





ATER Environnement –

RCS de Compiègne n° 534 760 517 – Code APE : 7112B <u>Siège</u> : 38, rue de la Croix Blanche – 60680 GRANDFRESNOY

Tél: 06 24 01 88 31 – Mail: delphine.claux@ater-environnement.fr

Rédacteur : Mme Audrey MONEGER

SOMMAIRE

1 PREAMBULE	5
1.1. OBJECTIF DE L'ETUDE DE DANGERS	5
1.2. CONTEXTE LEGISLATIF ET REGLEMENTAIRE	5
1.3. NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS CLASSEES	
2 INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION	7
2.1. RENSEIGNEMENT ADMINISTRATIF	7
2.2. LOCALISATION DU SITE	
2.3. DEFINITION DU PERIMETRE DE L'ETUDE	9
3 DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION	11
3.1. ENVIRONNEMENT LIE A L'ACTIVITE HUMAINE	11
3.2. ENVIRONNEMENT NATUREL	
3.3. ENVIRONNEMENT MATERIEL	19
3.4. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE	21
4 DESCRIPTION DE L'INSTALLATION	25
4.1. CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION	25
4.2. FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION	
4.3. FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE L'INSTALLATION	33
5 IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION	40
5.1. POTENTIEL DE DANGER LIE AUX PRODUITS	40
5.2. POTENTIELS DE DANGERS LIES AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION	
5.3. REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS A LA SOURCE	41
6 ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE	44
6.1. INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS EN FRANCE	44
6.2. INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS A L'INTERNATIONAL	46
6.3. SYNTHESE DES PHENOMENES DANGEREUX REDOUTES ISSUS DU RETOUR D'EXPERIENC	
6.4. LIMITES D'UTILISATION DE L'ACCIDENTOLOGIE	47

7 ANA	ALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES	48
7.1. 0	DBJECTIF DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES	48
	ECENSEMENT DES EVENEMENTS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES	
	ECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES	
7.4. T	ABLEAU D'ANALYSE GENERIQUE DES RISQUES	49
	FFETS DOMINOS SUR LES ICPE	
7.6. N	AISE EN PLACE DES MESURES DE SECURITE	51
	ONCLUSION DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES	
8 ETU	DES DETAILLEES DES RISQUES	56
8.1. R	APPEL DES DEFINITIONS	56
8.2.	DETERMINATION DES PARAMETRES POUR L'ETUDE DETAILLEE DES RISQUES	59
	YNTHESE DE L'ETUDE DETAILLEE DES RISQUES	
9 CON	ICLUSION	68
10 ANI	VEXES	70
10.1.	SCENARIOS GENERIQUES ISSUS DE L'ANALYSE	70
10.2.		
10.3.		
10.4.		
10.5.		
10.6.		
10.7.	SYSTEME DE DETECTION DE GIVRE ET DE GLACE	79
10.8.		80
10.9.		

1 PREAMBULE

1.1. OBJECTIF DE L'ETUDE DE DANGERS

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

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

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

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

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

Cette étude a été réalisée à partir du guide de l'étude de dangers de Mai 2012 élaboré par l'INERIS, en étroite collaboration avec la DGPR, le SER et la FEE.

1.2. 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 classés soumises à autorisation, fournit un cadre méthodologique pour les évaluations des scénarios d'accident majeurs. Il impose une évaluation des accidents majeurs sur les personnes uniquement et non sur la totalité des enjeux identifiés dans l'article L. 511-1. En cohérence avec cette réglementation et dans le but d'adopter une démarche proportionnée, l'évaluation des accidents majeurs dans l'étude de dangers d'un parc d'aérogénérateurs s'intéressera prioritairement aux dommages sur les personnes. Pour les parcs éoliens, les atteintes à l'environnement, l'impact sur le fonctionnement des radars et les problématiques liées à la circulation aérienne 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 terme de gravité, de probabilité et de cinétique de développement en tenant compte de l'efficacité des mesures de prévention et de protection ;
- Représentation cartographique ;
- Résumé non technique de l'étude des dangers.

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

1.3. NOMENCLATURE DES INSTALLATIONS 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 :

	A - Nomenclature des installations classées		
N°	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;	Α	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 : a) supérieure ou égale à 20 MW	A D	6

(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

<u>Tableau 1</u>: Nomenclature ICPE pour l'éolien terrestre (source : décret n°2011-984 du 23 août 2011)

Le parc éolien Lande du Moulin comprend au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m (108,38 m à hauteur de moyeu pour ce site) : cette installation est donc soumise à autorisation (A) au titre des installations classées pour la protection de l'environnement et doit présenter une étude de dangers au sein de sa demande d'autorisation d'exploiter.

<u>Pour mémoire</u>: De manière plus précise, le parc éolien Lande du Moulin est constitué de 5 éoliennes ENERCON (E82) d'une puissance totale de 11,5 MW. La hauteur en bout de pale est de 149,38 m pour une puissance nominale de 2,3 MW.

Parc éolien L	ande du Moulin
Nom	E82
Nombre	5
d'éoliennes	Ŭ
Puissance	2,3 MW
unitaire	_,~
Hauteur au	108,38 m
moyeu	100,00 111
Diamètre	82 m
rotor	02 III
Hauteur	149,38 m
totale	1 10,00 111

Tableau 2 : Principales caractéristiques de la machine

2 INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

2.1. RENSEIGNEMENT ADMINISTRATIF

Le demandeur est la Société d'exploitation du parc éolien Lande du Moulin (SEPE Lande du Moulin), le Maître d'Ouvrage du projet et futur exploitant du parc.

L'objectif final de la SEPE Lande du Moulin est la construction du parc avec les éoliennes les plus adaptées au site, la mise en service, l'exploitation et la maintenance du parc pendant la durée de vie du parc éolien.

La SEPE Lande du Moulin sollicite l'ensemble des autorisations liées à ce projet et prend l'ensemble des engagements en tant que future société exploitante du parc éolien.

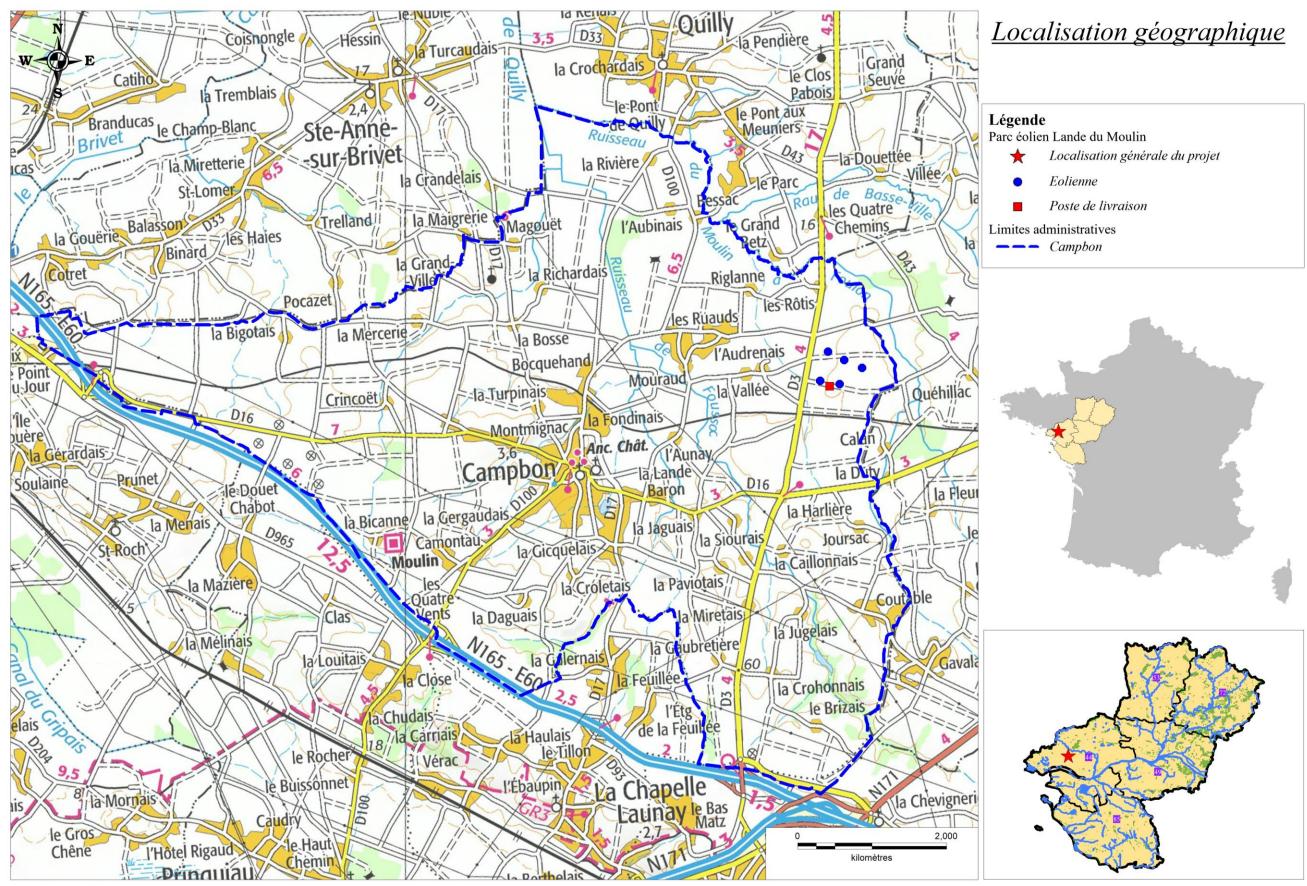
Raison sociale	SOCIETE D'EXPLOITATION DU PARC EOLIEN LANDE DU MOULIN
Forme juridique	Société à responsabilité limitée à associé unique
Capital social	5000,00 Euros
Siège social	330 rue du Port Salut 60126 Longueil-Sainte-Marie
Registre du Commerce	820 332 187 R.C.S. Compiègne
N° SIRET	820 332 187 00013
Code NAF	3511Z

<u>Tableau 3</u>: Référence administrative de la société « Parc éolien Lande du Moulin » (source : ENERCON,

Nom	BUTTNER
Prénom	Christof
Nationalité	Allemande
Qualité	Gérant

<u>Tableau 4</u>: Références du signataire pouvant engager la société (source : ENERCON, 2016)

La présente étude de dangers a été rédigée par Mme Audrey MONEGER du bureau d'études ATER Environnement dont l'ensemble des coordonnées administratives se trouve au recto de la page de garde.



Source : Scan100® ©IGN PARIS - Licence ENERCON - Copie et reproduction interdite. Réalisation ATER Environnement Juillet 2016.

<u>Carte 1</u>: Localisation géographique de l'installation

2.2. LOCALISATION DU SITE

2.2.1. Localisation générale

Le parc éolien Lande du Moulin, composé de 5 aérogénérateurs, est localisé sur le territoire communal de CAMPBON, qui appartient à la Communauté de Loire et Sillon, dans la région Pays de la Loire / département de Loire-Atlantique (cf. carte n°1).

Il est situé à 7 km au Nord de SAVENAY, à 13,3 km au Sud-Est de SAINT-GILDAS-DES-BOIS, à 12,6 km à l'Est de PONTCHATEAU et à 12,9 km au Sud-Ouest de BLAIN.

2.2.2. Identification cadastrale

Les parcelles concernées par l'activité de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent sont présentées dans le tableau de page suivante. Toutes ces parcelles sont maîtrisées par le Maitre d'Ouvrage via des promesses de bail emphytéotique.

<u>Remarque</u>: Le détail de la maîtrise foncière (attestations) se trouve dans le dossier intitulé « Dossier administratif », joint au présent dossier de Demande d'Autorisation d'exploiter.

Les limites de propriété de l'installation correspondent aux mats des éoliennes et aux postes de livraison.

					Superficie (m²)					
Construction	Commune	Lieu-Dit	Section	Numéro	Fondation	Aire de Grutage	Chemin à créer	Chemin à renforcer		
E1	Campbon	Lande du Breil	ZW	42	263	1016	-			
E2	Campbon	Lande du Breil	ZW	50	263	1016	-	3 395		
E3	Campbon	Lande du Breil	ZW	56	263	1016	729			
E4	Campbon	Lande du Breil	ZW	66	263	1016	-			
E5	Campbon	Lande du Breil	ZW	60 et 61	263	1016	-	2 544		
PDL	Campbon	Lande du Breil	ZW	64	15,75	113	-			

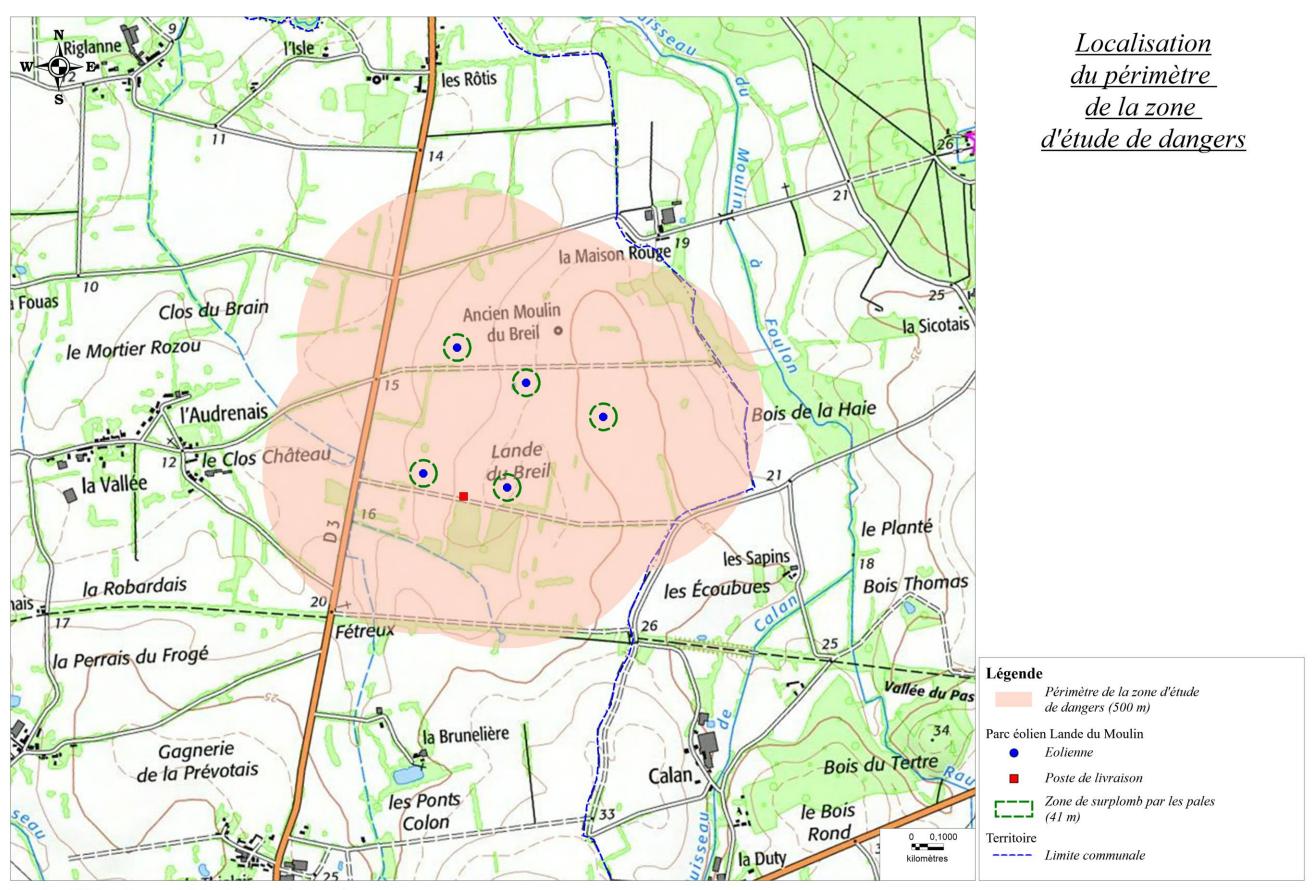
<u>Tableau 5</u>: Identification des parcelles cadastrales (source : ENERCON, 2016)

2.3. DEFINITION DU PERIMETRE DE L'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 par éolienne.

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

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



Source : Scan100 $^{\circ}$ ©IGN PARIS - Licence ENERCON - Copie et reproduction interdite. Réalisation ATER Environnement Juillet 2016.

