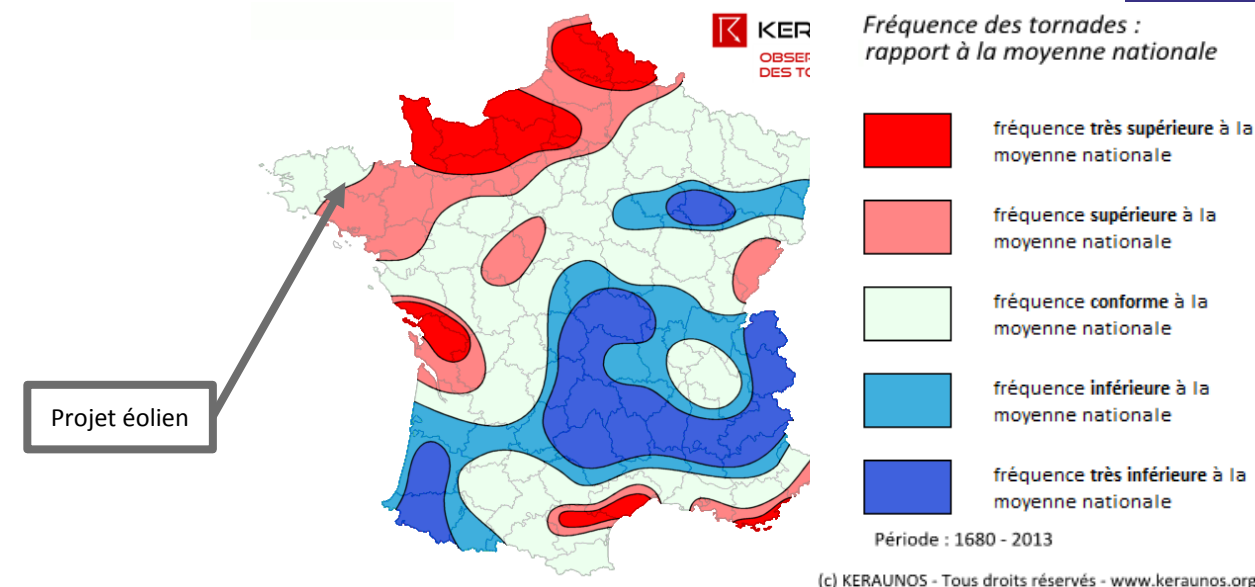
Figure 4 du nombre de jours moyen de gel et de neige à Saint-Brieuc

Concernant les vents violents, entre 1981 et 2010, on observe, en moyenne à Saint Brieuc, 88,9 jours/an avec des vents de plus de 57 km/h (> 16 m/s), dont 3,8 jours avec des vents au-delà de 100 km/h (> 28 m/s).

Nbre moyen jours	Jan.	Fév.	Mar	Avr.	Mai	Jun	Juil.	Aout	Sep	Oct.	Nov.	Déc.	An.
Rafales => 16 m/s	12,6	10,8	8,7	8,3	5,1	3,9	2,8	3	3,9	8,3	9,7	11,8	88,9
Rafales => 28 m/s	1,1	0,9	0,3	0,1	0	0	0	0	0,1	0,4	0,1	0,8	3,8

Source : Météo France. Altitude 10 m

Figure 5 du nombre de jours moyen de vents violents (rafales) à Saint-Brieuc



Carte 5 de la fréquence des tornades en France

Le vent est retenu comme source potentielle de dangers pour les installations du renouvellement du parc éolien de Lanfains.

C.2 - 2. Risques naturels

C.2 - 2a. Séisme

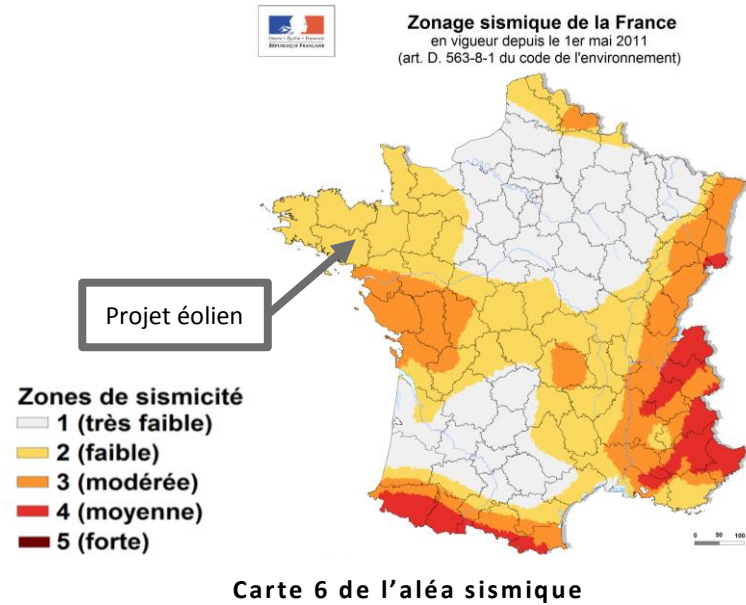
La présence d'une grande partie de la masse en haut de la tour rend les éoliennes particulièrement vulnérables aux séismes. Un séisme pourrait conduire à la chute du mât. Les éoliennes doivent être dimensionnées conformément à la réglementation française en vigueur.

Depuis le 22 octobre 2010, la France dispose d'un nouveau zonage sismique divisant le territoire national en cinq zones de sismicité croissante en fonction de la probabilité d'occurrence des séismes. La prévention du risque sismique est notamment régie par :

- le Code de l'Environnement, au travers des articles R563-1 à R563-8 relatifs à la prévention du risque sismique,
- l'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal »,
- le décret n° 2010-1255 du 22/10/10 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français,
- le décret n° 2010-1254 du 22/10/10 relatif à la prévention du risque sismique,
- la circulaire n° 2000-77 du 31/10/00 relative au contrôle technique des constructions pour la prévention du risque sismique,
- la circulaire DPPR/SEI du 27 mai 1994 relative à l'arrêté du 10 mai 1993 fixant les règles parasismiques applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement,
- l'arrêté du 10 mai 1993 fixant les règles parasismiques applicables aux installations soumises à la législation sur les installations classées.

Le risque sismique ne présente pas d'enjeux particuliers sur la zone d'étude au vu de la fréquence des séismes et de leur intensité. L'actuel zonage sismique classe le périmètre d'étude de dangers en zone de **sismicité 2 (faible)**.

Il est à préciser que dans le cadre de la construction du parc éolien, une étude géotechnique sera réalisée. Les résultats permettront notamment de dimensionner correctement les fondations.



Bien que le risque soit faible, le risque sismique est retenu comme source potentielle de dangers pour le renouvellement du parc éolien de Lanfains.

C.2 - 2b. Inondations

Dans les Côtes d'Armor, les risques d'inondation peuvent correspondre à plusieurs aléas pouvant être combinés :

- inondations rapides par ruissellement consécutives à des averses violentes et de plus en plus souvent associés à des coulées boueuses, renforcées par l'imperméabilisation des sols et des pratiques culturales limitant l'infiltration des précipitations. Elles se produisent depuis les rebords de plateau aux versants pentus vers les fonds de vallée ;
- inondations lentes par débordement de cours d'eau ou remontée de nappes alluviales.

Toutes les communes de l'aire d'étude sont ainsi sujettes à des risques majeurs liés à des inondations, ruissellement et coulées de boues. La commune de Lanfains est concernée par le Programme d'Action de Prévention des Inondations (PAPI) du Bassin de la Vilaine signé le 26/11/2012.

Situées en dehors des talwegs, ce risque est faible pour toutes les éoliennes.

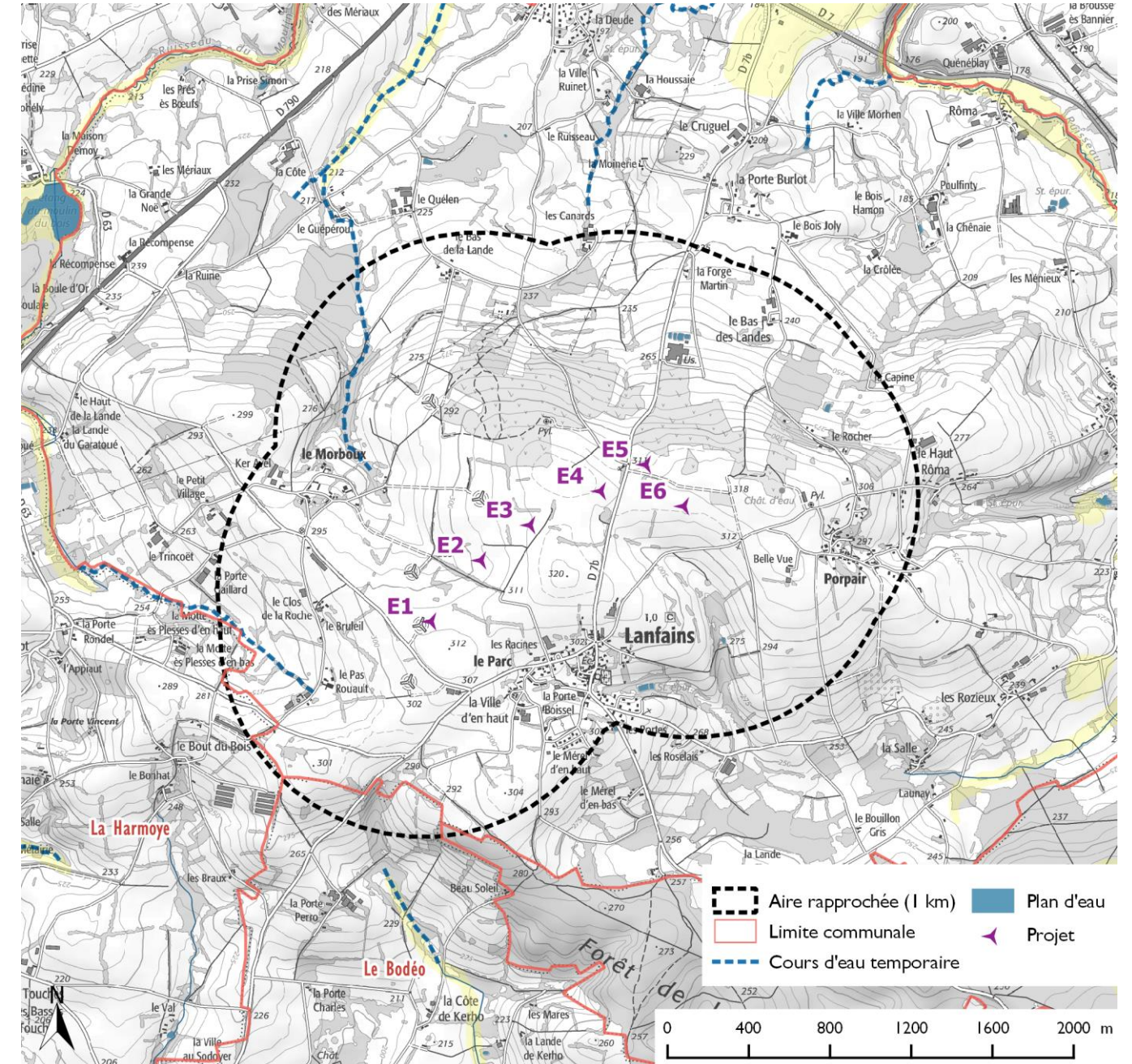
Le risque « inondation » n'est pas retenu comme source potentielle de dangers pour les installations du renouvellement du parc éolien de Lanfains.

C.2 - 2c. Remontées de nappes

Les dangers associés au risque de remontées des nappes est identique aux dangers liés au phénomène d'inondation (cf. supra). La Base de Données Nationales « Remontées de nappes » développée par le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (<http://inondationsnappes.fr>) indique que l'aire d'étude de dangers est en zone de sensibilité « très faible » pour toutes les éoliennes.

Il est à préciser que dans le cadre de la construction du parc éolien, une étude géotechnique sera réalisée. Les résultats permettront notamment de dimensionner correctement les fondations.

Le risque « remontées de nappes » n'est pas retenu comme source potentielle de dangers pour les installations du renouvellement du parc éolien de Lanfains.



Carte des mouvements de terrain par effondrement, par cavité souterraine et par retrait-gonflement des argiles

C.2 - 2d. Mouvement de terrain par effondrement

Le risque de mouvement de terrain pourrait être à l'origine d'une chute d'éolienne.

Le risque d'effondrement lié à des cavités souterraines n'est pas recensé au sein de l'aire d'étude.

Aucun indice de cavités – carrières, cavités naturelles, ouvrages civils – n'est localisé **à proximité du projet**.

Il est à préciser que dans le cadre de la construction du parc éolien, une étude géotechnique sera réalisée. Les résultats permettront notamment de dimensionner correctement les fondations.

Le risque de « mouvement de terrain par effondrement » n'est pas retenu comme source potentielle de dangers pour le renouvellement du parc éolien de Lanfains.

C.2 - 2e. Retrait et gonflement d'argile

Un sol argileux peut présenter des caractéristiques hétérogènes suivant son taux d'hygrométrie. Lorsqu'il est desséché, il devient dur et cassant. A contrario lorsqu'il est humide, il devient plastique et malléable. Ces modifications de consistance sont loin d'être sans conséquence. Les variations de volume, avec des amplitudes parfois très importantes sont constatées en période estivale. En effet, les températures élevées accentuent le phénomène d'évaporation. Par conséquent les sols argileux se rétractent en période de sécheresse, ce qui se traduit par des tassements différentiels qui peuvent occasionner des dégâts parfois importants aux constructions.

Le site internet du BRGM (<http://www.georisques.gouv.fr>) cartographie l'aléa retrait-gonflement d'argile.

La nature géologique schisteuse du secteur est peu propice à ce type de risque. L'aléa retrait-gonflement est nul au sein de l'aire d'étude. Aucun plan de prévention des risques naturels Mouvement de terrain ne concerne les communes de l'aire d'étude.

Il est à préciser que dans le cadre de la construction du parc éolien, une étude géotechnique sera réalisée. Les résultats permettront notamment de dimensionner correctement les fondations.

Le risque « retrait et gonflement d'argile » n'est pas retenu comme source potentielle de dangers pour le renouvellement du parc éolien de Lanfains.

C.2 - 2f. Foudre

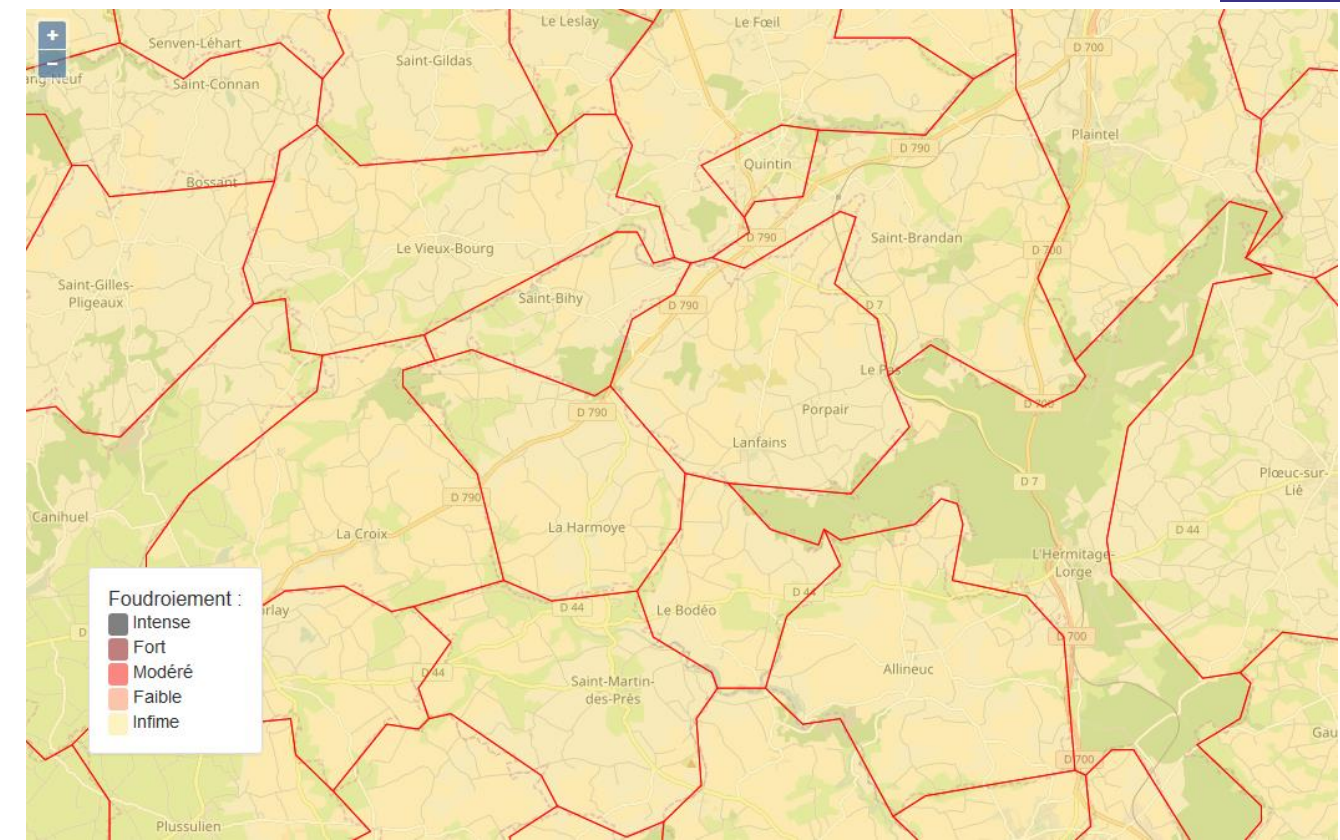
Une éolienne étant par définition une construction d'une hauteur importante érigée sur une surface dégagée, la possibilité d'un foudroiement n'est pas à exclure au cours de son utilisation. Une telle éventualité est particulièrement sensible lorsque des pales en fibres de carbone sont utilisées, en raison de la forte conductivité électrique de ce matériau. Aujourd'hui la quasi-totalité des pales d'éoliennes sont constituées de fibres de verre. Les dangers liés à la foudre sont :

- les effets thermiques pouvant être à l'origine :
 - o d'un incendie ou d'une explosion, soit au point d'impact, soit par l'énergie véhiculée par les courants de circulation conduits ou induits,
 - o de dommages aux structures et constructions,
- les perturbations électromagnétiques pouvant endommager les équipements électroniques, en particulier les équipements de contrôle commande et/ou de sécurité,
- les effets électriques pouvant induire des différences de potentiel.
- Les orages peuvent constituer des facteurs de risque pour le parc éolien.

On observe 8,4 jours d'orage en moyenne chaque année. Les communes de l'aire d'étude immédiate ont une densité de foudroiement faible infime selon le site Météorage.

Nombre moyen de jours avec	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Jun	Jul	Aou	Sep	Oct	Nov	Dec	Année
Orage	0,2	0,3	0,4	0,8	1,3	1,1	1,3	1,4	0,9	0,2	0,2	0,3	8,4
Grêle	0,5	0,5	0,6	1,3	0,3	0	0	0	0,1	0,2	0,6	0,6	4,7

Figure 6 du nombre de jours moyen de conditions climatiques orageuses et de grêles à Saint-Brieuc (Météo France)



Carte 7 de foudroiement par commune (extrait)

Bien que le risque soit faible, la foudre est retenue comme source potentielle de dangers pour les installations du renouvellement du parc éolien de Lanfains.

C.2 - 2g. Incendie de forêt

Un éventuel incendie de la végétation aux alentours serait susceptible de se propager aux installations.

Aucun grand massif forestier n'est présent à proximité de la zone d'étude. L'aire d'étude n'appelle pas d'observation particulière de la part du Service Départemental d'Incendie et de Secours.

Le risque feux de forêt n'est donc pas retenu comme source potentielle de dangers pour le renouvellement du parc éolien de Lanfains.

C.3. ENVIRONNEMENT MATERIEL

C.3 - 1. Risques technologiques

C.3 - 1a. Transport de matières dangereuses (TMD)

Un accident à proximité du parc éolien (incendie, explosion, projection) pourrait être à l'origine de dégradations des éoliennes et causer des détériorations majeures (chute du mât, incendie, rupture de pales ou de fragments de pales). Si l'expérience montre que les accidents de TMD peuvent se produire en tout point du département, il semble toutefois opportun de destiner l'information préventive en priorité aux communes supportant les plus grands flux de transport de matières dangereuses.

La commune de Lanfains est concernée par un risque majeur de transport de matières dangereuses. Il s'agit de la RD790.

Néanmoins, l'éloignement de cet axe au projet (> 2,3 km) est suffisant pour ne pas présenter de vulnérabilité particulière.

Aucune canalisation enterrée de transport de matières dangereuses n'est recensée dans l'aire d'étude.

Le risque de transport de marchandise dangereuse n'est donc pas retenu comme source potentielle de dangers pour le renouvellement du parc éolien de Lanfains.

C.3 - 1b. Rupture de barrage

Les communes de l'aire d'étude ne sont pas concernées par le risque de rupture de barrage, *ce risque n'est donc pas retenu comme source potentielle de dangers pour le renouvellement du parc éolien de Lanfains.*

C.3 - 1c. ICPE et SEVESO

Aucun bâtiment abritant une Installation Classée pour la Protection de l'Environnement (ICPE) autre que le projet, ni aucune installation SEVESO n'est recensée dans l'aire d'étude.

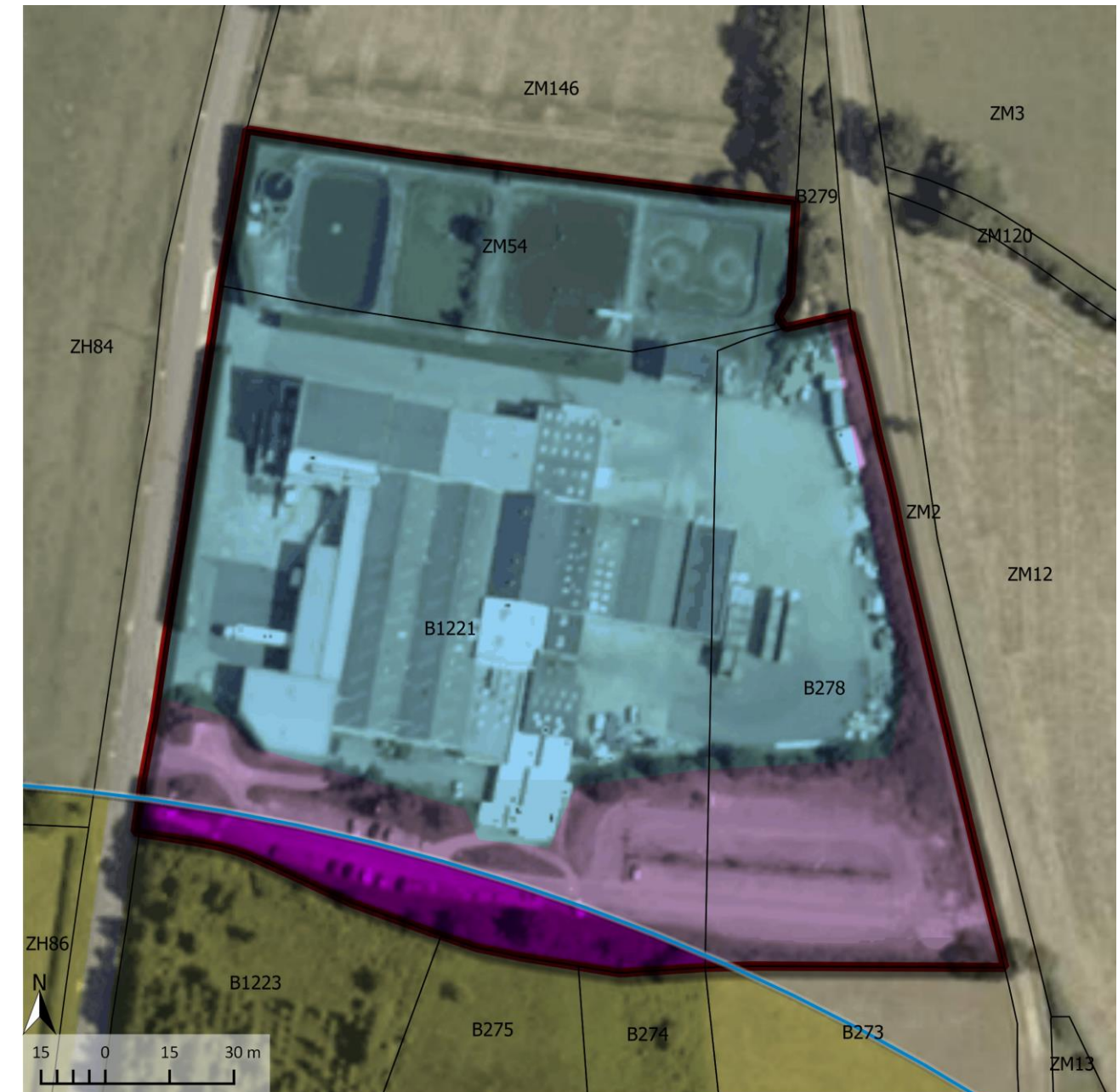
En effet, à 500 m environ au nord de l'éolienne E5, se situe le parking de l'abattoir LDC Bretagne, à la Landes des Forges de Lanfains. L'abattoir, soumis à Autorisation au titre des rubriques 2210 et 3641, se trouve en dehors de la zone d'étude.

Rubri. IC	Ali.	Date auto.	Etat d'activité	Rég.	Activité	Volume	Unité
2210	1	23/10/2000	En fonct.	A	ABATTAGE D'ANIMAUX	68	t/j
2221	B1	23/10/2000	En fonct.	E	Alimentaires (préparation ou conservation) produits d'origine animale	45	t/j
3641			En fonct.	A	Exploitation d'abattoirs	68	t/j
4735	2b		En fonct.	DC	Ammoniac	0,450	t
4802	2a		En fonct.	DC	Gaz à effet de serre fluorés ou substances qui appauvrissent la couche d'ozone	650	kg

Sources : Ministère de l'environnement – Base de données des installations classées, consultation 2018

Figure 7 des rubriques ICPE de l'établissement abattoir LDC Bretagne

L'abattoir est un établissement comptant entre 100 et 199 salariés. Considérant la superficie du site à 2,98 ha selon le cadastre, cela représente un ratio de 66,66 personnes/ha pour la fourchette haute de 199 personnes, dans le cadre d'une approche majorante. En effet, les salariés ne sont pas tous présents en même temps en permanence sur le site. Plus précisément, seule une frange de son parking (parking, voie d'accès privée et espaces verts) est incluse dans les 500 m, les installations (bâtiments, zone de transit, bassins d'assainissement) étant toutes au-delà et notamment celles liées aux rubriques soumises à autorisation. (voir carte suivante).



- Parcelle cadastrale
- Aire d'étude (500 m à l'éolienne la plus proche)
- Occupation des sols dans l'aire d'étude
 - Terrains non aménagés, très peu fréquentés
 - Parking, accès privés, espaces verts
- Enceinte du site
- Installations, bâtiments
- Parking, accès, espaces verts

Sources : cadastre PCI vecteur, photo aérienne, occupation des sols selon interprétation visuelle

Carte 8 du site LDC Bretagne en limite des 500m de l'éolienne E5

L'aire d'étude n'est pas concernée par un plan de prévention des risques technologiques. Dans les 2 km autour des éoliennes du projet, les seules éoliennes recensées sont celles du parc de Lanfains à renouveler. Le site SEVESO le plus proche est celui de FINAGAZ France à Saint Hervé, de niveau seuil haut, pour la distribution de gaz inflammables liquéfiés et de produits pétroliers spécifiques et carburants de substitution. Il est à environ 13 km au sud-est du projet.

En ce qui concerne les éoliennes du renouvellement du parc éolien de Lanfains, elles sont disposées en ligne, d'une longueur d'environ 1,4 km et sont séparées d'une distance comprise entre 260 m et 1370 m. Les plus proches sont E4 et E5 (260 m), E5 et E6 (280 m) ainsi que E2 et E3 (290 m).

Eolienne	E1	E2	E3	E4	E5	E6
E1		<u>0,40</u>	0,68	1,05	1,31	1,37
E2	<u>0,40</u>		<u>0,29</u>	0,67	0,93	1,02
E3	0,68	<u>0,29</u>		<u>0,39</u>	0,64	0,76
E4	1,05	0,67	<u>0,39</u>		<u>0,26</u>	<u>0,42</u>
E5	1,31	0,93	0,64	<u>0,26</u>		<u>0,28</u>
E6	1,37	1,02	0,76	<u>0,42</u>	<u>0,28</u>	

Tableau 2 de l'écart en kilomètre entre les éoliennes du parc

En l'absence d'ICPE et de SEVESO, seule la proximité des éoliennes du parc est donc retenue comme source potentielle de dangers pour le renouvellement du parc éolien de Lanfains.

C.3 - 2. Voies de communication

La zone d'étude est traversée par plusieurs routes bitumées : la RD 7b (826 véhicules/j) et plusieurs voies communales.

Le projet du renouvellement du parc éolien de Lanfains ne porte pas atteinte au maintien du chemin inscrit au PDIPR. Aucun n'est interrompu par son chantier ou son exploitation.

Aucune route bitumée n'est dans la zone de survol des pales des éoliennes. En outre, les éoliennes sont toutes éloignées de la voirie départementale, notamment RD7b, route non structurante à moins de 500 m. Les éoliennes les plus proches sont E4 à l'ouest et l'éolienne E5 à l'est, toutes deux à plus de 85 m du bord de la chaussée. Ces écarts sont supérieurs à la recommandation du gestionnaire de voirie.

Le chemin d'accès à E3 et en partie à E4 est contigu à la ligne électrique haute-tension enterrée. Une vigilance particulière sera apportée à son voisinage lors des travaux, conformément à la réglementation. Les recommandations de RTE formulées dans son courrier du 20/12/2016 sont prises en compte.

Aucune route n'est dans la zone de survol des pales des éoliennes.

Au regard de l'activité du site (installation fixe) et l'éloignement des voies structurantes (aucune dans l'aire d'étude), la circulation des véhicules sur une voie structurante n'est pas retenue comme source potentielle de dangers pour le renouvellement du parc éolien de Lanfains.

C.3 - 3. Transport d'électricité

Aucune ligne électrique aérienne de transport d'électricité (THT) n'est présente dans l'aire d'étude.

La ligne de transport électrique souterraine 225kV Mur-Plaine Haute passe entre E4 et E5. Cette ligne étant enterrée, elle ne constitue pas une source potentielle de dangers.

La présence de réseau de transport d'électricité n'est pas retenue comme source potentielle de dangers pour le renouvellement du parc éolien de Lanfains.

C.3 - 4. Autres contraintes privées et publiques

Dans les limites de la zone d'étude, il n'est recensé aucune installation publique ou privée non enterrée, liée aux :

- canalisations de transport (gaz combustibles, hydrocarbures liquides ou liquéfiés et produits chimiques) ;
- réseaux d'assainissement (station d'épuration publique) ;
- réseau ferroviaire ;
- réseau de transport fluvial ou maritime ;
- réseaux d'alimentation en eau potable (captages AEP, zones de protection des captages).

Les éoliennes sont situées à plus de 30 km d'un aérodrome. Le projet a fait l'objet d'un avis favorable des services de la DGAC.

Il existe une servitude *d'utilité publique radioélectriques* de type *PT2* (zone secondaire de dégagement de 400 m), en vigueur liée au centre de LANFAINS/LE MORBOUX BAS DE LA LANDE au nord-est de la zone d'étude. Toutes les éoliennes du projet sont situées en dehors de cette servitude.

Ces contraintes ne constituent pas des sources potentielles de danger pour le renouvellement du parc éolien de Lanfains.