3 DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

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

3.1. ENVIRONNEMENT LIE A L'ACTIVITE HUMAINE

3.1.1. Zones urbanisées et urbanisables

L'habitat est relativement peu concentré dans la zone d'étude. Des hameaux circonscrivent le parc éolien envisagé. Ainsi, le parc projeté est éloigné des zones constructibles (construites ou urbanisables dans l'avenir) du :

- Territoire de Campbon (PLU en révision) :
 - ✓ Le Clos Château à 660 m E4 ;
 - ✓ Les Rotis à 805 m de E1;
 - ✓ La Brunelière à 858 m de E5.
- Territoire de Bouvron (PLU) :
 - ✓ Maison rouge à 640 m de E2 et à 601 m de E3;
 - ✓ Les Sapins à 760 m de E3;
 - ✓ Zone constructible à 1,3 km de E3.
- Territoire de Quilly (PLU) :
 - ✓ Le Grand Betz à 1,3 km de E1.

parcelles cultivées.

Les abords du site d'étude se situent dans un contexte très agricole et présentent donc une majorité de

Aucune zone urbanisée n'est présente dans le périmètre de la zone d'étude de dangers.

Focus démographique sur les communes de CAMPBON et BOUVRON

Les territoires communaux intégrant le périmètre d'étude de dangers sont CAMPBON, commune d'accueil du projet, et BOUVRON.

L'estimation de la population de ces communes est indiquée dans le tableau ci-dessous (Recensement Général de la Population, 2012).

Commune	Nb Habitant	Densité (Hab./m²)	Nb de logement	Maisons individuelles
Campbon	3 886	77,6	1 584	96,5 %
Bouvron	2 961	62,2	1 267	92,3 %

Tableau 6: Quelques indicateurs de la population et leur logement (Insee, 2012)

La croissance démographique depuis 1982 pour la commune de CAMPBON est de 40,7 %. En effet, les soldes naturels et apparents sont presques toujours positifs sur cette période. La tendance pour la commune de BOUVRON est similaire, bien que moins marquée (+ 26,9 %).

La densité de population estimée en 2012 à l'échelle des communes intégrant le périmètre d'étude de dangers (77,6 hab./km² pour la commune de Campbon, et 62,2 hab./km² pour celle de Bouvron) montrent que celles-ci possèdent une densité de population bien inférieure à celle du département (192,7 hab./km²). Ceci illustre le caractère rural de ces territoires communaux.

De manière générale, l'habitat est constitué en grande majorité de maisons individuelles (moyenne de 94,4 %). Notons que ces territoires comptent une ou deux zones urbanisées. L'habitat est donc concentré.

Document d'urbanisme

Le territoire de CAMPBON est doté d'un Plan Local d'Urbanisme (PLU) en révision. Celui-ci a été approuvé le 11 février 2010 puis modifié le 9 février 2012 avant d'être partiellement annulé le 5 juin 2012. Les révisions simplifiées n°1, 2 et 3 du POS ont été approuvées le 27 juin 2013.

Le territoire de BOUVRON est doté d'un Plan Local d'Urbanisme (PLU), approuvé le 23 mai 2005, modifié le 19 décembre 2005, le 6 octobre 2008 et le 14 février 2013.

La zone d'implantation des éoliennes est compatible avec les documents d'urbanisme.

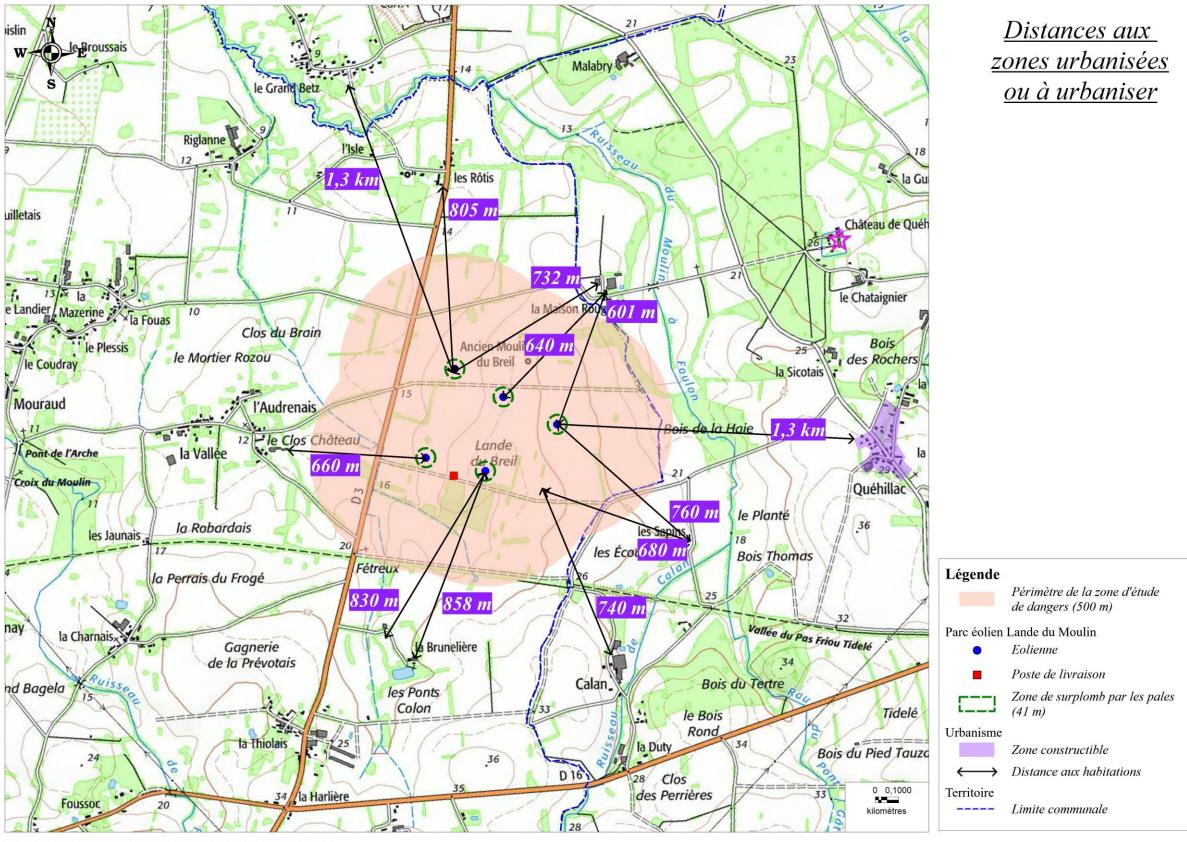
Les communes du périmètre d'étude de dangers intègrent le SCoT (Schéma de Cohérence Territoriale) de la métropole Nantes Saint-Nazaire, qui regroupe 61 communes et qui a été approuvé le 26 mars 2007. Celui-ci est en révision depuis le 22 mars 2013, afin d'approfondir et d'adapter les orientations stratégiques déjà présentes. Il a été arrêté le 9 mars 2016.

Le Projet d'Aménagement et de Développement Durable (PADD) du SCoT indique qu'en « matière de production d'énergies renouvelables », il souhaite « favoriser le développement des énergies renouvelables, et notamment l'énergie éolienne, en lien avec l'action du Département Loire-Atlantique ».

Le Document d'Orientations Générales (DOG) souhaite quant à lui « le développement des énergies renouvelables », en facilitant « l'utilisation des énergies renouvelables :

- Le solaire : thermique et photovoltaïque ;
- Le bois énergie ;
- La géothermie (pompe à chaleur) ;
- L'éolien. »

Cela impliquera de « favoriser la mise en place des techniques solaires et éoliens dans les articles 10 (hauteur) et 11 (aspect extérieur) des réglements des documents d'urbanisme » et de « participer, en concertation avec les différentes collectivités concernées, à la recherche de sites de parcs éoliens qui peuvent faire partie du paysage métropolitain ».



Source : Scan100® @IGN PARIS - Licence ENERCON - Copie et reproduction interdite. Réalisation ATER Environnement Juillet 2016.

3.1.2. Etablissement recevant du public (ERP)

Aucun établissement recevant du public n'est présent sur le territoire de la zone d'étude de dangers. L'établissement le plus proche est la mairie de Campbon, localisée à 3,4 km au Sud-Ouest de E4.

Aucun établissement recevant du public n'est présent sur le territoire de la zone d'étude de dangers.

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

Installations nucléaires de base

Aucune centrale nucléaire n'est présente dans le département. La centrale nucléaire la plus proche est celle de Chinon, localisée à environ 166 km au Sud-Est de l'éolienne E5, la plus proche.

 Aucune installation nucléaire de base n'intègre le périmètre de la zone d'étude de dangers.

Etablissement SEVESO

Aucun établissement classé SEVESO n'est recensé sur les territoires de CAMPBON et de BROUVON.

L'installation SEVESO « Seuil Haut » la plus proche appartient au Misitère de la Defense. Il s'agit d'un stock de carburant situé sur le territoire communal de La Chapelle-Launay ; sa localisation exacte n'est cependant pas connue. L'établissement SEVESO « Seuil Bas » le plus proche est l'entreprise Antargaz à Donges. Elle est localisée à 15,7 km au Sud-Ouest de E4.

Aucun établissement SEVESO n'intègre le périmètre de la zone d'étude de dangers.

Etablissement ICPE – hors éolien

Relatif aux sites Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (I.C.P.E.), 14 sites en activité sont répertoriés sur les territoires de CAMPBON et de BOUVRON (source : installationsclassées.developpement-durable.gouv .fr, 2016) :

- Campbon
 - ✓ L'entreprise CANDIA;
 - ✓ Les carrières de l'estuaire (à l'arrêt) ;
 - ✓ COLAS CENTRE OUEST (en cessation d'activité);
 - ✓ COLAS centre ouest (en cessation d'activité);
 - ✓ COMCOM PONT-CHATEAU STGILDAS :
 - ✓ EARL La Thiolais;
 - ✓ GAEC du Panco;
 - ✓ LAFARGE GRANULATS France :
 - ✓ SCEA la Bernardais;
 - ✓ SOCAC.
- Bouvron
 - ✓ Fromagère de Bouvron ;
 - ✓ Pineau Jean-Pierre :
 - ✓ SCEA des Fleurs.

Aucun établissement ICPE (hors éolien) n'intègre le périmètre de la zone d'étude de dangers. Le plus proche est l'EARL La Thiolais, situé à 1,3 km au Sud de l'éolienne E4, sur le territoire de Campbon.

Etablissement ICPE éolien

Un parc éolien est présent sur le territoire communal de Campbon (Société d'Energie Eolienne de Campbon). Celui-ci a été installé en 2009 et mis en service en 2010 par la société NORDEX. Il possède une puissance de 12,5 MW (5 aérogénérateurs). Il est situé à 6,8 km au Sud-Ouest de E4.

Aucun parc éolien n'est présent sur le territoire communal de Bouvron. Les autres parcs les plus proches sont situés sur les territoires communaux de Blain à l'Est et de Quilly et Guenrouet au Nord. Le plus proche est celui de Quilly-Genrouët (autorisé). Il est localisé à 5,9 km au Nord de E1.

Aucun parc éolien n'intègre le périmètre de la zone d'étude de dangers.

3.1.4. Autres activités

Le périmètre d'étude de dangers recouvre principalement des champs de culture de plaine, où une activité agricole est exercée.

3.2. ENVIRONNEMENT NATUREL

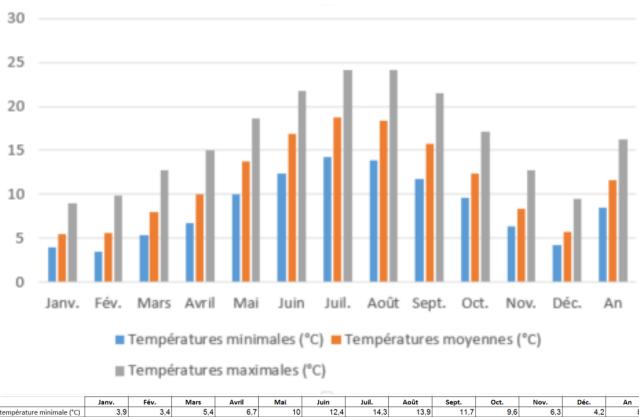
3.2.1. Contexte climatique

La région Pays de la Loire et le département Loire-Atlantique sont soumis à un **climat océanique** doux et humide dû à la proximité de l'océan Atlantique. Les hivers et les automnes sont pluvieux, le gel et la neige sont rares et les étés sont relativement chauds, bien que les précipitations restent fréquentes.

La station de référence la plus proche est celle de Saint-Nazaire-Montoir. Elle est localisée au niveau de l'aéroport de Saint-Nazaire-Montoir, à 21,5 km au Sud-Ouest de l'éolienne E4.

Température

Le climat doux se vérifie, puisqu'on compte une température moyenne annuelle de 11,6°C au niveau de la station de Saint-Nazaire-Montoir et des variations saisonnières moyennes (+/- 6°C en été et en hiver).



 température minimale (°C)
 3.9
 3.4
 5.4
 6.7
 10
 12.4
 14.3
 13.9
 11.7
 9.6
 6.3
 4.2
 8

 température moyenne (°C)
 5.5
 5.6
 8
 10
 13.8
 16.9
 18.8
 18.4
 15.8
 12.3
 8.4
 5.7
 11

 température maximale (°C)
 9
 9.8
 12.7
 15
 18.6
 21.8
 24.1
 24.1
 21.5
 17.1
 12.7
 9.5
 16

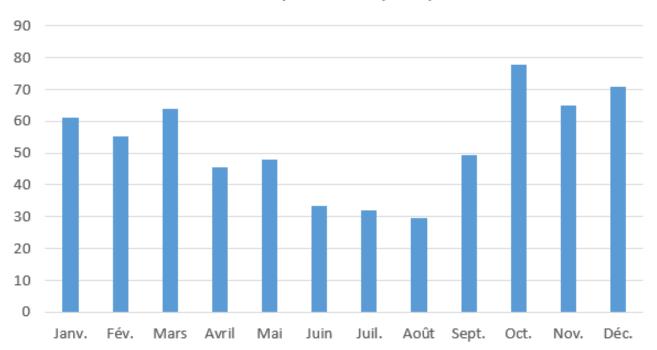
Figure 1 : Illustration des températures de 1981 à 2010- Station de Saint-Nazaire-Montoir (source : Infoclimat

Pluviométrie

Les précipitations sont réparties toute l'année, avec des maximums en automne et en hiver, le mois d'octobre étant le plus pluvieux, et le mois d'août le plus sec. Le cumul annuel des précipitations est relativement modeste avec 631,5 mm à Saint-Nazaire-Montoir, ce qui est très inférieur aux données de la station de Nice (767 mm).

Cependant, le nombre de jours de pluie (89 à Nice, 169 à Saint-Nazaire-Montoir) confirme le caractère océanique du climat.

Précipitations (mm)



<u>Figure 2</u> : Illustration des précipitations de 1981 à 2010– Station de Saint-Nazaire-Montoir (source : Infoclimat, 2016)

Neige, gel

Le nombre de jours de neige par an n'étant pas disponible pour la station de Saint-Nazaire-Montoir, les données exploitées seront celles de la station de Nantes. La ville de Nantes compte 5 jours de neige par an contre 14 jours par an pour la moyenne nationale.

La station de Saint-Nazaire-Montoir enregistre 37 jours de gel par an.