C.3 - 5. Conclusion des potentiels de dangers dans l'environnement de l'installation

L'analyse des dangers liés à l'environnement du site éolien a permis de retenir les potentiels de dangers suivants :

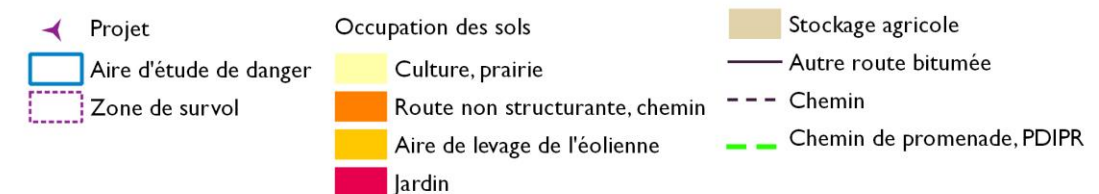
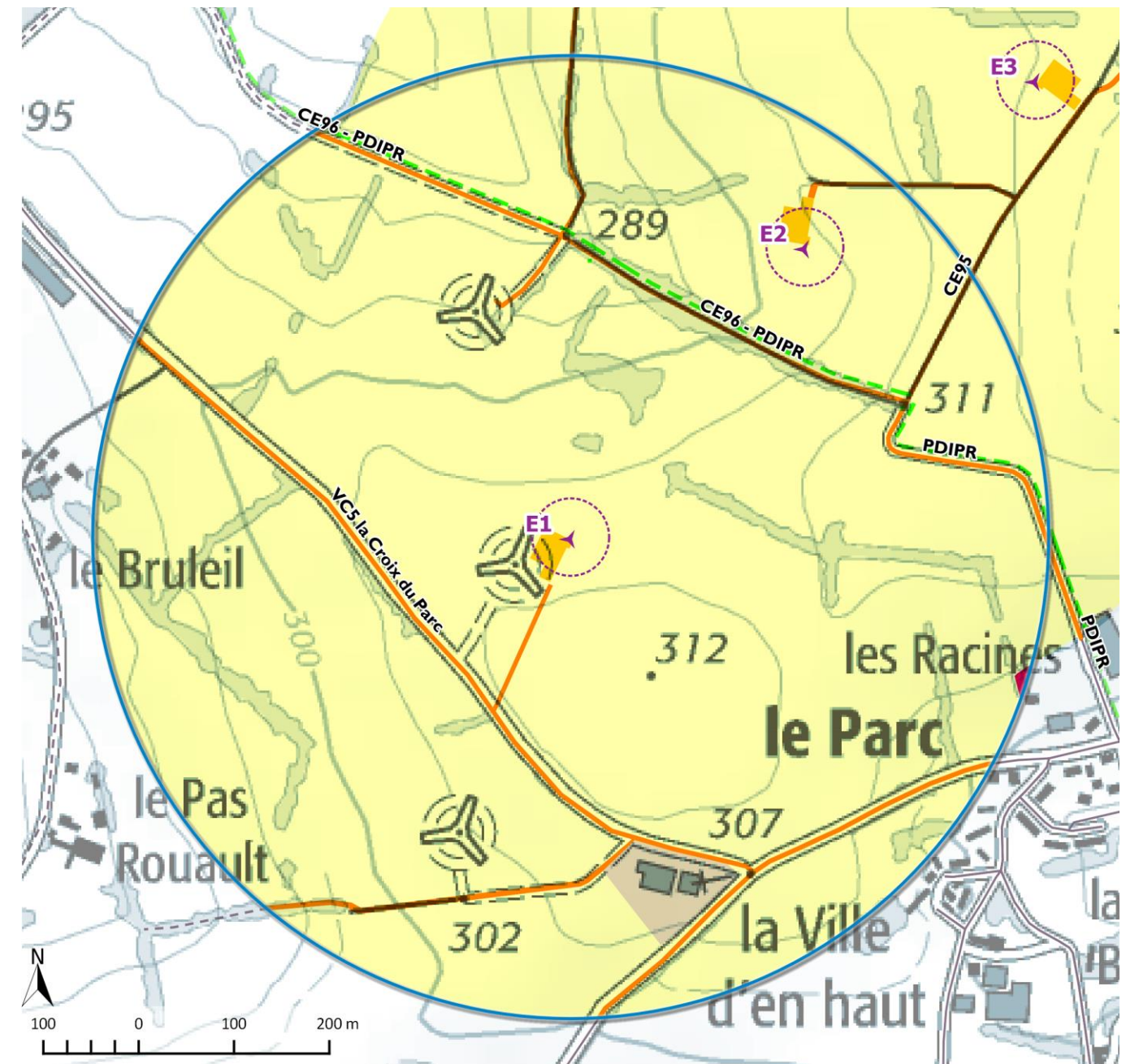
Potentiel de dangers	Phénomènes dangereux maximum associés	
Environnement naturel		
Périodes de gel et de neige	Projection de givre ou de glace	Retenu
Vents violents	Chute de l'éolienne	Retenu
Séisme	Chute de l'éolienne	Retenu
Inondation	Chute de l'éolienne	Non retenu
Remontée des nappes	Chute de l'éolienne	Non retenu
Mouvements de terrain par effondrement	Chute de l'éolienne	Non retenu
Retrait et gonflement d'argile	Chute de l'éolienne	Non retenu
Foudre	Incendie	Retenu
Feux de forêts	Incendie	Non retenu
Environnement technologique/ matériel		
Transport de marchandise dangereuse	Chute de l'éolienne	Non retenu
Rupture de barrage	Chute de l'éolienne	Non retenu
ICPE et SEVESO (uniquement éolienne du projet)	Chute de l'éolienne	Retenu
Voies de communication	Chute de l'éolienne	Non retenu
Transport d'électricité	Chute de l'éolienne	Non retenu
Réseau ferroviaire	Chute de l'éolienne	Non retenu
Circulation aérienne	Collision avec une éolienne	Non retenu
Réseau de gaz ou d'hydrocarbures	Chute de l'éolienne	Non retenu
Contraintes privées ou publiques	-	Non retenu

Tableau 3 des sources potentielles de danger retenues pour l'analyse préliminaire des risques pour le renouvellement du parc éolien de Lanfains

C.4. CARTOGRAPHIE DE SYNTHÈSE

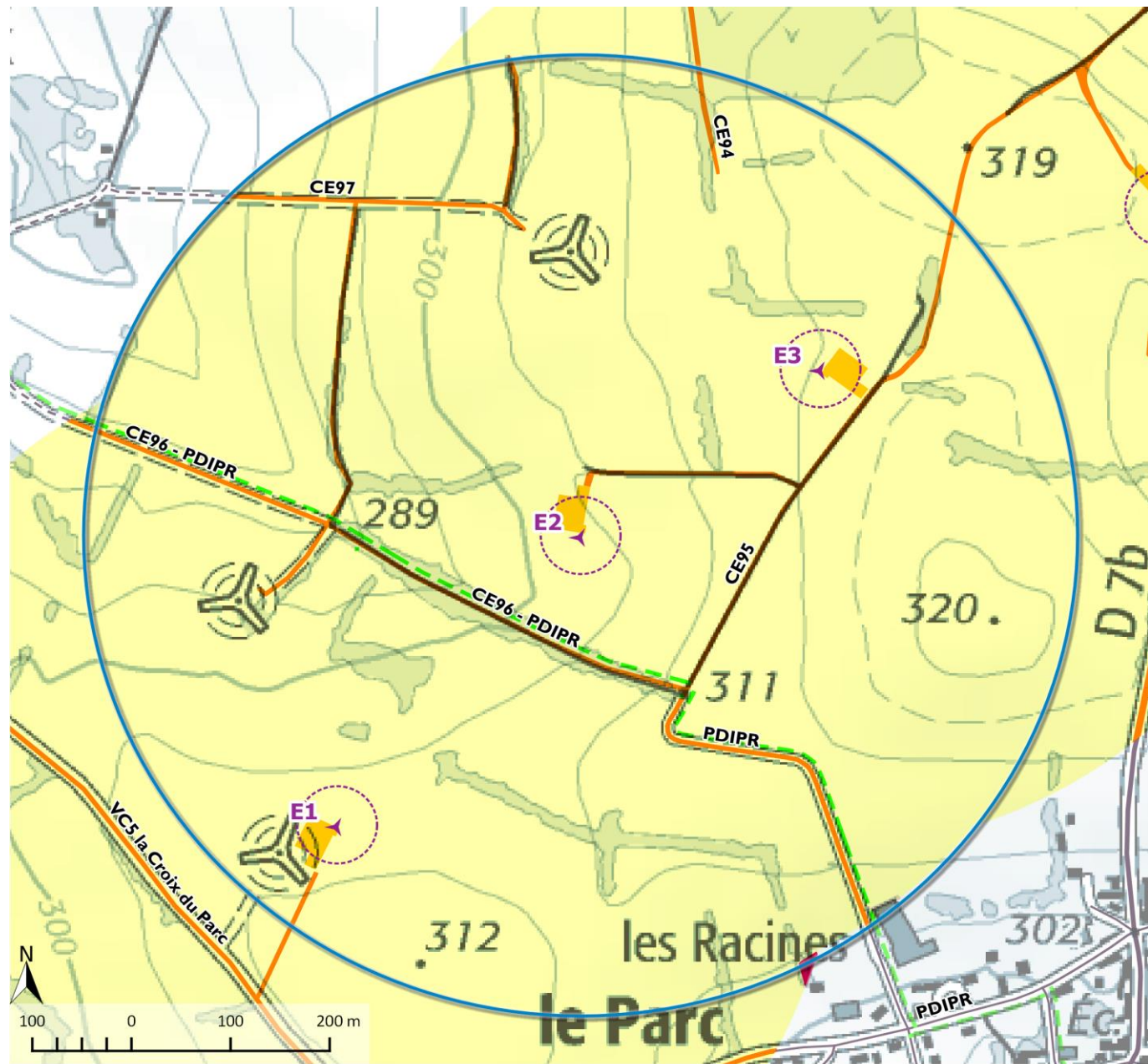
Ci-après les cartes des enjeux humains considérés dans l'aire d'étude de 500 m de chaque éolienne.

Les considérants des personnes exposées sont présentés au paragraphe C.1. Environnement humain en page 8 dont sa synthèse au C.1 - 5. ci-dessus.



Occupation du sol		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)			
Nature	Quantité	Catégorie	Calcul	Pers.	Total
Parcelles agricoles	75,67 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,7567	3,02 pers. exposées
Chemins vers E1, vers E2, CE96, CE95 et route VCS	1,74 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,174	
Aires éoliennes E1 et E2	0,25 ha			0,025	
Jardin	0,03 ha			0,003	
Stockage agricole	0,83 ha			0,083	
Chemin inscrit au PDIPR (CE96)	0,99 km	Randonnée	2 pers / 1 km	1,98	

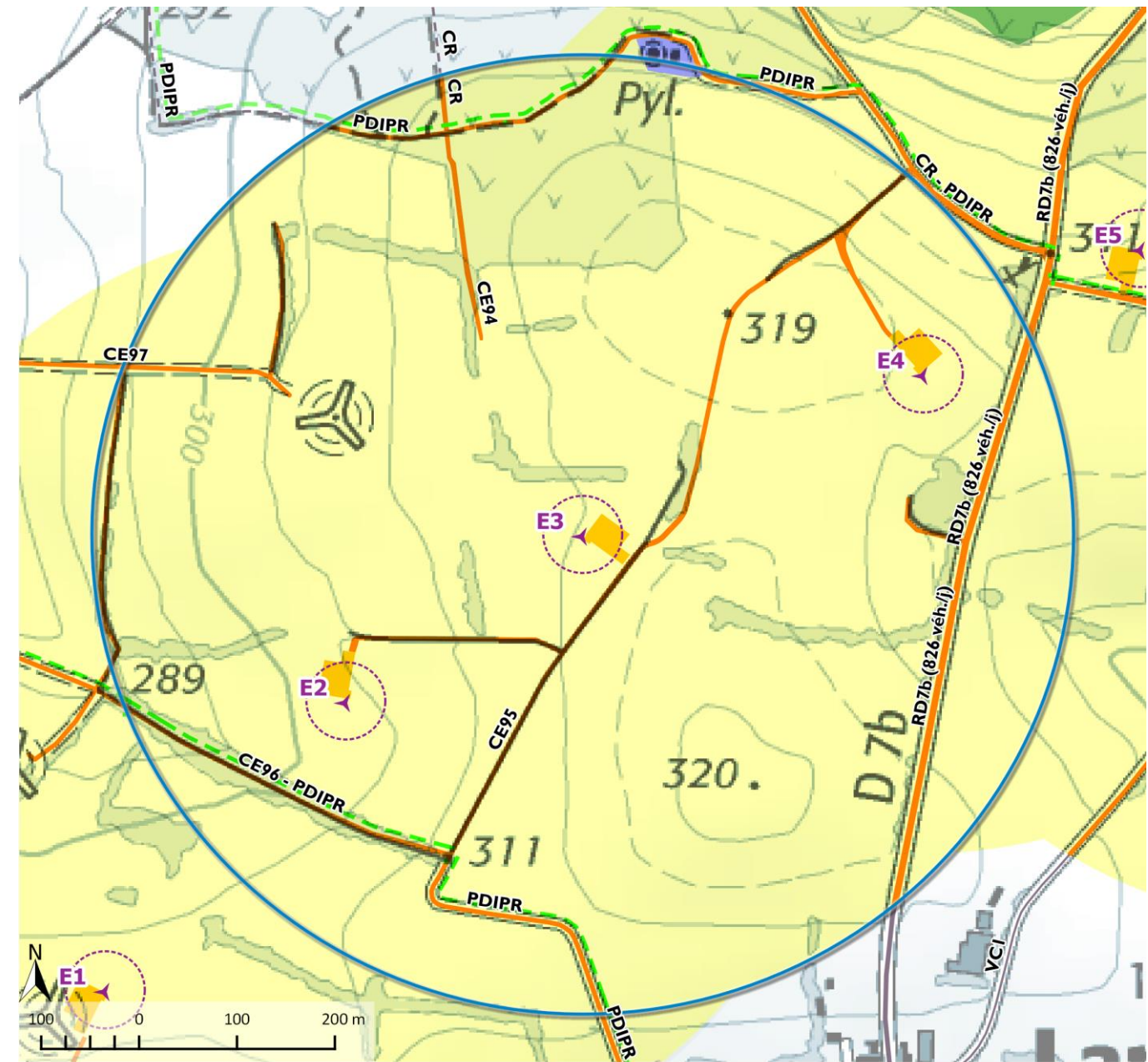
Carte 9 de synthèse de l'environnement pour E1



- Projet
- Aire d'étude de danger
- Zone de survol
- Occupation des sols: Culture, prairie
- Occupation des sols: Route non structurante, chemin
- Occupation des sols: Aire de levage de l'éolienne
- Occupation des sols: Jardin
- Occupation des sols: Stockage agricole
- Occupation des sols: Autre route bitumée
- Occupation des sols: Chemin
- Occupation des sols: Chemin de promenade, PDIPR

Occupation du sol		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)			
Nature	Quantité	Catégorie	Calcul	Pers.	Total
Parcelles agricoles	76,52 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,7652	3,04pers. exposées
Chemin vers E1, vers E2, CE95, CE96, CE97, CE94)	1,48 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,148	
Aires éolienne E1, E2 et E3	0,38 ha			0,038	
Jardin	0,01 ha			0,001	
Stockage agricole	0,03 ha			0,003	
Chemin inscrit au PDIPR (CE96)	1,04 km	Randonnée	2 pers / 1 km	2,08	

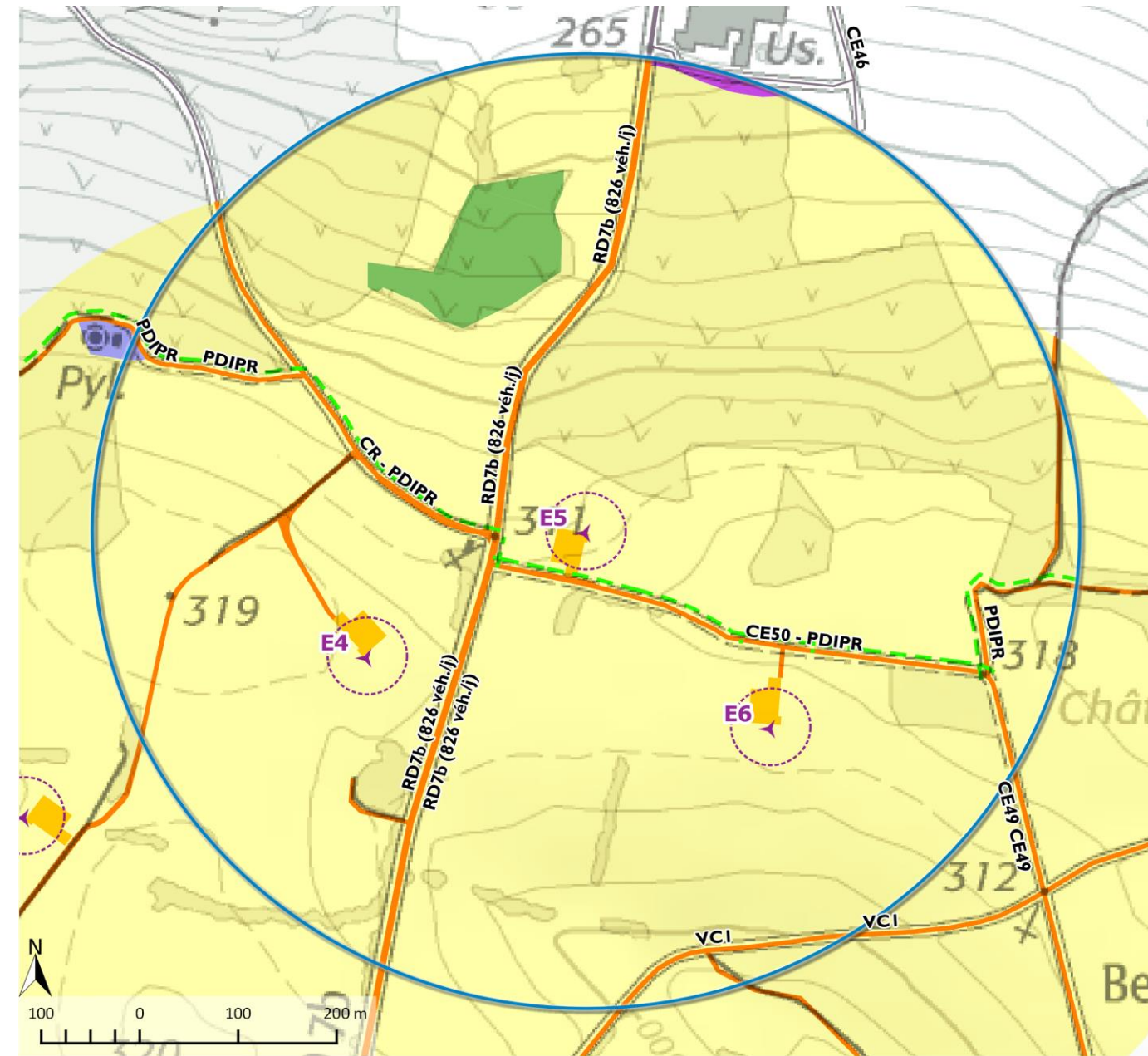
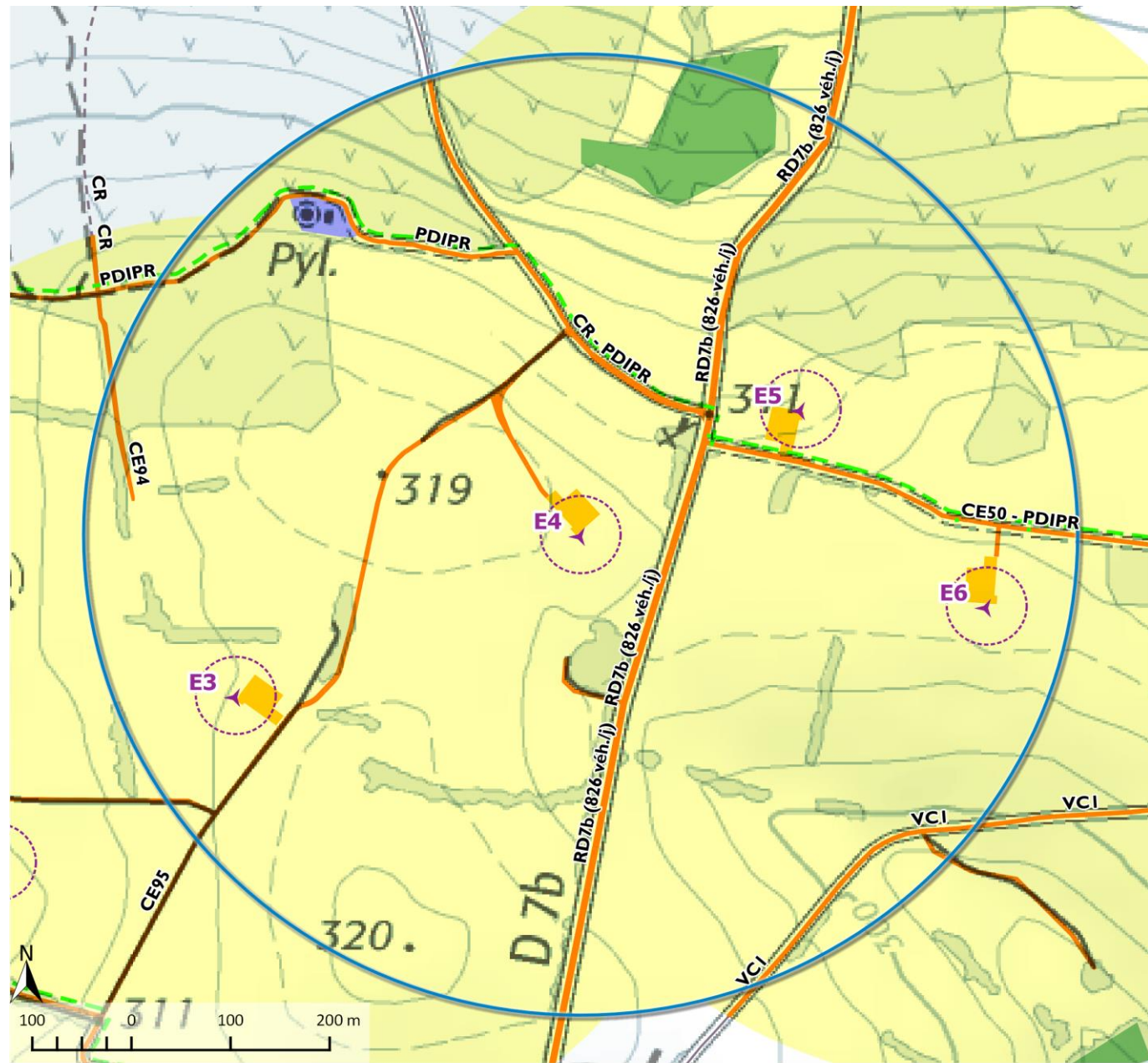
Carte 10 de synthèse de l'environnement pour E2



- Projet
- Aire d'étude de danger
- Zone de survol
- Occupation des sols: Culture, prairie
- Occupation des sols: Route non structurante, chemin
- Occupation des sols: Aire de levage de l'éolienne
- Occupation des sols: Pylône, antenne
- Occupation des sols: Stockage agricole
- Occupation des sols: Autre route bitumée
- Occupation des sols: Chemin
- Occupation des sols: Chemin de promenade, PDIPR

Occupation du sol		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)			
Nature	Quantité	Catégorie	Calcul	Pers.	Total
Parcelles agricoles	75,97 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,7597	4,67 pers. exposées
Chemins vers E2, E4, CE94, CE95, CE96, CE97, CR) et RD7b,	2,15 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,215	
Aires éolienne E2, E3 et E4	0,38 ha			0,038	
Pylône	0,06 ha			0,006	
RD7b	0,79 km	Route non structurante	1,68 pers./km	1,33	
Chemin inscrit au PDIPR (CE96 et CR)	1,16 km	Randonnée	2 pers / 1 km	2,32	

Carte 11 de synthèse de l'environnement pour E3



- Projet
- Aire d'étude de danger
- Zone de survol
- Occupation des sols
- Culture, prairie
- Bois, bosquet
- Route non structurante, chemin
- Aire de levage de l'éolienne
- Pylone, antenne
- Route départementale
- Autre route bitumée
- Chemin
- Chemin de promenade, PDIPR

- Projet
- Aire d'étude de danger
- Zone de survol
- Occupation des sols
- Culture, prairie
- Bois, bosquet
- Route non structurante, chemin
- Aire de levage de l'éolienne
- Pylone, antenne
- Parking
- Route départementale
- Autre route bitumée
- Chemin
- Chemin de promenade, PDIPR

Occupation du sol		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)			
Nature	Quantité	Catégorie	Calcul	Pers.	Total
Parcelles agricoles	74,19 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,7419	5,18 pers. exposées
Bois	1,52 ha			0,0152	
Chemins (CE95, vers E2, vers E4, vers E6, CE94, CR, CE50) et routes (RD7b et VCI)	2,13 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,213	
Aires éolienne E3, E4, E5 et E6	0,51 ha			0,051	
Pylône	0,19 ha			0,019	
RD7b	1,14 km	Route non structurante	1,68 pers./km	1,9152	
Chemin inscrit au PDIPR (CR)	1,11 km	Randonnée	2 pers / 1 km	2,22	

Carte 12 de synthèse de l'environnement pour E4

Occupation du sol		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)			
Nature	Quantité	Catégorie	Calcul	Pers.	Total
Parcelles agricoles	74,15 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,7415	16,97 pers. exposées
Bois	1,74 ha			0,0174	
Chemins vers E4 et E6, CR, CE50) et RD7b	2,08 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,208	
Aires éolienne E3, E4, E5 et E6	0,38 ha			0,038	
Pylône	0,02 ha			0,002	
Parking	0,167 ha	Terrains aménagés et potentiellement fréquentés	66,66 pers / 1 ha	11,152	
RD7b	1,16 km	Route non structurante	1,68 pers./km	1,95	
Chemin inscrit au PDIPR (CR et CE50)	1,43 km	Randonnée	2 pers / 1 km	2,86	

Carte 13 de synthèse de l'environnement pour E5

D. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

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

D.1. CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION

D.1 - 1. Caractéristiques générales d'un parc éolien

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

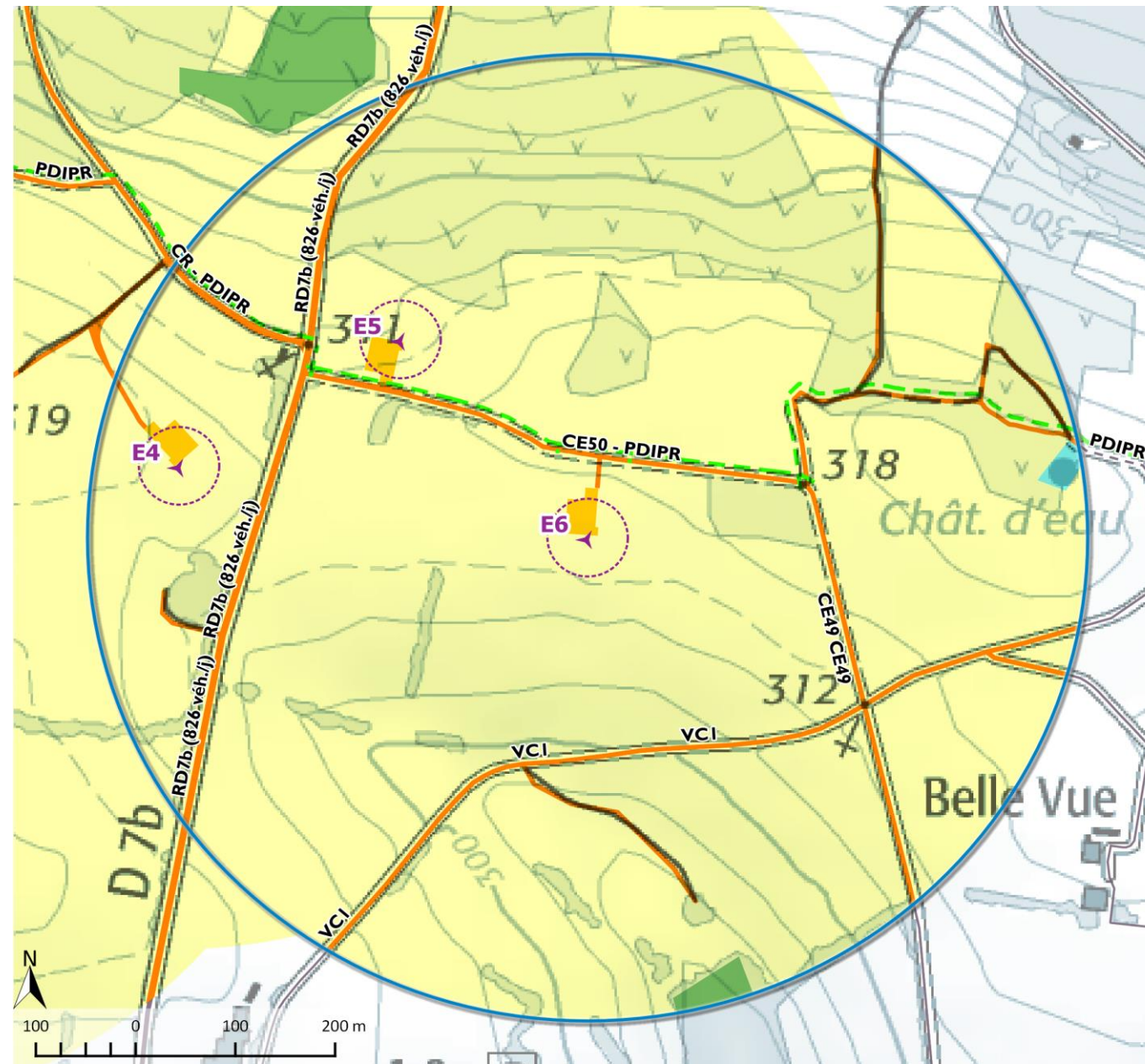
- Plusieurs éoliennes fixées sur une fondation adaptée, accompagnée d'une aire stabilisée appelée « plateforme » ou « aire de grutage »
- Un réseau de câbles électriques enterrés permettant d'évacuer l'électricité produite par chaque éolienne vers le ou les poste(s) de livraison électrique (appelé «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

D.1 - 1a. Éléments constitutifs d'un aérogénérateur

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

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

- **Le rotor** sur lequel se montent les 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.
- **Le mât** est généralement composé de 3 à 5 tronçons en acier ou 15 à 20 anneaux de béton surmontés d'un ou plusieurs tronçons en acier. Les éoliennes retenues pour le projet n'auront que deux sections. Dans la plupart des éoliennes, il abrite le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique.
- **La nacelle** abrite plusieurs éléments fonctionnels :
 - o le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique ;
 - o le multiplicateur (certaines technologies n'en utilisent pas, c'est le cas des éoliennes retenues pour le projet) ;
 - o le système de freinage mécanique ;
 - o le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent pour une production optimale d'énergie ;
 - o les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette),
 - o le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique.



Projet	Bois, bosquet	Autre route bitumée
Aire d'étude de danger	Route non structurante, chemin	Chemin
Zone de survol	Aire de levage de l'éolienne	Chemin de promenade, PDIPR
Occupation des sols		
Culture, prairie	Château d'eau	Route départementale

Occupation du sol		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)			
Nature	Quantité	Catégorie	Calcul	Pers.	Total
Parcelles agricoles	75,52 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,7552	4,95 pers. exposées
Bois	0,23 ha			0,0023	
Chemins vers E4 et E6, et route RD7b, VC1	2,27 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,227	
Aires éoliennes E4, E5 et E6	0,38 ha			0,038	
Château d'eau	0,12 ha			0,012	
RD7b	0,97 km	Route non structurante	1,68 pers./km	1,62	
Chemin inscrit au PDIPR (CR et CE50)	1,15 km	Randonnée	2 pers / 1 km	2,30	

Carte 14 de synthèse de l'environnement pour E6

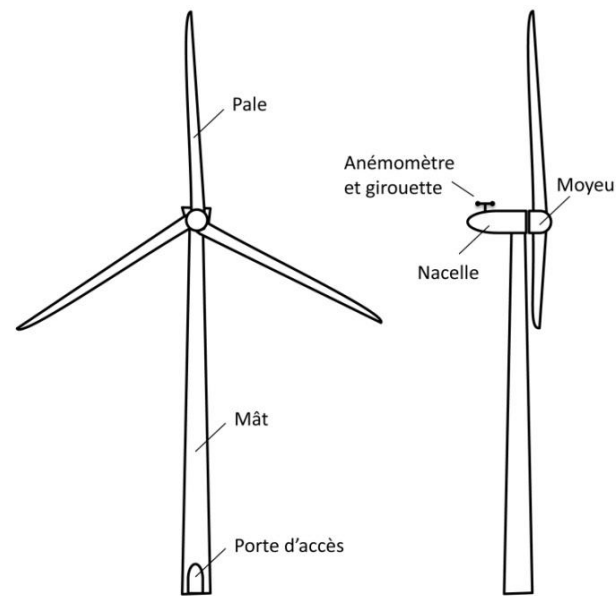


Figure 8 du schéma simplifié d'un aérogénérateur

D.1 - 1b. Emprise au sol

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

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

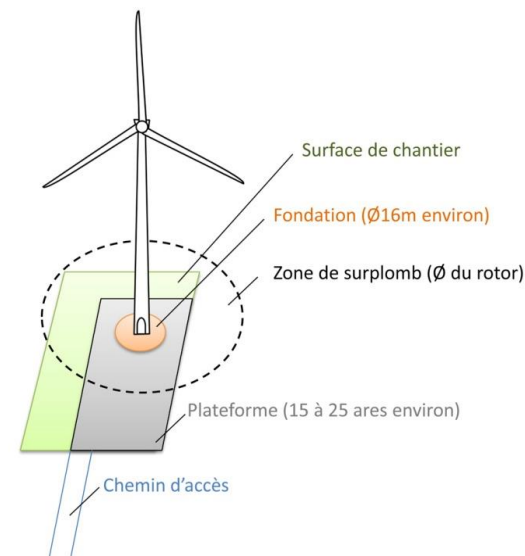


Figure 9 du schéma de principe des emprises au sol d'une éolienne

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

D.1 - 1c. Chemins d'accès

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

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

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

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

D.1 - 2. Caractéristiques du renouvellement du parc éolien de Lanfains

D.1 - 2a. Activité de l'installation

L'activité principale du renouvellement du parc éolien de Lanfains est la **production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent** avec des éoliennes d'une hauteur (mât + nacelle) supérieure à 50 m. Cette installation est donc soumise à la **rubrique 2980** des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement.

D.1 - 2b. Composition de l'installation

Le renouvellement du parc éolien de Lanfains est composé de **6 éoliennes** LEITWIND LTW80 1.65 IECIIA et d'un poste de livraison. Chaque aérogénérateur a une hauteur de mât au sens ICP (mât et nacelle comprise) de 50 mètres et un diamètre de rotor de 80,3 mètres, soit une hauteur totale en bout de pale maximale de 90 mètres.

	Abb.	LTW80 1.65 IECIIA	
Type		LTW80 1,65	
Classe de vent		IIa	
Puissance nominale		1650	kW
Hauteur Mât au moyeu (centre du rotor)	H	50	m
Diamètre de rotor	Drotor	80,3	m
Hauteur Totale	Htot	90	m
Longueur Pale	Rp	40,15	m
Largeur Base Mât	L	3	m
Largeur Base Pale	LB	2,9	m

Source : LEITWIND

Figure 10 des dimensions et spécificités de l'éolienne du projet

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs :

Eolienne	Coordonnées RGF93 Lambert 93		Coordonnées WGS 84 - DMS		Altitude au sol (m NGF)
	X	Y	E	N	
E1	261 514	6 822 462	2°55'28" O	48°21'16" N	307
E2	261 762	6 822 758	2°55'17,5" O	48°21'26" N	303
E3	262 003	6 822 931	2°55'06" O	48°21'32" N	315
E4	262 351	6 823 098	2°54'50" O	48°21'38" N	317
E5	262 573	6 823 229	2°54'40" O	48°21'43" N	312
E6	262 761	6 823 024	2°54'30" O	48°21'37" N	314
PdL	262 598	6 823 178	2°54'38" O	48°21'41" N	315

Légende. Ex. numéro de l'éolienne du projet. PdL : poste de livraison

Rappel. Les coordonnées sont ici données à titre indicatif pour le confort des services instructeurs.