Orage, grêle, brouillard, tempête

La station de Saint-Nazaire-Montoir enregistre 12 jours d'orage par an. Le climat est moyennement orageux avec une densité de foudroiement (8) largement inférieure à celle au niveau national (20). Elle compte également 44 jours de brouillard contre 40 jours par an pour la moyenne nationale. Enfin, elle enregistre 4 jours de grêle par an en moyenne.

Le vent est dit fort lorsque les rafales dépassent 57 km/h. La station de Saint-Nazaire-Montoir enregistre 52 jours par an de vent fort.

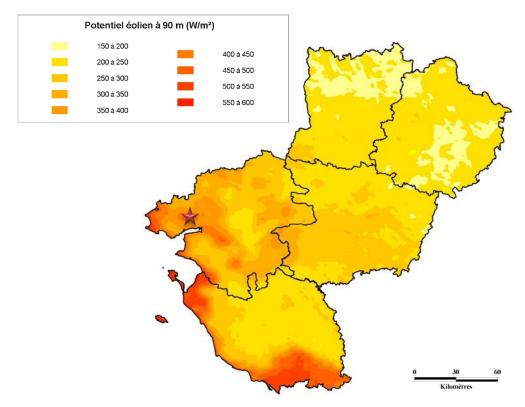
Ensoleillement

2016)

Le secteur d'étude bénéficie d'un ensoleillement inférieur à la moyenne national : 1 781 h pour la station de Saint-Nazaire-Montoir contre 1 973 h pour la moyenne française.

Analyse des vents

D'après le Schéma éolien de la région Pays de la Loire, la vitesse des vents à 90 m est supérieure à 4,4 m/s en tout point de la région. Sur la zone d'implantation potentielle, le potentiel éolien varie entre 350 et 450 W/m².



<u>Carte 4</u>: Potentiel éolien terrestre des Pays de la Loire à 90 m d'altitude – Légende : Etoile rouge / Localisation du site d'étude (source : Schéma Régional Eolien, 2013)

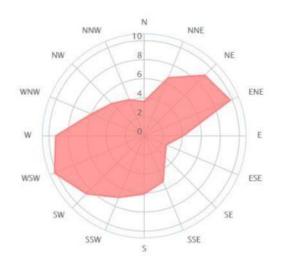


Figure 3 : Rose des vents de Nantes (source : Etat des lieux initial de la société AEPE Ginko)

La vitesse des vents observée sur le site définie aujourd'hui ce dernier comme bien venté.

3.2.2. Risques naturels

L'information préventive sur les risques majeurs naturels et technologiques est essentielle pour renseigner la population sur ces risques dans le département mais aussi sur les mesures de sauvegarde mises en œuvre par les pouvoirs publics.

Le droit à cette information, institué en France par la loi du 22 juillet 1987 et inscrit à présent dans le Code de l'Environnement, a conduit à la rédaction dans le département de Loire-Atlantique d'un dossier Départemental des Risques Majeurs (DDRM) approuvé en 1996. Il a fait l'objet d'une révision en janvier 2008 qui a remplacé la version de 1996. C'est donc sur cette version que nous allons nous appuyer.

Ce DDRM fixe la liste des communes concernées par un ou plusieurs risques majeurs. Il indique que le territoire communal de Bouvron est concerné par des risques majeurs (cf. tableau ci-dessous). La commune de Campbon n'est concernée par aucun risque majeur.

	Inondations relatives aux eaux			te ¹¹ orêt		Mouvement		Séisme		Risque industriel		ort ss ses ¹¹		
Commune	supe	erficiel	les	marines	mpê	de	de terrain (zonage)		de terrain (2011age)		1301101	anspo natière gereu		
	X	PPRI	AZI	Х	tel	leu	Ef-f	Cav	(¹²) la	(13)	х <u>х</u>	PPRt	PPi ¹⁴	dang
Bouvron														х

<u>Tableau 7</u>: Synthèse des risques majeurs sur le territoire d'implantation du parc projeté (source : DDRM 44, 2008)

X : Commune concernée par le risque ;

X : Au moins une installation classée SEVESO ;

PPRI : Plan de Prévention des Risques aux Inondations ;

AZI: Atlas des Zones Inondables;

Ef-f: Risque lié à l'effondrement des falaises ;

Cav : Risque lié aux cavités souterraines ou artificielles ;

PPRt: Plan de Prévention des Risques technologiques; (12): Zonage issu du décret de 1991, en cours de révision;

(13): Inscrivez le zonage issu du nouveau document en vigueur ;

PPi : Plan Particulier d'Intervention ;

Arrêtés de catastrophes naturelles

Les communes envisagées pour l'accueil du parc éolien ont fait l'objet d'arrêtés de catastrophes naturelles (source : prim.net, 2016) pour cause de :

Communes	Nature de la catastrophe naturelle	Date arrêté
	Mouvements de terrain consécutifs à la sécheresse	14/01/1992
Campbon	Mouvements de terrain différentiels consécutifs à la sécheresse et à la réhydratation des sols	19/05/1999
	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	29/12/1999
	Inondations et coulées de boue	11/02/2010
Bouvron	Inondations, coulées de boue et mouvements de terrain	29/12/1999
	Inondations et coulées de boue	17/01/2014

<u>Tableau 8</u>: Inventaire des arrêtés de catastrophe naturel (source : prim.net, 2016)

¹⁴: Le périmètre d'application du PPi peut aller au-delà des limites communales.

Inondation

Définition

Une inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau.

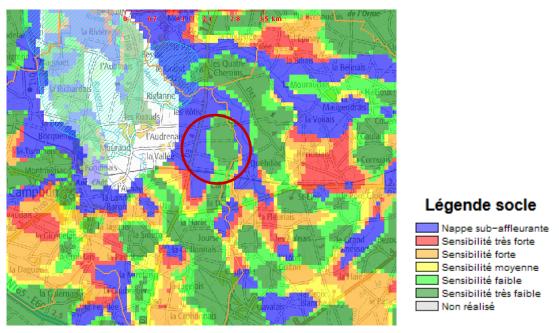
On distingue trois types d'inondations :

- La montée lente des eaux par débordement d'un cours d'eau ou remontée de la nappe phréatique,
- La formation rapide de crues torrentielles consécutives à des averses violentes,
- Le ruissellement pluvial renforcé par l'imperméabilisation des sols et les pratiques culturales limitant l'infiltration des précipitations.

Sur le territoire d'étude

Inondation par remontée de nappe

Le périmètre de l'étude de dangers, localisé sur les communes de Campbon et de Bouvron, présente une sensibilité inexistante au phénomène d'inondation par remontée de nappe pour les sédiments, et une sensibilité allant de très faible à la présence d'une nappe sub-affleurante pour le socle. (Source : inondationsnappes.fr, 2016).



<u>Carte 5</u>: Sensibilité des territoires d'accueil aux phénomènes d'inondations par remontée de nappe – Légende : Cercle rouge / Implantation du site (source. inondationsnappes.fr, 2016)

Inondation par débordement de cours d'eau

Les communes de Campbon et de Bouvron ne sont pas concernées par ce risque (source : DDRM Loire-Atlantique, 2008).

Le périmètre d'étude de dangers présente une sensibilité au phénomène d'inondation par remontée de nappe allant de très faible à la présence d'une nappe sub-affleurante pour le socle, et inexistant pour les sédiments.

Mouvements de terrain

Définition

Les mouvements de terrain regroupent un ensemble de déplacements, plus ou moins brutaux, du sol ou du sous-sol, d'origine naturelle ou anthropique. Les volumes en jeux sont compris entre quelques mètres cubes et quelques millions de mètres cubes. Les déplacements peuvent être lents (quelques millimètres par an) ou très rapides (quelques centaines de mètres par jour).

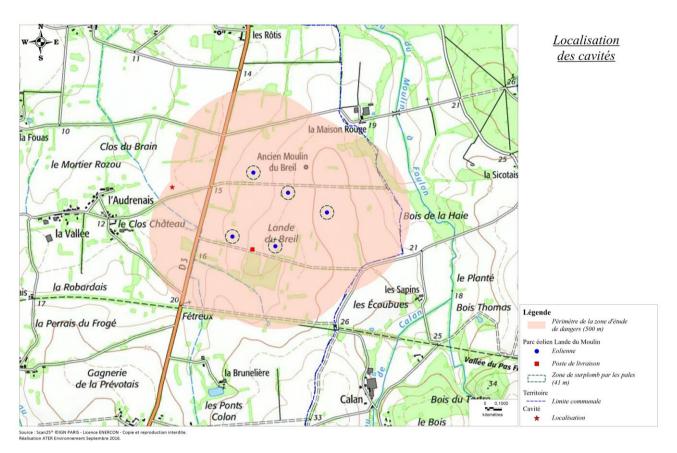
Sur le territoire d'étude

Relatif à la présence de cavités : Seule la commune de Campbon présente sur son territoire des cavités (source : bdcavité.net, 2016). Il s'agit de 11 cavités naturelles.

	,
Nom	Identifiant
Pont Magouet	PALAA0100008
La Bosse	PALAA0100009
La Plumetais	PALAA0100010
Le Bois de la	PALAA0100011
Lande	
La Lande	PALAA0100079
Baron	
L'Aunay	PALAA0100012
La Basse	PALAA0100013
Terre	
Croix du	PALAA0100014
Moulin	
Le Plessis	PALAA0100015
Riglanne	PALAA0100006
Audrenais	PALAA0100007

<u>Tableau 9</u>: Inventaires des cavités sur la commune de Campbon (source : géorisque.gouv.fr, 2016)

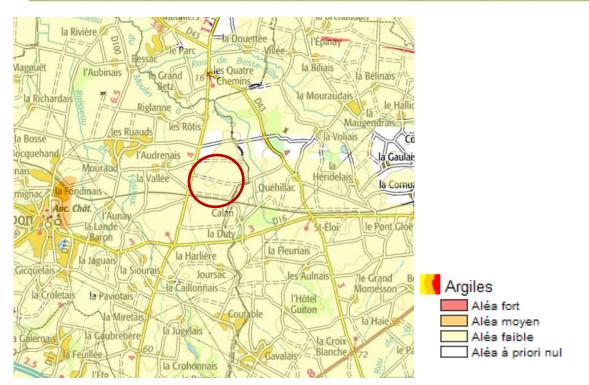
- Malgré la présence de 11 cavités sur la commune de Campbon, aucun arrêté de catastrophe naturelle ou de PPR n'a été pris pour ce type de risque (source : DDRM 44, 2008) :
- Une cavité, la cavité de l'Audrenais, est présente dans le périmètre de la zone d'étude de dangers (orifice visible à l'extrémité ouest de la zone d'étude de dangers). Elle est située à 470 m au Nord-Ouest de E4 (aérogénérateur le plus proche)



Carte 6 : Localisation de la cavité de l'Audrenais

Relatif à l'aléa retrait et gonflement des argiles :

Le projet du parc éolien Lande du Moulin est soumis à un aléa faible de retrait et gonflement des argiles. Ce point sera confirmé ou infirmé par la réalisation d'une étude géotechnique lors de la phase de travaux.



<u>Carte 7</u>: Aléa retrait-gonflement des argiles sur le site d'étude – Légende : Cercle rouge / implantation des sites (source : www.argiles.fr, 2016)

Risque sismique

Définition

Un séisme est une fracturation brutale des roches en profondeur créant des failles dans le sol et parfois en surface, et se traduisant par des vibrations du sol transmises aux bâtiments. Les dégâts observés sont fonction de l'amplitude, de la durée et de la fréquence des vibrations.

Le séisme est le risque naturel majeur qui cause le plus de dégâts.

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 (source : planseisme.fr).

Sur le territoire d'étude

L'actuel zonage sismique classe les communes de Campbon et de Bouvron en zone de sismicité 3 (modérée). Les règles parasismiques ne se s'appliquent pas aux éoliennes. En application de l'arrêté du 22 octobre 2010 modifié par l'arrêté du 15 septembre 2014, le poste de livraison considéré comme « centre de production collective d'énergie » ne relève pas de la catégorie III des bâtiments soumis au risque sismique car la production électrique du parc Lande du Moulin sera inférieure à 40 MW. Le poste de livraison ne sera donc pas soumis aux règles parasismiques.



<u>Carte 8</u> : Zone de sismicité sur les territoires communaux de Campbon et de Bouvron – Légende : Cercle rouge / implantation des sites (source : planseisme.fr, 2016)

🖒 Le projet du parc éolien Lande du Moulin est donc soumis à un risque sismique modéré.

Feux de forêt

Définition

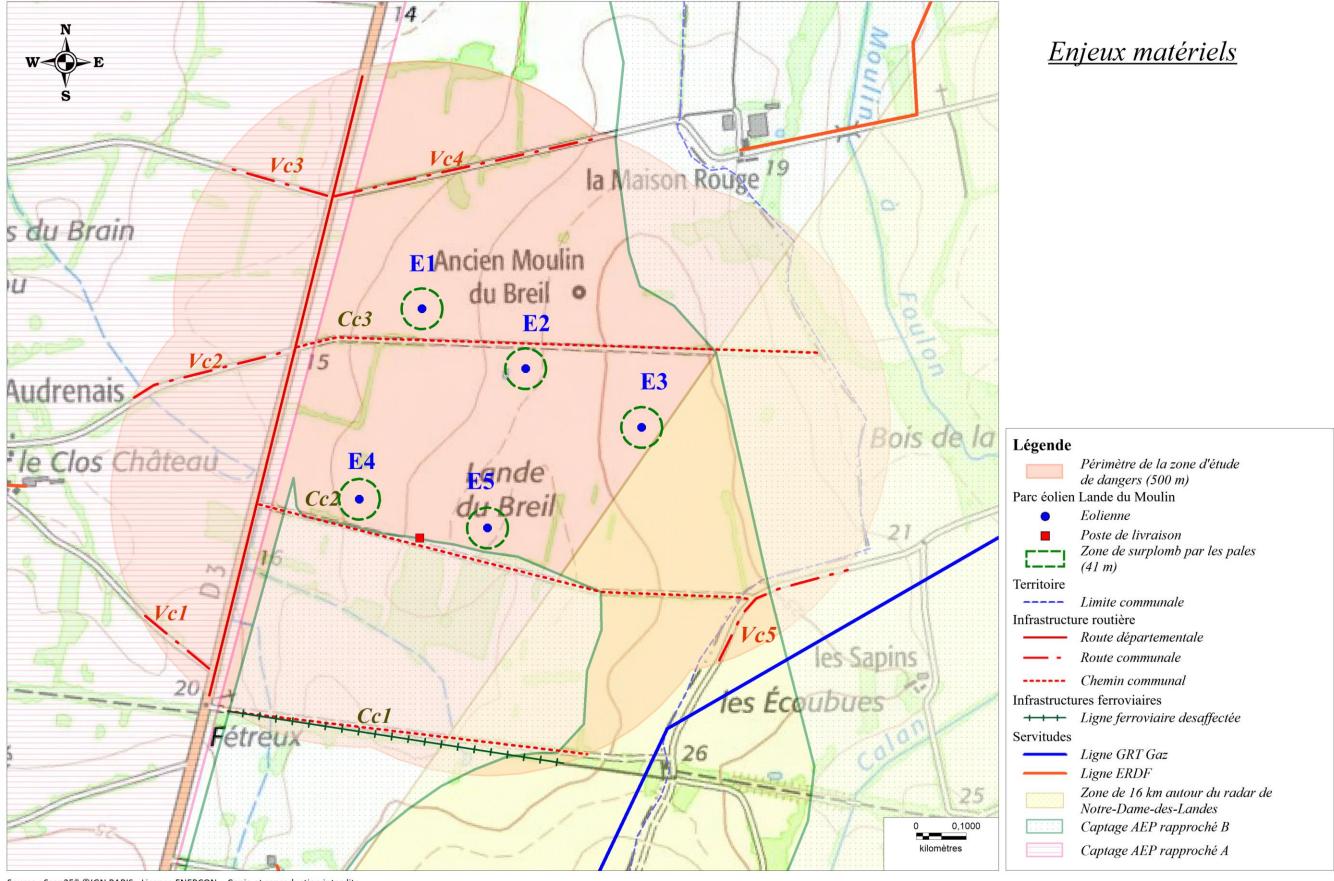
Les feux de forêts sont des incendies qui se déclarent et se propagent sur une surface d'au moins un demihectare de forêt, de lande, de maquis, ou de garrigue.