Seules les dimensions reportées sur les plans réglementaires font foi.

Tableau 4 des coordonnées des éoliennes

D.2. FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

D.2 - 1. Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur

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

Les pales se mettent en mouvement lorsque l'anémomètre (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 10 km/h et c'est seulement à partir de 12 km/h que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Le rotor transmet alors directement l'énergie mécanique à basse vitesse (entre 5 et 20 tr/min) à la génératrice, qui 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 38 km/h à hauteur de nacelle, l'éolienne fournit sa puissance maximale. Cette puissance est dite « nominale ».

Pour un aérogénérateur de 1,5 MW par exemple, la production électrique atteint 1 500 kWh dès que le vent atteint environ 38 km/h. L'électricité produite par la génératrice correspond à un courant alternatif de fréquence 50 Hz avec une tension de 690 V. La tension est ensuite élevée jusqu'à 20 000 V par un transformateur placé dans chaque éolienne pour être ensuite injectée dans le réseau électrique public.

Lorsque la mesure de vent, indiquée par l'anémomètre, atteint des vitesses de plus de 90 km/h, 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.

D.2 - 1a. Description de l'éolienne

■ CONCEPT

La LTW80 1.65 IEICIA est une turbine à trois pales amont à axe horizontal, vitesse variable et ajustement de Pitch. Le générateur est directement raccordé au rotor (sans engrenage). La nacelle dispose d'une structure modulaire, basée sur les trois principaux groupes mécaniques : rotor, générateur et support de machine. Ce concept permet, outre une simplicité de transport, un assemblage séparé relativement facile des principaux composants.

Cette LTW80 de 1,65 MW a la possibilité de fonctionner en modes silencieux, assurant une faible émission de bruit et maintenant une puissance de sortie de 1650 kW.

■ ROTOR

Le groupe rotor est constitué de trois pales renforcées en fibre de verre, raccordées à un moyeu moulé par l'intermédiaire de paliers à roulements d'orientation permettant le Pitching des pales sur la longueur totale au moyen de trois moteurs électriques indépendants. Ce système de Pitch régule la vitesse du rotor et maintient une puissance constante supérieure à la vitesse de vent nominale.

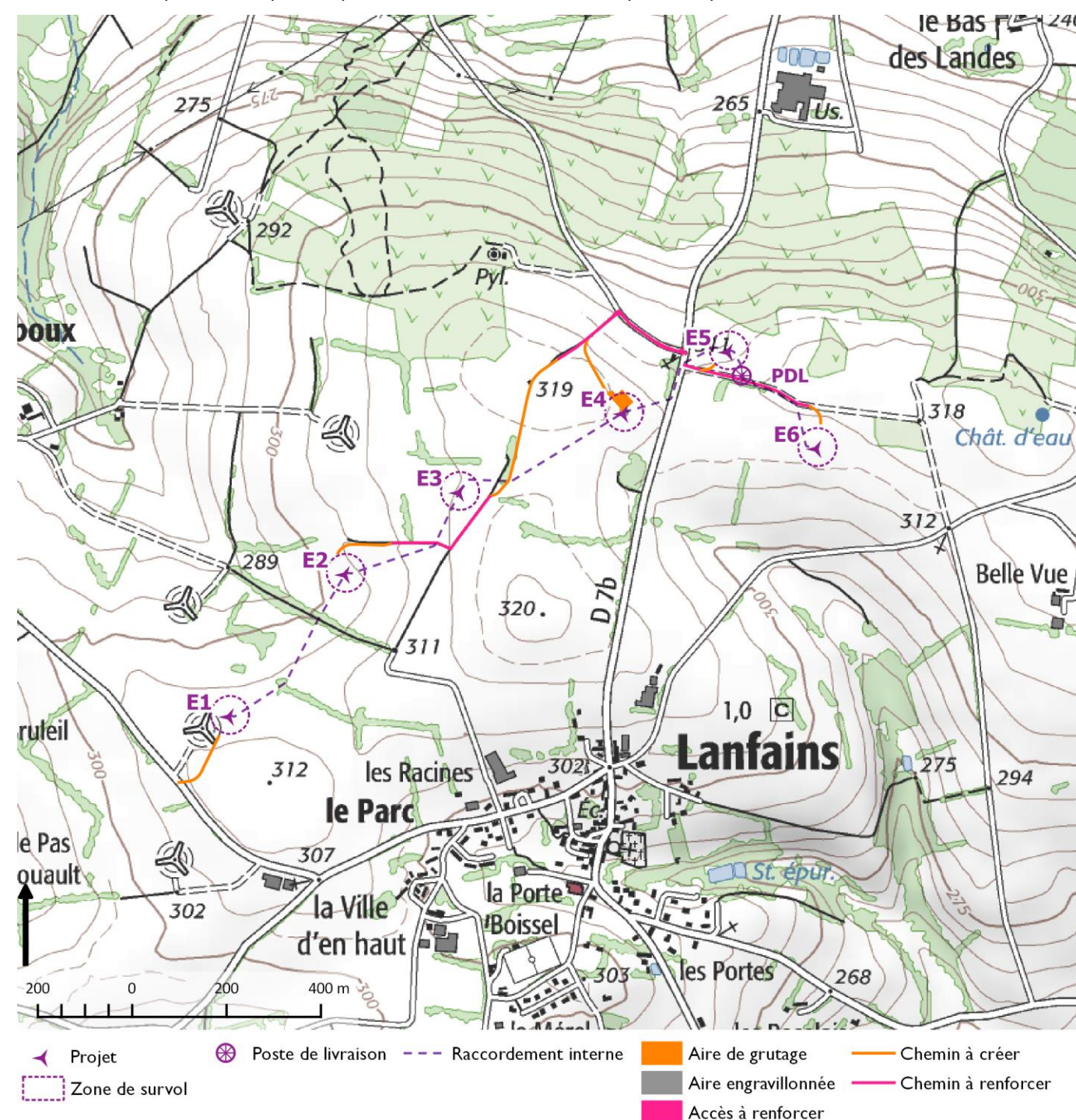
■ GENERATEUR A ENTRAINEMENT DIRECT A AIMANTS PERMANENTS

Le stator du générateur est relié directement au moyeu et au support de machine. Il fait partie de la structure de support et son palier unique soutient le groupe rotor. Le générateur est une machine synchrone multipolaire à aimants permanents. Il fonctionne de 6 à 21,4 tr/min. avec le rotor, produisant un signal électrique triphasé variable en tension, en courant et en fréquence. L'indice de protection du générateur est IP55. Le système de refroidissement passif est réalisé à l'aide d'ailettes de refroidissement sur la surface externe du générateur.

■ SYSTEMES ELECTRIQUES

La génération d'énergie est essentiellement basée sur le générateur à entraînement direct et sur des convertisseurs IGBT de fréquence quatre quadrants situés dans la base de la tour, ce qui permet d'extraire systématiquement l'énergie électrique optimale du générateur et de la convertir en une sortie compatible avec le réseau. L'utilisation d'un convertisseur IGBT de fréquence quatre quadrants permet d'obtenir une intégration optimale au réseau ainsi qu'une qualité d'énergie électrique élevée.

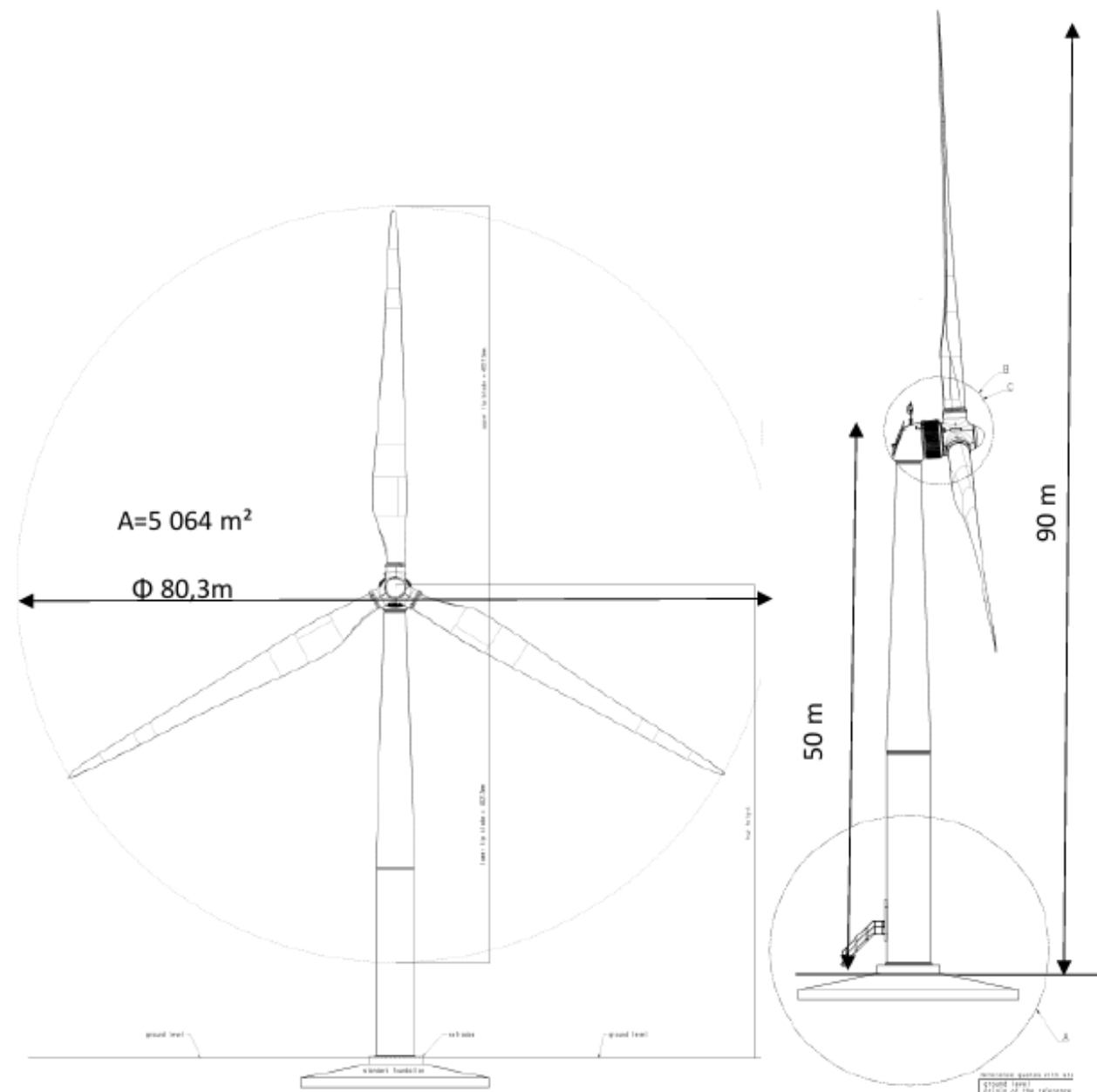
La carte suivante présente un plan simplifié des différents éléments composant le parc éolien.



Carte 15 du plan simplifié du parc éolien

Un transformateur moyenne tension est installé au-dessous de la plate-forme inférieure de la tour afin d'éviter un bâtiment externe supplémentaire.

En option, la LTW80 peut être équipée d'une commande de la puissance active et réactive ainsi que d'une commande de maintien d'alimentation en creux de tension, afin de satisfaire les différentes exigences de raccordement au réseau.



Source. LEITWIND 2015 LTW80 (extrait)
Figure 11 de la vue d'ensemble de l'éolienne LEITWIND LTW80 1650

▪ SUPPORT DE MACHINE ET SYSTEME DE YAW

Le support de machine est une construction en coque d'acier qui permet d'accéder à la nacelle par l'intérieur, au niveau du sommet de la tour. Les autres composants principaux, tels que le système de Pitch, les paliers à roulement de Pitch, les assemblages boulonnés, le palier principal et le générateur, sont accessibles de l'intérieur en raison de la conception unique de transmission creuse.

La nacelle est reliée à la tour par un double palier à roulements d'orientation à quatre points. Le mouvement de Yaw de la nacelle est obtenu au moyen de quatre actionneurs électriques avec freins intégrés.

▪ TOUR

La tour standard est conçue pour une hauteur de moyeu de 50 m et est composée de sections de tubes coniques. La porte d'accès ainsi que la salle de contrôle-commande et du convertisseur sont situées dans la section inférieure de la tour. La porte d'accès est conçue pour permettre l'installation ou la dépose du convertisseur sans devoir démonter la turbine. Une hauteur maximale de 90 m est assurée en extrémité de pale.

▪ FIABILITE

Les éléments suivants assurent un niveau de fiabilité optimal : un entraînement direct et le nombre réduit de pièces tournant à faible vitesse qui en résulte, l'utilisation d'aimants permanents, un puissant système de refroidissement, l'emplacement des équipements électriques à l'intérieur et la bonne accessibilité globale.

Le tableau suivant décrit les principales caractéristiques techniques et dimensionnelles des différents éléments des éoliennes.

Elément	Caractéristiques LTW80	
Données de conception	Classe de vent	IIA
	Vitesse du vent de démarrage	3 m/s
	Vitesse de coupure	25 m/s
	Durée de vie	20 ans
	Puissance nominale	1 650 kW
Rotor	Diamètre	80,30 m
	Surface balayée	5 064 m ²
	Nombre de pales	3
	Désignation des pales	LS39
	Matériau des pales	renforcées en fibre de verre
	Plage de vitesse du rotor	6 – 21,4 tr/min.
	Vitesse nominale du rotor	17,8 tr/min.
	Angle d'inclinaison	5 degrés
	Angle de cône	2,8 degrés
	Sens de rotation	dans le sens des aiguilles d'une montre de pale
	Hauteur max. en extrémité	90 m
Système de Pitch	Concept	trois entraînements autonomes
	Régulation de la puissance	vitesse variable et contrôle de Pitch
	Commandes de Pitch	3 moteurs à courant continu
	Secours	3 bancs de batteries indépendants
Dispositifs de freinage	Frein principal	aérodynamique, Pitch
	Frein de service	EM, directement sur le rotor du générateur
	Verrouillage	hydraulique, directement sur le rotor du générateur
Générateur	Construction mécanique	entraînement direct. aimants permanents synchrones intégrée à la structure de support simple palier
	Refroidissement	liquide de refroidissement sur la partie active du stator. boucle ouverte à convection forcée sur la partie rotor
	Indice de protection	IP55
Système de Yaw	Concept	4 actionneurs électriques CA à engrenages et 7 étriers de frein
	Palier	palier à roulements d'orientation à quatre points
	Vitesse de Yaw	24 min. pour 360°
Tour	Concept	tube d'acier
	Hauteur de moyeu	50 m
Convertisseur	Technologie	4Q-IGBT
	Puissance de sortie côté réseau	1 650 kW
	Tension et plage de sortie	690 V triphasé +/- 10 %
	Cos φ	0,95 ind - 1 - 0,95 cap, réglable
Système de commande	Concept	API, temps réel
	Emplacement	base de la tour (maître) et nacelle (esclave)
	Commande à distance	SCADA intégré
	Surveillance d'état	en option

Élément	Caractéristiques LTW80	
Système de sécurité	Concept	boucle de sécurité câblée
Limites de conditions ambiantes	Température de survie	min. - 20 °C / max. + 50 °C
	Température de fonctionnement	min. - 10° C / max. + 40 °C

Tableau 5 des caractéristiques techniques de l'installation

D.2 - 2. Sécurité de l'installation

D.2 - 2a. Protection contre la foudre

La protection contre la foudre est réalisée conformément à la norme IEC 61400-24. Tous les autres sous-systèmes électriques, tels que le système de commande et le système de Pitch, sont situés à l'intérieur de la structure principale de support en acier, ce qui assure une protection optimale contre la foudre.

D.2 - 2b. Systèmes de freins

▪ FREIN AERODYNAMIQUE DU ROTOR

Le ralentissement du rotor est obtenu de manière aérodynamique en plaçant les pales en drapeau. Chacun des trois moteurs de Pitch est secouru par des batteries pour assurer une manœuvre de freinage en toute sécurité, même en cas de perte de tension secteur.

▪ FREIN MECANIQUE DU ROTOR

Le frein mécanique du rotor est constitué de deux freins à entraînement électromécanique, servant de freins d'immobilisation pendant la maintenance. Les freins peuvent être activés pendant un arrêt d'urgence spécifique, si la vitesse du rotor est réduite au-dessous d'une certaine valeur. Ces arrêts d'urgence spécifiques sont déclenchés par le système de commande ou de protection.

▪ FREIN MECANIQUE POUR MOTEURS DE PITCH

Le frein mécanique pour chacune des pales consiste en un frein à commande électrique, placé dans chacun des moteurs de Pitch. En fonctionnement normal, les freins sont ouverts et ne sont activés que lorsque les pales sont en drapeau. En cas de perte de tension secteur, les freins sont secourus par des batteries.

▪ FREIN MECANIQUE POUR MOTEURS DE YAW

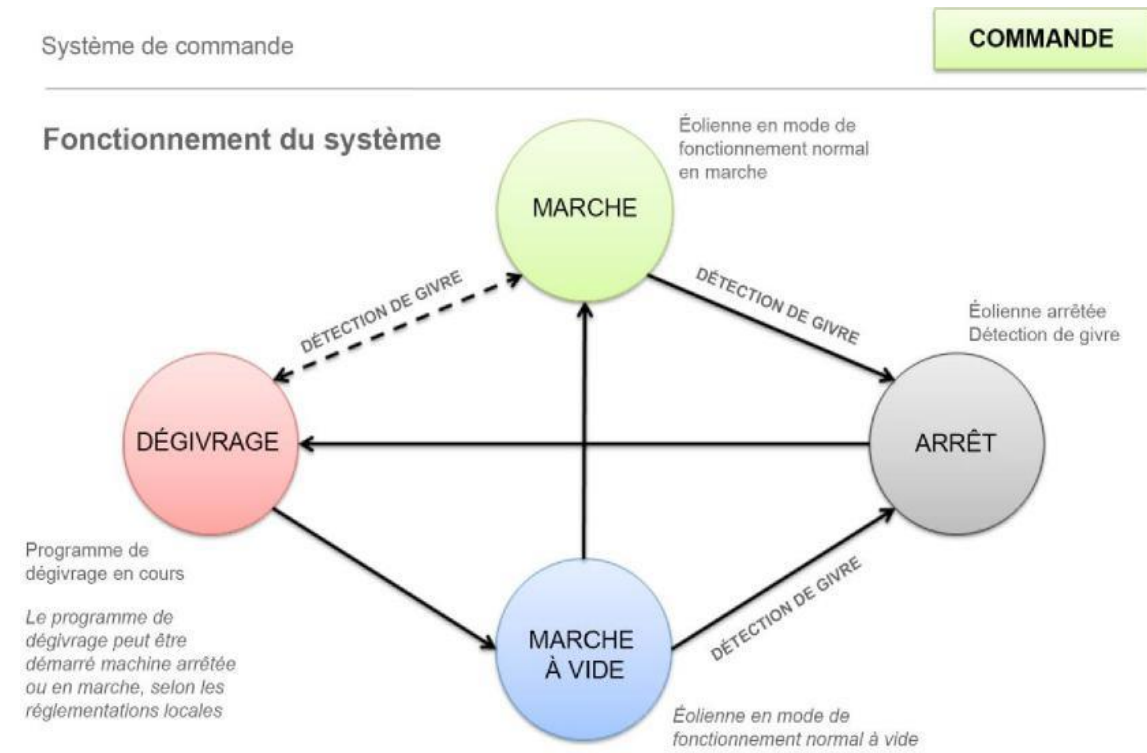
Le frein mécanique pour le système de Yaw est constitué d'une partie à commande hydraulique et d'une partie à commande électrique dans chacun des moteurs de Yaw. Les freins à commande électrique sont toujours serrés, excepté pendant une manœuvre de Yaw. La partie à commande hydraulique est constituée du composant principal de commande et de sept freins. Pendant la manœuvre de Yaw, le couple de freinage est réduit à 25 % de la valeur nominale du couple. En dehors de cette manœuvre, 100 % de la valeur est appliquée.

D.2 - 2c. Système de commande et de protection

Le système de commande est basé sur un système multiprocesseur, qui gère automatiquement toutes les fonctions de l'éolienne, telles que le démarrage, l'arrêt, la production électrique ou la disponibilité des sous-systèmes. Ce système permet également de contrôler l'éolienne à distance. Les composants matériels du système de commande sont situés dans la base de la tour. Un sous-système (esclave) du système de commande est situé dans la nacelle. Tandis que la communication avec le système de Pitch est assurée par des collecteurs tournants, la communication avec la base de la tour (maître) est réalisée au moyen de câbles optiques. La transmission électrique à travers l'articulation de Yaw est effectuée au moyen d'une liaison câblée directe anti-torsion.

Le système de protection est constitué d'une solution câblée entièrement autonome, permettant de placer l'éolienne en position immobile en cas de panne, en court-circuitant le système de commande.

D.2 - 2d. Option (système de détection de givre)



Source. LEITWIND

Figure 12 du système de détection de givre

D.2 - 2e. Protection contre les risques d'incendie

Dans le cadre des exigences de protection incendie sur les éoliennes LEITWIND, plusieurs mesures ont été prises pour une sécurité incendie optimale.

Afin de réduire les risques d'incendie, des matériaux pour la plupart incombustibles ont été utilisés sur l'ensemble de l'éolienne. Les activités de maintenance effectuées deux fois par an participent à la protection incendie recherchée (protection contre les risques d'incendie). En outre, le personnel n'est pas autorisé à séjourner dans les éoliennes LEITWIND en permanence ou pour une durée prolongée, et il est interdit de fumer dans les zones couvertes par les éoliennes LEITWIND.

Tel que déjà mentionné, la maintenance semestrielle participe à une protection incendie efficace. Seul le personnel ayant reçu une formation spécialisée et connaissant particulièrement les manuels des éoliennes LEITWIND est habilité à effectuer ce travail de maintenance. Toutes les informations importantes concernant la sécurité lors d'interventions sur des éoliennes LEITWIND sont indiquées dans les consignes de sécurité. Une copie des consignes de sécurité est disponible sur chaque éolienne.

Afin d'assurer une protection incendie optimale, les activités de maintenance mentionnées ci-dessus sont réparties sur des bases semestrielle et annuelle. Un formulaire détaillé est disponible pour chaque zone d'éolienne. Une fois l'opération de maintenance terminée, un rapport rassemblant les informations sur l'état exact de l'éolienne est établi, et les travaux de maintenance nécessaires sont effectués immédiatement, le cas échéant. Outre la maintenance électrique, une maintenance mécanique est réalisée conformément à un formulaire.

Cette section n'illustre qu'un bref aperçu des activités de maintenance :

- Contrôler les connecteurs électriques aux endroits suivants : armoires de contrôle, convertisseurs, transformateur, générateur, etc. (contrôler le couple requis pour les connecteurs).
- Utiliser une caméra thermique pour effectuer un contrôle supplémentaire sur les connecteurs électriques. Ces contrôles spéciaux doivent être effectués par du personnel formé.
- Déclencher les équipements de protection afin de contrôler leur fonctionnement.
- Contrôler les caractéristiques électriques requises du générateur (isolement, résistance des bobines, etc.).
- Contrôler la protection contre la foudre et toutes les liaisons de mise à la terre.

Afin d'assurer une protection optimale contre les risques d'incendie, toutes les activités de maintenance doivent être effectuées avec le plus grand soin, tout en maintenant un niveau de propreté élevé. N'abandonner aucun objet (appareils, chiffons de nettoyage, etc.) dans l'éolienne. Ces mesures ont pour objectif de réduire les risques d'incendie.

D.2 - 2f. Consignes de protection incendie des éoliennes LEITWIND

En termes de protection incendie, une éolienne peut généralement être divisée en trois zones principales :

- La base de la tour avec (en option) transformateur, armoires de contrôle et convertisseur de puissance
- La tour
- Le châssis principal avec générateur, moyeu et pales du rotor

a.) Les charges combustibles dans la base de la tour sont principalement constituées par les câbles électriques et les petits composants des armoires de contrôle et du convertisseur de puissance. Si un transformateur est installé dans la base de la tour, l'huile du transformateur représente elle aussi une charge combustible potentielle. Dans ce cas, une huile spéciale peut être utilisée (au lieu de l'huile minérale) avec un point d'éclair supérieur à 300 °C.

Les mesures de protection incendie dans la base de la tour visent à réduire les risques. La température de la salle du transformateur et la température du transformateur lui-même sont contrôlées et surveillées en permanence. En cas de dépassement des températures limites, le système est coupé automatiquement. Appliquer un revêtement spécial d'étanchéité sur les bornes électriques et sur les connecteurs à lames du transformateur, du commutateur d'alimentation, du convertisseur de puissance, etc., afin de détecter rapidement tout contact desserré à l'occasion des opérations de maintenance semestrielles.

● Capteurs de température

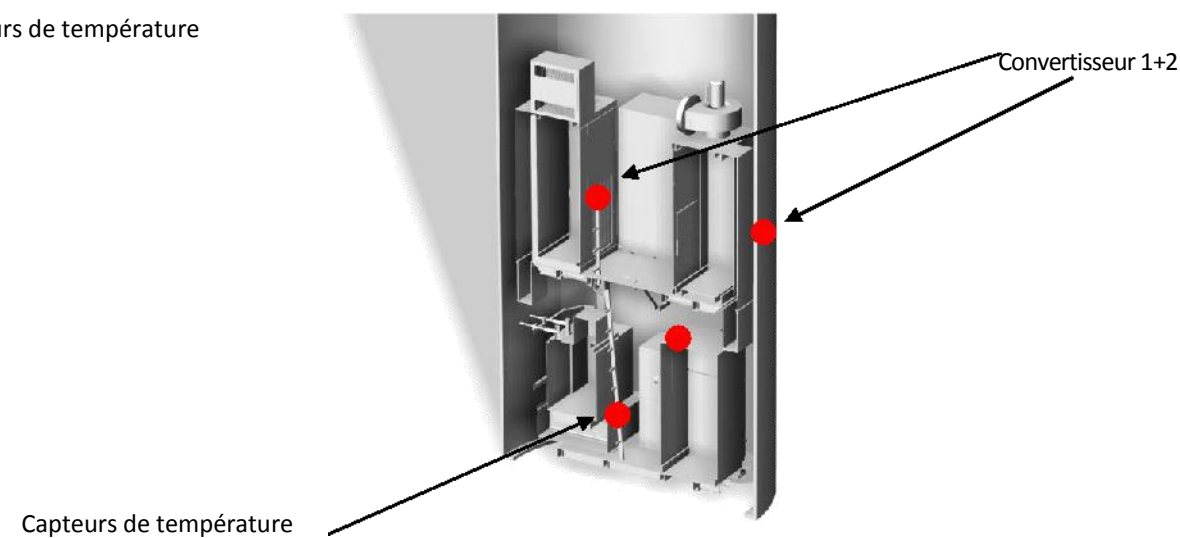


Figure 13 du système de surveillance de la température à la base de la tour (section)

La température des deux moitiés de convertisseur est également surveillée (carte de commande pour IGBT). Les courts-circuits et les défauts de terre du générateur sont également surveillés par le convertisseur. Dans ces deux cas, le système est coupé immédiatement.

En outre, les structures de toutes les armoires de contrôle et des convertisseurs de puissance ont été conçues dans le but de réduire les charges combustibles. Le mécanisme de fermeture des armoires de contrôle est composé de matériau incombustible et empêche l'ouverture accidentelle des portes en cas d'incendie. Le support de la serrure est en plastique. Un incendie qui se déclarerait dans l'armoire de contrôle entraînerait la fusion du support, mais la porte resterait fermée, que le support en plastique soit fondu ou non.

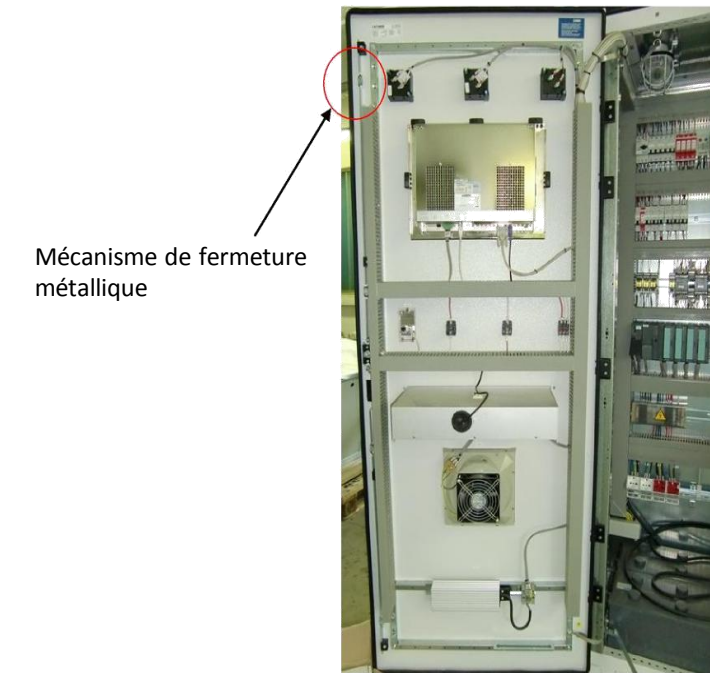


Figure 14 des mécanismes de fermeture - armoires de contrôle

b.) Les câbles électriques acheminés de la partie supérieure vers la partie inférieure de la tour constituent des charges combustibles. En termes de sécurité incendie, les câbles électriques acheminés dans la tour sont conformes aux normes nationales et internationales : CEI 20-22 II, EN 50267 (CEI 20-37, corrosivité des gaz de combustion) et EN 60332 (CEI 20-35, non propagation de la flamme). Les câbles électriques et leurs gaines entre les sections de la tour sont contrôlés deux fois par an lors des activités de maintenance.

La température dans le générateur et le châssis principal est également surveillée. Si la température dépasse une valeur spécifiée, l'éolienne est mise à l'arrêt. Les armoires de contrôle du système de Pitch sont également équipées de capteurs de température permettant une surveillance supplémentaire du moyeu.

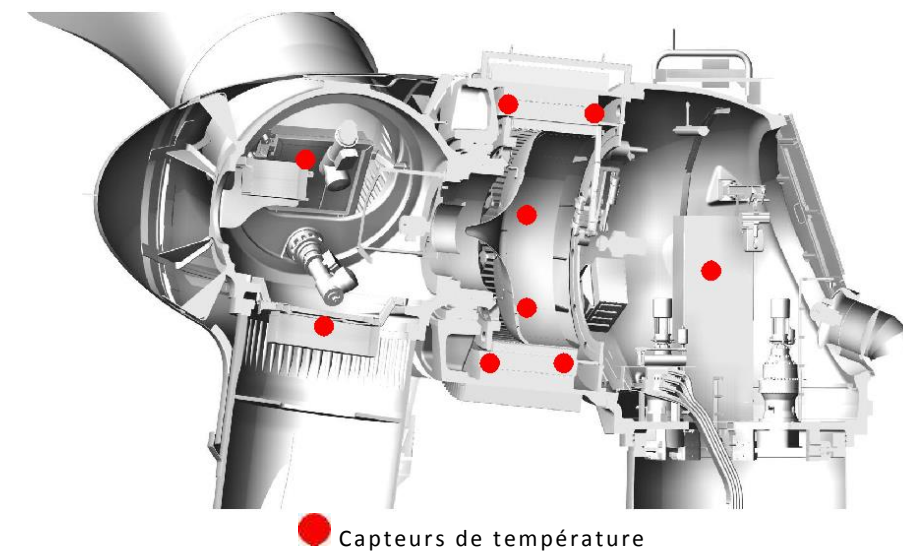


Figure 15 des capteurs de température sur le moyeu, le générateur et le châssis principal

La Figure 15 ci-dessus illustre l'emplacement des capteurs de température sur le moyeu, le générateur et le châssis principal. Le générateur est surveillé par deux capteurs de température sur le rotor, tandis que quatre capteurs transmettent des informations sur la température du stator (bobines du stator).

Si les températures dépassent les plages admissibles, l'éolienne est mise à l'arrêt et un message est transmis au service de télémaintenance LEITWIND, actif 24 h/24. Les erreurs éventuelles peuvent alors être traitées rapidement et des mesures correctives être prises.

D.2 - 2g. Protection contre la foudre

Les éoliennes LEITWIND sont équipées de dispositifs de protection contre les surtensions et la foudre, conformément aux exigences de la norme IEC 61400-24. Suite aux résultats de l'évaluation des risques, la classe de protection contre la foudre requise a été identifiée pour chaque éolienne, et chaque éolienne a été, en conséquence, divisée en zones de protection contre la foudre. Pour plus d'informations sur la protection contre la foudre, consulter le document WT00289 pour éoliennes LTW80.

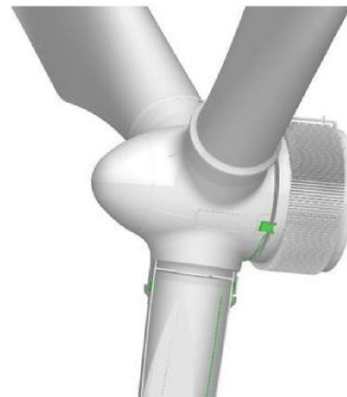


Figure 16 du conducteur de protection contre la foudre entre les pales du rotor et le moyeu

La Figure 16 ci-dessus illustre le conducteur de protection contre la foudre (en vert). Ce conducteur constitue un élément essentiel du dispositif de protection contre la foudre sur les éoliennes LEITWIND. Les récepteurs parafoudre, situés sur les extrémités des pales, dévient les surtensions causées par la foudre vers des câbles spécifiques sur le palier à roulement de Pitch et le palier principal à destination du sol (terre).

D.2 - 2h. Matériel incendie

Chaque éolienne est équipée d'extincteurs portatifs appropriés fonctionnant au CO₂. En cas d'incendie, maintenir une distance de sécurité d'un mètre par rapport aux parties sous tension (moins de 1 000 V). En cas d'incendie au niveau d'un équipement moyenne tension, aucune mesure d'extinction ne doit être prise sans la présence de personnel qualifié.