Pour se déclencher et progresser, le feu a besoin des trois conditions suivantes :

- Une source de chaleur (flamme, étincelle): très souvent l'homme est à l'origine des feux de forêts par imprudence (travaux agricoles et forestiers, cigarettes, barbecue, dépôts d'ordures...), accident ou malveillance,
- Un apport d'oxygène : le vent active la combustion,
- Un combustible (végétation) : le risque de feu est lié à différents paramètres : sécheresse, état d'entretien de la forêt, composition des différentes strates de végétation, essences forestières constituant les peuplements, relief....

Sur le territoire d'étude

D'après le DDRM de Loire-Atlantique, les communes de Campbon et de Bouvron ne sont pas concernées par le risque de feux de forêt.



Source: Scan25® ©IGN PARIS - Licence ENERCON - Copie et reproduction interdite. Réalisation ATER Environnement Septembre 2016.

<u>Carte 9</u> : Enjeux matériels dans le périmètre d'étude de dangers

Tempête

Définition

L'atmosphère est un mélange de gaz et de vapeur d'eau, répartie en couches concentriques autour de la Terre. Trois paramètres principaux caractérisent l'état de l'atmosphère :

- La pression : les zones de basses pressions sont appelées dépressions celles où les pressions sont élevées, anticyclones ;
- La température ;
- Le taux d'humidité : une tempête correspond à l'évolution d'une perturbation atmosphérique ou dépression où se confrontent deux masses d'air aux caractéristiques bien distinctes (température – humidité).

Cette confrontation engendre un gradient de pression très élevé, à l'origine de vents violents et/ou de précipitations intenses. On parle de tempêtes pour des vents moyens supérieurs à 89 km/h (degré 10 de l'échelle de Beaufort qui en comporte 12).

Les tempêtes d'hiver sont fréquentes en Europe, car les océans sont encore chauds et l'air polaire déjà froid. Venant de l'Atlantique, elles traversent généralement la France en trois jours, du Sud-Ouest au Nord-Est, leur vitesse de déplacement étant de l'ordre de 50 km/h.

Sur le territoire d'étude

En France, ce sont en moyenne chaque année quinze tempêtes qui affectent nos côtes, dont une à deux peuvent être qualifiées de " fortes " selon les critères utilisés par Météo-France. Bien que le risque tempête intéresse plus spécialement le quart Nord-Ouest du territoire métropolitain et la façade atlantique dans sa totalité, les tempêtes survenues en décembre 1999 ont souligné qu'aucune partie du territoire n'est à l'abri du phénomène.

D'après le Dossier Départemental des Risques Majeurs de Loire-Atlantique les communes de Campbon et de Bouvron ne sont pas concernées par le risque de tempête.

Foudre

Définition

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

Sur le territoire d'étude

Le climat global du département est faiblement orageux (densité de foudroiement de 8 très nettement inférieur à la moyenne nationale de 20).



<u>Carte 10</u>: Densité de foudroiement / Légende : Etoile bleue – localisation du site (source : citel, 2016)

Densité de foudroiement

3.3. ENVIRONNEMENT MATERIEL

L'environnement matériel inventorié dans le périmètre d'étude de dangers est présenté sur la carte ci-avant.

3.3.1. Voies de communication

Les seules voies de communication présentes dans la zone d'étude de dangers sont des infrastructures routières et ferroviaires, aucune voie navigable n'étant présente.

Infrastructure aérienne

D'après le SRE du Pays de la Loire, les communes de Bouvron et Campbon sont concernées par les servitudes aéronautiques et radar du projet d'aéroport de Notre-Dame-des-Landes.

Relatif à l'Armée de l'Air, les éoliennes se situent dans la zone de coordination du radar tactique 20-30 km qui surveille la zone d'interdiction (ZIT) de survol de Saint-Nazaire (source : courriers réponses reçues le 14/11/2012 par le Bureau d'Etude AEPE Ginko). La taille et la disposition des éoliennes devront donc être en accord avec « l'arrêté du 26 aout 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 ICPE » et avec « la circulaire interministérielle du 03 mars 2008 relative aux perturbations par les aérogénérateurs du fonctionnement des radars fixes de l'Aviation civile, de la Défense nationale, de Météo France, et des ports et navigation maritime et fluvial (PNM) ».

L'implantation définie pour le projet Lande du Moulin respecte ces dispositions.

Infrastructure routière présente sur le périmètre d'étude

Introductio

Un Schéma Routier Départemental a été élaboré en 2012 par le département Loire-Atlantique afin se munir d'un cadre réglementaire permettant d'assurer la cohérence des diffférentes politiques en la matière. Il a quatre enjeux :

- La complémentarité des modes de déplacement et la volonté de proposer une offre diversifiée en matière de transport en privilégiant le développement des modes alternatifs et collectifs ;
- La limitation de l'étalement urbain :
- La maîtrise de la consommation des espaces et le respect des espaces naturels, agricoles, viticoles, et du cadre de vie des habitants ;
- La préservation des ressources naturelles et le souci de maîtrise budgétaire.

Le département possède 4 600 km de voies routières.

Sur le périmètre d'étude de dangers

Une partie des infrastructures routières suivantes se situent dans le périmètre d'étude de dangers :

- Une route départementale :
 - ✓ La RD 3 reliant Savenay à Plesse ;
- Cinq portions de voies communales, identifiées Vc sur la carte ;
- Trois chemins communaux, identifiés Cc sur la carte.

Définition du trafic

La portion de RD 3 traversant le pérmètre d'étude de dangers supporte un trafic routier de 3517 véhicules par jour (voitures et poids-lourds, 2011) dont 6 % est représenté par des poids-lourds entre Les Ponts Colon et La Brousse au Cerf (source : données ENERCON).

<u>Concernant les chemins ruraux</u> (ou communaux) et <u>les voies communales</u>, aucune donnée n'est disponible. Toutefois, d'après les communes, le trafic est estimé inférieur à 2 000 véhicules/jour.

Numéro de l'éolienne	Distance à la RD 3 (m)	Distance aux Vc (m)	Distance aux Cc (m)
E1	230	280 Vc2 300 Vc3 280 Vc4	460 Cc2 60 Cc3
E2	460	480 Vc2 420 Vc4	400 Cc2 41 Cc3
E3	1	410 Vc5	330 Cc2 150 Cc3
E4	200	450 Vc1 330 Vc2	450 Cc1 60 Cc2 315 Cc3
E5	450	/	430 Cc1 60 Cc2 365 Cc3

<u>Tableau 10</u> : Distance des éoliennes par rapport aux infrastructures routières présentes dans le périmètre d'étude de dangers

Une infrastructure structurante (> 2000 véhicules/jour), la RD3, intègre le périmètre d'étude de dangers des éoliennes E1, E2, E4 et E5.

Risque de transport de matière dangereuse (TMD)

Le risque de transport de marchandises dangereuses, ou risque TMD, est consécutif à un accident se produisant lors du transport de ces marchandises par voie routière, ferroviaire, voie d'eau.

D'après le Dossier Départemental des Risques Majeurs, la commune de Bouvron est soumise au risque TMD par voie routière en raison de la présence de la RN 171, mais pas la commune de Campbon.

- La commune de Bouvron est soumise au risque TMD en raison du passage de la RN 171 sur son territoire ;
- ⇒ La commune de Campbon n'est pas soumise au risque TMD.

Infrastructure ferroviaire présente sur le périmètre d'étude

Une ligne ferroviaire non exploitée est présente sur la zone d'étude de dangers. Celle-ci, présente sur le site de la SNCF, n'est cependant pas signalée sur le fond de carte IGN. Elle est actuellement désaffectée.

- Cette ligne ferroviaire intègre le pérmètre d'étude de dangers des éoliennes E4 et E5. Elle est située au plus proche à 450 m de l'éolienne E5;
- A noter que cette ligne est actuellement desaffectée.

3.3.2. Réseaux publics et privés

Radioélectrique

Selon l'ANFR, le périmètre d'étude de dangers n'est concerné par aucune servitude radioélectrique.

Canalisation de gaz

D'après les informations fournies par l'Etat Initial réalisé par la société AEPE Ginko, une canalisation de gaz de la société GRT Gaz traverse le périmètre d'étude de dangers. Elle se trouve à 540 m au Sud-Est de E5, l'aérogénérateur le plus proche.

Toujours d'après les informations fournies par l'état initial, trois zones d'implantation (distances minimales à respecter en cas de chute de l'éolienne) sont à prendre en compte :

- Zone 3 rouge : (< 171 m) : Recul de la hauteur de l'éolienne en bout de pale : la zone est interdite sauf étude probabiliste au cas par cas et application des préconisations demandées en zone 2.
- Zone 2 orange : entre 171m et 276 m : Certificat de type / Engagement sur la maintenance et sur les fondations.
- Zone 1 : vert : Au-delà de 276m, aucune mesure n'est nécessaire sur l'ouvrage

De plus, il est précisé que pour les ouvrages enterrés liés à l'éolienne, il est nécessaire de respecter :

- 5m de distance entre toute prise de terre d'installation électrique et la canalisation ;
- Une distance de 300m entre le déversoir de protection cathodique des éléments relatifs à l'éolienne.

Le projet éolien Lande du Moulin respecte les préconisations éditées par GRT gaz.

Faisceau hertzien

D'après l'état initial réalisé par la société AEPE Ginko qui cite le courrier de réponse en date du 14/08/2012 de la société Orange, « aucune servitude existante PT1 & PT2 n'est présente sur la zone du projet. Aucun câble PT3 ne traverse la zone d'étude. Le site d'étude est situé à plus de 500m des sites existants impliquant des servitudes réseaux mobiles ».

Réseau électrique

D'après les données de l'état initial du projet Lande du Moulin réalisé par AEPE Ginko, aucun ouvrage du Réseau Transport d'Electricité ou d'ERDF n'est présent sur le périmètre de danger. Le réseau le plus proche se trouve à 593 m au Nord de E3.

Captage AEP

Trois périmètres de protection de captage d'eau sont présents dans le périmètre d'étude de dangers :

- Un périmètre de protection rapproché A (forte sensibilité), qui se situe au plus près à 149 m à l'Ouest de E4 (éolienne la plus proche) ;
- Un périmètre de protection rapproché B (zone tampon de protection des ruisseaux du bassin versant de la nappe en cas d'infiltration des ruisseaux en zone A), qui se situe au plus près à 41 m au Sud de E5 (éolienne la plus proche).
- Un périmètre éloigné du captage d'eau n'impliquant aucune interdiction particulière couvre la majeure partie de la zone d'implantation.

Le projet éolien Lande du Moulin est localisé dans le périmètre de protection éloigné de captage d'eau n'impliquant pas d'interdiction particulière.

Autres réseaux publics

Aucun autre réseau public ou privé n'est présent dans le périmètre de la zone d'étude de dangers.

3.3.3. Autres ouvrages publics

Aucun autre ouvrage public n'est présent sur le périmètre d'étude de dangers.

3.3.4. Patrimoine historique et culturel

Monument historique

Aucun monument historique n'est présent dans le périmètre d'étude de dangers. Le plus proche est le château de Quéhillac. Il s'agit d'un monument inscrit au titre des Monuments Historiques, localisé sur le territoire communal de Bouvron, à 1,5 km au Nord-Est de l'éolienne E3, la plus proche.

Archéologie

Conformément aux dispositions du Code du Patrimoine, notamment du livre V, le service régional de l'archéologie de la DRAC « pourra être amené à prescrire, lors de l'instruction du dossier, une opération de diagnostic archéologique visant à détecter tout élément du patrimoine archéologique qui se trouverait dans l'emprise des travaux projetés ».

3.4. CARTOGRAPHIE DE SYNTHESE

En conclusion de ce chapitre, une cartographie de synthèse permet d'identifier géographiquement les enjeux à protéger dans le périmètre d'étude de dangers (voir carte n°11). Les différents périmètres d'étude (zone de surplomb, de ruine, de projection de glace ...) correspondent aux différents scenarii de risque développé dans le chapitre 8.

3.4.1. Définitions des périmètres d'étude

Selon les risques encourus, différents périmètres d'étude (ou zone d'effet) ont été identifié :

- Zone de surplomb (0 41 m) : elle correspond à la zone de risque de la chute d'éléments provenant de la machine ou de la chute de glace, par action de la gravité ;
- Zone d'effondrement : elle correspond à la zone où l'éolienne peut tomber au sol soit 0 149,38 m;
- Zone de projection de glace (0 285,57 m) : elle correspond à la zone où des morceaux de glace, généralement formés sur les pales, peuvent être projetés lors de la mise en route de la machine. Ce périmètre est défini selon la formule suivante : 1,5 x (hauteur au moyeu + diamètre du rotor).
- **Zone de projection de pale** (0 500 m) : elle correspond à la zone où des morceaux de pale, dans le cas d'une fracture de cette dernière, peuvent être projetés. Cette zone a été définit par le SER/FEE/INERIS dans sa trame type (2012) comme étant limitée à 500 m du mât de la machine.

3.4.2. Les enjeux humains

Relatifs aux établissements recevant du public (ERP)

Aucun établissement recevant du public n'intègre le périmètre d'étude de dangers.

Relatif aux terrains non bâtis

Les terrains localisés dans le périmètre d'étude de dangers sont constitués de champs et de bois, ce qui les inclus donc dans la catégorie « terrains non aménagés et très peu fréquentés » de la circulaire du 10 mai 2010.

Or, en s'appuyant sur les données de cette circulaire pour les terrains non aménagés et très peu fréquentés (champs, prairies, forêts, friches, marais...), la formule suivante est utilisée afin de calculer le nombre d'individus présent sur ces terrains : 1 personne par tranche de 100 ha.

Pour chaque éolienne, la superficie de ces terrains non bâtis a été calculée à partir de la formule suivante : $Z_F = \pi \times R^2$

Remarque : Z_E correspond à la zone d'effet du risque identifié (cf.8.2)

	Zone de surplomb	Zone d'effondrement	Zone de projection de glace	Intégralité du périmètre
Rayon (m)	41	149,38	285,6	500
Superficie (ha)	0,53	7,01	25,6	78,5
Nombre d'individus	0,005 personne	0,07 personne	0,26 personne	0,79 personne

<u>Tableau 11</u>: Définition de l'enjeu humain relatif aux terrains non bâtis

Relatif aux infrastructures routières

En s'appuyant sur la circulaire du 10 mai 2010, les voies de circulation qui sont prises en considération sont celles empruntées par un nombre significatif de personnes (plus de 2 000 véhicules/jour) qui ne sont pas déjà comptées parmi les personnes exposées dans d'autres catégories d'installations.

Une infrastructure routière structurante traverse le périmètre d'étude de dangers, il s'agit de la RD 3, qui compte 3517 véhicules par jour, dont 212 poids lourds (6 %).

Or, la circulaire indique qu'il faut compter 0,4 personnes permanente par km exposé par tranche de 100 véhicules par jour :

		Zone de surplomb	Zone de ruine	Zone de projection de glace	Intégralité du périmètre
	Distance dans le périmètre (km)	0	0	0,330	0,885
E1	Nombre de véhicules / jour		ı	3 517	
	Nombre de personnes concernées	0	0	4,64	12,5
	Distance dans le périmètre (km)	0	0	0	0,365
E2	Nombre de véhicules / jour			3 517	
	Nombre de personnes concernées	0	0	0	5,1
	Distance dans le périmètre (km)	0	0	0	0
E3	Nombre de véhicules / jour			3 517	
	Nombre de personnes concernées	0	0	0	0
	Distance dans le périmètre (km)	0	0	0,390	0,910
E4	Nombre de véhicules / jour	3 517			
	Nombre de personnes concernées	0	0	5,5	12,8
	Distance dans le périmètre (km)	0	0	0	0,345
E5	Nombre de véhicules / jour			3 517	
	Nombre de personnes concernées	0	0	0	4,9

<u>Tableau 12</u> : Nombre de personnes impactées en fonction des différents scénarios

En raison de la complexité des données, celles-ci sont difficiles à représenter sur les différentes cartes.