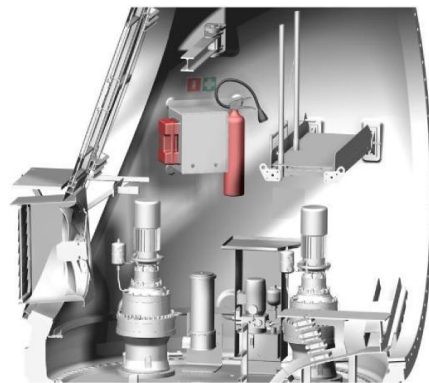


Figure 17 de l'extincteur situé dans le châssis principal

Les extincteurs sont bien visibles et installés à des endroits accessibles : à la base de la tour (à proximité de la porte d'accès) et dans le châssis principal. Des panneaux placés au-dessus de ces derniers améliorent encore leur visibilité (voir Figure 17 ci-dessus).

D.2 - 2i. Plan des issues de secours en cas d'incendie

En cas d'incendie dans le châssis principal, utiliser l'échelle verticale.

En cas d'incendie dans la base de la tour, un dispositif de descente en rappel est disponible dans le châssis principal pour une descente contrôlée.

En cas de panne d'alimentation secteur, l'éclairage de secours s'allume.

Pour plus d'informations sur le plan des issues de secours en cas d'incendie, consulter le document WB00278 Consignes de sécurité LEITWIND.

D.2 - 3. Opérations de maintenance de l'installation

D.2 - 3a. Objectifs de maintenance

Le but est de maintenir le système complet et ses équipements dans un état fonctionnel, en assurant qu'ils satisfont les objectifs initiaux de sécurité, disponibilité, confort et durée de vie des équipements sur le long terme.

Ces objectifs sont définis au moyen de :

- La stratégie adoptée pour effectuer une opération de maintenance,
- La stratégie de planification de l'opération,
- La décision de sous-traiter ou d'effectuer en interne les prestations liées à la maintenance.

Outre ces objectifs techniques, la fonction maintenance a l'objectif économique de réduire le coût total de possession du système en limitant les coûts d'investissement (infrastructure, installations, outils, stocks, etc.) et les coûts de fonctionnement.

Les choix effectués pour atteindre ces objectifs techniques et économiques constituent la politique de maintenance.

▪ POLITIQUE DE MAINTENANCE

La politique de maintenance consiste à définir le déroulement des opérations de maintenance pour chaque équipement. Ces choix impliquent essentiellement :

- La stratégie entre maintenance préventive et corrective,
- La stratégie de réponse adoptée pour effectuer une opération de maintenance,
- La stratégie de planification de l'opération,
- La décision de sous-traiter ou d'effectuer en interne les prestations liées à la maintenance,
- La définition des équipements et des ressources humaines nécessaires à la maintenance, qui dépend de ces choix.

▪ STRATEGIE DE MAINTENANCE PREVENTIVE ET DE MAINTENANCE CORRECTIVE

La maintenance préventive consiste à examiner et/ou à réparer les équipements soumis à une dégradation progressive avant que ladite dégradation n'empêche l'utilisation de ces équipements dans le but pour lequel ils ont été conçus. La maintenance préventive peut généralement être planifiée, ce qui présente les avantages suivants :

- Si l'opération conduit à une indisponibilité de l'équipement, elle peut être programmée pendant une période où l'équipement n'est pas nécessaire au fonctionnement du système (pendant une période de vents de faible intensité). Cela permet de ne pas affecter la qualité de service.
- Les ressources humaines et matérielles nécessaires (stocks, outils, installations, etc.) peuvent être gérées sur le long terme, de sorte que les charges de travail des ressources puissent être lissées et leur capacité optimisée.
- La maintenance corrective consiste à prendre des mesures uniquement en cas de détection d'une panne d'un équipement. Le caractère aléatoire et souvent perturbant de telles pannes rend généralement impossible de planifier une opération de maintenance corrective.

Les principaux inconvénients sont les suivants :

- Indisponibilité de l'équipement pendant une période où il aurait été utile, entraînant une dégradation variable de la qualité de service,
- L'obligation de mobiliser des ressources humaines et matérielles rarement employées afin de traiter des pannes rares mais critiques,
- L'obligation de disposer de ressources humaines et matérielles en capacité excédentaire afin de pouvoir traiter les pics de charge générés inévitablement par l'apparition de pannes aléatoires,

La durée d'intervention étendue par la phase de diagnostic, parfois difficile à effectuer ou à la fiabilité réduite. Par conséquent, pour une charge de travail donnée, la maintenance préventive est beaucoup moins coûteuse et perturbante que la maintenance corrective et améliore la fiabilité des équipements, entraînant une qualité de service accrue pour des coûts de maintenance corrective réduits.

Le niveau de maintenance préventive optimal est atteint lorsque :

- Les objectifs techniques de la maintenance sont atteints ;
- Les coûts supplémentaires générés par la maintenance préventive additionnelle sont compensés par les économies effectuées sur la maintenance corrective.

Néanmoins, pour certains équipements tels que le matériel électronique, l'unique maintenance préventive effectuée consiste à maintenir le niveau de sécurité et de disponibilité du système par des contrôles opérationnels, aucune maintenance préventive n'étant en mesure d'améliorer la fiabilité de ces équipements et de réduire les coûts de maintenance corrective associés.

▪ STRATEGIE DES TRAVAUX D'INGENIERIE

Une opération de maintenance effectuée sur un composant (réparation, remplacement, lubrification, inspection, mise à niveau, etc.) peut impliquer plusieurs stratégies de travail :

- Intervention sur place, c'est-à-dire sur l'équipement intégrant le composant concerné,
- Démontage d'un sous-ensemble de l'équipement afin d'effectuer l'opération à l'atelier de maintenance,
- Démontage d'un sous-ensemble de l'équipement, puis démontage d'un module du sous-ensemble à l'atelier de maintenance afin d'effectuer l'opération sur le module dans un atelier spécialisé.

Le choix de la stratégie de travail a un impact essentiel sur la qualité de service et sur la capacité nécessaire en ressources humaines et matérielles.

En cas d'équipement dont la disponibilité est critique pour la qualité de service, la stratégie adoptée est celle qui permet un retour rapide à la disponibilité de l'équipement tout en respectant les règles de sécurité et de qualité. Par conséquent, le choix s'effectue en comparant le temps nécessaire pour effectuer l'opération sur site et le temps nécessaire pour le remplacement d'un sous-ensemble. En maintenance corrective, ce temps comprend le temps de réalisation du diagnostic, généralement plus court (avec un diagnostic plus fiable) lorsque le but est d'identifier un sous-ensemble plutôt qu'un composant.

La stratégie de réponse adoptée a un impact sur la capacité des ressources, car chaque étape peut exiger des moyens spécifiques :

- Pièces de rechange et lieux de stockage associés (magasins),
- Procédures et outils de diagnostic,
- Procédures et outil de démontage/remontage,
- Personnel qualifié ou spécialiste,
- Installations de maintenance adéquates.

Dans une première analyse, la multiplication des étapes de démontage tend à accroître le coût de la maintenance. Cependant, plusieurs facteurs sont susceptibles d'inverser cette tendance :

- Dans la pratique, les ressources nécessaires, en particulier le personnel et les outils, ne sont pas spécialisées et sont donc déjà disponibles ;
- La création de conditions de travail optimales dans l'atelier de maintenance (par exemple : des outils appropriés ou l'amélioration de l'accessibilité).

En maintenance corrective, les opérations dans l'atelier de maintenance sont moins urgentes que les opérations sur site. En effet, l'équipement est rendu disponible lorsque le sous-ensemble défectueux a été remplacé. Par conséquent, la charge de travail est répartie de façon plus homogène dans le temps et la capacité des ressources (personnel, stocks) est optimisée.

Le démontage d'un sous-ensemble peut permettre d'effectuer une opération de jour dans un atelier de maintenance, alors qu'une opération sur site aurait dû être effectuée de nuit (avec des coûts horaires plus élevés). Du personnel qualifié étant nécessaire, l'avantage est d'autant plus conséquent.

Concernant les travaux sous-traités, il est généralement moins coûteux d'effectuer l'opération sur un sous-ensemble qui a été déposé et renvoyé à l'usine que de faire intervenir le sous-traitant sur site.

D.2 - 3b. Définition des activités de maintenance

▪ NIVEAUX DE MAINTENANCE

Les définitions suivantes sont extraites de la norme française FD X 60-000.

NIVEAU 0

Actions simples nécessaires à l'exploitation et effectuées sur des éléments facilement accessibles en toute sécurité. Ce niveau comprend les tâches de maintenance préventive de base et les inspections exigées pour l'exploitation. Il consiste généralement en travaux d'entretien (nettoyage, contrôle visuel de certains équipements, remplacement de lampes, etc., ainsi que réparations mineures et réglages).

La maintenance de niveau 0 est constituée de toutes les activités qui n'exigent pas d'outil ou d'équipement de contrôle. Ces activités peuvent être exécutées par du personnel n'ayant pas de formation technique.

En termes de maintenance corrective, la maintenance de niveau 0 consiste à prendre des mesures destinées à réduire l'indisponibilité de tout ou partie du système, tout en satisfaisant les exigences de sécurité. La gestion finale de la panne est confiée au personnel de maintenance de niveau 1.

Sur la base d'un diagnostic effectué au centre de contrôle des opérations, les opérateurs restaurent le système en mode nominal ou en mode dégradé, à distance ou sur site. Ces opérations sont effectuées en application des instructions d'exploitation.

La maintenance corrective de niveau 0 est une opération palliative assurée par le personnel d'exploitation. La panne n'est pas définitivement résolue tant que le département de maintenance ne l'a pas prise en charge.

NIVEAU 1

Actions qui nécessitent des procédures simples et/ou des équipements d'utilisation ou de mise en œuvre simple. Niveau 1 pour aérogénérateurs ou sous-stations HT/MT.

Ces opérations peuvent être effectuées par des techniciens disposant d'une connaissance minimum du système, à l'aide de documents de maintenance, de consommables, de pièces de rechange et des outils nécessaires. La remise en service est subordonnée à un contrôle fonctionnel.

Exemples : Contrôles de sécurité, échange de composants simples, visites de sécurité formées de contrôles de sécurité et de contrôle visuel, opération de lubrification (graissage, vidange), vérification des niveaux. Concernant les logiciels, la maintenance de niveau 1 consiste à gérer les systèmes informatiques et à caractériser les dysfonctionnements observés.

NIVEAU 2

La maintenance de niveau 2 comprend les opérations qui nécessitent des procédures complexes et/ou des équipements de soutien portatifs d'utilisation ou de mise en œuvre complexes. Les procédures impliquent la connaissance d'une technique ou d'une technologie spéciale et/ou la mise en œuvre d'équipements spécialisés ainsi que des opérations effectuées en atelier de maintenance sur des sous-ensembles déposés de leur équipement d'origine lors d'une opération de niveau 1.

Les opérations de niveau 2 doivent être effectuées par des techniciens spécialisés disposant d'une connaissance précise des équipements sur lesquels ils interviennent. Leur support logistique comprend les manuels de maintenance, dossiers conformes, consommables, pièces de rechange et outils nécessaires.

Exemples : remplacement d'un élément au sein d'un sous-ensemble, démontage de l'équipement pour réparation ou inspection, utilisation d'outils spécifiques complexes (banc d'essais).

Concernant les logiciels, la maintenance de niveau 2 consiste à installer une nouvelle version de logiciel fournie par l'éditeur ou le fournisseur.

NIVEAU 3

La maintenance de niveau 3 comprend :

- Les opérations effectuées dans des ateliers spécialisés sur des modules ou des éléments déposés de l'équipement pendant une opération de niveau 1 ou de niveau 2,
- L'inspection en vue d'une rénovation.

Les opérations de niveau 3 doivent être effectuées par des techniciens hautement spécialisés à l'aide d'outils spéciaux. Leur travail se base généralement sur l'analyse des documents de conception.

Les activités de niveau 3 sur des éléments complexes sont généralement sous-traitées.

Exemples : réparation ou travail de reconditionnement sur un élément déposé pendant une opération de maintenance de niveau inférieur, nécessitant une connaissance approfondie du système ou de la conception de l'équipement et des outils spéciaux, tels que la réparation de cartes électroniques, de moteurs, de contacteurs, etc.

Concernant les logiciels, la maintenance de niveau 3 consiste à corriger les défauts de logiciel ou à améliorer ces derniers en modifiant le code source et en générant un nouveau code exécutable. Cette tâche est toujours sous-traitée.

NIVEAU 4

La maintenance de niveau 4 comprend les opérations exigeant un savoir-faire faisant appel à des techniques ou technologies particulières, ainsi qu'à des processus ou des équipements de soutien. Elle comporte la réparation de composants URA (unités remplaçables en atelier).

Toutes les modifications ayant pour but d'augmenter la disponibilité d'équipements ou de composants font partie de ce niveau.

La maintenance de niveau 4 est essentiellement assignée à des sous-traitants.

D.2 - 3c. Maintenance préventive

■ INTRODUCTION

La maintenance préventive est une action de maintenance planifiée, préparée et programmée avant la date probable d'apparition d'une panne.

La maintenance préventive est généralement transparente vis-à-vis de l'exploitation du système. Elle lisse le recours à la main d'œuvre et évite les pénuries de ressources (stocks, outils, etc.). Les procédures de maintenance initiales, qui définissent le contenu de la maintenance préventive, sont mises au point et fournies par le concepteur. Elles sont mises à jour en fonction de l'expérience.

Un certain nombre d'opérations de maintenance préventive concernent la sécurité : elles permettent de maintenir le niveau de sécurité du système. Elles consistent à vérifier le fonctionnement des dispositifs de sécurité, en détectant les pannes latentes qui peuvent devenir dangereuses par accumulation de défaillances et en vérifiant que les valeurs physiques respectent leur plage de tolérance. Les inspections à effectuer ainsi que leurs fréquences sont définies par l'analyse de sécurité réalisée par le fabricant. Toute modification des procédures de maintenance sont soumises à approbation formelle du fabricant de l'équipement d'origine.

■ APPLICATION

La maintenance préventive est initiée sur la base d'une durée calendaire ou d'un seuil atteint (nombre de MWh produits, durée de fonctionnement, etc.), les fréquences étant définies dans les procédures de maintenance.

Chaque action est initiée par l'émission d'un ordre de travail (OT), sur la base du calendrier de maintenance préventive à court-terme.

L'ordre de travail est clos par un rapport d'exécution décrivant les opérations effectuées et les résultats observés ainsi que les opérations programmées non réalisées, et attestant du rétablissement effectif de la conformité de l'équipement.

Les activités de maintenance préventive peuvent être les suivantes :

- Routine : remplacement de pièces exigé sur la base d'une fréquence définie, sans critères d'inspection particuliers ;
- Conditionnelle : les inspections/mesures effectuées peuvent entraîner l'initiation de la réparation ou du remplacement d'un élément si les critères définis ne sont pas satisfaits (remplacement d'un élément usé ou module hors tolérance, reprise de réglage). Un rapport de panne est établi si l'action corrective est retardée.

■ PRINCIPAUX TYPES D'ACTIVITE DE MAINTENANCE PREVENTIVE

Les tâches de maintenance préventive les plus courantes sont énumérées ci-dessous :

- Contrôles opérationnels sur les équipements ou fonctions à utilisation occasionnelle (détection des pannes latentes),
- Remplacement des éléments ou consommables dont les caractéristiques ou la fiabilité se dégradent à l'usage (huiles, graisses, joints, filtres, relais, roulements, pièces d'usure, etc.),
- Contrôle des valeurs physiques ou des performances susceptibles de se dégrader ou de dériver,
- Nettoyage des éléments vulnérables à l'encrassement.
- En fonction des cas, ces tâches de maintenance sont effectuées :
 - Directement sur l'équipement, sur site,
 - En atelier de maintenance, sur un élément déposé,
 - Par un sous-traitant, dans ses propres ateliers spécialisés.

D.2 - 3d. Maintenance corrective

■ OBJECTIFS

L'objectif d'une action de maintenance corrective est de rétablir l'état opérationnel nominal du système ou de l'équipement. L'opération doit être effectuée dans un environnement assurant une sécurité optimale, tant pour le public que pour le personnel de maintenance.

Dans cet environnement, en conformité avec les procédures, l'équipement en mode dégradé ou en panne est rétabli dans son mode nominal le plus rapidement possible. Les éléments à remplacer, le cas échéant, sont des sous-ensembles ou des modules de niveau inférieur, en fonction de l'architecture de l'équipement concerné, de la complexité rencontrée et des installations et outils de tests exigés et disponibles.

■ APPLICATION

Les pannes sont détectées :

- Par le centre de contrôle des opérations, à travers la supervision de l'état des équipements du système ou le comportement anormal des équipements ;
- Par le personnel de maintenance durant les inspections de maintenance préventive ;
- Par des rapports d'incident rédigés par le personnel d'exploitation sur place.

Si la panne a une incidence sur l'exploitation, le centre de contrôle des opérations applique une procédure de secours du système afin de réduire l'interruption du service.

Dans tous les cas, la panne est décrite dans une demande de service (DS) transmise au département de maintenance pour traitement. Cette demande de service permet d'initier des actions correctives.

L'action de maintenance est organisée et planifiée en tenant compte de son degré d'urgence, de la disponibilité du personnel nécessaire et des ressources en équipements, de la compatibilité avec le travail programmé auparavant, des exigences opérationnelles et de l'accessibilité de l'équipement concerné. Elle est généralement planifiée conjointement avec le département d'exploitation, en fonction des conséquences de la panne sur la qualité de service.

Lorsque l'opération de maintenance corrective a été effectuée, le personnel de maintenance remplit un rapport d'exécution décrivant les éléments réparés et/ou remplacés, le temps de travail écoulé et les difficultés rencontrées. Ce rapport peut ensuite être utilisé pour évaluer les activités de maintenance et élaborer des statistiques sur les pannes des équipements. Il constitue également un retour d'information à l'intention des opérateurs du centre de contrôle des opérations afin de leur permettre de clore leur rapport d'incident.

■ PRINCIPALES ACTIVITES DE MAINTENANCE CORRECTIVE

Les principales activités de maintenance corrective sont énumérées ci-dessous :

- Réparation (réparation d'un élément sur site ou en atelier de maintenance),
- Remplacement d'éléments défectueux,
- Reprise de réglage.

D.2 - 3e. Maintenance évolutive

La maintenance évolutive comprend les opérations qui modifient la conception et/ou les fonctions du système, ou les changements apportés aux documents d'exploitation et de maintenance associés. Elle peut être effectuée pour différentes raisons :

- Amélioration de la fiabilité,
- Amélioration de la maintenabilité,
- Amélioration de la sécurité,
- Amélioration de la durée de vie,
- Amélioration de la résistance aux facteurs externes (intempéries, vandalisme, etc.),
- Ajout ou amélioration d'une fonction,
- Amélioration des performances,
- Réduction des coûts d'exploitation ou de maintenance,
- Gestion de l'obsolescence des équipements et des composants,
- Remplacement des équipements en fin de vie,
- Adaptation aux nouvelles normes ou réglementations.

Le processus de mise à niveau système est défini par l'opérateur du système et accorde une attention particulière aux aspects suivants :

- Validation du changement, en particulier concernant l'aspect sécurité,
- Approbation de nouveaux éléments ou composants pour les pièces de rechange,
- Réalisation de travaux de mise en œuvre pendant l'exploitation,
- Impact sur les instructions d'exploitation pendant la phase transitoire de mise en œuvre et après installation finale,
- Impact sur la définition des opérations de maintenance préventive et sur les procédures de maintenance,
- Mise à jour du référentiel documentaire du système (spécifications, dessins, dossier de sécurité, documentation d'exploitation et de maintenance, documentation de formation, etc.) en possession de l'opérateur système, de l'autorité de transport public propriétaire du système et du fabricant.

Dans tous les cas, le processus de validation des changements exige la consultation du fabricant de l'équipement d'origine.

D.2 - 3f. Contrôle avant mise en service

Toute opération de maintenance sur un équipement, à titre préventif ou correctif, est suivie d'un contrôle permettant de vérifier le fonctionnement de l'équipement avant sa remise en service. Ces contrôles peuvent souvent exiger la mise en service de l'équipement, opération effectuée avec toutes les précautions nécessaires en termes de sécurité et de disponibilité du système.

Ces contrôles sont effectués selon des procédures spécifiques.

L'équipement peut alors être mis à la disposition du département d'exploitation, conformément à la procédure interne à la société et aux méthodes définies par l'opérateur du système.

D.2 - 3g. Plan de maintenance des aérogénérateurs

▪ POLITIQUE DE MAINTENANCE

La politique de maintenance des aérogénérateurs s'appuie sur une maintenance préventive et conditionnelle, du moins en ce qui concerne les équipements mécaniques.

Pour les équipements électriques, le suivi et les inspections à distance seront planifiés afin de détecter les pannes et entreprendre la maintenance corrective.

La stratégie de réponse, applicable tant pour la maintenance préventive que corrective, est généralement la suivante :

- Si possible, l'opération de maintenance est planifiée en période de vent faible (pour réduire à un minimum les pertes de production d'énergie).
- La stratégie adoptée dépend alors de l'opération à effectuer, l'objectif étant de rétablir rapidement la disponibilité des aérogénérateurs afin de réduire le risque de pertes de production d'énergie.

Si possible, des actions de maintenance de courte durée sont effectuées pendant de courtes périodes de vent faible.

Les actions de maintenance de longue durée (concernant essentiellement certaines opérations de maintenance préventive telles que les révisions mineures et majeures) sont réparties dans le temps afin d'éviter des pics de charge de travail qui entraîneraient un manque de personnel.

▪ PROGRAMME DE MAINTENANCE PREVENTIVE

Le planning de maintenance préventive est conçu afin de garantir des prestations techniques et opérationnelles optimales.

La maintenance préventive des aérogénérateurs s'appuie sur l'énergie produite.

La fréquence des opérations de maintenance préventive est fixée à 10 000 MWh. Une plage de tolérance autorise une certaine souplesse en termes de planification.

L'inspection est divisée en 3 tâches :

- inspection de l'intérieur des aérogénérateurs,
- inspection de l'extérieur des aérogénérateurs,
- inspection des pales.

Ces tâches sont effectuées en fonction des conditions météorologiques. Elles peuvent être réparties en semestriel avec :

- Contrôle du bon fonctionnement de l'éolienne en production (par exemple bruit anormal)
- Inspection de l'ensemble des parties de l'éolienne, photographies si dérives (Corrosion par exemple)
- Nettoyage du ventilateur
- Contrôle du serrage des brides de fixation
- Contrôle des motoréducteurs (yaw & pitch), des freins, du blocage rotor...
- Contrôle de l'anémomètre, sonde de température, parafoudre...
- Graissage et lubrification semestrielle
- Contrôle des treuils, ascenseurs, aide à la montée, échelles
- Contrôle des connections électriques, des protections contre les surtensions, des batteries, mesures de mise à la terre, armoires électriques
- Contrôle des arrêts, arrêts d'urgence
- Maintien en propreté de l'éolienne

Et répétées en annuel complété par :

- Essai en régime de survitesse
- Contrôles réglementaires périodiques : treuil, ascenseur, point d'ancrage, échelles, électricité

Une marge de sécurité est prévue lors de la constitution des effectifs afin de permettre l'exécution d'opérations de maintenance non programmées.

▪ MAINTENANCE CORRECTIVE

Indépendamment de l'efficacité d'un programme de maintenance préventive, un certain niveau de maintenance corrective doit être prévu. Les opérations de maintenance corrective à effectuer et le caractère aléatoire de l'apparition des pannes exigent la mise en place d'une extension des plages horaires de service, avec les objectifs suivants :

- Traiter la panne le plus rapidement possible après sa signalisation, ce qui réduit l'indisponibilité associée ;
- Éviter d'accumuler les indisponibilités des aérogénérateurs, ce qui entraînerait une diminution de la qualité de service.

Par conséquent, il est recommandé que des équipes de maintenance corrective assurent une permanence afin d'offrir une couverture optimale pendant les périodes d'exploitation.

▪ PLANIFICATION

Seules les actions sur des pannes mineures, générant peu ou pas d'impact sur la fiabilité, la sécurité ou les performances des aérogénérateurs, peuvent être planifiées, car elles n'entraînent pas une indisponibilité immédiate des aérogénérateurs. En fonction des cas, la réparation peut être reportée jusqu'à une immobilisation déjà programmée pour une maintenance préventive ou à une période de faible charge de travail de maintenance.

Pour les pannes entraînant l'indisponibilité des aérogénérateurs, la réponse doit être optimale. La priorité doit être accordée aux aérogénérateurs dont les symptômes suggèrent une opération de maintenance de courte durée, ce qui permet une amélioration rapide de la disponibilité du parc.

▪ DIAGNOSTIC

Le diagnostic consiste à identifier l'URS (unité remplaçable sur site) défectueuse à l'origine du dysfonctionnement. Il est réalisé par des techniciens qui s'appuient sur le symptôme décrit dans le rapport de panne, avec l'aide de la documentation de maintenance ou des outils d'essais.

▪ REPARATION

La réparation consiste à déposer l'URS défectueuse et à la remplacer par une unité de rechange en bon état.

L'URS est déposée et réinstallée conformément aux procédures correspondantes préconisées dans la documentation de maintenance. La réinstallation peut exiger des réglages spécifiques et/ou des contrôles spéciaux avant la remise en service des aérogénérateurs.

En fonction des cas, l'URS déposée peut être mise au rebut et le stock réapprovisionné ; si elle est réparable, le diagnostic est poursuivi afin d'identifier et de remplacer les composants ou URA défectueux.

▪ MOYENS SPECIFIQUES

Les équipements pour opérations en atelier ou directement sur aérogénérateur, tels que les palans à chaîne ou à câble, les équipements d'essais portables et les grues, sont les principaux moyens spécifiques utilisés pour la maintenance des aérogénérateurs.

▪ OUTIL DE CONTROLE DES VIBRATIONS EN LIGNE

Une configuration dédiée de l'outil de diagnostic vibratoire est installée afin de prévenir les risques de défaillance des paliers ou des engrenages (usure, défaut de lubrification, etc.) sur les éléments suivants :

- Palier principal,
- Motoréducteurs de Pitch,
- Motoréducteurs de Yaw.

Tous les aérogénérateurs sont reliés par connexion Ethernet ; la surveillance est centralisée au niveau du parc. L'outil de surveillance émettra des rapports périodiques et des alarmes si l'état des composants devient critique.

▪ SERVICES

Les services comprennent les activités suivantes :

▪ TELESURVEILLANCE

LEITWIND tiendra à jour un système de récupération des données, aux conditions suivantes :

- Une connexion ADSL disponible et parfaitement fonctionnelle doit être établie et maintenue, afin de permettre à LEITWIND de recevoir les données d'exploitation pour chacun des aérogénérateurs ;
- Une surveillance 24 h/24, 7 j/7 et 365 j/an, permettant une réponse à distance aux erreurs d'exploitation identifiées.

▪ CENTRE D'ASSISTANCE CLIENT

À partir de la signature d'un contrat d'exploitation et de maintenance, LEITWIND s'engage à mettre à disposition un centre d'assistance client, qui devra répondre aux demandes de service relatives à l'exploitation des aérogénérateurs, aux erreurs/défauts constatés et/ou anomalies similaires.

D.2 - 4. Fonctionnement des réseaux de l'installation

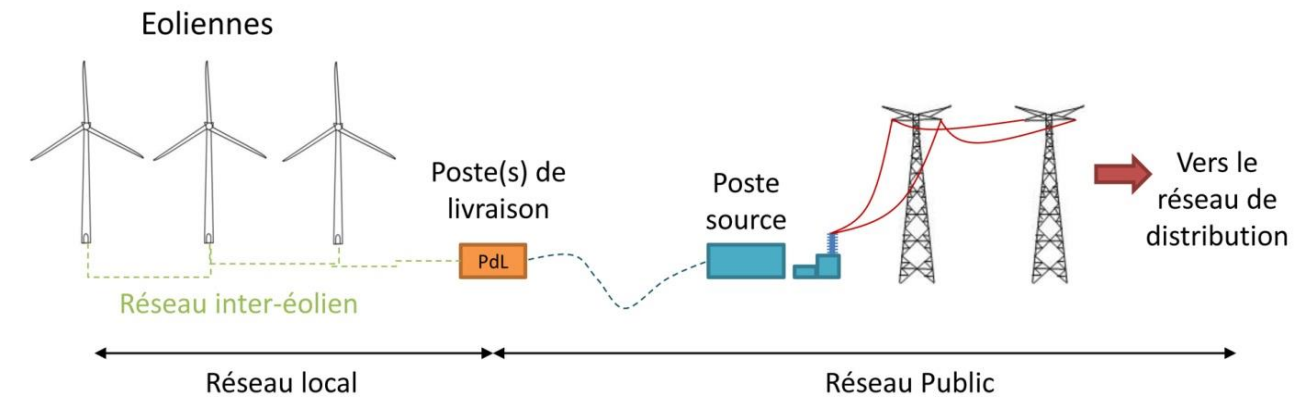


Figure 18 : principe du raccordement électrique des installations

• RESEAU INTER-EOLIEN

Le réseau inter-éolien permet de relier le transformateur, intégré dans le mât de chaque éolienne, au point de raccordement avec le réseau public en 20 000 V. 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 entre 80 cm et 1 m de profondeur.

Ainsi, les éoliennes E1, E2, E3, E4 et E5 du renouvellement du parc éolien de Lanfains sont interconnectées entre elles, seule l'éolienne E6 n'est pas interconnectée, et toutes sont raccordées au poste de livraison électrique par un réseau de câbles électriques triphasés HTA (tension nominale : 20 000 V).

Ces ouvrages seront établis suivant les prescriptions de l'arrêté technique du 17 mai 2001 conformément aux règles de l'art et suivant les publications UTE.

Ainsi, ces ouvrages sont conformes à la réglementation technique en vigueur.

• 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.

Remarque. Certains parcs éoliens, par leur taille, peuvent posséder plusieurs postes de livraison, voire se raccorder directement sur un poste source, qui assure la liaison avec le réseau de transport d'électricité (lignes haute tension). La localisation exacte des emplacements des postes de livraison est fonction de la proximité du réseau inter-éolien et de la localisation du poste source vers lequel l'électricité est ensuite acheminée.

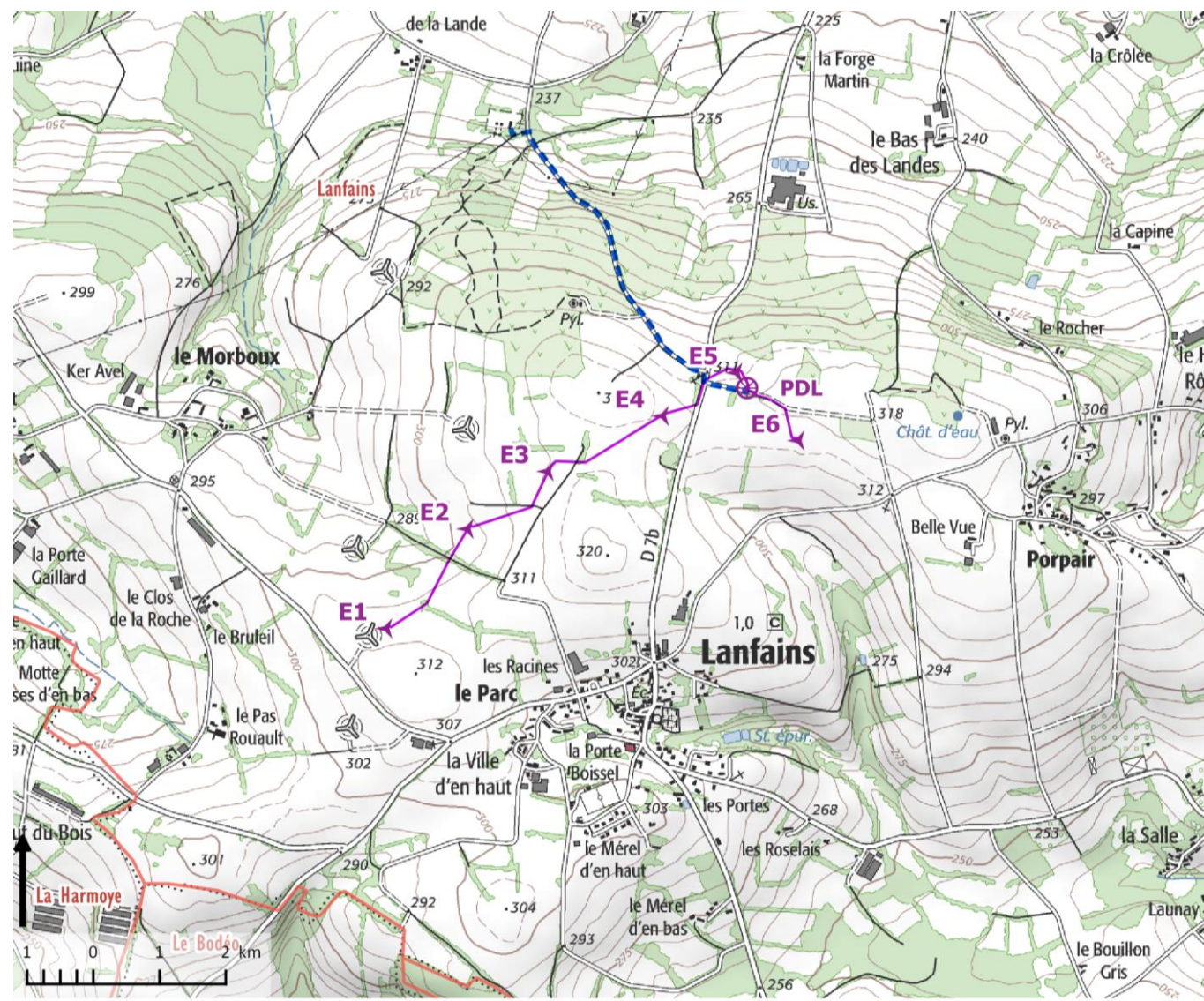
Pour le renouvellement du parc éolien de Lanfains, un seul poste de livraison électrique est prévu.