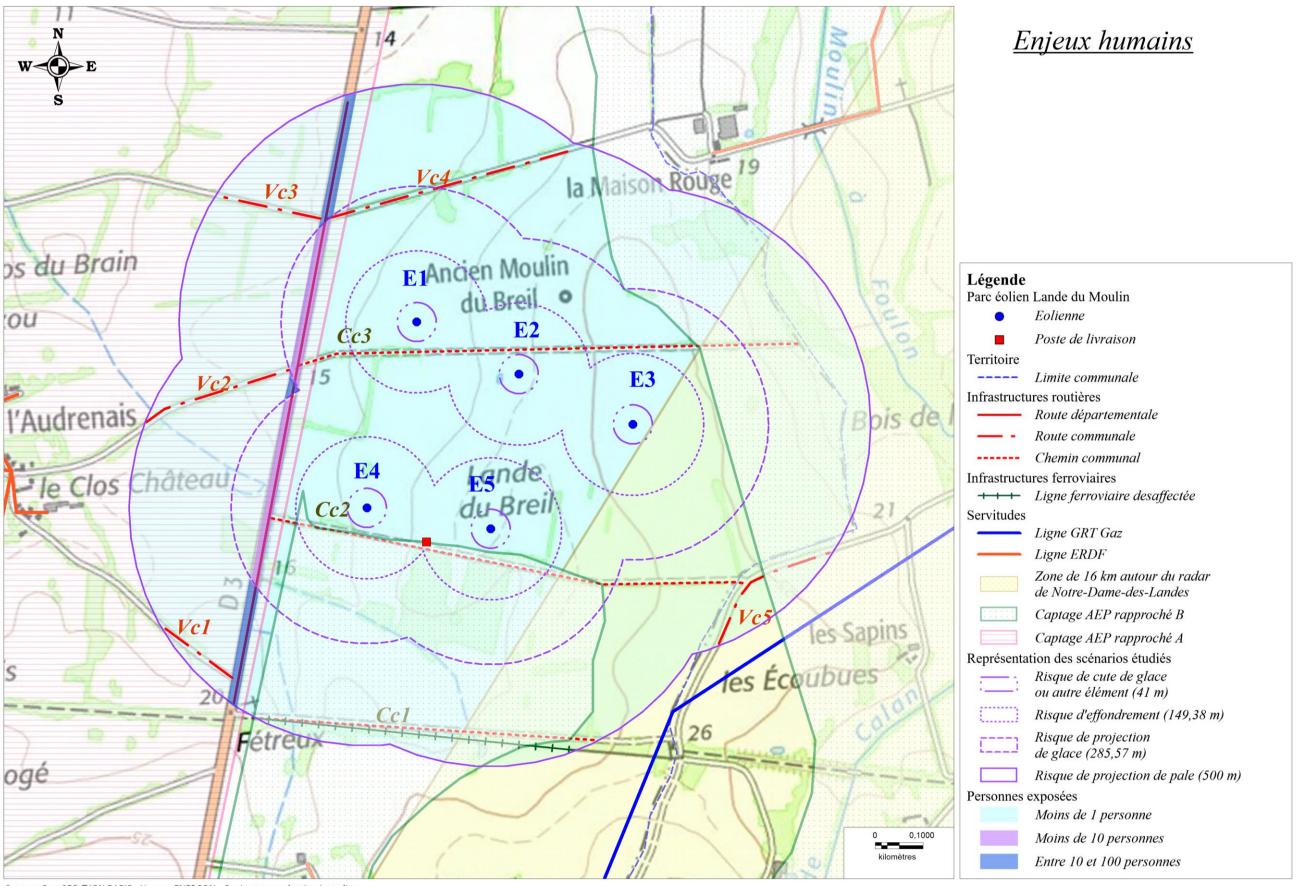
Relatif aux chemins de randonnées

Pour les chemins de promenade, de randonnée, la circulaire du 10 mai 2010 nous indique de compter 2 personnes pour 1 kilomètre. Ce comptage est réalisé par tranche de 100 promeneurs/jour en moyenne.

Néanmoins, aucun chemin de randonnée ne passe sur l'aire d'étude de dangers.

3.4.3. Enjeux matériels

Outre l'installation en elle-même, les principaux enjeux sont les infrastructures routières. En effet, la voie ferrée est non exploitée, et ne permet donc pas le transport de voyageurs ou de marchandises.



Source: Scan25® ©IGN PARIS - Licence ENERCON - Copie et reproduction interdite. Réalisation ATER Environnement Septembre 2016.

<u>Carte 11</u> : Enjeux humains dans le périmètre d'étude de dangers

4 DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

Ce chapitre a pour objectif de caractériser l'installation envisagée ainsi que son organisation et son fonctionnement, afin de permettre d'identifier les principaux potentiels de danger qu'elle représente (chapitre 5), au regard notamment de la sensibilité de l'environnement décrit précédemment.

4.1. CARACTERISTIQUES DE L'INSTALLATION

4.1.1. Caractéristiques générales d'un parc éolien

Un parc éolien est une centrale de production d'électricité à partir de l'énergie du vent. Il est composé de plusieurs aérogénérateurs et de leurs annexes (cf. schéma du raccordement électrique au paragraphe 4.3.1) :

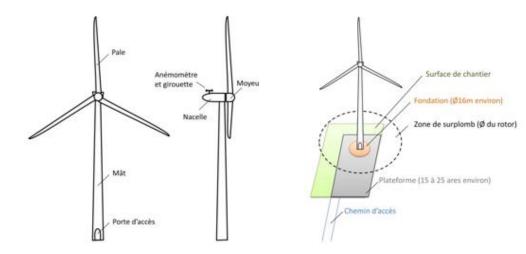
- Plusieurs éoliennes fixées sur une fondation adaptée, accompagnée d'une aire stabilisée appelée
 « plateforme » ou « aire de grutage » ;
- Un réseau de câbles électriques enterrés permettant d'évacuer l'électricité produite par chaque éolienne vers le ou les poste(s) de livraison électrique (appelé « 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 poste 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.

Eléments constitutifs d'un aérogénérateur

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

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

- Le rotor qui est composé de trois pales (pour la grande majorité des éoliennes actuelles) construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu. Il se prolonge dans la nacelle pour constituer l'arbre lent
- Le mât est généralement composé de 18 segments en béton et de 2 segments en acier qui sont reliés entre eux par des brides en L qui réduisent les contraintes sur les matériaux. Dans la plupart des éoliennes, il abrite le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique.
- La nacelle abrite plusieurs éléments fonctionnels :
 - ✓ Le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique ;
 - ✓ Le système de freinage mécanique ;
 - ✓ Le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent pour une production optimale d'énergie ;
 - ✓ Les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette),
 - ✓ Le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique.



<u>Figure 4</u>: Schéma simplifié d'un aérogénérateur (à gauche) - Illustration des emprises au sol d'une éolienne (à droite) (Les dimensions sont données à titre d'illustration pour une éolienne d'environ 150m de hauteur totale) (source : INERIS/SER/FERR, 2012)

Chemins d'accès

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

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

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

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

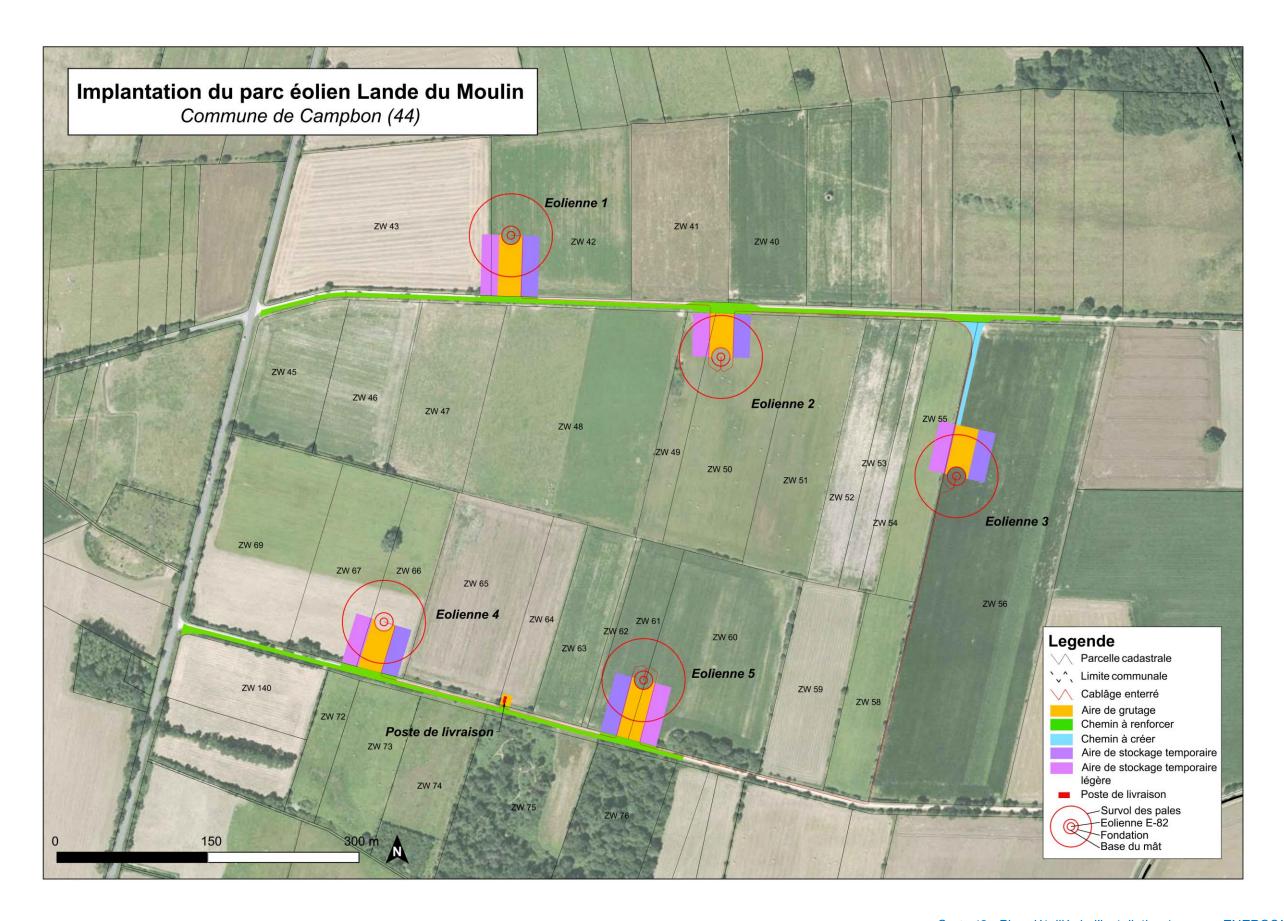
Emprise au sol

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.

Autres installations

Certains parcs éoliens peuvent aussi être constitués d'aires d'accueil pour informer le public, de parkings d'accès, de parcours pédagogiques, etc.



<u>Carte 12</u>: Plan détaillé de l'installation (source : ENERCON 2016)

4.1.2. Activité de l'installation

L'activité principale du parc éolien Lande du Moulin est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur au moyeu de 108,38 mètres soit une hauteur totale en bout de pale de 149,38 mètres. Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

Le tableau suivant indique les coordonnées géographiques des aérogénérateurs et du poste de livraison dans le système de coordonnées NTF Lambert II étendu :

	Coordonnée	s Lambert 93	Altitude (m)		
Eolienne	Longitude Ouest	Latitude Nord	Au sol	Bout de pale	
1	328992	6714570	18	167,38	
2	329200	6714448	22,5	171,88	
3	329433	6714327	27	176,38	
4	328863	6714187	18	167,38	
5	329120	6714127	23	172,38	
Poste de livraison	328982	6714109	22	/	

Tableau 13: Coordonnées géographiques du parc éolien

<u>Remarque</u> : les coordonnées géographiques des aérogénérateurs et du poste de livraison sont données page 33 dans le système de coordonnées WGS 84 en mètre et en degré, minute, seconde.

4.2. FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

4.2.1. Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur

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

Les pales se mettent en mouvement lorsque l'anémomètre (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 9 km/h (2,5 m/s) et que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique.

Certaines éoliennes sont dépourvues de multiplicateur et la génératrice est entraînée directement par l'arbre « lent » lié au rotor. C'est le cas de la machine Enercon. La génératrice transforme alors 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 43,2 km/h (12 m/s), à hauteur de nacelle, l'éolienne fournit sa puissance maximale. Cette puissance est dite « nominale ».

Pour un aérogénérateur Enercon - E 82 de 2,3 MW par exemple, la production électrique atteint 2 300 kWh dès que le vent atteint environ 43,2 km/h à hauteur de nacelle.

L'électricité produite par la génératrice correspond à un courant alternatif de fréquence 50 Hz avec une tension de 400 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.

Les éoliennes Enercon sont équipées d'un système « mode tempête » qui permet à la machine de fonctionner même par vents forts. Alors que de nombreuses éoliennes s'arrêtent quand les vitesses de vent atteignent 25 m/s, les éoliennes Enercon continuent de fonctionner jusqu'à des vitesses de plus de 122,4 km/h (34m/s) de manière bridée. A cette vitesse l'éolienne cesse alors de fonctionner pour des raisons de sécurité. Afin d'assurer la sécurité de l'éolienne, les pales se mettent en drapeau. Il s'opère alors un freinage aérodynamique puisque les pales prennent alors une orientation parallèle au vent. Les détails du mode tempête sont donnés en annexe page 78.

Elément de l'installation	Fonction	Caractéristiques		
Fondation	Ancrer et stabiliser l'éolienne dans le sol	 En béton armé, de forme octogonale, <u>Dimension</u>: design adapté en fonction de l'étude de géotechnique et hydrogéologique réalisée avant la construction. Pour le modèle de fondation le plus impactant: 16,84 m de diamètre à leur base et se resserre jusqu'à 10,64 m de diamètre représentant 505 m³. <u>Profondeur</u>: 3,20 m pour le modèle le plus impactant. 		
Mât	Supporter la nacelle et le rotor	 En béton et en acier Composé de 21 segments en béton et 2 segments en acier. 		
Nacelle	Supporter le rotor Abriter le dispositif de conversion de l'énergie mécanique en électricité (génératrice, etc.) ainsi que les	 <u>La génératrice annulaire</u>, synchrone, à électroaimant, qui fabrique l'électricité – Tension de 400 V 		
	dispositifs de contrôle et de sécurité	3 par machine		
Rotor / pales	Capter l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice	 3 par machine, Longueur : 38,8 m Poids : 8,3 t Constitué d'un seul bloc de résine armé à fibre de verre (résine époxyde). 		
Transformateur	Elever la tension de sortie de la génératrice avant l'acheminement du courant électrique par le réseau	 Tension de 20 kV à la sortie. 		
Poste de livraison	Adapter les caractéristiques du courant électrique à l'interface entre le réseau privé et le réseau public	 Equipé de différentes cellules électriques et automates qui permettent la connexion et la déconnexion du parc éolien au réseau 20Kv. 		

<u>Tableau 14</u>: Synthèse du fonctionnement des aérogénérateurs Enercon selon le tableau type de l'INERIS/SER/FEE, 2012

4.2.2. Sécurité de l'installation

L'installation respecte la règlementation en vigueur en matière de sécurité.

Système de fermeture de la porte

Technologie Enercon

Conformément à l'article 13 de l'arrêté du 26 août 2011, l'accès à l'intérieur de l'éolienne ne peut se faire que par la porte de service située au pied du mât. Cette porte est dotée d'un verrou à clé. Un dispositif manuel permet d'ouvrir et de fermer le verrou de la porte depuis l'intérieur, même si la clé se trouve à l'extérieur de la porte.