• RESEAU ELECTRIQUE EXTERNE

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

• AUTRES RESEAUX

Le renouvellement du parc éolien de Lanfains 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.



Limite communale

→ Projet

+ Poste de livraison

— Raccordement interne

— Raccordement externe

Source. IGN SCAN25. ADMIN EXPRESS, KALLISTA Energy

Carte 16 schématique du raccordement interne au parc et d'une des possibilités de raccordement électrique externe



E. IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION

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

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

E.1. POTENTIELS DE DANGERS LIES AUX PRODUITS

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

Les produits identifiés dans le cadre du renouvellement du parc éolien de Lanfains 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 le poste de livraison en dehors des produits nécessaires à leur fonctionnement.

Les types et quantités de produits présents dans les aérogénérateurs sont récapitulés dans le tableau suivant :

APPLICATION	PRODUIT	FOURNISSEUR	NOM	I&M y.int	I&M	UNIT
Freins de Yaw	Huile hydraulique	Nils	TTO-970 PAO VG22	2	10	kg
Pompe à main de blocage rotor	Huile hydraulique	Nils	TTO-970 PAO VG22	0,5	1	l
Motoréducteur Yaw	Huile	Shell	Omala HD320	3	64	l
Roulement Yaw	Graisse	Mobil	SHC 460 WT	3	0,6	kg
Motoréducteur Pitch	Huile	Shell	Omala HD320	3	12	l
Roulement Pitch	Graisse	Mobil	SHC 460 WT	3	0,45	kg
Roulement Yaw	Graisse	Mobil	SHC 460 WT	0,5	1,5	kg
Roulement Pitch	Graisse	Mobil	SHC 460 WT	0,5	6	kg
Couronne dentée Yaw	Graisse	Klüber	Klüberplex AG 11-462	0,5	0,9	kg
Couronne dentée Pitch	Graisse	Klüber	Klüberplex AG 11-462	0,5	0,9	kg
Roulement principal	Graisse	FAG	Arcanol 460	0,5	10	kg

* I&M y.int = intervalle de validité en nombre d'années pour la colonne I&M. 0,5 signifie que le produit est requis tous les six mois, et donc aussi en annuel et multiples. * I&M = quantité de produit suggéré par aérogénérateur pour les activités de maintenance de routine. * unité = unité dans laquelle le produit est commandé.

Tableau 6 des types et quantités de produits présents dans l'éolienne

D'autres produits sont susceptibles d'être utilisés lors des interventions de maintenance en faibles quantités :

APPLICATION	PRODUIT	FOURNISSEUR	NOM				UNIT
Nettoyage dégraissage	Détergent	Merkur Chemicals	Decarbo	4	0,5	4	l
Nettoyage dégraissage	Rouleau papier	Strofirol	K7	3	0,5	3	pce
Nettoyage dégraissage	Rouleau papier	ICEA	Pannotex dark	3	0,5	3	pce
Universel	Colle	Henkel	Loctite 648	0	0,5	1	l
Ecrous	Colle	Henkel	Loctite 243	0,2	0,5	0,2	l
Scellement roulements	Colle	Henkel	Loctite 406	0	0,5	0,2	l
Métal, plastique, caoutchouc	Colle	Henkel	Loctite 480	0	0,5	0	l
Spray écrous	Graisse	Klueber	Molybkombin UMF	3	1	1	pce
Active parts	Graisse synthétique	Aluchem Unionlub	PTFE 2	0	1	1	kg
Joints	Mastic d'étanchéité	Sika	Sikaflex 221 White	2	1	2	pce
Joints	Mastic d'étanchéité	Sika	Sikaflex 521 White	2	1	2	pce
Refroidissement liquide. Convertisseur (option) et Stator (si installé)	Caloporteur	Clariant	Glycol	20	5	20	l

Tableau 7 des types et quantités de produits présents en petite quantité dans l'éolienne

E.2. POTENTIELS DE DANGERS LIES AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

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

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

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant :

Installation ou système	Fonction	Phénomène redouté	Danger potentiel
Système de transmission	Transmission d'énergie mécanique	Survitesse	Echauffement des pièces mécaniques et flux thermique
Pale	Prise au vent	Bris de pale ou chute de pale	Energie cinétique d'éléments de pales
Aérogénérateur	Production d'énergie électrique à partir d'énergie éolienne	Effondrement	Energie cinétique de chute
Poste de livraison, intérieur de l'aérogénérateur	Réseau électrique	Court-circuit interne	Arc électrique

Nacelle	Protection des équipements destinés à la production électrique	Chute d'éléments	Energie cinétique de projection
Rotor	Transformer l'énergie éolienne en énergie mécanique	Projection d'objets	Energie cinétique des objets
Nacelle	Protection des équipements destinés à la production électrique	Chute de nacelle	Energie cinétique de chute

Tableau 8 des potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

E.3. REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS A LA SOURCE

E.3 - 1. Principales actions préventives

Plusieurs démarches préalables concernant les implantations des éoliennes et le choix de la technologie utilisée ont permis de réduire les potentiels de dangers identifiés sur le site et de garantir une sécurité optimale de l'installation.

- Lors de la démarche de conception du projet, le porteur de projet a étudié plusieurs scénarios d'implantation afin de déterminer celui qui minimise les impacts vis-à-vis des intérêts mentionnés par l'article L511-1 du code de l'environnement.
- Dans le cadre de l'étude d'impacts, le choix de localisation des éoliennes a fait l'objet d'études spécifiques :
 - o analyse paysagère,
 - o analyse de l'environnement naturel,
 - o analyse de l'environnement humain,
 - o analyses des contraintes techniques,
 - o disponibilité foncière,
 - o volontés politiques locales.
- L'exploitant a effectué des choix techniques pour implanter les éoliennes le plus à l'écart des zones à enjeux, le choix même du site correspondant à un **secteur éloigné de toute habitation**. Le respect des prescriptions générales de l'arrêté du 26 août 2011 impose au projet :
 - o Un éloignement des éoliennes de 500 m des zones dédiées à l'habitation.
 - o Un choix d'éoliennes respectant les normes de sécurité et disposant d'équipements de prévention des risques.
 - o La réalisation obligatoire d'un contrôle technique des ouvrages.
- Le projet bénéficie de l'expérience de KALLISTA dans le développement de projets éoliens.

Il apparaît donc que les choix effectués lors de la phase de conception du projet ont permis de proposer une implantation réduisant les potentiels de dangers.

E.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 matière première et ne rejetant aucune émission dans l'atmosphère, ne sont pas soumises à cette directive.

F. ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE

L'objectif de ce chapitre de l'étude de dangers est de rappeler les différents incidents et accidents qui sont survenus dans la filière éolienne, afin d'en faire une synthèse en vue de l'analyse des risques pour l'installation et d'en tirer des enseignements pour une meilleure maîtrise du risque dans les parcs éoliens.

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

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

F.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 renouvellement du parc éolien de Lanfains. Cet inventaire se base sur le retour d'expérience de la filière éolienne tel que présenté dans le guide technique de conduite de l'étude de dangers (oct. 2012) et complété par les données disponibles de la base de données ARIA (consultation en juin 2018). Voir le Tableau de l'accidentologie française au J.3. en page 59.

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

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

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

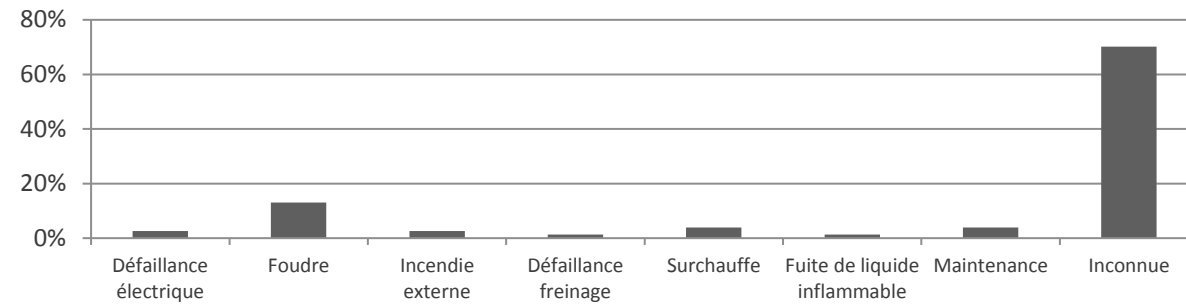
Dans l'état actuel, la base de données élaborée par le groupe de travail de SER/FEE ayant élaboré le guide technique d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis l'année 2000. L'ensemble de ces sources permet d'arriver à un inventaire aussi complet que possible des incidents survenus en France. Un total de 37 incidents a pu être recensé entre 2000 et début 2012. Ce tableau de travail a été validé par les membres du groupe de travail précédemment mentionné. Il est complété en août 2018 par 38 accidents supplémentaires enregistrés en France entre 2012 et juillet 2018.

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

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et mi 2018. 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 bordés de noir, intitulé en majuscule ;
- 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 sans bordure, de couleur claire.

Répartition des causes premières d'incendie



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.

F.3. INVENTAIRE DES ACCIDENTS MAJEURS SURVENUS 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.

F.4. SYNTHÈSE DES PHÉNOMÈNES DANGEREUX REDOUTÉS ISSUS DU RETOUR D'EXPÉRIENCE

F.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.

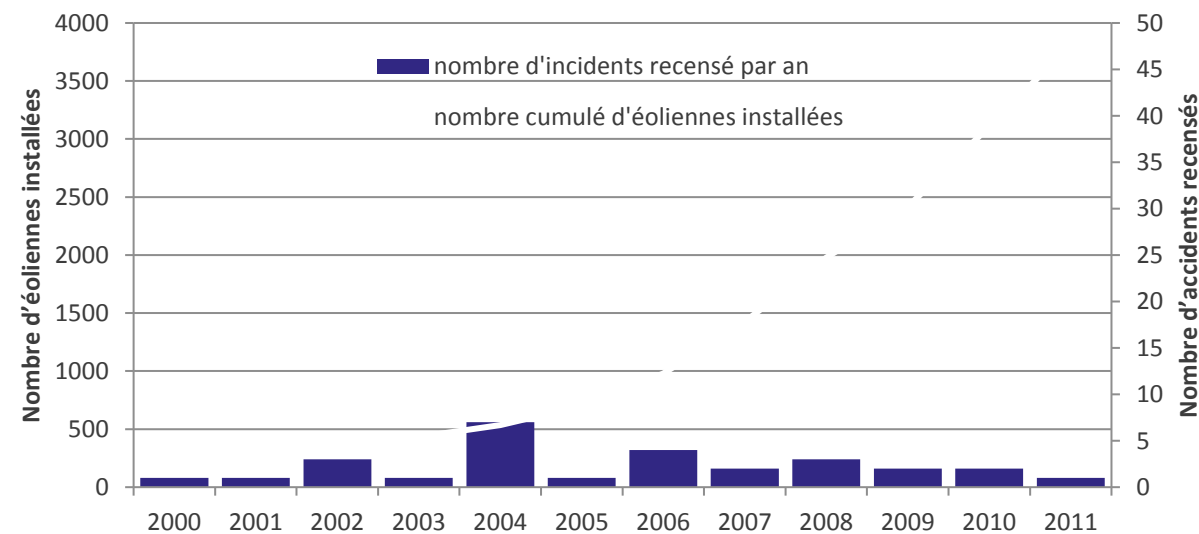


Figure 20 d'évolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées

La figure ci-dessus 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. On note bien l'essor de la filière française à partir de 2005, alors que le nombre d'accidents reste relativement constant.

F.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.

F.5. LIMITES D'UTILISATION DE L'ACCIDENTOLOGIE

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

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

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

G. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

Les outils d'analyse des risques sont nombreux (ex : AMDEC, APR, HAZOP, etc.). La présente analyse utilise la méthode APR qui est souple d'utilisation, adaptée et plus facile à mettre en œuvre et à instruire dans le contexte des éoliennes, comme le conseille le guide de l'INERIS.

G.1. OBJECTIF DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

L'analyse des risques a pour objectif principal d'identifier les scénarios d'accidents 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 potentiel pour une installation (ainsi que des mesures de sécurité) basée sur un questionnement systématique des causes et conséquences possibles des événements accidentels, ainsi que sur le retour d'expérience disponible.

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

G.2. RECENSEMENT DES EVENEMENTS INITIATEURS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES

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

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 suraccident lié à l'éolienne est considéré comme négligeable dans le cas des événements suivants :

- inondations ;
- séismes d'amplitude suffisante pour avoir des conséquences notables sur les infrastructures ;
- incendies de cultures ou de forêts ;
- pertes de confinement de canalisations de transport de matières dangereuses ;
- explosions ou incendies générés par un accident sur une activité voisine de l'éolienne.

G.3. RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES

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

Traditionnellement, deux types d'agressions externes sont identifiés :

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

G.3 - 1. Agression externes liées aux activités humaines

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

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

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

Infrastructure	Fonction	Événement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Distance par rapport au centre du 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	Aucune voie structurante. Voies départementales, chemins à vocation ruraux ou agricoles d'accès aux parcelles. Très faible fréquentation et impact nul en termes d'agression externe
Aérodrome	Transport aérien	Chute d'aéronef	Energie cinétique de l'aéronef, flux thermique	2000 m	Aucun aérodrome dans le périmètre de 2 kilomètres autour des éoliennes
Ligne THT	Transport d'électricité	Rupture de câble	Arc électrique, surtensions	200 m	Aucune ligne THT aérienne dans le périmètre de 200 mètres autour des éoliennes.
Autres aérogénérateurs	Production d'électricité	Accident générant des projections d'éléments	Energie cinétique des éléments projetés	500 m	Chaque éolienne est située à plus de 500 mètres d'une autre, sauf les éoliennes E1 et E2 (0,40 km), E2 et E3 (0,29 km), E3 et E4 (<0,39 km), E4 et E5(0,326 km), E4 et E6 (0,42 km), E5 et E6 (0,28 km)

Tableau 9 des principales agressions externes liées aux activités humaines

G.3 - 2. Agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

Agression externe	Intensité
Vents et tempête	Concernant les vents violents, entre 1981 et 2010, on observe, en moyenne à Saint Briec, 88,9 jours/an avec des vents de plus de 57 km/h (> 16 m/s), dont 3,8 jours avec des vents au-delà de 100 km/h (> 28 m/s)
Glissement de sols/ affaissement miniers	Aléas de retrait et gonflement d'argile nul. Aucune cavité souterraine inventoriée dans les communes de l'aire d'étude.

Tableau 10 des principales agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

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

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

G.4. SCENARIOS ETUDIES DANS L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

Après avoir recensé, dans un premier temps, les potentiels de danger des installations, qu'ils soient constitués par des substances dangereuses ou des équipements dangereux (voir paragraphes E.2. et E.2.), l'APR doit identifier l'ensemble des séquences accidentelles et phénomènes dangereux associés pouvant déclencher la libération du danger.

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

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

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

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

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

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
« G » les scénarios concernant la glace						
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
« I » les scénarios concernant l'incendie						
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

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
I04	Désaxage de la génératrice / Pièce défectueuse / Défaut de lubrification	Echauffement des parties mécaniques et inflammation	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques (N°3)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2
I05	Conditions climatiques humides	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I06	Rongeur	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I07	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2
« F » les scénarios concernant les fuites						
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
« C » les scénarios concernant la chute d'éléments de l'éolienne						
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
« P » les scénarios concernant les risques de projection						
P01	Survitesse	Contraintes trop importantes sur les pales	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Impact sur cible	2
P03	Serrage inapproprié Erreur maintenance – desserrage	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	2
« E » les scénarios concernant les risques d'effondrement						
E01	Effets dominos autres installations	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E02	Glissement de sol	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E05	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
E07	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du plan de prévention (N°13)	Chute fragments et chute mât	2
E08	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°12) Dans les zones cycloniques, mettre en place un système de prévision cyclonique et équiper les éoliennes d'un dispositif d'abattage et d'arrimage au sol (N°13)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

Tableau 11 d'analyse préliminaire 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.

G.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 génériques présenté ci-dessus.

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

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

G.6. MISE EN PLACE DES MESURES DE SECURITE

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

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

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

contrôle tous les ans soit réalisé sur la performance des mesures de sécurité permettant de mettre à l'arrêt, à l'arrêt d'urgence et à l'arrêt à partir d'une situation de survitesse et sur tous les systèmes instrumentés de sécurité.

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

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

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
Mesures de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage.		
Description	Système de détection redondant du givre permettant, en cas de détection de glace, une mise à l'arrêt rapide de l'aérogénérateur. Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site.		
Indépendance	Non. Les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. En cas de danger particulièrement élevé sur site (survol d'une zone fréquentée sur site soumis à des conditions de gel importantes), des systèmes additionnels peuvent être envisagés.		
Temps de réponse	Quelques minutes (< 61 min.) conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011		
Efficacité	100 %		
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la construction de l'éolienne		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement		

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

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
Mesures de sécurité	Capteurs de température des pièces mécaniques. Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes. Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement		
Description	/		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	Test		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

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

Fonction de sécurité	Prévenir les courts-circuits	N° de la fonction de sécurité	5
Mesures de sécurité	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.		
Description	Les organes et armoires électriques de l'éolienne sont équipés 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). Dispositif de capture + mise à la terre. Parasurtenseurs sur les circuits électriques		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011.		



Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	Capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne pouvant permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de la machine. Système de détection incendie relié à une alarme 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	/		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Le matériel incendie (type extincteurs) est contrôlé périodiquement par le fabricant du matériel ou un organisme extérieur. Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.		

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	Détecteurs de niveau d'huiles. Procédure d'urgence. Kit antipollution. Labyrinthe de récupération des fuites		
Description	Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. Les opérations de vidange font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert 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 revêtement souillé via les filières adéquates, puis le remplacera par un nouveau revêtement.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Dépendant du débit de fuite		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Inspection des niveaux d'huile plusieurs fois par an		

Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	N° de la fonction de sécurité	9
Mesures de sécurité	Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.). Procédures qualités. Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire). Détecteurs de vibrations		
Description	La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi la nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	NA		
Maintenance	Les couples de serrage (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 conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011, trois mois, puis un an après la mise en service industrielle, puis suivant une périodicité qui ne peut excéder trois ans. Selon une périodicité qui ne peut excéder un an, l'exploitant procède à un contrôle des systèmes instrumentés de sécurité.		

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	NA		
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	< 1 min		
Efficacité	100 %. NB : En fonction de l'intensité attendue des vents, d'autres dispositifs de diminution de la prise au vent de l'éolienne peuvent être envisagés.		
Tests	NA		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de cyclones dans les zones cycloniques	N° de la fonction de sécurité	13
Sans objet			

Tableau 12 des mesures de sécurité

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

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

G.7. CONCLUSION DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

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

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

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m ² n'est pas atteinte. Dans le cas d'un incendie au niveau du mât les effets sont également mineurs et l'arrêté du 26 août 2011 encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques. Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.
Incendie du poste de livraison ou du transformateur	En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou 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)
Infiltration d'huile dans le sol	En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs. Le parc éolien n'étant pas implanté dans un périmètre de protection rapprochée d'une nappe phréatique, ce scénario ne sera pas détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques.

Tableau 13 des scénarios exclus de l'étude détaillée

Remarque. Le guide INERIS de référence indique : « *Lorsqu'un aérogénérateur est implanté sur un site où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C, il peut être considéré que le risque de chute ou de projection de glace est nul.* » Le site présente des températures moyennes hivernales au-dessus de 0°C. Toutefois, considérant le nombre de jours de gel observés, nous intégrerons ces scénarios dans l'analyse détaillée.

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

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

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

H. 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.

H.1. RAPPEL DES DEFINITIONS

Comme la réglementation l'impose aux exploitants, l'étude de dangers doit caractériser chaque scénario d'accident majeur potentiel retenu dans l'étude détaillée des risques en fonction des paramètres suivants :

- cinétique
- intensité
- gravité
- probabilité

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 toxicité.

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.

L'étude porte donc sur la probabilité que l'accident se produise, la vitesse avec laquelle il produit des effets et à laquelle les secours sont en mesure d'intervenir (cinétique), l'effet qu'il aura s'il se produit (intensité) et le nombre de personnes exposées (gravité).

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.

H.1 - 1. Cinétique

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

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

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

H.1 - 2. Intensité

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

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

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

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

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

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

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

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

Tableau 14 de définition de l'intensité des effets

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

H.1 - 3. Gravité

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

Gravité \ Intensité	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition très forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte	Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée
« Désastreux »	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1 000 personnes exposées
« Catastrophique »	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1 000 personnes exposées
« Important »	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
« Sérieux »	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
« Modéré »	Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement	Pas de zone de létalité en dehors de l'établissement	Présence humaine exposée inférieure à « une personne »

Tableau 15 de définition des seuils de gravité

H.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 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.	$\leq 10^{-5}$

Tableau 16 de définition des échelles de probabilité

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

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

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

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

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

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

- P_{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.

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.

H.2. NIVEAU DE RISQUE

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

GRAVITÉ (conséquences sur les personnes exposées au risque)	Classe de Probabilité				
	E Evénement possible mais extrêmement peu probable	D Evénement très improbable	C Evénement improbable	B Evénement probable	A Evénement courant
Désastreux	Risque faible	Risque important	Risque important	Risque important	Risque important
Catastrophique	Risque faible	Risque faible	Risque important	Risque important	Risque important
Important	Risque faible	Risque faible	Risque faible	Risque important	Risque important
Sérieux	Risque très faible	Risque très faible	Risque faible	Risque faible	Risque important
Modéré	Risque très faible	Risque très faible	Risque très faible	Risque très faible	Risque faible

Légende de la matrice

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

Tableau 17 de définition des niveaux de risques

H.3. CARACTERISATION DES SCENARIOS RETENUS

H.3 - 1. Effondrement de l'éolienne

■ ZONE D'EFFET

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale (le périmètre de ruine), soit **90,00 m dans le cas des éoliennes du renouvellement du parc éolien de Lanfains.**

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.

■ INTENSITE

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne dans le cas du renouvellement du parc éolien de Lanfains. R est la longueur de pale (R= 40,15 m), H la hauteur du mât (H= 50,00 m), L la largeur du mât (L= 4,30 m) et LB la largeur maximale de la pale (LB = 3,25 m).

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
(H) x L + 3*R*LB/2 La zone d'impact est de 411 m²	=π x (H+R) ² La zone d'effet est de 25 532 m²	Zi/Ze = 1,6 % (entre 1% et 5%)	Exposition forte

Tableau 18 de l'intensité de l'effondrement d'une éolienne

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

■ GRAVITE

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène d'effondrement, dans le rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne :

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

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

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)							
Eolienne	Occupation du sol		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)				Gravité
	Nature	Quantité	Catégorie	Calcul	Détail	Total	
E1	Parcelles agricoles	2,40 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,024 pers.	0,04 pers. exposées	Sérieux
	Chemin CE vers E1	0,02 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,002 pers.		
	Aire éolienne E1	0,13 ha			0,013 pers.		

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)							
Eolienne	Occupation du sol		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)			Gravité	
	Nature	Quantité	Catégorie	Calcul	Détail		Total
E2	Parcelles agricoles	2,38 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,0238 pers.	0,04 pers. exposées	Sérieux
	Chemin CE vers E2	0,04 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,004 pers.		
	Aire éolienne E2	0,13 ha			0,013 pers.		
E3	Parcelles agricoles	2,34 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,0234 pers.	0,04 pers. exposées	Sérieux
	Chemin CE95	0,08 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,008 pers.		
	Aire éolienne E3	0,13 ha			0,013 pers.		
E4	Parcelles agricoles	2,39 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,0239 pers.	0,04 pers. exposées	Sérieux
	Chemin CE vers E4	0,02 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,002 pers.		
	Aire éolienne E4	0,13 ha			0,013 pers.		
E5	Parcelles agricoles	2,32 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,0232	0,36 pers. exposées	Sérieux
	Chemin CE50	0,09 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,009		
	Aire éolienne E5	0,13 ha			0,013		
	Chemin inscrit au PDIPR (CE50)	0,14 km	Randonnée	2 pers / 1 km	0,28 pers.		
	RD7b	0,02 km	Route non structurante	1,68 pers./km	0,03 pers.		
E6	Parcelles agricoles	2,37 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,0237 pers.	0,04 pers. exposées	Sérieux
	Chemin CE50	0,04 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,004 pers.		
	Aire éolienne E6	0,13 ha			0,013 pers.		

Tableau 19 de la gravité du risque de l'effondrement d'une éolienne

■ **PROBABILITE**

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

Source	Fréquence	Justification
Guide for risk based zoning of wind turbines [5]	4,5 x 10 ⁻⁴	Retour d'expérience
Specification of minimum distances [6]	1,8 x 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.

² Une année d'expérience correspond à une éolienne observée pendant une année. Ainsi, si on a observé une éolienne pendant 5 ans et une autre pendant 7 ans, on aura au total 12 années d'expérience.

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C ». En effet, il a été recensé seulement 7 événements pour 15 667 années d'expérience², soit une probabilité de 4,47 x 10⁻⁴ par éolienne et par an. Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 septembre 2005 d'une probabilité « C », à savoir : « Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité ».

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

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

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

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

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

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

■ **ACCEPTABILITE**

Dans le cas d'implantation d'éoliennes équipées des technologies récentes, compte tenu de la classe de probabilité d'un effondrement, on peut conclure à l'acceptabilité de ce phénomène si moins de 1 000 personnes sont exposées.

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

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)			
Eolienne	Gravité	Niveau de risque	Acceptabilité
E1	Sérieux	Risque très faible	Acceptable
E2	Sérieux	Risque très faible	Acceptable
E3	Sérieux	Risque très faible	Acceptable
E4	Sérieux	Risque très faible	Acceptable
E5	Sérieux	Risque très faible	Acceptable
E6	Sérieux	Risque très faible	Acceptable

Tableau 20 du niveau de risque et de l'acceptabilité de l'effondrement d'une éolienne

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

H.3 - 2. Chute de glace

CONSIDERATIONS GENERALES

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

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

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

ZONE D'EFFET

Le risque de chute de glace est cantonné à la **zone de survol des pales**, soit un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne. Pour le renouvellement du parc éolien de Lanfains, la zone d'effet a donc un **rayon de 40,15 mètres**. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

INTENSITE

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace dans le cas du renouvellement du parc éolien de Lanfains. Z_i est la zone d'impact, Z_e est la zone d'effet, R_{survol} est le rayon de la zone de survol ($R_{survol} = D_{survol}/2 = 80,3/2 = 40,15$ m), SG est la surface du morceau de glace majorant ($SG = 1$ m²).

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à $D/2 =$ zone de survol)			
Zone d'impact en m ² $Z_i = SG$	Zone d'effet du phénomène étudié en m ² $Z_e = \pi \times R_{survol}^2$	Degré d'exposition du phénomène étudié en % $d = Z_i/Z_e$	Intensité de l'exposition
1 m ²	5 064 m ²	0,020% (< 1%)	Exposition modérée

Tableau 21 de l'intensité de chute de glace

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

GRAVITE

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute de glace, dans la zone de survol de l'éolienne :

- Plus de 1 000 personnes exposées → « Désastreux »
- Entre 100 et 1 000 personnes exposées → « Catastrophique »
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Important »
- Moins de 10 personnes exposées → « Sérieux »
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré »

Comme en cas de projection, **la possibilité de l'impact de glace sur des personnes abritées par un bâtiment ou un véhicule est négligeable et ces personnes ne doivent pas être comptabilisées pour le calcul de la gravité. Ainsi les personnes dans les postes de livraison voisins ne sont pas prises en compte.**

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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à la zone de survol)						
Eolienne	Occupation du sol		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)			Gravité
	Nature	Quantité	Catégorie	Calcul	Détail	
E1	Parcelles agricoles	0,40 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,004 pers.	0,015 pers. exposées
	Aire éolienne E1	0,10 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,01 pers.	
E2	Parcelles agricoles	0,40 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,004 pers.	0,015 pers. exposées
	Aire éolienne E2	0,10 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,01 pers.	
E3	Parcelles agricoles	0,40 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,004 pers.	0,015 pers. exposées
	Aire éolienne E3	0,10 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,01 pers.	
E4	Parcelles agricoles	0,40 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,004 pers.	0,015 pers. exposées
	Aire éolienne E4	0,10 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,01 pers.	
E5	Parcelles agricoles	0,40 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,004 pers.	0,015 pers. exposées
	Aire éolienne E5	0,10 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,01 pers.	
E6	Parcelles agricoles	0,39 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,0039 pers.	0,015 pers. exposées
	Aire éolienne E6	0,11 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,011 pers.	

Tableau 22 de la gravité du risque de chute de glace

PROBABILITE

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

ACCEPTABILITE

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 renouvellement du parc éolien de Lanfains, 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	Acceptabilité
E1	Modéré	Risque faible	Acceptable
E2	Modéré	Risque faible	Acceptable
E3	Modéré	Risque faible	Acceptable
E4	Modéré	Risque faible	Acceptable
E5	Modéré	Risque faible	Acceptable
E6	Modéré	Risque faible	Acceptable

Tableau 23 du niveau de risque et de l'acceptabilité de chute de glace

Ainsi, pour le renouvellement du parc éolien de Lanfains, 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.

H.3 - 3. Chute d'éléments de l'éolienne

■ ZONE D'EFFET

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

Le risque de chute d'élément est cantonné à la zone de survol des pales.

■ INTENSITE

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du renouvellement du parc éolien de Lanfains. d est le degré d'exposition, Z_i la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R_p la longueur d'une pale ($R_p = 40,15$ m), R_{survol} correspond au rayon de la zone de survol ($R_{survol} = D_{survol}/2 = 80,3/2 = 40,15$ m), et LB la largeur de la base de la pale ($LB = 3,25$ m). L'intensité en dehors de la zone de survol est nulle.

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la zone de survol)			
Zone d'impact en m ² $Z_i = R_p * LB / 2$	Zone d'effet du phénomène étudié en m ² $Z_E = \pi * R_{survol}^2$	Degré d'exposition du phénomène étudié en % $d = Z_i / Z_E$	Intensité de l'exposition
65 m ²	5 064 m ²	1,29%	Exposition forte

Tableau 24 de l'intensité de chute d'éléments

■ GRAVITE

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (voir paragraphe VIII.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute d'éléments, dans la zone de survol de l'éolienne :

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

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

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la zone de survol)							
Eolienne	Occupation du sol		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)				Gravité
	Nature	Quantité	Catégorie	Calcul	Détail	Total	
E1	Parcelles agricoles	0,40 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,004 pers.	0,015 pers. exposées	Sérieux
	Aire éolienne E1	0,10 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,01 pers.		

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la zone de survol)							
Eolienne	Occupation du sol		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)			Gravité	
	Nature	Quantité	Catégorie	Calcul	Détail		Total
E2	Parcelles agricoles	0,40 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,004 pers.	0,015 pers. exposées	Sérieux
	Aire éolienne E2	0,10 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,01 pers.		
E3	Parcelles agricoles	0,40 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,004 pers.	0,015 pers. exposées	Sérieux
	Aire éolienne E3	0,10 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,01 pers.		
E4	Parcelles agricoles	0,40 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,004 pers.	0,015 pers. exposées	Sérieux
	Aire éolienne E4	0,10 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,01 pers.		
E5	Parcelles agricoles	0,40 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,004 pers.	0,015 pers. exposées	Sérieux
	Aire éolienne E1	0,10 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,01 pers.		
E6	Parcelles agricoles	0,39 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,0039 pers.	0,015 pers. exposées	Sérieux
	Aire éolienne E1	0,11 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,011 pers.		

Tableau 25 de la gravité de chute d'éléments

■ PROBABILITE

Peu d'éléments sont disponibles dans la littérature pour évaluer la fréquence des événements de chute de pales ou d'éléments d'éoliennes. Le retour d'expérience connu en France montre que ces événements ont une classe de probabilité « C » (2 chutes et 5 incendies pour 15 667 années d'expérience, soit 4.47×10^{-4} événement par éolienne et par an).

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 Septembre 2005 d'une probabilité « C » : « 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.

■ ACCEPTABILITE

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 renouvellement du parc éolien de Lanfains, la gravité associée et le niveau de risque :

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la zone de survol)			
Eolienne	Gravité	Niveau de risque	Acceptabilité
E1	Sérieux	Risque faible	Acceptable
E2	Sérieux	Risque faible	Acceptable
E3	Sérieux	Risque faible	Acceptable
E4	Sérieux	Risque faible	Acceptable
E5	Sérieux	Risque faible	Acceptable
E6	Sérieux	Risque faible	Acceptable

Tableau 26 du niveau de risque et de l'acceptabilité de chute d'éléments

Ainsi, pour le renouvellement du parc éolien de Lanfains, le phénomène de chute de pales ou d'éléments d'éoliennes constitue un *risque acceptable pour les personnes*.

H.3 - 4. Projection de pales ou de fragments de pales

▪ ZONE D'EFFET

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

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

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

- 1 300 m rapporté pour un accident à Hundhammerfjellet en Norvège le 20/01/2006
- 1 000 m rapporté pour un accident à Burgos en Espagne le 09/12/2000

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

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

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

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

▪ INTENSITE

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du renouvellement du parc éolien de Lanfains. d est le degré d'exposition, Z_i la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R_p la longueur de pale ($R_p = 40,15$ m) et LB la largeur de la base de la pale ($LB = 3,25$ m).

Il faut également noter que la projection peut concerner uniquement des fragments et non la pale entière.