Des procédures claires de fermeture des portes ont été rédigées et communiquées à l'ensemble des intervenants sur le parc et des vérifications sont régulièrement menées. Ces portes sont toujours verrouillées en cas d'absence de personnel dans la machine ou le poste. Le personnel verrouille également la porte dès qu'il effectue des opérations qui font sortir cette dernière de son champ de vision (montée dans l'éolienne, travail dans le poste uniquement ...).

L'ouverture de la porte de l'éolienne enclenche l'allumage automatique des éclairages de l'éolienne. L'ouverture des postes électriques entraîne leur démarrage ainsi qu'une alarme visuelle et sonore sur le système de contrôle à distance des éoliennes de la société ENERCON. Les portes de ces postes se verrouillent automatiquement dès qu'elles sont fermées.

Balisage des éoliennes

Le balisage des éoliennes est défini par les arrêtés du 13 Novembre 2009 et du 7 Décembre 2010. Les éoliennes E82 sont conformes à cet arrêté ainsi qu'à l'article 11 de l'arrêté du 26 août 2011.

La couleur des éoliennes est une nuance RAL 7038. Toutes les éoliennes constituant le parc éolien, d'une hauteur inférieure à 150 m, sont dotées d'un balisage lumineux d'obstacle au niveau de la nacelle.

Les feux de balisage d'obstacles font l'objet d'un certificat de conformité de type, délivré par le service technique de l'aviation civile de la direction générale de l'aviation civile (STAC), en fonction des spécifications techniques correspondantes.

L'alimentation électrique, desservant le balisage lumineux, est secourue par l'intermédiaire d'un dispositif automatique et commute dans un temps n'excédant pas 15 secondes. La source d'énergie assurant l'alimentation de secours des installations de balisage lumineux possède une autonomie au moins égale à 12 h.

Le balisage est surveillé par l'exploitant et celui-ci signale dans les plus brefs délais toute défaillance ou interruption du balisage à l'autorité de l'aviation civile territorialement compétente.

Balisage lumineux de jour

Chaque éolienne est dotée d'un balisage lumineux de jour assuré par des feux d'obstacle moyenne intensité de type A (feux à éclats blancs de 20 000 candelas [cd]). Ces feux d'obstacle sont installés sur le sommet de la nacelle et disposés de manière à assurer la visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts (360°).

Balisage lumineux de nuit

Chaque éolienne est dotée d'un balisage lumineux de nuit assuré par des feux d'obstacle moyenne intensité de type B (feux à éclats rouges de 2 000 cd). Ces feux d'obstacle sont installés sur le sommet de la nacelle et disposés de manière à assurer la visibilité de l'éolienne dans tous les azimuts (360°)

Le passage du balisage lumineux de jour au balisage de nuit est assuré par un détecteur crépusculaire. Le jour est caractérisé par une luminance de fond supérieure à 500 cd/m², le crépuscule est caractérisé par une luminance de fond comprise entre 50 cd/m² et 500 cd/m², et la nuit est caractérisée par une luminance de fond inférieure à 50 cd/m². Le balisage actif lors du crépuscule est le balisage de jour, le balisage de nuit est activé lorsque la luminance de fond est inférieure à 50 cd/m².

Protection contre le risque incendie

Les éoliennes du parc éolien Lande du Moulin sont conformes aux exigences des articles 22, 23 et 24 de l'arrêté du 26 août 2011.

Système de détection et d'alarme

Technologie Enercon

Tous les composants mécaniques et électriques de l'éolienne dans lesquels un incendie pourrait potentiellement se déclencher en raison d'une éventuelle surchauffe ou de court-circuit, sont continuellement surveillés par des capteurs, et cela en premier lieu afin de s'assurer de leur bon fonctionnement. Si le système de commande détecte un état non autorisé, l'éolienne est stoppée ou continue de fonctionner mais avec une puissance réduite.

L'exploitant est en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de <u>15 minutes</u> suivant la détection de l'incendie. Il sera capable également de mettre en œuvre les procédures d'urgence dans un délai de 60 minutes.

Le choix des matériaux est également un aspect clé de la protection incendie, par la conception en matériaux ignifuges, difficilement, ou non inflammables pour certains composants.

Système de lutte contre l'incendie

Technologie Enercon

L'éolienne E82 dispose de deux extincteurs manuels CO₂ disposés dans la nacelle et au pied du mât. Les extincteurs sont positionnés de façon bien visible et facilement accessible. Les agents d'extinction sont appropriés aux risques à combattre. Ils font l'objet d'un contrôle régulier par un organisme agréé.

Par ailleurs, lors des interventions, les techniciens emmènent également un extincteur dans leur véhicule de service.

Procédure d'urgence en cas d'incendie

Technologie Enercon

Un plan d'évacuation permet au personnel d'évacuer l'éolienne en cas d'incendie. Le personnel dispose également d'une procédure d'urgence pour donner l'alerte vers les services de secours en cas d'incendie et est formé pour le faire.

Protection contre le risque foudre

La fonction principale du système de protection contre la foudre est de protéger les vies et les biens contre effets destructeurs de la foudre.

Conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2016, tous les éléments du système sont conçus de manière à résister à l'impact de la foudre, et à ce que le courant de foudre puisse être conduit en toute sécurité aux points de mise à la terre sans dommages ou sans perturbations des systèmes.

Technologie ENERCON

<u>Le système de protection externe</u> est conçu pour gérer un coup de foudre direct sur l'éolienne et pour conduire le courant de foudre à la terre au bas de l'éolienne. La pointe de la pale est en aluminium moulé, le bord d'attaque et le bord de fuite de la pale du rotor sont équipés de profilés aluminium, reliés par un anneau en aluminium à la base de la pale. Un coup de foudre est absorbé en toute sécurité par ces profilés et le courant de foudre est dévié vers la terre entourant la base de l'éolienne.

<u>La protection interne</u> est conçue pour minimiser les dégâts et les interférences sur les équipements électriques et les composants électroniques à l'intérieur de l'éolienne grâce à une ligne équipotentielle, à une protection contre les surtensions et les perturbations électromagnétiques. Ainsi, les composants principaux tels que l'armoire de contrôle et la génératrice sont protégés par des parasurtenseurs. Toutes les autres platines possédant leur propre alimentation sont équipées de filtres à hautes absorptions. Aussi, la partie télécom est protégée par des parasurtenseurs de lignes et une protection galvanique. Enfin, une liaison de communication télécom en fibre optique entre les machines permet une insensibilité à ces surtensions atmosphériques ou du réseau.

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

Le système de protection contre la foudre a été conçu pour atteindre un niveau de protection I selon la norme CEI 61400-24. Le Maître d'Ouvrage tient à disposition de l'Inspection des Installations Classées les rapports des organismes compétents attestant de la conformité des éoliennes à la norme précitée.

Protection contre la survitesse

Technologie ENERCON

La machine possède 3 capteurs placés dans le support du rotor de la génératrice.

La détection de survitesse est alors enclenchée et les pales reviennent en position drapeau (le système coupe l'alimentation électrique du système d'orientation des pales. Les condensateurs électriques de sécurité du système d'orientation des pales se déchargent alors, activant la mise en drapeau des pales).

Conformément aux articles 22 et 23 de l'arrêté du 26 août 2011, le Maître d'Ouvrage est en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de <u>15 minutes</u> suivant l'entrée en

fonctionnement anormal de l'aérogénérateur. Il sera capable également de mettre en œuvre les procédures d'urgence dans un délai de <u>60 minutes</u>.

Les condensateurs sont contrôlés périodiquement et des tests de survitesse sont réalisés tous les ans.

Le redémarrage de l'éolienne suite à un arrêt par action du système de détection de survitesse nécessite un réenclenchèrent manuel dans la nacelle, après identification des causes.

Ce système intervient en plus des systèmes de sécurité prévenant un fonctionnement avec une défaillance sur la génératrice (plus de forces contre électromotrices) ainsi que du système « mode tempête » . Les détails du « mode tempête » sont donnés en annexe page 78.

Système de freinage

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

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

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

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

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

Protection contre l'échauffement

Technologie ENERCON

Tous les principaux composants sont équipés de capteurs de température. Un certain nombre de seuils sont prédéfinis dans le système de contrôle de l'éolienne.

En cas de dépassement de seuils (caractéristiques sur chaque type d'aérogénérateur, type de composant et prédéfinis), des codes d'état associés à des alarmes sont activés et peuvent, le cas échéant, entraîner un ralentissement de la machine (bridage préventif) voire un arrêt de la machine.

Tout phénomène anormal est ainsi répertorié, tracé via le système SCADA du parc, et donne lieu à des analyses et si nécessaire interventions de maintenance sur site afin de corriger les problèmes constatés.

La procédure de coupure sera lancée si la vitesse du vent est supérieure à la vitesse du vent de coupure, en valeur moyennée sur 10 min. Cependant, pour faire face aux rafales, l'éolienne lancera également la procédure de coupure si la vitesse du vent dépasse certains seuils prédéfinis dans le système de contrôle de l'éolienne en valeur moyennée sur 30s, ou en valeur moyennée sur 1s.

La procédure d'arrêt fera pivoter les pales en position drapeau et arrêtera l'éolienne en toute sécurité.

Protection contre la glace

Durant les mois d'hiver et au début du printemps, du givre puis de la glace peuvent se former sur les pales et la nacelle des éoliennes entrainant un surpoids, un déséquilibre du rotor et des risques de projection de cette glace. La glace sur les pales de l'éolienne diminue sa puissance et augmente les efforts sur la machine. Le balourd, créé, déséquilibre la rotation du rotor.

Technologie ENERCON

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

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

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

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

En cas de détection d'écarts de comportement de la machine, un compteur est incrémenté pour chaque mesure hors tolérance, à raison de 1 mesure par minute. Lorsque 30 mesures sont en dehors des tolérances, la machine s'arrête automatiquement pour détection de glace et envoi une alerte via le SCADA.

Les paramètres analysés par le système de sécurité sont :

- La vitesse de vent pour une puissance donnée1. La détection, l'alerte et l'arrêt se font dès la sortie de la machine de ces tolérances (Comme expliqué ci-dessus) ;
- La puissance produite, lorsque la machine fonctionne à sa puissance nominale2.

Grâce à l'étroitesse de la plage de tolérance, la coupure a lieu généralement en moins d'une heure, avant que l'épaisseur de la couche de glace ne constitue un danger pour l'environnement de l'éolienne.

La plausibilité de toutes les mesures liées à l'éolienne est contrôlée en permanence par la commande de l'éolienne. Une modification non plausible d'une valeur de mesure est interprétée comme un dépôt de glace par la commande et l'éolienne est stoppée.

Les détails du système de détection de givre et de glace et du système de redémarrage après détection de glace sont donnés en annexe pages 77 et 79.

Protection contre le risque électrique

Technologie ENERCON

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

Les installations électriques extérieures à l'éolienne sont conformes aux normes NFC 15-100 (version compilée de 2008), NFC 13-100 (version de 2001) et NFC 13-200 (version de 2009). Ces installations sont entretenues et maintenues en bon état et sont contrôlées avant la mise en service industrielle puis à une fréquence annuelle, après leur installation ou leur modification par une personne compétente. La périodicité, l'objet et l'étendue des vérifications des installations électriques ainsi que le contenu des rapports relatifs auxdites vérifications sont fixés par l'arrêté du 10 octobre 2000.

Protection contre le risque de fuite de liquide dans la nacelle

Technologie ENERCON

L'absence de multiplicateur limite grandement les risques de fuite de liquide dans la nacelle. En effet, l'utilisation de liquide est liée uniquement aux éléments graissés (roue dentée/engrenage, transmission d'orientation de l'éolienne, frein hydraulique) limitant ainsi la quantité (15 à 20 litres utilisés).

Sécurité positive de l'éolienne – redondance des capteurs

L'éolienne est dotée d'un grand nombre de capteurs (capteurs de température, de pression, de contact, de mesure de vitesse, d'accélération, du retour d'information de chaque état du système ...) sur absolument chaque partie de l'éolienne.

Ainsi, si l'un d'eux est cassé, celui qui est juste après dans la chaîne détectera l'anomalie et signalera par le biais du système de supervision (SCADA) monitoré 24h sur 24 et 7 jours sur 7.

Gestion à distance du fonctionnement des éoliennes (SCADA)

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

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

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

De plus, les éoliennes sont équipées d'un système de contrôle à distance des données. La supervision peut s'effectuer à distance depuis un PC équipé d'un navigateur Internet et d'une connexion ADSL ou RNIS.

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

Dans le cas où le système SCADA est défectueux

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

- De regrouper les informations des SCADAS des éoliennes ;
- De transmettre à toutes les éoliennes une information identique, en même temps, plutôt que de passer par chaque éolienne à chaque fois.

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

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

Dans le cas d'un dysfonctionnement du système SCADA propre à une éolienne, ce dernier entraîne l'arrêt immédiat de la machine.

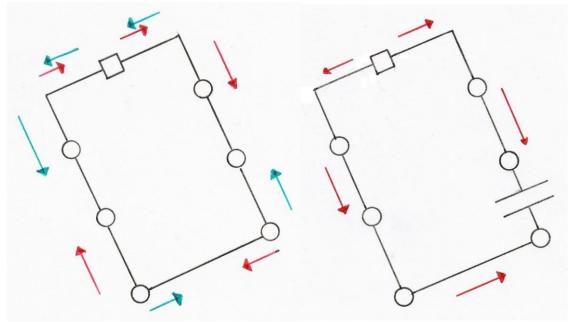
Ainsi, en cas de défaillance éventuelle du système SCADA de commande à distance, le parc éolien est maintenu sous contrôle soit via le système SCADA propre à la machine, soit par l'arrêt automatique de la machine.

¹ Détection efficace pour la partie de courbe correspondant à la montée en puissance vers sa valeur nominale (détection d'écart standard : +/- 1,2m/s). Les paramètres de tolérances sont ajustables dans une plage de +/- 0,6m/s à +/- 3m/s.

² Une fois que la machine fonctionne à sa puissance nominale, la courbe de puissance présente un plateau sur une large plage de vitesse de vent, rendant inopérante la tolérance définie précédemment pour la détection de glace ou de givre. Ainsi, pour les vitesses de vent supérieures à 10,5m/s une tolérance sur la puissance produite permet donc de détecter les comportements déviant de la courbe de puissance normale (valeur de tolérance standard : 75%; minimale : 100%; maximale : 50%).

Dans le cas d'une rupture du réseau de fibres optiques

Le système de contrôle de commande des éoliennes est relié par fibre optique aux différents capteurs. En cas de rupture de la fibre optique entre deux éoliennes, la transmission peut s'effectuer directement en passant par le SCADA propre à l'éolienne ou par le SCADA central. Il s'agit d'un système en anneau qui permet de garantir une communication continue des éoliennes.



<u>Figure 5</u>: Illustration du système en anneau garantissant une communication continue des éoliennes −

Légende : SCADA → Circulation de l'information

Les détails complémentaires du système SCADA sont donnés en annexe page 76.

Conception des éoliennes

Certification de la machine

Technologie Enercon

Les éoliennes ENERCON sont conçues, fabriquées, installées et certifiées selon les exigences des normes IEC 61400-1 et IEC 61400-24, tel que requis par les articles 8 et 9 de l'arrêté du 26 Août 2011.

La société ENERCON tient à disposition de l'Inspection des Installations Classées les rapports des organismes compétents attestant de la conformité des aérogénérateurs aux normes précitées.

Process de fabrication

Technologie Enercon

Les machines Enercon sont dites à « attaque directe » : c'est-à-dire que le moyeu du rotor et le générateur annulaire forment une unité solidaire. Ils sont accouplés l'un à l'autre directement sans boîte de vitesse intercalée (multiplicateur). Cette technologie permet de limiter l'usure mécanique et restreint les quantités d'huile présente dans la nacelle ; un multiplicateur contenant environ 5 000 L.