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)			
Zone d'impact en m ² $Z_i = R_p \times LB/2$	Zone d'effet du phénomène étudié en m ² $Z_E = \pi \times 500^2$	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité de l'exposition
65 m ²	785 398 m ²	0,01% (< 1%)	Exposition modérée

Tableau 27 de l'intensité de projection de pale ou de fragment de pale

▪ GRAVITE

En fonction de cette intensité et des définitions issues du paragraphe VIII.1.3., il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection, dans la zone de 500 m autour de l'éolienne :

- Plus de 1 000 personnes exposées → « Désastreux »
- Entre 100 et 1 000 personnes exposées → « Catastrophique »
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Important »
- Moins de 10 personnes exposées → « Sérieux »
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré »

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

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)							
Eolienne	Occupation du sol		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)			Gravité	
	Nature	Quantité	Catégorie	Calcul	Détail		Total
E1	Parcelles agricoles	75,67 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,7567 pers.	3,02 pers. exposées	Sérieux
	Chemins vers E1, vers E2, CE96, CE95 et route VC5	1,74 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,174 pers.		
	Aires éolienne E1 et E2	0,25 ha			0,025 pers.		
	Jardin	0,03 ha			0,003 pers.		
	Stockage agricole	0,83 ha			0,083 pers.		
Chemin inscrit au PDIPR (CE96)	0,99 km	Randonnée	2 pers / 1 km	1,98 pers.			
E2	Parcelles agricoles	76,52 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,7652 pers.	3,04 pers. exposées	Sérieux
	Chemin vers E1, vers E22, CE95, CE96, CE97, CE94)	1,48 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,148 pers.		
	Aires éolienne E1, E2 et E3	0,38 ha			0,038 pers.		
	Jardin	0,01 ha			0,001 pers.		
	Stockage agricole	0,03 ha			0,003 pers.		
Chemin inscrit au PDIPR (CE96)	1,04 km	Randonnée	2 pers / 1 km	2,08 pers.			
E3	Parcelles agricoles	75,97 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,7597 pers.	4,67 pers. exposées	Sérieux
	Chemins vers E2, E4, CE94, CE95, CE96, CE97, CR) et RD7b,	2,15 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,215 pers.		
	Aires éolienne E2, E3 et E4	0,38 ha			0,038 pers.		
	Pylône	0,06 ha			0,006 pers.		
	RD7b	0,79 km	Route non structurante	1,68 pers./km	1,33 pers.		
Chemin inscrit au PDIPR (CE96 et CR)	1,16 km	Randonnée	2 pers / 1 km	2,32 pers.			

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)								
Eolienne	Occupation du sol		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)			Gravité		
	Nature	Quantité	Catégorie	Calcul	Détail			
E4	Parcelles agricoles	74,19 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,7419 pers.	5,18 pers. exposées	Sérieux	
	Bois	1,52 ha			0,0152 pers.			
	Chemins (CE95, vers E2, vers E4, vers E6, CE94, CR, CE50) et routes (RD7b et VC1)	2,13 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,213 pers.			
	Aires éolienne E3, E4, E5 et E6	0,51 ha			0,051 pers.			
	Pylône	0,19 ha			0,019 pers.			
	RD7b	1,14 km	Route non structurante	1,68 pers./km	1,9152 pers.			
	Chemin inscrit au PDIPR (CR + CE50)	1,11 km	Randonnée	2 pers / 1 km	2,22 pers.			
E5	Parcelles agricoles	74,15 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,7415 pers.	16,97 pers. exposées	Important	
	Bois	1,74 ha			0,0174 pers.			
	Chemins vers E4 et E6, CR, CE50) et routes	2,08 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,208 pers.			
	Aires éolienne E3, E4, E5 et E6	0,38 ha			0,038 pers.			
	Pylône	0,02 ha			0,002 pers.			
	Parking	0,167 ha	Terrains aménagés et potentiellement fréquentés	66 ;66 pers / 1 ha	11,152 pers.			
	RD7b	1,16 km	Route non structurante	1,68 pers./km	1,95 pers.			
Chemin inscrit au PDIPR (CR et CE50)	1,43 km	Randonnée	2 pers / 1 km	2,86 pers.				
E6	Parcelles agricoles	75,52 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,7552 pers.	4,95 pers. exposées	Sérieux	
	Bois	0,23 ha			0,0023 pers.			
	Chemins vers E4 et E6, et route RD7b, VC1	2,27 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,227 pers.			
	Aires éoliennes E4, E5 et E6	0,38 ha			0,038 pers.			
	Château d'eau	0,12 ha			0,012 pers.			
	RD7b	0,97 km	Route non structurante	1,68 pers./km	1,62 pers.			
	Chemin inscrit au PDIPR (CR et CE50)	1,15 km	Randonnée	2 pers / 1 km	2,30 pers.			

Tableau 28 de la gravité de projection de pale ou de fragment de pale

■ **PROBABILITE**

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

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

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C » (12 événements pour 15 667 années d'expérience, soit 7,66 x 10⁻⁴ événement par éolienne et par an).

Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 Septembre 2005 d'une probabilité « C » : « 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 ».

■ **ACCEPTABILITE**

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 1 000 dans la zone d'effet.

Le tableau suivant rappelle, pour chaque aérogénérateur du renouvellement du parc éolien de Lanfains, 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	Acceptabilité
E1	Sérieux	Risque très faible	Acceptable
E2	Sérieux	Risque très faible	Acceptable
E3	Sérieux	Risque très faible	Acceptable
E4	Sérieux	Risque très faible	Acceptable
E5	Important	Risque faible	Acceptable
E6	Sérieux	Risque très faible	Acceptable

Tableau 29 du niveau de risque et de l'acceptabilité de projection de pale ou de fragment de pale

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

H.3 - 5. Projection de glace

■ ZONE D'EFFET

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

En ce qui concerne la distance maximale atteinte par ce type de projectiles, il n'existe pas d'information dans l'accidentologie. La référence [15] 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 :

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

$$= 1.5 \times (50 + 80,3) = 195,45 \text{ m dans le cas du renouvellement du parc éolien de Lanfains}$$

Cette distance de projection de glace 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.

■ INTENSITE

Pour le phénomène de projection de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace (cas majorant de 1 m²) et la superficie de la zone d'effet du phénomène.

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du renouvellement du parc éolien de Lanfains. D est le degré d'exposition, Z_i la zone d'impact, Z_e la zone d'effet, R est le rayon du rotor (R = 40,15 m), H la hauteur au moyeu (H= 50 m), et SG la surface majorante d'un morceau de glace.

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de RPG = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)			
Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité de l'exposition
Z _i = 1	Z _e = π x (1,5*(H+2*R)) ²	d = Z _i / Z _e	
1 m ²	120 011 m ²	0,0008 % (< 1 %)	Intensité modérée

Tableau 30 de l'intensité de projection de morceaux de glace

■ GRAVITE

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

- Plus de 1 000 personnes exposées → « Désastreux »
- Entre 100 et 1 000 personnes exposées → « Catastrophique »
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Important »
- Moins de 10 personnes exposées → « Sérieux »
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré »

Il a été observé dans la littérature disponible [17] qu'en cas de projection, les morceaux de glace se cassent en petits fragments dès qu'ils se détachent de la pale. *La possibilité de l'impact de glace sur des personnes abritées par un bâtiment ou un véhicule est donc négligeable et ces personnes ne doivent pas être comptabilisées pour le calcul de la gravité. Ainsi les personnes circulant dans leur véhicule sur les routes ou dans un poste de livraison voisin ne sont pas prises en compte.* Aussi, afin de prendre en compte les personnes circulant sans être protégées par des véhicules (cyclistes, piétons...), nous comptabiliserons les surfaces occupées par les routes structurantes au même titre que celles occupées par les voies non structurantes telles les voies communales ou chemins d'accès agricole.

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 :

Eolienne	Projection de morceaux de glace (dans un rayon de RPG = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)						Gravité
	Occupation du sol		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)			Total	
	Nature	Quantité	Catégorie	Calcul	Détail		
E1	Parcelles agricoles	11,66 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,1166 pers.	0,15 pers. exposées	Modéré
	Chemins et routes	0,15 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,015 pers.		
	Aire éolienne E1	0,13 ha			0,013 pers.		
E2	Parcelles agricoles	11,46 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,1146 pers.	0,86 pers. exposées	Modéré
	Chemins et routes	0,36 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,036 pers.		
	Aire éolienne E2	0,13 ha			0,013 pers.		
	Chemin inscrit au PDIPR	0,35 km	Randonnée	2 pers / 1 km	0,70 pers.		
E3	Parcelles agricoles	11,53 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,1153 pers.	0,16 pers. exposées	Modéré
	Chemins et routes	0,29 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,029 pers.		
	Aire éolienne E3	0,13 ha			0,013 pers.		
E4	Parcelles agricoles	11,23 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,1123 pers.	0,65 pers. exposées	Modéré
	Chemins et routes	0,59 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,059 pers.		
	Aire éolienne E4	0,13 ha			0,013 pers.		
	Chemin inscrit au PDIPR	0,23 km	Randonnée	2 pers / 1 km	0,46 pers.		
E5	Parcelles agricoles	11,35 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,1135 pers.	0,99 pers. exposées	Modéré
	Chemins et routes	0,47 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,047 pers.		
	Aire éolienne E5	0,13 ha			0,013 pers.		
	Chemin inscrit au PDIPR	0,41 km	Randonnée	2 pers / 1 km	0,82 pers.		
E6	Parcelles agricoles	11,63 ha	Terrains non aménagés et très peu fréquentés	1 pers / 100 ha	0,1163 pers.	0,82 pers. exposées	Modéré
	Chemins et routes communales	0,18 ha	Terrains aménagés mais peu fréquentés	1 pers / 10 ha	0,018 pers.		
	Aire éolienne E6	0,13 ha			0,013 pers.		
	Chemin inscrit au PDIPR	0,337 km	Randonnée	2 pers / 1 km	0,674 pers.		

Tableau 31 de la gravité de projection de morceaux de glace

■ PROBABILITE

Au regard de la difficulté d'établir un retour d'expérience précis sur ce type d'événement et considérant les 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.

ACCEPTABILITE

Avec une classe de probabilité de « B », 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 renouvellement du parc éolien de Lanfains, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable) :

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de RPG = 1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne)				
Eolienne	Gravité	Niveau de risque	Système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et procédure de redémarrage	Acceptabilité
E1	Modéré	Risque très faible	Oui	Acceptable
E2	Modéré	Risque très faible	Oui	Acceptable
E3	Modéré	Risque très faible	Oui	Acceptable
E4	Modéré	Risque très faible	Oui	Acceptable
E5	Modéré	Risque très faible	Oui	Acceptable
E6	Modéré	Risque très faible	Oui	Acceptable

Tableau 32 du niveau de risque et de l'acceptabilité de projection de morceaux de glace

Ainsi, pour le renouvellement du parc éolien de Lanfains, le phénomène de projection de glace constitue un **risque acceptable pour les personnes**.

Bien que la température moyenne annuelle basse soit supérieure à 0°C, un système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et procédure de redémarrage est engagé pour toutes les éoliennes du renouvellement du parc éolien de Lanfains.

H.4. SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES

H.4 - 1. Tableaux de synthèse des scénarios étudiés

Le tableau suivant récapitule, pour chaque événement redouté central retenu, les paramètres de risques de chaque éolienne : la zone d'effet, la cinétique, l'intensité, la probabilité et la gravité.

Les éoliennes du renouvellement du parc éolien de Lanfains ayant toutes le même profil de risque hormis l'estimation des enjeux humains dans chaque zone d'effet, un même et seul tableau est présenté ci-après.




Scénario	Zone d'effet (rayon)	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité	Niveau de risque
Effondrement de l'éolienne	Ruine (90 m)	Rapide	Exposition forte	D	Sérieux	Risque très faible pour toutes les éoliennes
Chute de glace	Zone de survol (40,15 m)	Rapide	Exposition modérée	A	Modéré	Risque faible pour toutes les éoliennes
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol (40,15 m)	Rapide	Exposition forte	C	Sérieux	Risque faible pour toutes les éoliennes
Projection de pale ou de fragment de pale	500 m autour de l'éolienne (500 m)	Rapide	Exposition modérée	D	Sérieux	Risque très faible pour les éoliennes E1, E2, E3, E4 et E6
					Important	Risque faible pour l'éolienne E5
Projection de glace	1,5 x (H + 2R) m autour de l'éolienne (195,45 m)	Rapide	Exposition modérée	B	Modérée	Risque très faible pour toutes les éoliennes

Tableau 33 de synthèse des scénarios étudiés

H.4 - 2. Synthèse de l'acceptabilité des risques

Enfin, la dernière étape de l'étude détaillée des risques consiste à rappeler l'acceptabilité des accidents potentiels pour chacun des phénomènes dangereux étudiés. Selon la matrice de criticité ci-dessous, adaptée de la circulaire du 29 septembre 2005 reprise dans la circulaire du 10 mai 2010, l'étude peut conclure à l'acceptabilité du risque généré par un parc si le risque associé à chaque événement redouté central étudié, quelle que soit l'éolienne considérée, est acceptable.

Légende de la matrice

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

GRAVITÉ des Conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important		Projection de pale ou de fragment de pale pour l'éolienne E5			
Sérieux		Projection de pale ou de fragment de pale pour les éoliennes E1, E2, E3, E4 et E6 Effondrement de l'éolienne	Chute d'élément de l'éolienne		
Modéré				Projection de glace	Chute de glace

Tableau 34 de définition des niveaux de risques

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice
- seuls trois types d'accidents figurent en case jaune.

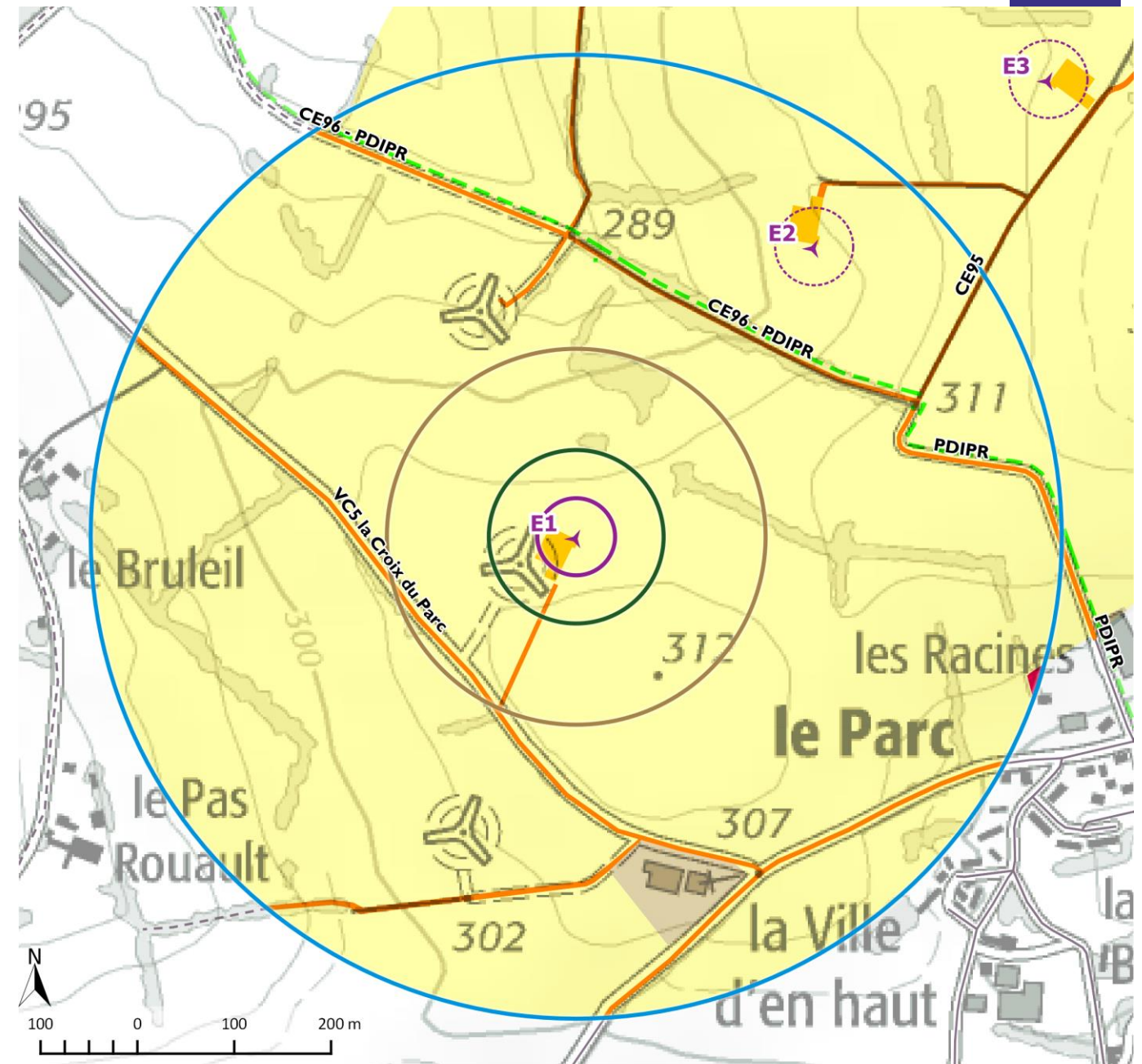
Pour tous les scénarios étudiés, il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie G.6 sont mises en place. En outre, conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, un panneau informant le public des risques (et notamment des risques de chute de glace) sera installé sur le chemin d'accès de chaque aérogénérateur. Cette mesure permettra de réduire les risques pour les personnes potentiellement présentes sur le site lors des épisodes de grand froid.

Bien que la température moyenne annuelle minimale soit supérieure à 0°C, un système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace avec procédure manuelle de redémarrage est mis en place pour toutes les éoliennes du renouvellement du parc éolien de Lanfains.

H.4 - 3. Cartographie des risques

Les cartes de synthèse des risques sont présentées ci-après pour chaque aérogénérateur. Elle fait apparaître, pour les scénarios détaillés dans le tableau de synthèse :

- les enjeux étudiés dans l'étude détaillée des risques,
- l'intensité des différents phénomènes dangereux dans les zones d'effet de chaque phénomène dangereux,
- le nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) exposées par zone d'effet.



✦ Projet
ZONES ETUDE
 Chute de Glace ou d'éléments (zone de survol)
 Effondrement de l'éolienne (hauteur totale de l'éolienne)

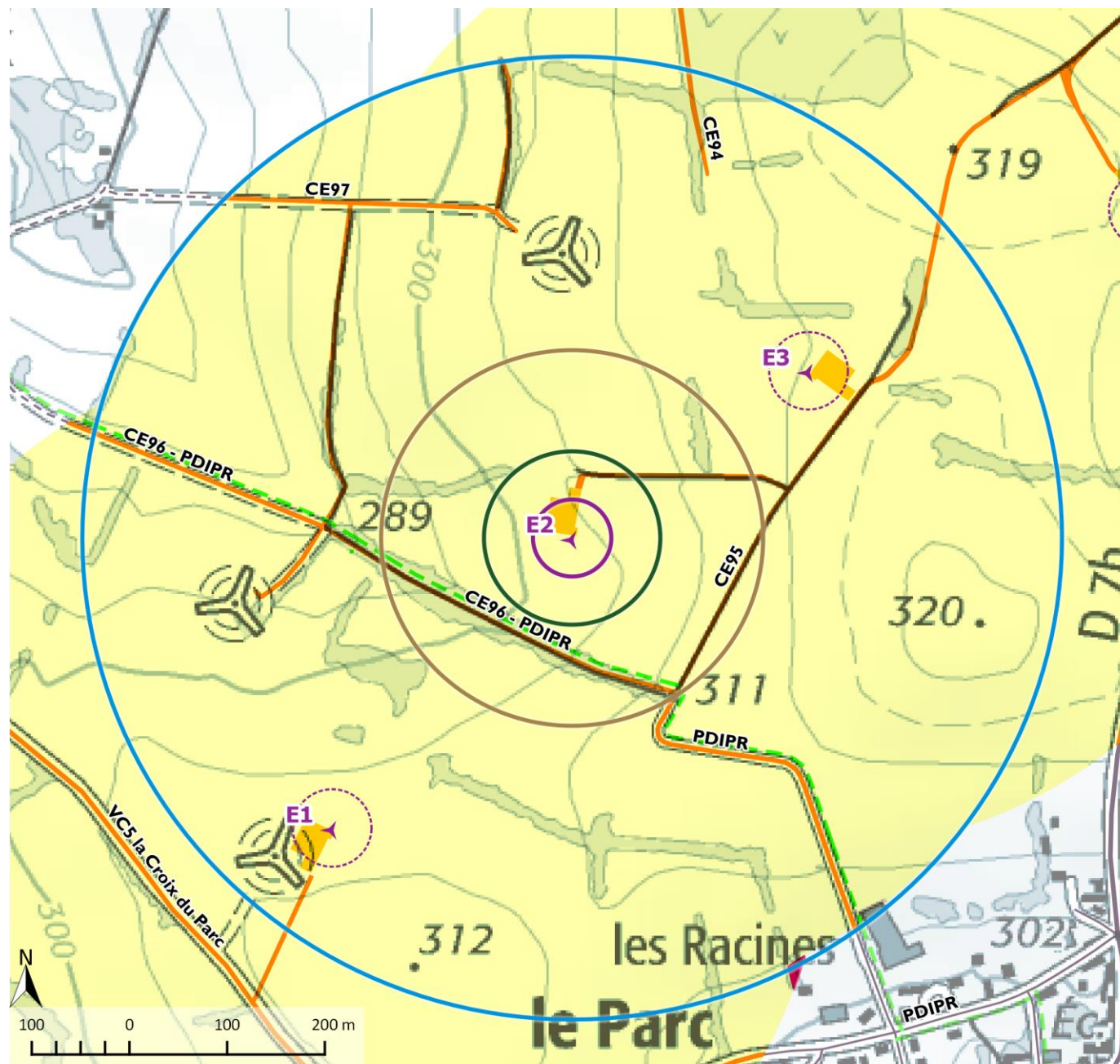
 Projection de morceaux de glace (1,5 *(H+2R))
 Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m)

ENJEUX
 Terrains non aménagés, très peu fréquentés
 Culture, prairie
 Terrains aménagés, peu fréquentés

 Route non structurante, chemin
 Aire de levage de l'éolienne
 Terrains aménagés, fréquentés
 Jardin
 Stockage agricole
 Chemin de promenade, PDIPR

Evènement	Effondrement	Chute de glace	Chute d'élément	Projection de tout ou partie de pale	Projection de glace
Zone d'effet	Ruines : 90 m	Survol : 40,15 m	Survol : 40,15 m	500 m	195,45 m
Cinétique	Rapide	Rapide	Rapide	Rapide	Rapide
Probabilité	type "D"	type "A"	type "C"	type "D"	type "B"
Intensité de l'exposition	forte	modérée	forte	modérée	modérée
Nombre de personnes exposées	0,04	0,015	0,015	3,02	0,15
Niveau de gravité	Sérieux	Modéré	Sérieux	Sérieux	Modéré
Niveau de risque	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable

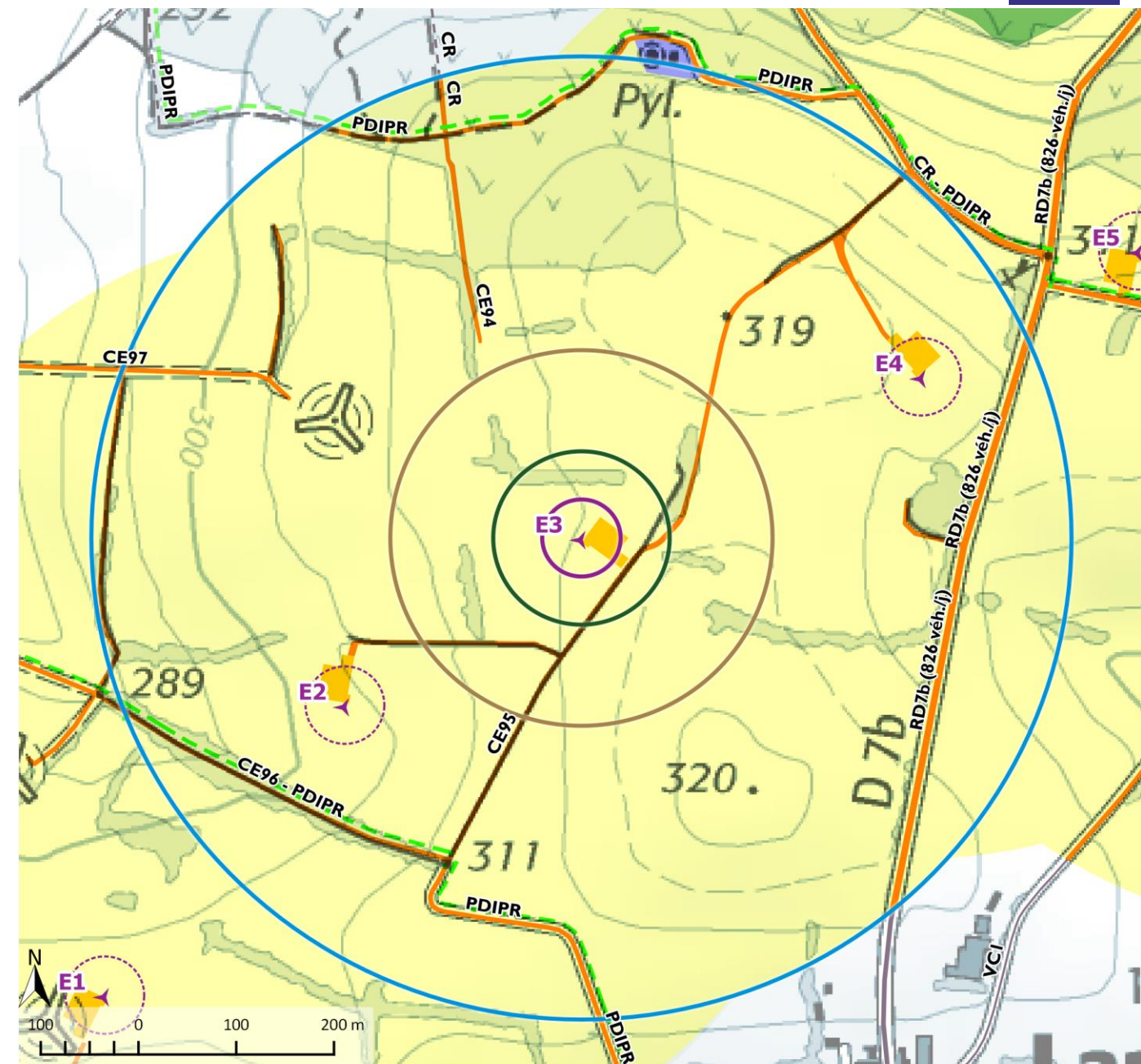
Carte 17 de synthèse des risques de l'éolienne E1



- Projet
- ZONES ETUDE
 - Chute de Glace ou d'éléments (zone de survol)
 - Effondrement de l'éolienne (hauteur totale de l'éolienne)
- ENJEUX
 - Terrains non aménagés, très peu fréquentés
 - Culture, prairie
 - Terrains aménagés, peu fréquentés
- Projection de morceaux de glace (1,5*(H+2R))
- Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m)
- Route non structurante, chemin
- Aire de lavage de l'éolienne
- Terrains aménagés, fréquentés
- Jardin
- Stockage agricole
- Chemin de promenade, PDIPR

Evènement	Effondrement	Chute de glace	Chute d'élément	Projection de tout ou partie de pale	Projection de glace
Zone d'effet	Ruines : 90 m	Survol : 40,15 m	Survol : 40,15 m	500 m	195,45 m
Cinétique	Rapide	Rapide	Rapide	Rapide	Rapide
Probabilité	type "D"	type "A"	type "C"	type "D"	type "B"
Intensité de l'exposition	forte	modérée	forte	modérée	modérée
Nombre de personnes exposées	0,04	0,015	0,015	3,04	0,86
Niveau de gravité	Sérieux	Modéré	Sérieux	Sérieux	Modéré
Niveau de risque	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable

Carte 18 de synthèse des risques de l'éolienne E2



- Projet
- ZONES ETUDE
 - Chute de Glace ou d'éléments (zone de survol)
 - Effondrement de l'éolienne (hauteur totale de l'éolienne)
 - Projection de morceaux de glace (1,5*(H+2R))
- ENJEUX
 - Terrains non aménagés, très peu fréquentés
 - Culture, prairie
 - Bois, bosquet
 - Terrains aménagés, peu fréquentés
- Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m)
- Route non structurante, chemin
- Aire de lavage de l'éolienne
- Pylone, antenne
- Terrains aménagés, fréquentés
- Stockage agricole
- Chemin de promenade, PDIPR

Evènement	Effondrement	Chute de glace	Chute d'élément	Projection de tout ou partie de pale	Projection de glace
Zone d'effet	Ruines : 90 m	Survol : 40,15 m	Survol : 40,15 m	500 m	195,45 m
Cinétique	Rapide	Rapide	Rapide	Rapide	Rapide
Probabilité	type "D"	type "A"	type "C"	type "D"	type "B"
Intensité de l'exposition	forte	modérée	forte	modérée	modérée
Nombre de personnes exposées	0,04	0,015	0,015	4,67	0,16
Niveau de gravité	Sérieux	Modéré	Sérieux	Sérieux	Modéré
Niveau de risque	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable

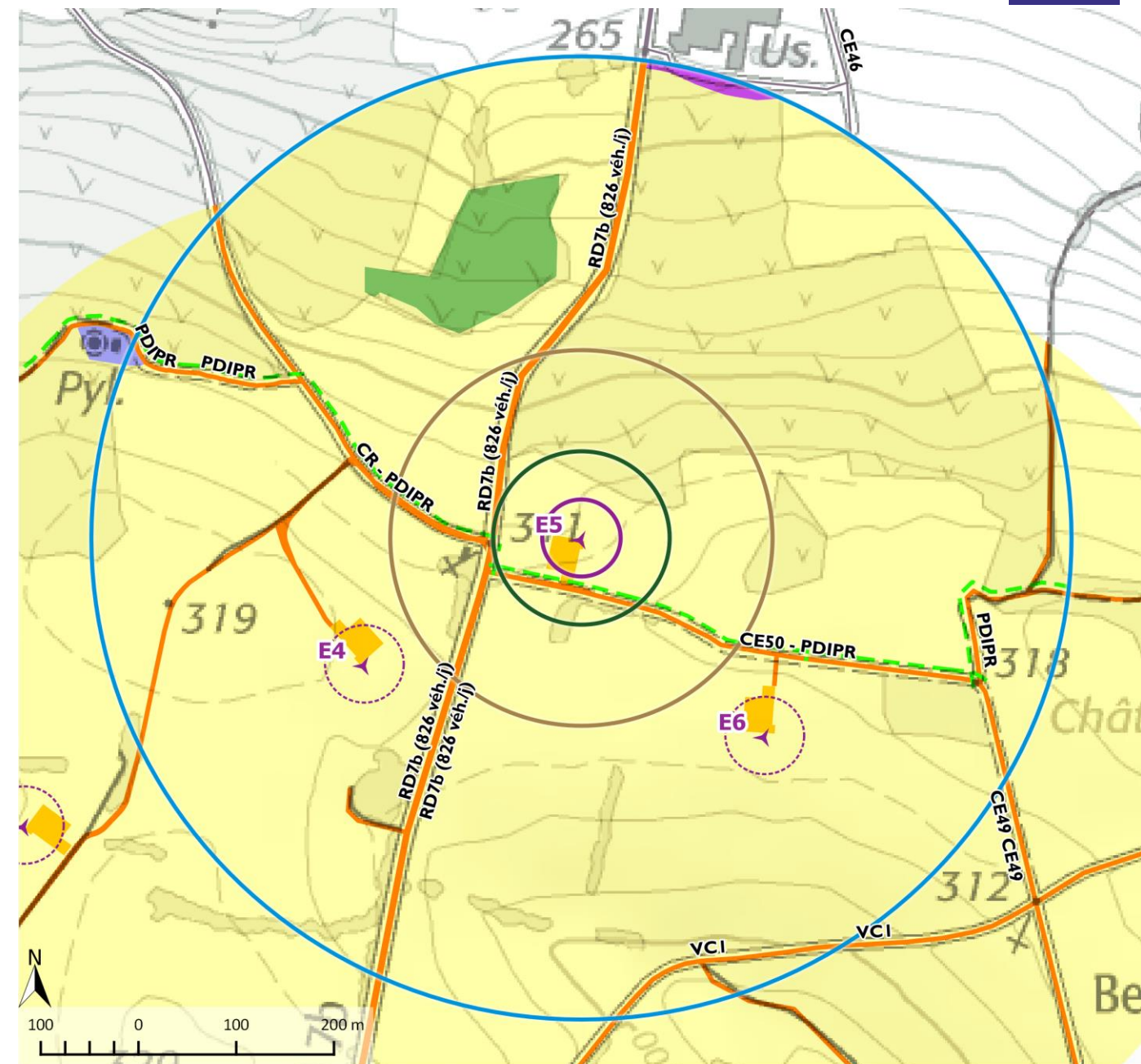
Carte 19 de synthèse des risques de l'éolienne E3



- ◀ Projet
 - Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m)
 - Route non structurante, chemin
 - Aire de levage de l'éolienne
 - Pylone, antenne
 - Terrains non aménagés, très peu fréquentés
 - Culture, prairie
 - Bois, bosquet
 - Terrains aménagés, peu fréquentés
 - Chemin de promenade, PDIPR
- ZONES ETUDE**
- Chute de Glace ou d'éléments (zone de survol)
 - Effondrement de l'éolienne (hauteur totale de l'éolienne)
 - Projection de morceaux de glace ($1,5 * (H+2R)$)

Evènement	Effondrement	Chute de glace	Chute d'élément	Projection de tout ou partie de pale	Projection de glace
Zone d'effet	Ruines : 90 m	Survol : 40,15 m	Survol : 40,15 m	500 m	195,45 m
Cinétique	Rapide	Rapide	Rapide	Rapide	Rapide
Probabilité	type "D"	type "A"	type "C"	type "D"	type "B"
Intensité de l'exposition	forte	modérée	forte	modérée	modérée
Nombre de personnes exposées	0,04	0,015	0,015	5,18	0,65
Niveau de gravité	Sérieux	Modéré	Sérieux	Sérieux	Modéré
Niveau de risque	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable

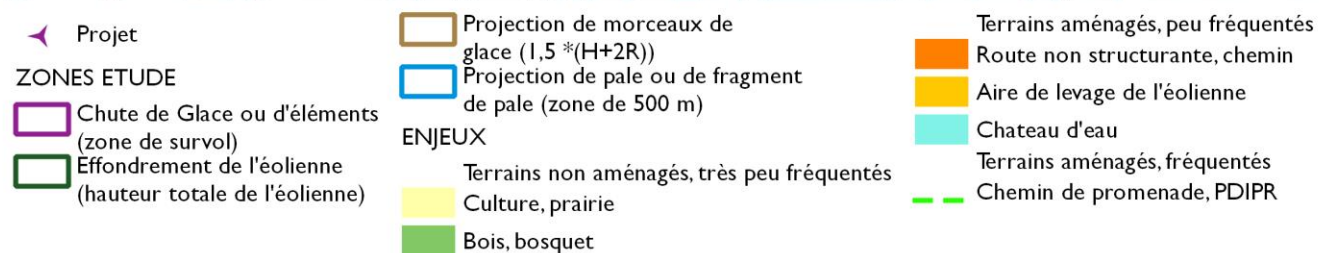
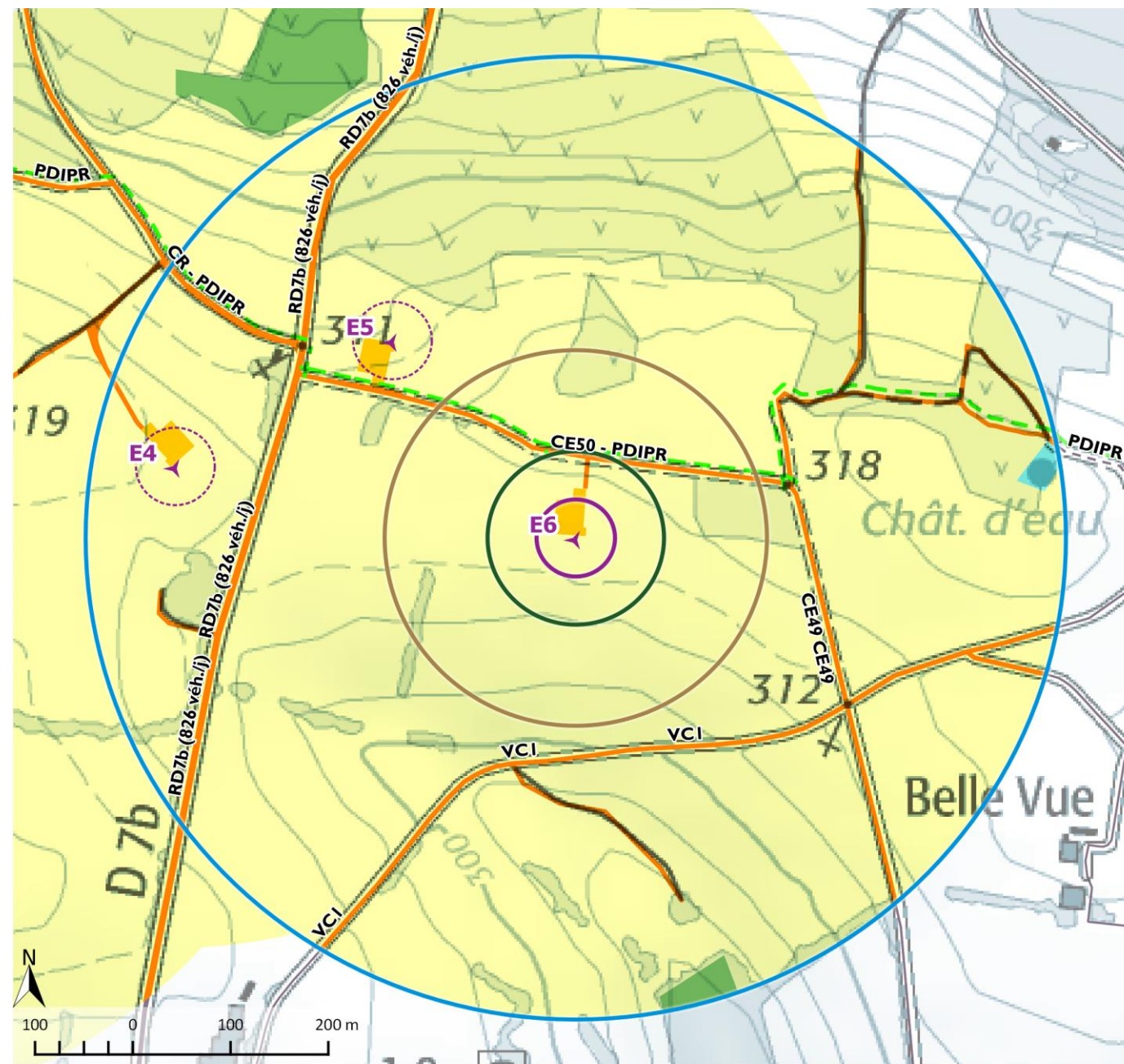
Carte 20 de synthèse des risques de l'éolienne E4



- ◀ Projet
 - Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m)
 - Route non structurante, chemin
 - Aire de levage de l'éolienne
 - Pylone, antenne
 - Terrains non aménagés, très peu fréquentés
 - Culture, prairie
 - Bois, bosquet
 - Terrains aménagés, peu fréquentés
 - Chemin de promenade, PDIPR
- ZONES ETUDE**
- Chute de Glace ou d'éléments (zone de survol)
 - Effondrement de l'éolienne (hauteur totale de l'éolienne)
 - Projection de morceaux de glace ($1,5 * (H+2R)$)

Evènement	Effondrement	Chute de glace	Chute d'élément	Projection de tout ou partie de pale	Projection de glace
Zone d'effet	Ruines : 90 m	Survol : 40,15 m	Survol : 40,15 m	500 m	195,45 m
Cinétique	Rapide	Rapide	Rapide	Rapide	Rapide
Probabilité	type "D"	type "A"	type "C"	type "D"	type "B"
Intensité de l'exposition	forte	modérée	forte	modérée	modérée
Nombre de personnes exposées	0,36	0,015	0,015	16,97	0,99
Niveau de gravité	Sérieux	Modéré	Sérieux	Important	Modéré
Niveau de risque	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable

Carte 21 de synthèse des risques de l'éolienne E5



Evènement	Effondrement	Chute de glace	Chute d'élément	Projection de tout ou partie de pale	Projection de glace
Zone d'effet	Ruines : 90 m	Survol : 40,15 m	Survol : 40,15 m	500 m	195,45 m
Cinétique	Rapide	Rapide	Rapide	Rapide	Rapide
Probabilité	type "D"	type "A"	type "C"	type "D"	type "B"
Intensité de l'exposition	forte	modérée	forte	modérée	modérée
Nombre de personnes exposées	0,04	0,015	0,015	4,95	0,82
Niveau de gravité	Sérieux	Modéré	Sérieux	Sérieux	Modéré
Niveau de risque	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable

Carte 22 de synthèse des risques de l'éolienne E6

I. CONCLUSION

L'étude de dangers permet de conclure à l'acceptabilité du risque généré par le renouvellement du parc éolien de Lanfains, car le risque associé à chaque événement redouté central étudié, quelle que soit l'éolienne considérée, est acceptable ; et ce malgré une approche probabiliste très conservatrice.

En effet, l'analyse détaillée des risques s'est portée sur un nombre réduit de scénarios, compte tenu d'une démarche préventive et proportionnée aux enjeux du site et de l'installation considérée.

Cette démarche tient compte de :

- l'environnement humain, naturel et matériel, qui ici ne présente que des enjeux réduits à l'utilisation des abords de chaque éolienne à des usages agricoles ou forestiers (terrains non aménagés et peu fréquentés), d'autres espaces peu fréquentés (stockage agricole, jardin, château d'eau, pylône électrique), d'une frange du parking d'un abattoir et des voiries secondaires (routes dont la fréquentation est inférieure à 2000 véh./jour pour une desserte locale, voire des chemins ruraux ou d'exploitation agricole), et les éoliennes du présent projet ;
- la nature de l'installation et de la réduction des potentiels de dangers à la source (évitement des secteurs à enjeux) ;
- la mise en place de mesures de sécurité pour répondre aux différents risques examinés (dispositions constructives et d'exploitation de maintenance et de risques notamment, en conformité avec la réglementation ICPE afférente et notamment l'arrêté du 26 août 2011).

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

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

Il ressort de cette étude de dangers que les mesures organisationnelles et les moyens de sécurité mis en œuvre dans le cadre du projet de renouvellement du parc éolien de Lanfains, permettent de maintenir le risque, pour ces 5 phénomènes étudiés, à un niveau acceptable et ce pour chacune des 6 éoliennes, donc pour l'ensemble du parc.

L'étude de dangers décrit aussi les moyens de prévention et les moyens de protection présents sur le site afin soit de réduire la vraisemblance d'occurrence, soit de réduire ou de maîtriser les conséquences d'éventuels accidents. En effet, il est important de noter qu'en cas d'accident (exemple : incendie) ne pouvant être maîtrisé, des moyens de secours et d'alerte spécifiques seraient déclenchés.

J. ANNEXES

J.1. CADRE METHODOLOGIQUE

La présente étude de dangers est basée sur le *guide technique pour l'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre de parc éolien, dans sa version de mai 2012*.

En effet, ce guide technique a été réalisé par un groupe de travail constitué de l'INERIS et de professionnels du Syndicat des énergies renouvelables : porteurs de projets, exploitants de parcs éoliens et constructeurs d'éoliennes. L'INERIS a validé la méthodologie suivie dans le présent guide, au regard de la réglementation en vigueur et des pratiques actuelles en matière d'étude de dangers dans les autres installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). 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.

J.1 - 1. Contexte de l'éolien

A la suite des accords du protocole de Kyoto et conformément à la directive européenne 2001/77/CE relative à la promotion de l'électricité produite à partir de sources d'énergies renouvelables, la France s'est engagée à augmenter la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité au niveau national.

En particulier, la loi n°2005-781 du 13 juillet 2005 fixant les orientations de la politique énergétique (loi POPE) a donné un cap à suivre pour les décennies suivantes. Cette loi s'était construite autour de quatre grands objectifs à long terme :

- l'indépendance énergétique du pays ;
- l'assurance de prix compétitifs de l'énergie ;
- la garantie de la cohésion sociale et territoriale par l'accès de tous à l'énergie ;
- la préservation de la santé, notamment en luttant contre l'aggravation de l'effet de serre.

Les objectifs par filière ont été déclinés dans des arrêtés de programmation pluriannuelle des investissements de production d'électricité (arrêtés PPI). L'éolien représente une des technologies les plus prometteuses pour atteindre les objectifs fixés par la France. Ainsi, l'arrêté du 15 décembre 2009 a fixé des objectifs ambitieux pour l'éolien :

- 10 500 MW terrestres et 1 000 MW en mer en 2012,
- 19 000 MW terrestres et 6 000 MW en mer en 2020.

Dans le cadre du Grenelle de l'Environnement, les engagements de la France en matière de production d'énergies renouvelables ont été confirmés, précisés et élargis. La loi n°2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'Environnement (loi Grenelle I) prévoit que la France porte la part des énergies renouvelables à au moins 23 % de sa consommation d'énergie finale d'ici 2020.

La publication de ces objectifs, dans un contexte mondial favorable au développement des énergies renouvelables, a donc permis un développement technologique spectaculaire. Alors que, dans les années 1980, une éolienne permettait d'alimenter environ 10 personnes en électricité, une éolienne de nouvelle génération fournit en moyenne de l'électricité pour 4 000 (éolienne de 2 MW) à 6 000 personnes (éolienne de 3 MW) hors chauffage (source : SER-FEE, ADEME).

Si les éoliennes ont évolué en taille et en puissance dans le monde entier, leur technologie actuelle est également sensiblement différente des premières éoliennes installées. Les technologies sont aujourd'hui plus sûres et plus fiables grâce à de nombreuses évolutions technologiques telles que :

- les freins manuels (sur le moyeu) de rotor qui ont été remplacés par des systèmes de régulation aérodynamiques (pitch), évitant l'emballement et assurant des vitesses de rotation nominales constantes ;
- l'évolution des matériaux des pales vers des fibres composites ;
- le développement de nouveaux systèmes de communication par fibre optique, satellites, etc. qui ont permis d'améliorer la supervision des sites et la prise de commande à distance ;
- l'installation de nouveaux systèmes de sécurité (détection de glace, vibrations, arrêts automatiques, etc.).

Ainsi, les premiers incidents qui ont été rencontrés (bris de pales, incendies, effondrement, etc.) ont amené les constructeurs à améliorer sans cesse leurs aérogénérateurs. Grâce à ces évolutions, et le retour d'expérience le montre bien, les incidents sont aujourd'hui très rares et concernent en majorité des éoliennes d'ancienne génération.

Il convient aussi de noter qu'à ce jour, en France et dans le monde, aucun accident n'a entraîné la mort d'une personne tierce (promeneurs, riverains) du fait de l'effondrement d'éoliennes, de bris de pales ou de projections de fragment de pales.

La loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (loi Grenelle II) réaffirme tout d'abord la nécessité du développement de la filière éolienne pour atteindre les objectifs nationaux fixés dans les PPI. En particulier, l'article 90 fixe l'objectif d'installer au moins 500 aérogénérateurs par an en France.

Cette loi prévoit d'autre part de soumettre les éoliennes au régime d'autorisation au titre de la réglementation des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE). Conformément à cette nouvelle réglementation, les exploitants sont notamment amenés à formaliser leur savoir-faire en matière de maîtrise des risques dans une étude de danger.

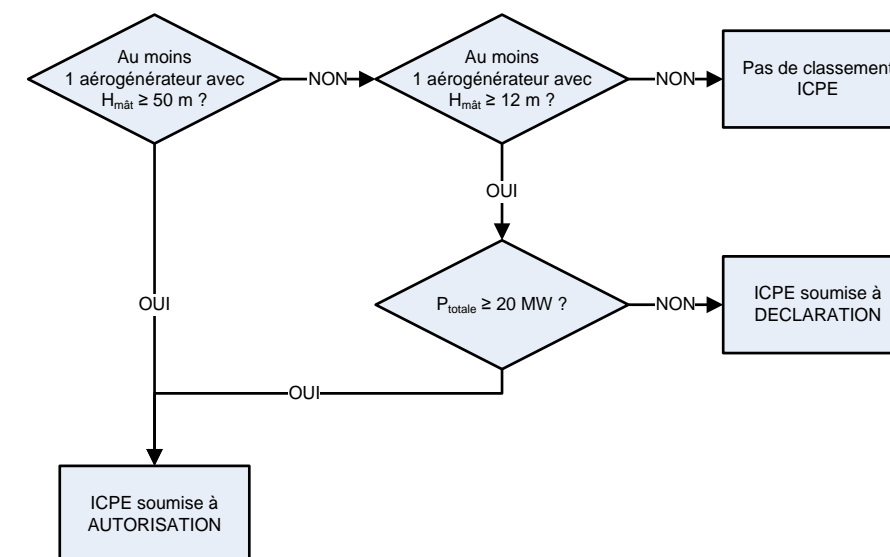
J.1 - 2. Application du régime des installations classées aux parcs éoliens

En application de la loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement, dite loi Grenelle II, les éoliennes sont désormais soumises au régime des installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE).

En effet, l'article 90 de ladite loi précise que « les installations terrestres de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent constituant des unités de production telles que définies au 3° de l'article 10 de la loi n°2000-108 du 10 février 2000 relative à la modernisation et au développement du service public de l'électricité, et dont la hauteur des mâts dépasse 50 mètres sont soumises à autorisation au titre de l'article L. 511-2, au plus tard un an à compter de la date de publication de la loi n°2010-788 du 12 juillet 2010 précitée. »

Le décret n°2011-984 du 23 août 2011, modifiant l'article R. 511-9 du Code de l'environnement, crée la rubrique 2980 pour les installations de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs. Il prévoit deux régimes d'installations classées pour les parcs éoliens terrestres :

- Le régime d'**autorisation** pour les installations comprenant au moins une éolienne dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m et pour les installations comprenant uniquement des éoliennes dont le mât a une hauteur comprise entre 12 et 50 m et dont la puissance totale est supérieure ou égale à 20 MW
- Le régime de **déclaration** pour les installations comprenant uniquement des éoliennes dont le mât a une hauteur comprise entre 12 et 50 m et dont la puissance totale est inférieure à 20 MW



La réglementation prévoit que, dans le cadre d'une demande d'autorisation d'exploiter, l'exploitant doit réaliser une étude de dangers.

Enfin, 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 prévoit un certain nombre de dispositions par rapport à l'implantation, la construction,

l'exploitation et la prévention des risques. Ces prescriptions nationales sont applicables à tous les nouveaux parcs éoliens et, pour partie, aux installations existantes. Elles devront être prises en compte dans le cadre de l'étude de dangers.

J.1 - 3. Réglementation relative à l'étude de dangers

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.

▪ ARTICLE L. 512-1 DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT :

Sont soumises à autorisation préfectorale les installations qui présentent de graves dangers ou inconvénients pour les intérêts visés à l'article L. 511-1.

L'autorisation ne peut être accordée que si ces *dangers* ou inconvénients peuvent être prévenus par des mesures que spécifie l'arrêté préfectoral.

Le demandeur fournit une étude de dangers qui précise les risques auxquels l'installation peut exposer, directement ou indirectement, les intérêts visés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation.

Le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation. En tant que de besoin, cette étude donne lieu à une analyse de risques qui prend en compte la probabilité d'occurrence, la cinétique et la gravité des accidents potentiels selon une méthodologie qu'elle explicite.

Elle définit et justifie les mesures propres à réduire la probabilité et les effets de ces accidents.

La délivrance de l'autorisation, pour ces installations, peut être subordonnée notamment à leur éloignement des habitations, immeubles habituellement occupés par des tiers, établissements recevant du public, cours d'eau, voies de communication, captages d'eau, ou des zones destinées à l'habitation par des documents d'urbanisme opposables aux tiers. Elle prend en compte les capacités techniques et financières dont dispose le demandeur, à même de lui permettre de conduire son projet dans le respect des intérêts visés à l'article L. 511-1 et d'être en mesure de satisfaire aux obligations de l'article L. 512-6-1 lors de la cessation d'activité.

Les intérêts visés à l'article L. 511-1 sont la commodité du voisinage, la santé, la sécurité, la salubrité publiques, l'agriculture, la protection de la nature, de l'environnement et des paysages, l'utilisation rationnelle de l'énergie, la conservation des sites et des monuments ainsi que des éléments du patrimoine archéologique. Cependant, il convient de noter que l'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation [10] 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 s'intéressera prioritairement aux dommages sur les personnes. Pour les parcs éoliens, les atteintes à l'environnement (notamment le paysage), 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 donc pour objectif de **démontrer la maîtrise du risque par l'exploitant**. Elle comporte une analyse des risques qui présente les différents scénarios d'accidents majeurs susceptibles d'intervenir. Ces scénarios sont caractérisés en fonction de leur probabilité d'occurrence, de leur cinétique, de leur intensité et de la gravité des accidents potentiels. Elle justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.

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

▪ ARTICLE R. 512-9 DU CODE DE L'ENVIRONNEMENT :

I. - L'étude de dangers mentionnée à l'article R. 512-6 justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.

Le 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 la vulnérabilité des intérêts mentionnés aux articles L. 211-1 et L. 511-1.

II. - Cette étude précise, notamment, la nature et l'organisation des moyens de secours dont le demandeur dispose ou dont il s'est assuré le concours en vue de combattre les effets d'un éventuel sinistre. Dans le cas des installations figurant sur la liste prévue à l'article L. 515-8³, le demandeur doit fournir les éléments indispensables pour l'élaboration par les autorités publiques d'un plan particulier d'intervention.

L'étude comporte, notamment, un résumé non technique explicitant la probabilité, la cinétique et les zones d'effets des accidents potentiels, ainsi qu'une cartographie des zones de risques significatifs.

Le ministre chargé des installations classées peut préciser les critères techniques et méthodologiques à prendre en compte pour l'établissement des études de dangers, par arrêté pris dans les formes prévues à l'article L. 512-5. Pour certaines catégories d'installations impliquant l'utilisation, la fabrication ou le stockage de substances dangereuses, le ministre chargé des installations classées peut préciser, par arrêté pris sur le fondement de l'article L. 512-5, le contenu de l'étude de dangers portant, notamment, sur les mesures d'organisation et de gestion propres à réduire la probabilité et les effets d'un accident majeur.

III. - Dans le cas des installations figurant sur la liste prévue à l'article L. 515-8, l'étude de dangers est réexaminée et, si nécessaire, mise à jour au moins tous les cinq ans, sans préjudice de l'application des dispositions de l'article R. 512-31. Cette étude, mise à jour, est transmise au préfet.

Enfin, d'autres textes législatifs et réglementaires, concernant les installations classées soumises à autorisation, s'appliquent aux études de dangers, notamment en ce qui concerne les objectifs et la méthodologie à mettre en œuvre :

- **Loi n°2003-699 du 30 juillet 2003** relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages
- **Décret n°2005-1170 du 13 septembre 2005** modifiant le décret n°77-1133 du 21 septembre 1977 pris pour application de la loi n°76-663 du 19 juillet 1976 relative aux installations classées pour la protection de l'environnement
- **Arrêté du 10 mai 2000** relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation
- **Arrêté du 29 septembre 2005** modifiant l'arrêté du 10 mai 2000 relatif à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation
- **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.

³ Les installations soumises à la rubrique 2980 des installations classées (parcs éoliens) ne font pas partie de cette liste.

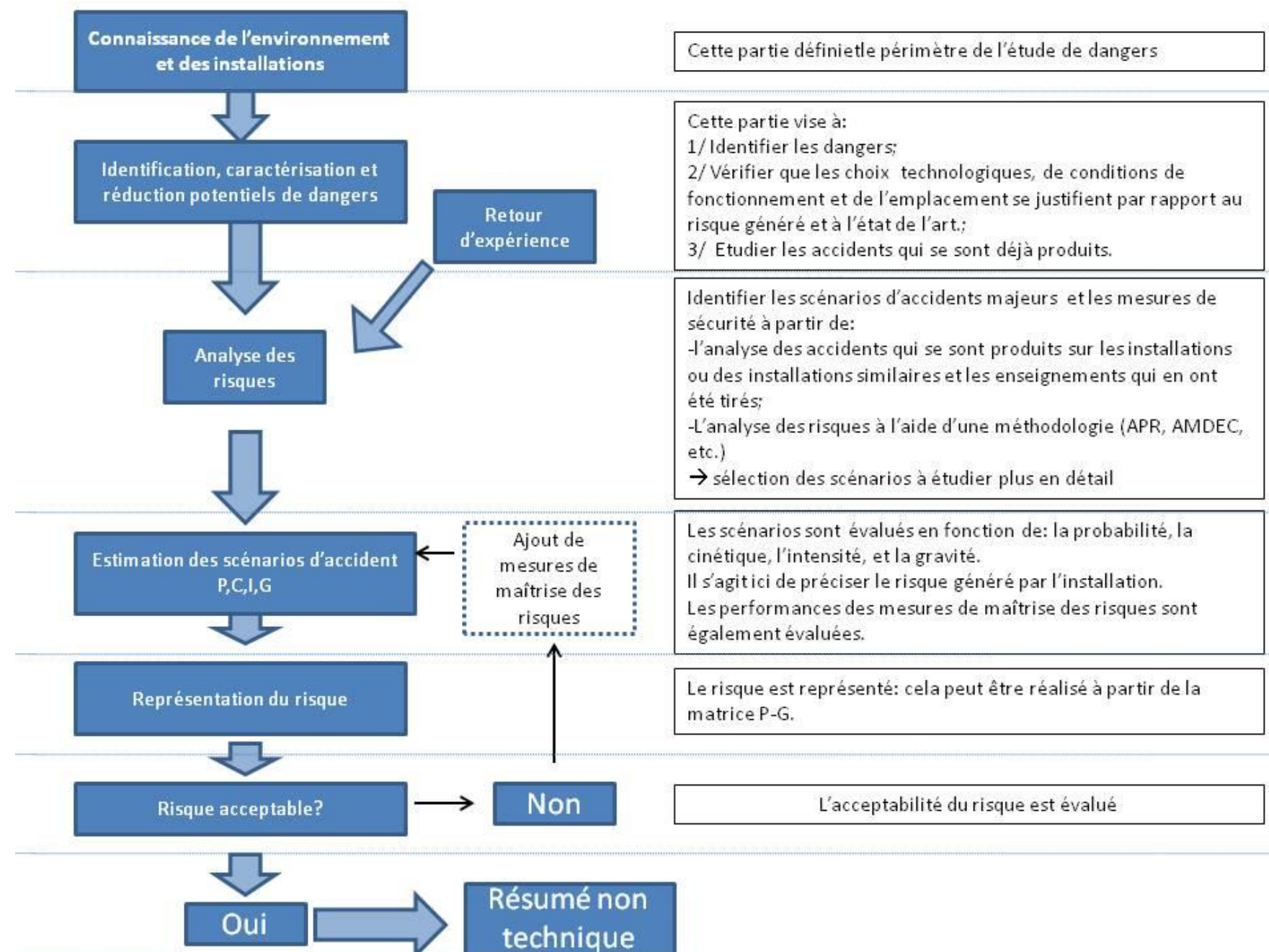
J.1 - 4. Démarche générale de l'étude de dangers

L'étude de dangers est élaborée selon une démarche d'analyse des risques, conformément à la réglementation en vigueur et aux recommandations de l'inspection des installations classées. Elles sont énumérées ici dans l'ordre dans lequel elles sont présentées au sein de l'étude de dangers du parc éolien.

1. **Identifier les enjeux pour permettre une bonne caractérisation des conséquences des accidents** (présence et vulnérabilité de maisons, infrastructures, etc.). Cette étape s'appuie sur une description et caractérisation de l'environnement.
2. **Connaître les équipements étudiés pour permettre une bonne compréhension des dangers potentiels qu'ils génèrent.** Cette étape s'appuie sur une description des installations et de leur fonctionnement.
3. **Identifier les potentiels de danger.** Cette étape s'appuie sur une identification des éléments techniques et la recherche de leurs dangers. Suit une étape de réduction / justification des potentiels.
4. **Connaître les accidents qui se sont produits sur le même type d'installation pour en tirer des enseignements** (séquences des événements, possibilité de prévenir ces accidents, etc.). Cette étape s'appuie sur un retour d'expérience (des accidents et incidents représentatifs).

5. **Analyser les risques inhérents aux installations étudiées en vue d'identifier les scénarios d'accidents possibles** (qui se sont produits et qui pourraient se produire). Cette étape utilise notamment les outils d'analyses de risques classiques (tableaux d'Analyse Préliminaire des Risques par exemple).
6. **Caractériser et classer les différents phénomènes et accidents en termes de probabilités, cinétique, intensité et gravité.** C'est l'étape détaillée des risques, avec mise en œuvre des outils de quantification en probabilité et en intensité / gravité.
7. **Réduire le risque si nécessaire.** Cette étape s'appuie sur des critères d'acceptabilité du risque : si le risque est jugé inacceptable, des évolutions et mesures d'amélioration sont proposées par l'exploitant.
8. **Représenter le risque.** Cette étape s'appuie sur une représentation cartographique.
9. **Résumer l'étude de dangers.** Cette étape s'appuie sur un résumé non technique de l'étude des dangers.

Le graphique ci-dessous synthétise ces différentes étapes et leurs objectifs :



Si la démarche de réduction du risque est considérée comme acceptable, une représentation cartographique et un résumé non-technique sont réalisés.

Les définitions des termes utilisés dans le présent guide sont présentées dans le glossaire en annexe. Elles sont notamment issues des arrêtés et circulaires consacrés aux études de dangers et aux installations classées en général.

J.2. METHODE DE COMPTAGE DES PERSONNES POUR LA DETERMINATION DE LA GRAVITE POTENTIELLE D'UN ACCIDENT A PROXIMITE D'UNE EOLIENNE

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 C.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 H).

J.2 - 1. 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.

J.2 - 2. 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.

J.2 - 2a. 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.

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	

J.2 - 2b. 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.

J.2 - 2c. Voies navigables

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

J.2 - 3. 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.

J.2 - 4. Logements

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

J.2 - 5. Etablissements recevant du public (ERP)

Compter les ERP (bâtiments d'enseignement, de service public, de soins, de loisir, religieux, grands centres commerciaux etc.) en fonction de leur capacité d'accueil (au sens des catégories du code de la construction et de l'habitation), le cas échéant sans compter leurs routes d'accès (cf. paragraphe sur les voies de circulation automobile). Les commerces et ERP de catégorie 5 dont la capacité n'est pas définie peuvent être traités de la façon suivante :

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

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

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

J.2 - 6. 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.

J.3. 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 2014. L'analyse de ces données est présentée dans la partie VI. de l'étude de dangers.

Légende. NC. : Non communiqué

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
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
Effondrement	01/02/2002	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris d'hélice et mât plié	Tempête	Rapport du CGM. Site Vent du Bocage
Rupture de pale	25/02/2002	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pale en bois (avec inserts) sur une éolienne bipale	Tempête	Article de presse (La Dépêche du 26/03/2003)
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
Effondrement	28/12/2002	Névian - Grande Garrigue	Aude	0,85	2002	Oui	Effondrement d'une éolienne suite au dysfonctionnement du système de freinage	Tempête + dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM. Site Vent de Colère Article de presse (Midi Libre)
Rupture de pale	05/11/2003	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts) sur trois éoliennes. Morceaux de pales disséminés sur 100 m.	Dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM. Article de presse (Midi Libre du 15/11/2003)
Rupture de pale	2004	Escales-Conilhac	Aude	0,75	2003	Non	Bris de trois pales		Site Vent de Colère
Effondrement	01/01/2004	Le Portel – Boulogne sur Mer	Pas de Calais	0,75	2002	Non	Cassure d'une pale, chute du mât et destruction totale. Une pale tombe sur la plage et les deux autres dérivent sur 8 km.	Tempête	Base de données ARIA. Rapport du CGM . Site Vent de Colère. Articles de presse (Windpower Monthly May 2004, La Voix du Nord du 02/01/2004)
Effondrement	20/03/2004	Loon Plage – Port de Dunkerque	Nord	0,3	1996	Non	Couchage du mât d'une des 9 éoliennes suite à l'arrachement de la fondation	Rupture de 3 des 4 micropieux de la fondation, erreur de calcul (facteur de 10)	Base de données ARIA. Rapport du CGM. Site Vent de Colère Articles de presse (La Voix du Nord du 20/03/2004 et du 21/03/2004)
Rupture de pale	22/06/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50 m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5m à 50m, mat intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)
Rupture de pale + incendie	22/12/2004	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne (survitesse de plus de 60 tr/min)	Survitesse due à une maintenance en cours, problème de régulation, et dysfonctionnement du système de freinage	Base de données ARIA. Article de presse (La Tribune du 30/12/2004). Site Vent de Colère
Rupture de pale	2005	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris de pale		Site Vent de Colère
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
Rupture de pale	03/2007	Clitourps	Manche	0,66	2005	Oui	Rupture d'un morceau de pale de 4 m et éjection à environ 80 m de distance dans un champ	Cause non éclaircie	Site FED Interne exploitant
Chute d'élément	11/10/2007	Plouvien	Finistère	1,3	2007	Non	Chute d'un élément de la nacelle (trappe de visite de 50 cm de diamètre)	Défaut au niveau des charnières de la trappe de visite. Correctif appliqué et retrofit des boulons de charnières effectué sur toutes les machines en exploitation.	Article de presse (Le Télégramme)
Emballlement	03/2008	Dinéault	Finistère	0,3	2002	Non	Emballlement de l'éolienne mais pas de bris de pale	Tempête + système de freinage hors service (boulon manquant)	Base de données ARIA
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)
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