La génératrice utilisée est annulaire et à électro-éléments. Ainsi, aucune terre-rare n'est utilisée.

Enfin, ces machines peuvent fonctionner en mode dégradé.

4.2.3. Opération de maintenance de l'installation avec des éoliennes ENERCON

La maintenance de l'installation sera réalisée par la société Enercon en fonction du choix de la machine.

Maintenance et inspections périodiques sur les éoliennes

- Inspection visuelle : Une fois par an
 Graissage d'entretien : Une fois par an
 Maintenance électrique : Une fois par an
- Maintenance mécanique : Une fois par an
- Tests de commissioning: Les tests réalisés lors du commissioning prévoient notamment un essai de survitesse ainsi que des tests électriques.
- Maintenance des 300 heures : La première maintenance après la mise en service a lieu après 300 heures. Au cours de cette opération, l'intégralité des opérations de maintenance précédemment mentionnées est effectuée.

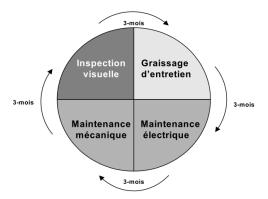


Figure 6 : Phases de maintenance Enercon (source : Enercon, 2012)

Chaque éolienne dispose d'un carnet de maintenance dans lequel sont consignées les différentes opérations réalisées. De plus, une inspection visuelle de l'état général de l'éolienne est effectuée lors de chaque opération de maintenance.

Ces opérations de maintenance garantissent le suivi et la durabilité des éoliennes dans le temps, comme le montrent les photos ci-dessous.

Nacelle d'éolienne ENERCON neuve



Nacelle d'éolienne ENERCON en service depuis 17 ans





<u>Figure 7</u> : Illustration de la maintenance réalisée sur une éolienne de 17 ans (source : Enercon, 2012)

Les photographies suivantes illustrent différentes autres parties de ces mêmes nacelles, neuve et ayant 15 ans de service.

Nacelle d'éolienne ENERCON neuve :





Nacelle d'éolienne ENERCON en service depuis 17 ans :







Figure 8 : Illustration de la maintenance réalisée sur une éolienne de 17 ans (source : Enercon, 2012)

Inspection visuelle

Lors des inspections visuelles, les points particuliers de vigilance sont axés sur les aspects suivants :

- Corrosion,
- Dommages mécaniques (par ex. fissures, déformation, écaillage, câbles usés),
- Fuites (huile, eau),
- Unités incomplètes,
- Encrassements / corps étrangers.

Ces opérations d'inspection sont faites au moins une fois par an.

Graissage d'entretien

Les opérations de graissage visent à s'assurer du bon état des pièces mobiles et d'assurer un appoint ou de vidanger les huiles et lubrifiants. L'ensemble des points à vérifier est précisé dans le Plan de Maintenance relatif au graissage défini pour chaque modèle.

Maintenance électrique

Les opérations de maintenance électrique visent à s'assurer du bon fonctionnement de tous les équipements électrique actifs (transformateurs, éclairage, mises à jour logicielles, ...) et passifs (mises à la terre, ...). L'ensemble des points à vérifier est précisé dans le Plan de Maintenance Electrique défini pour chaque modèle.

Maintenance mécanique

Lors des opérations de maintenance mécanique, les points particuliers de vigilance sont axés sur les aspects suivants :

- Panneaux d'avertissement,
- Pied du mât / local des armoires électriques,
- Fondations,
- Mât : échelle de secours, ascenseurs de service, plateformes et accessoires, chemin et fixation de câbles, assemblages à vis,
- Nacelle: treuil à chaîne, extincteurs et trousse de secours, système de ventilation, câbles, trappes, support principal, arbre de moyeu, Transmissions d'orientation, Contrôle d'orientation (« yaw »), Couronne d'orientation, Entrefer du générateur, Groupe hydraulique, Frein électromécanique, Dispositif de blocage du rotor, Assemblages à vis, ...
- Tête du rotor: Rotor, Câbles et lignes, Générateur, moyeu du rotor et adaptateur de pale, engrenage de réglage des pales (« pitch »), Système de graissage centralisé, vis des pales du rotor, pales de rotor, ...
- Système parafoudre
- Anémomètre
- ٠...

Ces opérations d'inspections sont faites au moins une fois par an.

Personnel qualifié et formation continue

Tout personnel amené à intervenir dans les éoliennes est formé et habilité :

- Electriquement, selon son niveau de connaissance ;
- Aux travaux en hauteur, port des EPI, évacuation et sauvetage;
- Sauveteur Secouriste du Travail.

Ces habilitations sont recyclées périodiquement suivant la réglementation ou les recommandations en vigueur. Des contrôles des connaissances sont réalisés afin de vérifier la validité de ces habilitations.

Des points mensuels concernant la sécurité et les procédures sont effectués avec l'ensemble du personnel de maintenance. Une présentation du fonctionnement de la sécurité est réalisée auprès des nouveaux embauchés.

4.2.4. Stockage et flux de produits dangereux

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

4.3. FONCTIONNEMENT DES RESEAUX DE L'INSTALLATION

4.3.1. Approbation de construction et de l'exploitation des ouvrages de transport et de distribution d'électricité (art. L323-11 code de l'énergie)

En application de l'Article 6 du II du Décret n°2014-450 du 2 mai 2014, ce chapitre présente les éléments nécessaires à la constitution d'une demande d'Approbation d'un Projet d'Ouvrage au titre de l'article L. 323-11 et des articles R323-29 et R323-30 du Code de l'énergie.

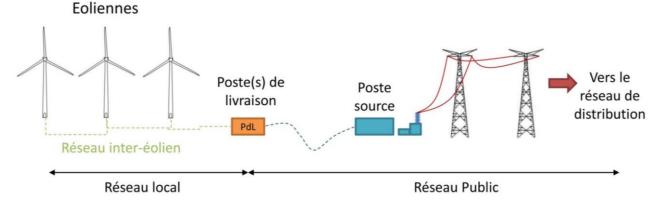


Figure 9 : Raccordement électrique des installations (source : INERIS/SER/FEE, 2012)

Le pétitionnaire s'engage à respecter les dispositions de l'arrêté du 17 mai 2001 fixant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les ouvrages électriques.

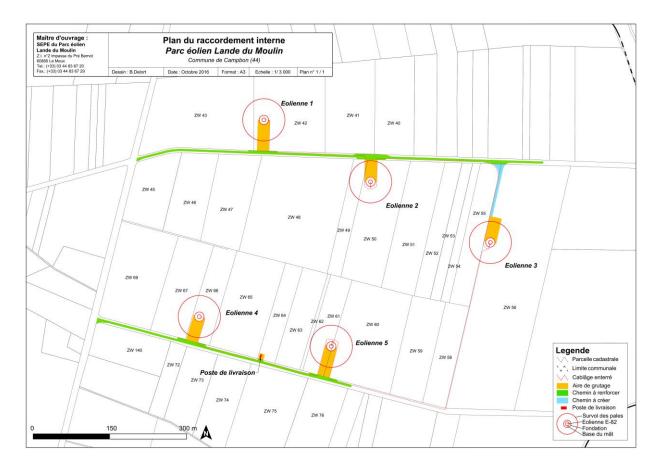
Présentation générale du projet

L'énergie produite par les éoliennes est canalisée via un réseau de transport de l'électricité interne et dirigée vers un poste de livraison qui est le nœud de raccordement de toutes les éoliennes avant que l'électricité ne soit injectée dans le réseau public. Le câblage interne HTA (20 kV) se fera en souterrain en longeant les routes/chemins à proximité ou en plein champs. Les tranchées nécessaires seront de 1 m de profondeur. En parallèle de la pose des câbles il sera mis en place un réseau de fibre optique afin de permettre la surveillance et le contrôle du parc éolien.

Pour le projet éolien « Lande du Moulin » sur la commune de Campbon en Loire-Atlantique (44), le raccordement interne reliera les 5 éoliennes Enercon E-82 E2 au poste de livraison.

Eolienne	Commune	Parcelle	Coordonnées géographiques		Coordonnées géographiques	
		cadastrale Lambert 93		WGS 84		
			х	у	Latitude	Longitude
E1	Campbon	ZW 42	328992	6714570	N47°25'38,3"	W001°55'28,7''
E2	Campbon	ZW 50	329200	6714448	N47°25'34,7''	W001°55'18,5''
E3	Campbon	ZW 56	329433	6714327	N47°25'31,3"	W001°55'07,0''
E4	Campbon	ZW 66	328863	6714187	N47°25'25,6"	W001°55'33,7''
E5	Campbon	ZW 60 – ZW 61	329120	6714127	N47°25'24,2"	W001°55'21,3''
Poste de Livraison	Campbon	ZW 64	328982	6714109	N47°25'23,3''	W001°55'27,8''

<u>Tableau 15</u>: Localisation géographique des éoliennes (source : ENERCON, 2016)



Carte 13: Carte du raccordement interne du projet éolien Lande du Moulin (source : ENERCON, 2016)

Réseau électrique externe

Dans le cas d'un parc éolien raccordé sur un réseau de distribution, le gestionnaire du réseau de distribution créé lui-même et à la charge financière du producteur, un réseau de distribution haute tension pour relier le producteur directement au poste source le plus proche (ou disponible). Il est très rare que le gestionnaire de réseau de transport créé de longues distances de réseau pour raccorder l'installation du producteur.

A ce stade de développement du projet éolien, la décision du tracé de raccordement externe par le gestionnaire de réseau n'est pas connue. La proposition de raccordement réalisée par le porteur de projet, sur le poste source de Savenay, n'est donc pas définitive.

Le tracé de raccordement externe proposé sur la carte ci-contre est purement illustratif car la définition du tracé définitif et la réalisation des travaux de raccordement sont du ressort du gestionnaire de réseau (RTE/ERDF) et à la charge financière du porteur de projet.

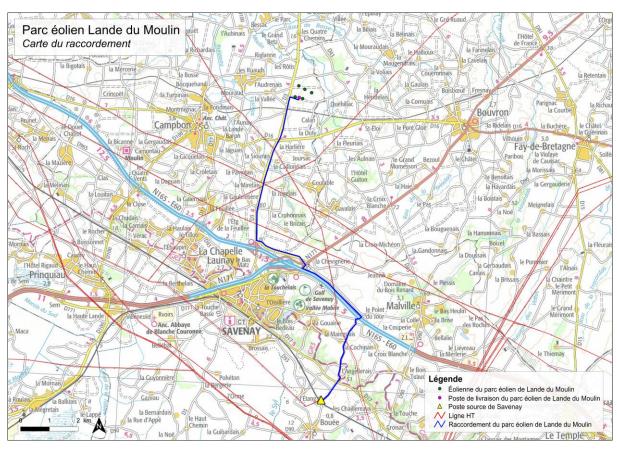


Figure 10 : Raccordement externe du projet éolien Lande du Moulin

Réseau de communication

Un réseau de communication est créé dans la même tranchée pour relier les machines entre elles au poste de supervision. Ce réseau de communication en fibre optique est insensible aux perturbations électromagnétiques qui pourraient être induites par la proximité immédiate des câbles de puissance.

Rappel des renseignements généraux liés à l'instruction

Maître d'ouvrage	S.E.P.E Lande du Moulin
Puissance	11,5 MW
Région	Pays de la Loire
Département	Loire-Atlantique (44)
Commune concernée par l'ouvrage électrique (câble et poste)	Campbon

<u>Tableau 16</u>: Renseignements généraux liés à l'instruction (source : ENERCON, 2016)

Environnement de l'installation

L'ensemble des éléments descriptifs de l'environnement humain et naturel est disponible dans le présent document des pages 12 à 24.

Description technique des ouvrages électriques et des postes de livraison (ouvrages privés)

Généralités

- Nature de l'ouvrage : réseau souterrain d'électricité inter-éolienne
- Nature des canalisations : canalisations souterraines HTA et fibre optique
- Tension de service : 20 kV
- Longueur électrique et géographique :

Câble	Sous voies publiques (m)	Sous voies privées (m)	En domaine privé (autre que voie) (m)	Total (m)
Longueur électrique	904	-	1182	2086
Longueur géographique	904	-	1022	1926

<u>Tableau 17</u>: Longueurs des câbles électriques (source : ENERCON, 2016)

• Description du système de distribution :

1) - Définition du système et description générale de la distribution (nature de la tension, nombre de fils, existence ou non de lignes de tensions différentes de sous-stations, poste de livraison, etc)	Câblage (3 conducteurs par câble) HTA de 20 kV reliant les 5 éoliennes et le poste de livraison
2) - Caractéristiques maximales de l'ouvrage	20 kV
3) - Transformateurs, emplacement, puissance	Néant (présent uniquement dans les éoliennes)
4) - Postes de livraison	Postes de livraison préfabriqués
5) - Respect des normes techniques	NFC13-200 : installations électriques à haute tension - règles complémentaires pour les sites de production et les installations industrielles, tertiaires et agricoles. NFC13-205 : installations électriques à haute tension guide pratique - détermination des sections de conducteurs et choix des dispositifs de protection.

<u>Tableau 18</u>: Description du système de distribution (source : ENERCON, 2016)

Renseignements sur la distribution :

Tronçon	Longueur (*) du tronçon	Commune	Voies publiques empruntées (Désignation de la voie)	Voies privées empruntées (section et numéros)	Domaines privés empruntés (section et numéros)	Observations
			-	-	ZW 42	En plein champ
E1 - E2	346 m (géographique) en 95 mm² AL	Campbon	Voie communale Nord	-	-	En accotement puis en traversée
			-	-	ZW49	En plein champ
			-	-	ZW50	En plein champ
			-	-	ZW 50	En plein champ
E2 - E3	495m (géographique) en 95 mm² AL	Campbon	Voie communale Nord	-	-	En accotement
			-	-	ZW 55	En plein champ
			-	-	ZW 56	En plein champ
			-	-	ZW 56	En plein champ
E3 – E5	10 0 1 7	Campbon	Voie communale Sud	-	-	En accotement
	en 150 mm² AL		-	-	ZW 60	En traversée
			-	-	ZW 61	En plein champ
			-	-	ZW 61	En plein champ
E5 - PDL	218 m E5 - PDL (géographique) en 240 mm² AL	Campbon	Voie communale Sud	-	-	En accotement
			-	-	ZW 64	En plein champ
			-	-	ZW 64	En plein champ
PDL – E4	192 m (géographique) en 95 mm² AL	(géographique) Campbon	Voie communale Sud	-		En accotement
			-	-	ZW 66	En plein champ

<u>Tableau 19</u>: Renseignements sur la distribution (source : ENERCON, 2016)

Le câble / les câbles

Détails techniques

Conduct	eur souterrains
1 – Type de câble	HTA NF 33-226
2 – Nature de l'âme des conducteurs	Aluminium
3 - Nombre, disposition et section des conducteurs	3 conducteurs par câble, disposés en trèfle, section moyenne de 95 mm² et 240 mm²
4 - Nature des couches isolantes	Polyéthylène
5 – Caractéristique du câble	Caractéristique UTE
6 – Profondeur et pose du câble	
Sous accotement	80 cm
En plein champ	120 cm
7 – Profondeur et pose du câble sous chaussée	Non concerné
8 - Protection	Grillage avertisseur placé de 25 à 30 cm au-dessus du câble
9 – Tranchées	Un faisceau de fibres optiques est posé avec les câbles sous fourreau (cf. coupe schématique ciaprès)

<u>Tableau 20</u>: Détails techniques (source : ENERCON, 2016)

Description du câble

La description du câble est présentée ci-dessous.