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
Rupture de pale	26/12/2008	Raival - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale		Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain)
Maintenance	26/01/2009	Clastres	Aisne	2,75	2004	Oui	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance	Accident électrique (explosion d'un convertisseur)	Base de données ARIA
Rupture de pale	08/06/2009	Bollène	Vaucluse	2,3	2009	Oui	Bout de pale d'une éolienne ouvert	Coup de foudre sur la pale	Interne exploitant
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	Freysenet	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)
Effondrement	30/05/2010	Port la Nouvelle	Aude	0,2	1991	Non	Effondrement d'une éolienne	Le rotor avait été endommagé par l'effet d'une survitesse. La dernière pale (entière) a pris le vent créant un balourd. Le sommet de la tour a plié et est venu buter contre la base entraînant la chute de l'ensemble.	Interne exploitant
Incendie	19/09/2010	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Emballement de deux éoliennes et incendie des nacelles.	Maintenance en cours, problème de régulation, freinage impossible, évacuation du personnel, survitesse de +/- 60 tr/min	Articles de presse Communiqué de presse SER-FEE
Maintenance	15/12/2010	Pouillé-les-Côteaux	Loire Atlantique	2,3	2010	Oui	Chute de 3 m d'un technicien de maintenance à l'intérieur de l'éolienne. L'homme de 22 ans a été secouru par le GRIMP de Nantes. Aucune fracture ni blessure grave.		Interne SER-FEE
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)
Rupture de pale	14/12/2011	Non communiqué	N.c.	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
Incendie	03/01/2012	Non communiqué	N.c.	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
Rupture de pale	05/01/2012	Widehem	N.c.	0,75	2000	Non	Bris de pales, dont des fragments ont été projetés jusqu'à 380 m. Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne).	Tempête + panne d'électricité	Article de presse (La Voix du Nord 06/01/2012) Vidéo DailyMotion Interne exploitant
Maintenance	06/02/2012	Lehaucourt	Ainse	N.c.	N.c.	N.c.	au cours d'une opération de maintenance dans la nacelle d'une éolienne de 100 m de hauteur, un arc électrique (690 V) blesse deux sous-traitants, l'un gravement (brûlures aux mains et au visage) et l'autre légèrement (brûlures aux mains). Les victimes portaient leurs EPI lors des faits. Un accident similaire s'était produit en 2009 (ARIA 35814).	Non communiqué	Aria
Projection d'élément	11/04/2012	SIGEAN	Aude	N.c.	N.c.	N.c.	Une éolienne se met en arrêt automatique suite à l'apparition d'un défaut à 10 h. Des agents de maintenance la réarment à 12h14. Un défaut de vibration apparaît 11 minutes plus tard. Sur place, les techniciens constatent la présence d'un impact sur le mât et la projection à 20 m d'un débris de pale long de 15 m.	foudre	Aria
Chute de pale	05/2012	Chemin d'Ablis	Eure-et-Loir	52	2008	Oui	Chute d'une pale au pied d'une éolienne en plein champ	Cause en cours d'éclaircissement	Interne Exploitant
Effondrement	30/05/2012	PORT-LA-NOUVELLE	Aude	0,2	1191	non	Les rafales de vent à 130 km/h observées durant la nuit ont provoqué l'effondrement de la tour en treillis de 30 m de haut. Construit en 1991, l'aérogénérateur de 200 kW faisait partie des premières installations de ce type en France. Il était à l'arrêt pour réparations au moment des faits. Le site, ouvert au public, est sécurisé.	Non communiqué	Aria
Projection d'élément	01/11/2012	VIEILLESPESE	Cantal	2,5	2011	N.c.	Un élément de 400 g constitutif d'une pale d'éolienne est projeté à 70 m du mât, à l'intérieur de la parcelle clôturée du parc de 4 aérogénérateurs de 2,5 MW mis en service en 2011.	Non communiqué	Aria
incendie	05/11/2012	SIGEAN	Aude	0,66	N.c.	N.c.	Le feu s'est déclaré dans l'armoire électrique en pied d'éolienne. Un dysfonctionnement de disjoncteur situé sur l'éolienne a entraîné la propagation de courants de court-circuit faisant fondre les câbles et entraînant un départ d'incendie dans la nacelle. Un dysfonctionnement du frein de l'éolienne à la suite de la perte des dispositifs de pilotage résultant de l'incendie en pied pourrait avoir agi comme circonstance aggravante.	défaillance électrique	Aria
Chute de-pale	06/03/2013	CONILHAC-DE-LA-MONTAGNE	Aude	N.c.	N.c.	N.c.	A la suite d'un défaut de vibration détecté à 19h05, une éolienne se met automatiquement à l'arrêt. Sur place le lendemain à 9 h, des techniciens du constructeur trouvent au sol l'une des 3 pales qui s'est décrochée avant de percuter le mât. L'éolienne est mise en sécurité (2 pales restantes mises en drapeau, blocage du rotor, inspection du moyeu). Un périmètre de sécurité de 30 m est établi au pied de l'éolienne et la municipalité interdit l'accès à la zone. L'accident est déclaré à l'inspection des installations classées 48 h plus tard. L'une des pales de cette éolienne avait déjà connu un problème de fixation en novembre 2011. Les fixations de cette pale au moyeu avaient été remplacées et le serrage des vis des 2 autres avait été contrôlé en avril 2012. La veille du défaut de vibration, la machine s'était arrêtée après la détection d'un échauffement du frein et d'une vitesse de rotation excessive de la génératrice. Un technicien l'avait remise en service le matin même de l'accident sans avoir constaté de défaut.	Non communiqué	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
Incendie	17/03/2013	EUVY	Marne	N.c.	2011	N.c.	Des usagers de la N4 signalent vers 15h30 un feu dans la nacelle d'une éolienne. L'exploitant arrête 7 des 18 aérogénérateurs du parc. Un périmètre de sécurité de 150 m est mis en place. Le sinistre émet une importante fumée. Une des pales tombe au sol, une autre menace de tomber. Des pompiers spécialisés dans l'intervention en milieux périlleux éteignent le feu en 1 h. 450 l d'huile de boîte de vitesse s'écoulent, conduisant l'exploitant à faire réaliser une étude de pollution des sols. Le parc, mis en service en 2011, avait déjà connu un incendie quelques mois plus tôt selon la presse.	défaillance électrique	Aria
Déchirure de pale	20/06/2013	LABASTIDE-SUR-BESORGUES	Ardèche	N.c.	N.c.	N.c.	Un impact de foudre endommage vers 15h30 une éolienne : une pale est déchirée sur 6 m de longueur, le boîtier basse tension et le parafoudre en tête d'installation au poste de livraison sont détruits. Des installations du réseau électrique et téléphonique sont également endommagées.	foudre	Aria
Maintenance	01/07/2013	CAMBON-ET-SALVERGUES	Hérault	N.c.	N.c.	N.c.	un opérateur est blessé par la projection d'une partie amovible de l'équipement sur lequel il intervient. L'intervention porte sur l'appoint en azote d'un accumulateur sous pression. Suite à cet accident l'exploitant modifie ses procédures de maintenance et renforce la formation des techniciens sur les aspects risques. Pour l'heure, il suspend les opérations de remplissage des accumulateurs dans les hubs d'éolienne et fait réaliser cette opération en atelier. Une modification des accumulateurs est également envisagée pour utiliser des modèles avec vanne intégrée.	défaillances organisationnelles	Aria
Perte d'huile	03/08/2013	MOREAC	Morbihan	N.c.	N.c.	N.c.	Une nacelle élévatrice utilisée pour une intervention de maintenance sur une éolienne perd 270 l d'huile hydraulique. Le produit pollue le sol sur 80 m². 25 t de terres polluées sont excavées et envoyées en filière spécialisée.	incident de maintenance	Aria
Incendie	09/01/2014	ANTHENY	Ardennes	N.c.	N.c.	N.c.	incendie de la nacelle (rotor intact)	incident électrique	Aria
Chute de pale	20/01/2014	Sigean	Aude	N.c.	N.c.	N.c.	Arrêt automatique à la suite d'un défaut « vibration ». Chute d'une pale de 20 m au pied du mât	Non communiqué	Aria
Chute de pale	14/11/2014	SAINT-CIRGUES-EN-MONTAGNE	Ardèche	N.c.	N.c.	N.c.	La pale d'une éolienne chute vers 15h10 lors d'un orage. Des rafales de vent atteignent les 130 km/h. L'élément principal chute au pied de l'éolienne, mais certains débris sont projetés à 150 m. Les secours établissent un périmètre de sécurité et ferment la voie d'accès. L'exploitant sécurise la pale endommagée et bloque la rotation de la nacelle. L'installation est expertisée et les 8 autres éoliennes du parc sont inspectées.	Non communiqué	Aria
Chute de pale	05/12/2014	FITOU	Aude	N.c.	N.c.	N.c.	A leur arrivée dans un parc éolien, des techniciens de maintenance constatent que l'extrémité d'une pale d'une éolienne est au sol. Il s'agit d'une des 2 parties de l'aérofrein de la pale. Cette partie, en fibre de verre, mesure 3 m de long. Elle est retrouvée à 80 m du mât. La seconde partie de l'aérofrein constitue sa partie mécanique interne. Ces éléments-là sont encore en place sur la pale. L'éolienne est arrêtée et mise en sécurité, la pale endommagée vers le bas. L'exploitant effectue une inspection visuelle des pales des 8 autres éoliennes du parc. En première approche, l'exploitant attribue l'incident à une défaillance matérielle ou à un décollement sur les plaques en fibre de verre. Les morceaux récupérés au sol sont envoyés au centre de maintenance de l'exploitant pour expertise.	Non communiqué	Aria
Incendie	29/01/2015	REMIGNY	Aines	N.c.	N.c.	Oui	A 6h25 un feu se déclare dans une éolienne. Celle-ci est automatiquement mise à l'arrêt sur alarme du détecteur de fumée. Sur place à 7h30, des employés constatent la présence de flammes et de fumée. Ils alertent les pompiers. A cause des fumées, ces derniers ne parviennent pas à approcher de la source de l'incendie. Ils doivent attendre leur dissipation. A 9h20 ils réussissent à progresser dans l'éolienne et éteignent l'incendie. Les dommages matériels sont estimés à 150 k€. Les 1 500 l d'eau utilisés pour le nettoyage sont pompés. Un défaut d'isolation au niveau des connexions des conducteurs de puissance serait à l'origine du sinistre. Le câble mis en cause assure la jonction entre la base et le haut de la tour. Ce défaut aurait provoqué un arc électrique entre 2 phases ce qui aurait initié l'incendie. L'éolienne n'était pas encore en exploitation, mais en phase de test. L'exploitant prévoit de tester la qualité de l'isolation de tous les câbles de puissance avant la mise en service. Il prévoit également de réaliser des mesures thermiques sur tous les câbles de puissance à 80% de leur charge nominale.	incident électrique	Aria
Incendie	06/02/2015	LUSSERAY	Deux-Sèvres	N.c.	N.c.	N.c.	Vers 15h30, un feu se déclare dans une éolienne, au niveau d'une armoire électrique où interviennent 2 techniciens. Ces derniers éteignent l'incendie avec 2 extincteurs. L'éolienne est hors service le temps des réparations.	Non communiqué	Aria
Incendie	24/08/2015	SANTILLY	Eure-et-Loir	N.c.	N.c.	N.c.	Un feu se déclare vers 13h30 sur le moteur d'une éolienne situé à 90 m de hauteur. La nacelle étant trop haute pour la grande échelle des pompiers, ces derniers décident de laisser brûler le foyer sous surveillance. Les chemins menant à l'éolienne sont interdits à la circulation.	Non communiqué	Aria
Chute des pales et du rotor	10/11/2015	MENIL-LA-HORGNE	Meuse	N.c.	N.c.	N.c.	Vers 22h30, les 3 pales et le rotor d'une éolienne, dont la nacelle se situe à 85 m de haut, chutent au sol. Le transformateur électrique, à son pied, est endommagé. De l'huile s'écoule mais reste confinée dans la rétention. Le centre de supervision à distance du parc constate la perte de communication avec l'éolienne. Il la découple du réseau. Le lendemain, les agents de maintenance constatent sur place la rupture du rotor. Ils sécurisent la zone. Les 6 autres éoliennes du parc sont mises à l'arrêt. Les débris, disséminés sur 4000 m², sont ramassés. Au total 54 éoliennes du même modèle sont installées en France. Les services du ministère du développement durable demandent au fabricant d'établir un programme de contrôle adapté. A la suite des contrôles effectués sur les autres arbres lents du même parc d'éolienne, 2 d'entre eux sont remplacés.	Selon l'exploitant, les premières constatations indiqueraient une défaillance de l'arbre lent, qui assure la jonction entre le rotor et la multiplicatrice. Elle trouverait son origine dans un défaut de fabrication de la pièce. Une non-conformité dans le processus de moulage de cette pièce de fonderie en acier est suspectée. Un défaut métallurgique, de type inclusion de laitier, aurait fragilisé la pièce et conduit à sa rupture par fatigue. Les contrôles réalisés sur les autres éoliennes du parc ont mis en évidence que ce type de défaut était présent sur un des autres arbres lents, au même niveau que celui accidenté.	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
Rupture de l'aérovein d'une pale	07/02/2016	CONILHAC-CORBIERES	Aude	N.c.	N.c.	N.c.	Vers 11h30, l'aérovein d'une des 3 pales d'une éolienne se rompt et chute au sol. L'exploitant procède à l'arrêt de l'ensemble du parc éolien à distance. Les secours sécurisent les lieux.	Les premières investigations indiqueraient qu'un point d'attache du système mécanique de commande de l'aérovein (système à câble) se serait rompu, ce qui aurait actionné l'ouverture de l'aérovein. Du fait des fortes charges présentes sur le rotor, l'axe en carbone qui maintient l'aérovein à la pale et/ou le point d'ancrage de cet axe, se serait alors rompu. Une campagne de contrôle des pales, aéroveins et de la chaîne de sécurité de chaque éolienne est réalisée.	Aria
Chute des pales	08/02/2016	DINEAULT	Finistère	0,3	1999	non	Lors d'une tempête, des vents à 160 km/h endommagent une éolienne : une pale chute au sol, une autre se déchire. La pale rompue est retrouvée à 40 m du pied du mat. Dans les 2 cas, les manchons des pales sont restés arrimés au moyeu. L'exploitant met en sécurité les 4 éoliennes du parc. Les secours établissent un périmètre de sécurité de 350 m.	N.c.	Aria
Chute des pales	07/03/2016	CALANHEL	Côtes d'Armor	0,8	N.c.	N.c.	Vers 18 h, une des pales d'une éolienne se rompt et chute à 5 m du pied du mât. La turbine s'arrête automatiquement. L'exploitant est alerté par un agriculteur. Un intervenant se rend sur place et constate les dégâts. Le mât est endommagé dans sa partie haute, causé par un choc avec la pale, sans présenter de risque de chute. Il balise la zone pour prévenir des chutes possibles d'éléments du rotor. 8 autres turbines du parc sont mises à l'arrêt. Les 2 dernières, ayant fait l'objet d'une révision intégrale récente, sont maintenues en fonctionnement. Le lendemain, le site est sécurisé. La pale est déplacée, en dehors de la zone de culture. Les gros débris composés de matériaux composites et d'éléments mécaniques métalliques, projetés sur 50 m, sont regroupés pour expertise. La totalité des 54 billes de roulement est récupérée. Les débris de petite taille ne pouvant être retirés intégralement, les exploitants des parcelles agricoles concernées sont informés. La zone d'entreposage est balisée.	A l'origine, une rupture du système d'orientation. L'inspection des éléments mécaniques au sol et du rotor permet d'envisager une défaillance du système d'orientation de la pale. Celle-ci aurait entraîné la rupture de la couronne extérieure du roulement à bille puis la libération de la couronne intérieure solidaire de la pale. L'éolienne avait fait l'objet d'une maintenance complète en septembre 2015. Son roulement ne présentait pas d'usure anormale. Cependant, une série d'alarmes était survenue le matin de l'événement. Une panne sur un groupe hydraulique avait nécessité l'intervention des équipes de maintenance. Après réparation, l'éolienne avait été redémarrée vers 14 h. L'exploitant prend les mesures immédiates suivantes : démantèlement de l'éolienne impactée ; réalisation d'un protocole de contrôle, par le fabricant, du roulement et de la boulonnerie de toutes les pales avant redémarrage des unités arrêtées ; inhibition du réarmement automatique de la turbine sur apparition d'une alarme de dysfonctionnement du système d'orientation des pales ; limitation de la puissance produite à 650 kW (au lieu de 800 kW) pour une période d'observation de 7 jours.	Aria
Fuite d'huile dans une éolienne	28/05/2016	JANVILLE	28				À 15h15, un employé constate un écoulement d'huile sous la nacelle d'une éolienne. Il arrête celle-ci et contacte l'équipe de maintenance. Arrivés à 17 h, les agents mettent en place des absorbants. L'écoulement d'huile est récupéré avant d'avoir atteint le sol.	La défaillance d'un raccord sur le circuit de refroidissement de l'huile de la boîte de vitesse de l'éolienne est à l'origine de la fuite. L'installation est réparée 2 jours plus tard. L'exploitant effectue une campagne de remplacement des raccords identiques du parc.	Aria
Feu dans une éolienne	10/08/2016	HESCAMPS	80				Vers 15 h, un feu se déclare dans la partie haute d'une éolienne, au niveau du rotor. Un technicien maîtrise l'incendie avant l'arrivée des pompiers. Il redescend seul les 70 m de l'échelle intérieure de l'éolienne. Il est légèrement intoxiqué par les fumées. Les pompiers contrôlent l'extinction complète et procèdent à la ventilation.	Une défaillance électrique serait à l'origine du départ de feu.	Aria
Feu dans une éolienne	18/08/2016	DARGIES	60				Un technicien de maintenance d'un parc éolien constate vers 9 h qu'une éolienne ne tourne plus. Il découvre que de la fumée s'échappe de la tête de l'éolienne, à 80 m de haut. Des pompiers spécialisés dans les interventions en milieux périlleux effectuent une reconnaissance en partie haute de la machine. Ils ouvrent une trappe de ventilation. Une défaillance électrique serait à l'origine de l'incendie. L'armoire électrique ou le pupitre de commande en serait le point de départ.	incident électrique	Aria
Électrisation d'un employé dans une éolienne	14/09/2016	LES GRANDES-CHAPELLES	10				Vers 15 h, un employé est électrisé alors qu'il intervient dans le nez d'une éolienne. Les pompiers spécialisés dans les interventions en hauteur évacuent la victime consciente.		Aria
Fissure sur une pale d'éolienne	11/01/2017	LE QUESNOY	59				Une fissure est constatée sur une pale d'une éolienne. L'exploitant arrête l'installation. L'expertise de la pale conclut que le dommage est suffisamment réduit pour être réparable. Il n'est donc pas nécessaire de procéder à son remplacement. L'exploitant envisage d'effectuer cette réparation au printemps, lorsque les conditions météorologiques permettront d'intervenir sans la déposer. Selon l'exploitant, le défaut ne présente pas de caractère générique.		Aria
Rupture des pales d'une éolienne	12/01/2017	TUCHAN	11				Vers 4 h, au cours d'un épisode de vents violents, les 3 pales d'une éolienne chutent au sol. L'exploitant collecte les morceaux de fibre de carbone répartis autour du mat de 40 m de l'éolienne. Des impacts sur le mat sont visibles. Il met en place des barrières et un gardiennage pour en sécuriser l'accès. L'éolienne, de 600 kW mise en service en 2002, était à l'arrêt pour maintenance suite à la casse totale de son arbre lent quelques jours auparavant. Cette rupture a eu pour conséquence le désaccouplement du rotor avec le multiplicateur, donc de rendre inopérant le frein mécanique. Bien que mise en position de sécurité (parallèle au vent et aérovein des pales activé), les vents à 25 m/s ont provoqué la rupture des pales à cause d'une vitesse de rotation excessive. Afin d'éviter le renouvellement de cet incident, l'exploitant prévoit d'équiper tous ses aérogénérateurs d'un capteur inductif de présence. Couplé au système de contrôle/commande de l'éolienne, ceci permettrait de mettre l'éolienne en sécurité dès que le roulement avant viendrait à s'affaïsser de plus de 1 mm. Dans pareil cas, un contrôle visuel et fonctionnel de l'ensemble roulement/arbre lent serait engagé. De plus, un contrôle vibratoire de la chaîne d'entraînement est planifié à intervalles réguliers afin de détecter un éventuel défaut d'alignement ou une contrainte particulière.	Après expertise, l'exploitant conclut que la cause la plus probable de la casse de l'arbre lent est un endommagement du roulement avant sur lequel l'arbre est posé. Cette défaillance aurait induite une contrainte importante en flexion sur la partie arrière, à l'entrée dans le multiplicateur, provoquant sa rupture. Aucune faiblesse n'est identifiée dans la structure de la matière de l'arbre. Les contrôles réalisés sur les autres installations de son parc ne détectent pas d'anomalie.	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
							L'éolienne accidentée est remise en service après réparation de son mât et remplacement des pièces endommagées (pales, multiplicateur, arbre lent).		
Chute d'une pale d'une éolienne	18/01/2017	NURLU	80				Un particulier constate qu'une pale d'éolienne est tombée au sol et s'est brisée en plusieurs morceaux. Il informe l'exploitant qui arrête toutes les machines du parc en activité. Arrivés sur site à 11h30, des agents demandent la mise en sécurité de l'éolienne et mettent en place un périmètre de sécurité autour de la zone. Selon la presse, la tempête survenue quelques jours auparavant pourrait être à l'origine de la chute. Sur place le lendemain, l'inspection des installations classées constate que les 2/3 de la pale sont brisés, mais que son armature est toujours en place. L'essentiel des débris se situe à moins de 90 m du mât. Les débris les plus lourds sont à moins de 27 m.		Aria
Chute d'un élément d'une pale d'éolienne	27/02/2017	TRAYES	79				Vers 22 h, le système d'exploitation d'un parc éolien émet des alarmes portant sur l'éolienne n°4 : mise à l'arrêt de l'éolienne et incohérence entre les vitesses de rotation du rotor et de l'arbre de la génératrice électrique. Le lendemain matin, l'exploitant constate sur place que les 7 derniers mètres d'une pale de 44 m, se sont désolidarisés. Plusieurs fragments de la pale sont projetés jusqu'à 150 m du mât, haut lui-même de 78 m. L'exploitant place les 4 éoliennes du parc en position de sécurité et initie des expertises. Il collecte les débris et sécurise le site. L'exploitant envisage qu'un défaut au niveau du bord d'attaque de la pale puisse être la cause du bris de pale. Il écarte les possibilités d'un impact de foudre, ou de fortes rafales de vent. La pale accidentée est remplacée. L'éolienne redémarre le 11/10/17.	L'expertise du fabricant conclut à un défaut de fabrication. Par erreur, les couches de tissu du bord d'attaque ont été coupées, manuellement, niveau de la ligne de jonction des 2 coques lors des opérations de ponçage des excès de colle après démoulage de la pale. Dans cette zone, les coques n'étaient maintenues entre elles que par le mastic et la peinture de finition. À l'issue des contrôles sur les 4 autres éoliennes du parc, 2 d'entre elles sont remises en service. Des défauts sont découverts sur les 2 autres : - les plans de collages entre la poutre structurelle interne (le spar) et les demi-coques aérodynamiques (blade shells) présentent par endroits d'importantes zones de décohésion ; - des fissurations, portant atteinte aux structures des coques aérodynamiques et des plans de collages des bords d'attaque et bords de fuite des pales, sont présentes ; - des collecteurs de foudre (diverter strip) sont manquants ou endommagés à la pointe de certaines pales. L'exploitant s'engage à réaliser les réparations nécessaires avant la remise en service de ces 2 éoliennes.	Aria
Rupture d'une pale d'éolienne	27/02/2017	LAVALLEE	55	2	2011		Lors d'un orage, la pointe d'une pale d'éolienne se rompt. L'extrémité, de 7 à 10 m, est retrouvée au sol, en 3 morceaux, à 200 m de l'éolienne. L'ensemble du parc éolien, qui compte 4 éoliennes de 2 MW et 80 m de haut, est mis à l'arrêt. Les débris sont ramassés et traités par une société spécialisée, pour expertise. Un orage violent s'est abattu sur la zone de 18 h à 18h30. À 18h07, l'alarme "vent fort" de l'éolienne voisine s'est déclenchée. L'alarme "capteur de vibration" de l'éolienne endommagée s'est déclenchée à la même heure. À 18h10, le réseau électrique a été coupé, provoquant la perte de liaison avec le parc éolien. L'exploitant a découvert la casse le lendemain en se rendant sur place pour remettre le parc en service.	Le fabricant de l'éolienne réalise l'expertise de la pale. Ses vérifications lui permettent d'exclure un défaut de fabrication et de confirmer le respect des spécifications. L'hypothèse d'un impact de foudre est également écartée : aucune trace d'impact n'est retrouvé. Une rafale de vent extrême ayant été mesurée dans les secondes précédant la rupture, cette origine est privilégiée pour expliquer la casse de la pale. Le contrôle de 2 autres éoliennes du parc ne révèlent pas de défaut.	Aria
Feu dans la nacelle d'une éolienne	06/06/2017	ALLONNES	28				Vers 18 h, un feu se déclare dans la nacelle d'une éolienne. L'exploitant met en sécurité les 17 machines du parc éolien. Les secours coupent la circulation sur la N154. L'incendie s'éteint seul, à la fin de la combustion de la nacelle, vers 19h30. La nacelle et le rotor sont totalement calcinés. Une partie des pales ainsi que le haut du mât ont été touchés par l'incendie. Des éléments sont tombés au sol. L'exploitant met en place un gardiennage. Le lendemain, l'inspection des installations classées se rend sur les lieux. Des coulures d'hydrocarbures sont constatés sur le mât. Les dégâts sont de nature à compromettre la stabilité mécanique du mât, de la nacelle, des pales et du rotor de l'éolienne.	En première hypothèse, l'exploitant indique qu'un défaut des condensateurs du boîtier électrique, situé dans la nacelle, pourrait être à l'origine du sinistre. Il exclut la piste d'un impact de foudre. Un arrêté préfectoral d'urgence demande à l'exploitant :- la mise en sécurité de l'éolienne avec démontage des éléments risquant de chuter et matérialisation d'un périmètre de sécurité de 300 m ; - une surveillance de l'environnement avec analyse de la pollution des sols et évacuations des déchets.	Aria
Chute de pale d'éolienne due à la foudre	08/06/2017	AUSSAC-VADALLE	16				Durant la nuit lors d'un orage, une partie d'une pale d'une éolienne chute au sol. Le lendemain matin, l'exploitant arrête les 4 éoliennes de son parc. Il collecte les débris tombés dans une zone de 50 à 100 m du mât et met en place un balisage. Il avertit l'exploitant agricole propriétaire du champ où est installée l'éolienne.	L'expertise réalisée par le fabricant de la pale conclut qu'un impact de foudre est à l'origine de sa rupture. Survenu à 35 cm de l'extrémité, il a entraîné la rupture du bord de fuite, puis une déchirure du fragment. Le dispositif de protection contre la foudre ne montre pas de défaut.	Aria
Chute d'une pale d'éolienne	24/06/2017	CONCHY-SUR-CANCHE	62				Vers 23h30, une pale d'une éolienne se brise au niveau de sa jonction avec le rotor dans un parc éolien. La pale chute à la verticale, au pied du mât. Les quelques débris projetés sont présents dans un rayon de 20 m. L'exploitant arrête l'installation ainsi que les 4 autres aérogénérateurs du site, du même modèle. Il met en place un périmètre de sécurité et condamne l'accès au site. Le vent était faible au moment de l'événement.		Aria
Chute d'un aérofrein d'une éolienne	17/07/2017	FECAMP	76				Vers 23h30, un aérofrein se détache d'une pale d'éolienne dans un parc éolien. Le lendemain matin, un agent de maintenance découvre l'équipement au pied du mât de 49 m. La clôture du site est endommagée. L'éolienne est arrêtée. Un arrêt pour maintenance étant programmé 6 jours après, les autres aérogénérateurs du site sont maintenus en fonctionnement. Durant cet arrêt, les mécanismes d'aérofreins et les pales de toutes les machines sont inspectées. L'aérofrein défectueux est remplacé. L'installation redémarre le 16/08/17.	L'exploitant conclut que le desserrage d'une vis anti-rotation a provoqué la chute de l'aérofrein. Un problème de montage, ou des vibrations en fonctionnement, en serait à l'origine. Il étudie l'opportunité d'augmenter la fréquence d'inspection des mécanismes de fixation des aérofreins ou leur modification, notamment pour fiabiliser l'action de la vis anti-rotation.	Aria
Fuite d'huile sur une éolienne	24/07/2017	MAURON	56				Une fuite d'huile est détectée vers 17 h sur une éolienne. La rupture d'un flexible du circuit hydraulique de l'aérogénérateur en est à l'origine. Le rejet, estimé à 5 l, s'est écoulé le long du mât et quelques gouttes sont tombées au sol. L'éolienne est arrêtée et des absorbants sont disposés au sol. Le flexible est remplacé. L'éolienne redémarre le lendemain. Une société spécialisée réalise un diagnostic de l'état des milieux sur 3 500 m ² en réalisant 7 sondages du sol. Seule une zone de pollution de 2 m ² sur 10 cm de profondeur est identifiée au pied du mât. Une société de traitement évacue ces graviers impactés. La vétusté du flexible serait à l'origine de la fuite.	Non communiqué	Aria
Bris d'une pale d'éolienne	05/08/2017	PRIEZ	2				Vers 3 h une pale d'éolienne se brise en son milieu et tombe au sol. Les débris sont retrouvés par l'exploitant au pied du mât le matin. Il en sécurise l'accès et fait surveiller la zone. L'inspection des installations classées demande la mise à l'arrêt de tous les aérogénérateurs du parc dans l'attente de la compréhension de l'événement.	Non communiqué	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
Chute du carénage d'une éolienne	08/11/2017	ROMAN	27				En fin d'après-midi, le carénage de la pointe de la nacelle d'une éolienne tombe au sol dans un parc éolien. Cette pièce, en matériaux composites, mesure 2 m de diamètre et pèse plusieurs dizaines de kg. Elle supporte une armoire électrique. Les agents de maintenance, avertis par une alarme "arrêt automatique turbine" à 17h30, se rendent sur place le lendemain matin. Ils sécurisent l'accès à la zone et préviennent l'exploitant agricole de la parcelle. L'ensemble du parc éolien est mis à l'arrêt.	L'exploitant conclut que la chute du carénage est due à un défaut d'assemblage de ses boulonnages. La procédure n'aurait pas été respectée lors du montage des turbines. La tête de chaque boulon doit reposer sur 2 rondelles (l'une en vinyle, l'autre métallique) permettant de répartir les efforts. Il s'avère que les rondelles métalliques étaient absentes. Les contraintes étaient donc mal réparties et la fibre de verre s'est arrachée autour des rondelles vinyles. L'exploitant procède au contrôle des carénages des autres aérogénérateurs du parc. Aucun défaut n'est découvert. Il intègre la vérification des boulonnages de fixation du carénage à son plan d'inspection hebdomadaire. L'exploitation du parc éolien reprend le lundi 13. Le carénage accidenté est remplacé.	Aria
Chute du carénage d'une éolienne	08/11/2017	ROMAN	27				En fin d'après-midi, le carénage de la pointe de la nacelle d'une éolienne tombe au sol dans un parc éolien. Cette pièce, en matériaux composites, mesure 2 m de diamètre et pèse plusieurs dizaines de kg. Elle supporte une armoire électrique. Les agents de maintenance, avertis par une alarme "arrêt automatique turbine" à 17h30, se rendent sur place le lendemain matin. Ils sécurisent l'accès à la zone et préviennent l'exploitant agricole de la parcelle. L'ensemble du parc éolien est mis à l'arrêt.	L'exploitant conclut que la chute du carénage est due à un défaut d'assemblage de ses boulonnages. La procédure n'aurait pas été respectée lors du montage des turbines. La tête de chaque boulon doit reposer sur 2 rondelles (l'une en vinyle, l'autre métallique) permettant de répartir les efforts. Il s'avère que les rondelles métalliques étaient absentes. Les contraintes étaient donc mal réparties et la fibre de verre s'est arrachée autour des rondelles vinyles. L'exploitant procède au contrôle des carénages des autres aérogénérateurs du parc. Aucun défaut n'est découvert. Il intègre la vérification des boulonnages de fixation du carénage à son plan d'inspection hebdomadaire. L'exploitation du parc éolien reprend le lundi 13. Le carénage accidenté est remplacé.	Aria
Chute d'une éolienne lors d'une tempête	01/01/2018	BOUIN	85				En début de matinée lors d'une tempête, le mât d'une éolienne de 80 m de haut se brise en 2. Les 75 m supérieurs de l'éolienne chutent au sol. Des débris s'éparpillent sur une surface assez importante. Le rotor est enfoncé dans le sol. Les pompiers mettent en place un périmètre de sécurité. Les 2 autres éoliennes du parc sont arrêtées.	L'éolienne avait été mise à l'arrêt 2 jours avant. Selon les premiers éléments de l'exploitant, une défaillance dans le dispositif de mise en sécurité des pales de l'aérogénérateur pourrait avoir conduit à l'événement.	Aria
Chute d'une pale d'éolienne	04/01/2018	NIXEVILLE-BLERCOURT	55				Dans un parc éolien, l'extrémité d'une pale d'une éolienne de 2 MW se rompt, lors d'un épisode venteux. Un morceau de 20 m chute au sol. L'exploitant sécurise la zone. Les morceaux les plus éloignés sont ramassés à 200 m. Un gardiennage est mis en place 24 h/24.	épisode venteux	Aria
Chute de l'aérofrein d'une pale d'éolienne	06/02/2018	CONILHAC-CORBIERES	11				Vers 11h30, l'aérofrein d'une pale d'éolienne chute au sol dans un parc éolien. L'équipe technique présente sur site arrête l'aérogénérateur. La zone est sécurisée, les débris ramassés.	À la suite d'un défaut sur l'électronique de puissance, l'éolienne est passée en arrêt automatique par sollicitation du freinage aérodynamique. Lors de l'ouverture de l'aérofrein en bout de pale, son axe de fixation en carbone s'est rompu provoquant sa chute. Un accident similaire est survenu sur ce parc 2 ans auparavant (ARIA 47675).	Aria

J.4. SCENARIOS GENERIQUES ISSUS DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE 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 G.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).

J.4 - 1. Scénarios relatifs aux risques liés à la glace (G01 et G02)

▪ SCENARIO 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.

▪ SCENARIO 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.

J.4 - 2. Scénarios relatifs aux risques d'incendie (I01 à I07)

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

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

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

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

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

J.4 - 3. 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, ...).

▪ SCENARIO F01

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

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

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

Deux événements peuvent être aggravants :

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

▪ SCENARIO 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.

J.4 - 4. Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments (C01 à C03)

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

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

J.4 - 5. 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).

▪ SCENARIO 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.

▪ SCENARIO 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, emballage de l'éolienne

▪ SCENARIOS 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.

J.4 - 6. 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, ...

J.5. 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 :

Évènement 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.

J.6. GLOSSAIRE

■ EVALUATION DES RISQUES

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Attention aux confusions possibles :

1. Assimilation entre probabilité d'un accident et celle du phénomène dangereux correspondant, la première intégrant déjà la probabilité conditionnelle d'exposition des enjeux. L'assimilation sous-entend que les enjeux sont effectivement exposés, ce qui n'est pas toujours le cas, notamment si la cinétique permet une mise à l'abri ;
2. Probabilité d'occurrence d'un accident x sur un site donné et probabilité d'occurrence de l'accident x, en moyenne, dans l'une des N installations du même type (approche statistique).

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

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

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

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

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

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

Temps de réponse (pour une mesure de maîtrise des risques) : Intervalle de temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la mission/fonction de sécurité. Ce temps de réponse est inclus dans la cinétique de mise en œuvre d'une fonction de

sécurité, cette dernière devant être en adéquation [significativement plus courte] avec la cinétique du phénomène qu'elle doit maîtriser.

▪ TERMES SPECIFIQUES AUX EOLIENNES

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

Mise en service industrielle : phase d'exploitation suivant la période d'essais et correspondant à la première fois que l'installation produit de l'électricité injectée sur le réseau de distribution.

Point de raccordement : point de connexion de l'installation au réseau électrique. Il peut s'agir entre autres d'un poste de livraison ou d'un poste de raccordement. Il constitue la limite entre le réseau électrique interne et externe.

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.

▪ SIGLES

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

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

SER : Syndicat des Energies Renouvelables

FEE : France Energie Eolienne

INERIS : Institut National de l'Environnement industriel et des RISques

EDD : Etude de dangers

APR : Analyse Préliminaire des Risques

ERP : Etablissement Recevant du Public

J.7. BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES UTILISEES

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