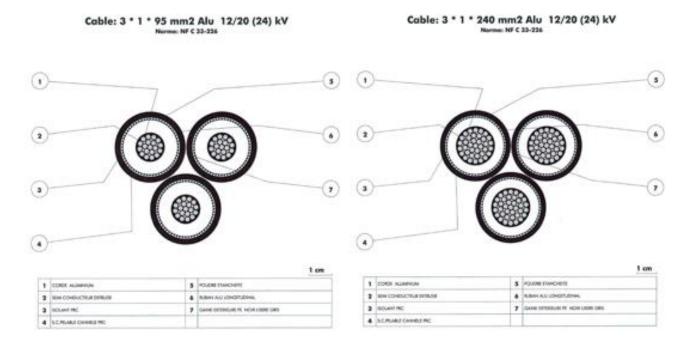


Figure 11 : Plan en coupe des câbles (source : ENERCON, 2016)

Mise en place du câble inter-éoliennes

Toutes les lignes électriques construites dans le cadre du projet seront enfouies. La société d'exploitation du parc éolien est propriétaire du réseau électrique inter éoliennes jusqu'au poste de livraison.

Les câbles (électriques et fibres optiques) sont enfouis au minimum à 0,80 m de profondeur en bord de voies et à 1,2 m dans les champs. Un grillage avertisseur est placé entre 25 et 30 cm au-dessus des câbles. Le tout est ensuite enrobé par du sable déposé dans la tranchée avant le remblai. Ce dernier est compacté par couche comprise entre 30 et 40 cm avec des contrôles au pénétromètre. La terre végétale est ensuite ré-étalée dans la tranchée. Il arrive que le parcours des câbles soit signalisé par des pancartes mentionnant la profondeur et le type de câble (on signale notamment les virages dans le parcours des câbles). Les câbles sont en aluminium pour des raisons économiques.

Les différentes sections de câblage du projet éolien Lande du Moulin se font majoritairement en accotement des futurs chemins d'accès (chemins existants renforcés) et plateformes d'exploitation. Celui-ci traversera par 1 fois les futurs chemins d'accès aux éoliennes (E1 et E2) par tranchée ouverte. Le calendrier du chantier de réalisation des chemins et câblage seront harmonisé pour tenir compte de cet aménagement.





Figure 12 : Illustration des travaux de mise en place des câbles (source : ENERCON, 2016)

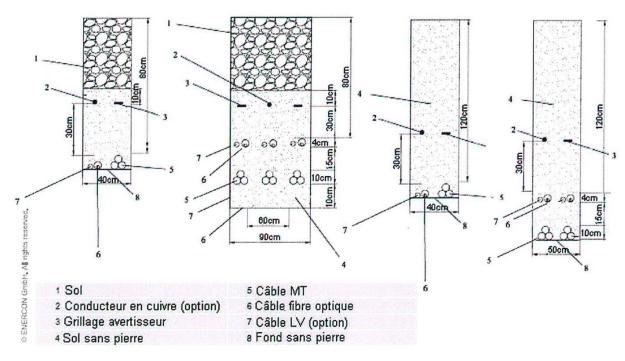


Figure 13 : Coupes des tranchées du raccordement électrique interne (source : ENERCON, 2016)

Les postes de livraison

Les postes de livraison constituent l'interface du réseau inter-éolien privé avec le réseau public d'électricité. Les trois grandes fonctionnalités réalisées à cette interface sont la séparation, la protection et le comptage.

Les cellules haute tension intègrent un disjoncteur et des relais de protections. Ces derniers permettent d'identifier un défaut du réseau externe ou interne et de découpler l'installation rapidement du réseau public d'électricité.

Ce poste de livraison est d'une dimension de 6.5 x 2.5 x 2.3 m, avec un local contenant les organes haute tension (HTA, 20 kV) mentionnés ci-dessus, et un local basse tension contenant généralement le système de supervision ainsi que tous les automatismes et systèmes de communication permettant une exploitation optimale de l'ensemble du parc éolien (Système SCADA, cf. 4.2.2 et Annexe p 76). Son implantation est précisée sur la carte du raccordement interne p33.

Le poste de livraison est un poste préfabriqué en béton armé respectant les normes NF C 15-100 et NF C 13-100, de couleur « Vert sapin » RAL6009 pour une meilleure intégration paysagère. Le poste de livraison respecte la norme de protection contre l'incendie NF C 13-100 (§742) - Classe F0/F1.





Figure 14: Poste de livraison type ENERCON (source : ENERCON, 2016)

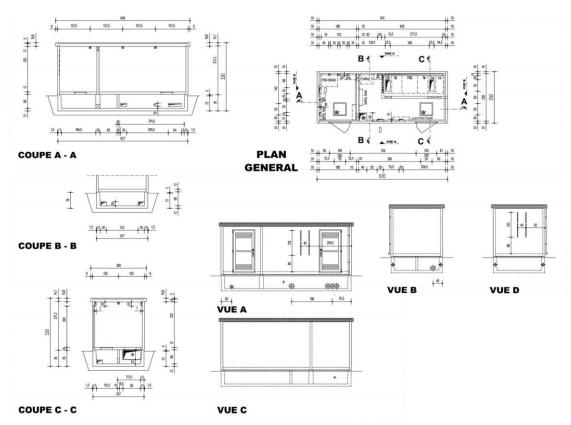


Figure 15: Plan de facade et de toiture du poste de livraison (source: ENERCON, 2016)

L'installation du poste de livraison intervient après le renforcement/création des chemins d'accès. Un travail de terrassement sur environ 1 m de profondeur est réalisé à l'endroit du poste. Celui-ci est ensuite livré puis installé à l'aide d'une grue dans le trou de fondation. La terre végétale est remblayée une fois que les fourreaux de câblages du réseau interne et ERDF sont installés (insérés dans les passages pré-aménagés dans les fondations du poste).

Voisinage avec d'autres réseaux enterrés

Aucun autre réseau souterrain n'est présent dans un rayon de 500 m autour des éoliennes et du poste de livraison. Le parc éolien Lande du Moulin 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.

Engagement du porteur de projet

Respect des règles de l'art

Les installations seront exécutées conformément aux dispositions de la loi du 15 juin 1906 et selon les règles de l'Art et répondront aux prescriptions du dernier Arrêté Interministériel connu déterminant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les lignes d'énergie électrique. (Arrêté du 17 mai 2001 modifié par l'arrêté du 26 avril 2002 et celui du 10 mai 2006).

Contrôle technique des travaux

Le porteur de projet s'engage à diligenter un contrôle technique en application de l'article 13 du décret n°2011-1697 modifié et de l'arrêté d'application du 14 janvier 2013 dans le respect des conditions prévues par l'arrêté d'application du 14 janvier 2013.

Information du gestionnaire du réseau public

Conformément à l'article 7 du décret n°2011-1697 modifié, le porteur de projet s'engage à transmettre au gestionnaire du réseau public de distribution d'électricité (ERDF) les informations permettent à ce dernier d'enregistrer la présence des lignes privées dans son SIG des ouvrages.

Information auprès de l'INERIS

Le porteur de projet atteste qu'il se fera connaître auprès de l'INERIS qui gère le « guichet unique » en application des dispositions des articles L.554-1 à L.554-4 et R.554-1 et suivants du code de l'environnement qui sont relatives à la sécurité des travaux souterrains, aériens ou subaquatiques de transport et de distribution.

Certificat de maîtrise foncière des propriétés

Il concerne les accords des propriétaires privés et des locataires, et les indemnisations faîtes.

A: Le Meux, le: 17/10/16

CERTIFICAT DE MAITRISE **DES PROPRIETES**

Je soussigné Christof Buttner, en qualité de gérant de la S.E.P.E Lande du Moulin, certifie que nous sommes en possession de toutes les autorisations à l'amiable (promesses de baux emphytéotiques), relatives au passage dans les propriétés privées :

- des lignes électriques souterraines 1x1x240 mm² Alu, 1x1x150 mm² Alu et 3x1x95 mm² Alu ;
- du terrain du poste de livraison.

Communes de : Campbon

Construction des liaisons HTA souterraines de catégorie A (20 KV) d'une longueur d'environ 1925 mètres permettant de relier les 5 éoliennes de type Enercon E-82 E2 2,3 MW du projet éolien Lande du Moulin au Poste de Livraison raccordés par ERDF au réseau électrique de Distribution Public.

Des indemnisations sont prévues, au minimum, sur la base du barème de la Chambre d'Agriculture pour :

- les occupations du sous-sol et du terrain de poste ;
- les dommages instantanés résultants de l'exécution des travaux de pose des ouvrages électriques.

Christof Buttner Gérant de la S.E.P.E Lande du Moulin

5 IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION

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

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

5.1. POTENTIEL DE DANGER LIE 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 déchets, ni d'émission atmosphérique, ni d'effluent potentiellement dangereux pour l'environnement.

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

- Produits nécessaires au bon fonctionnement des installations : principalement des graisses et des huiles de transmission ou huiles hydrauliques pour systèmes de freinage ;
- Produits de nettoyage et d'entretien des installations : solvants, dégraissants, nettoyants...

Les principaux produits mis en œuvre dans les éoliennes Enercon sont listés sur la page ci-contre.

Relatif aux déchets, pour les éoliennes Enercon, le retour d'expérience montre par ailleurs que les quantités de déchets générés sont très faibles. En effet, pour un modèle de type E-126 (plus gros modèle), les déchets annuels sont de l'ordre des quantités suivantes³:

- Absorbants, matériaux filtrants (filtres à huile), chiffons d'essuyage et vêtements de protection contaminés par des substances dangereuses : 7 kg par an ;
- Papiers et cartons : 2 kg par an ;
- Emballages en mélange : 2 kg par an ;
- Déchets résiduels : 6 kg par an.

Conformément à l'article 16 de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation, aucun matériau combustible ou inflammable ne sera stocké dans les éoliennes ou le poste de livraison du parc éolien Lande du Moulin.

	Conditions							Cla	ssific	catio	า						E	tiqueta	ge	
Produits	de stockage / d'utilisation / de formation Quantités maximales stockées/ utilisées	Explosible (E)	Comburant (O)	Extrêmement inflammable (F+)	Facilement inflammable (F)	Inflammable (R10)	Très toxique (T+)	Toxique (T)	Nocif (Xn)	Corrosif (C)	Irritant (Xi)	Sensibilisant (R42, R43)	Cancérogène (CCx)⁴	Mutagène (MCx) ⁵	Toxique pour la reproduction (RCx) ⁶	Dangereux pour (I'environnement (N)	Symboles de danger	Phrases R	Phrases S	Commentaires
MOBILGEA R OGL 461 (graisse lubrifiante)	Graissage des roues dentées										x							R38, R41		Irritant pour la peau, Risque de lésions oculaires graves Incompatibilités : éviter le contact avec les oxydants forts comme le chlore liquide et l'oxygène concentré Point éclair > 204°C
RENOLIN PG 220 (lubrifiant) RENOLIN PG 46	Frein hydraulique : 5 litres															x		R 52/5 3		Nocif pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique. Point éclair: 240°C
RENOLIN UNISYN CLP 220 (lubrifiant)	Huile d'engrenage , Transmissio ns d'orientation : 7 litres Arbre de renvoi : 4 à 6 litres															x		R53		Peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique. Point éclair : 260°C

<u>Tableau 21</u>: Liste des produits utilisés pour la maintenance des éoliennes (source : Enercon, 2015)

³ D'après le document ENERCON « ESC_Waste_Amount_E-126_after_commissioning_2012-02-13_rev000_gereng.docx »

⁴ CCx : Produit cancérogène de catégorie x (x valant 1, 2 ou 3)

⁵ MCx : Produit mutagène de catégorie x (x valant 1, 2 ou 3)

⁶ RCx : Produit toxique pour la reproduction de catégorie x (x valant 1, 2 ou 3)

5.2. POTENTIELS DE DANGERS LIES AU FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION

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

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

Ces dangers potentiels sont recensés de manière générique dans le tableau suivant.

Installation ou système	Fonction	Phénomène redouté	Danger potentiel
Système de transmission	Transmission de l'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	Transfer 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

<u>Tableau 22</u>: Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation (source : guide INERIS/SER/FEE, 2012)

5.3. REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS A LA SOURCE

5.3.1. Principales actions préventives

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

Intégration dans le Schéma Régional Eolien

Dans le cadre du Grenelle de l'Environnement fixé par les lois Grenelle, la région Pays de la Loire a élaboré son Schéma régional climat air énergie (SRCAE) validé par arrêté préfectoral du 18 Avril 2014. L'un des volets de ce schéma très général est constitué par un Schéma régional éolien (SRE), qui détermine quelles sont les zones favorables à l'accueil des parcs et quelles puissances pourront y être installées en vue de remplir l'objectif régional d'ici à 2020. Le SRE des Pays de la Loire a été approuvé par arrêté le 8 janvier 2013, mais annulé le 31 mars 2016 par le tribunal administratif de Nantes. Le Ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer va faire appel de cette décision.

L'objectif de ce Schéma régional éolien est de favoriser le développement de l'énergie éolienne terrestre en fournissant un cadre clair et objectif pour l'éolien régional. Dans ce but, différents zonages ont été réalisés pour identifier clairement les zones favorables au développement éolien en fonction des paramètres suivants : potentiel du vent, contraintes techniques et sensibilités environnementales (paysages, patrimoine, biodiversité).

Le site envisagé pour l'implantation des éoliennes appartient à une zone verte, c'est-à-dire favorable à l'éolien.

Etude itérative de limitation des impacts

Dans la limite du périmètre de la zone d'implantation (polygone au-delà de 500 m des premières habitations et intégrant d'autres contraintes techniques telles que les distances minimales aux routes etc.), un travail important d'itérations conduisant au choix de l'implantation a été engagé, faisant intervenir plusieurs spécialistes (ingénieur éolien, écologue et paysagiste, principalement).

Afin de permettre une implantation harmonieuse du parc, le projet a tenu compte de l'ensemble des sensibilités du site : paysagères, patrimoniales et humaines, biologiques, et enfin techniques, afin de réduire systématiquement les impacts sur les éléments les plus sensibles. Le choix de l'implantation doit enfin prendre en compte la présence des autres parcs éolien sur le territoire afin d'aboutir à un projet de territoire cohérent.

Ce travail itératif doit également tenir compte du foncier, des pratiques agricoles et du ressenti et de l'acceptation locale (propriétaires, exploitants, riverains). Pour le foncier par exemple, bien que des promesses de bail soient signées en amont du projet, le choix de l'implantation se fait en concertation avec les propriétaires et exploitant des terrains. En cas d'opposition de ceux-ci, ce dernier paramètre devient, bien sûr, une contrainte majeure. Toute solution retenue résulte alors d'un compromis et cette question doit être prise en compte pour définir des variantes réalistes.

Ainsi, ce projet est composé de cinq machines alignées sur deux lignes (3x2 éoliennes).

Le SRE de la région Pays de la Loire a réparti la sensibilité paysagère de la région en 4 classes : faible, moyenne, forte et très forte. Le parc éolien Lande du Moulin se situe en sensibilité faible.

L'implantation du projet éolien Lande du Moulin résulte du travail d'une variante d'implantation présentant le meilleur compromis face aux différents enjeux présents sur le territoire.

Ainsi le projet s'éloigne des zones écologiquement les plus sensibles et limite l'implantation d'éolienne en zone humide. Seules 2 éoliennes sont situées en zone humide à fonctionnalité faible, pour lesquelles une mesure de compensation est mise en place. Afin de limiter l'impact sur les zones humides et la consommation d'espaces agricoles, les éoliennes ont été positionnées à proximité des chemins existants. Le câblage interne longe les chemins existants ou en limite parcellaire.

Le projet s'éloigne le plus possible des habitations pour limiter tout risque et tout impact paysager et sonore. D'un point de vue acoustique, le projet respectera la réglementation en vigueur grâce notamment à la mise en place d'un bridage de certaines éoliennes la nuit.

Paysagèrement, la variante finale du projet est celle qui présente la meilleure insertion dans le paysage tant local qu'éloigné. Le projet suit les lignes de force du paysage et s'insère de manière lisible. Le projet sera peu visible depuis les habitations vu le caractère bocager du secteur.

En respect du règlement départementale 44, les éoliennes s'éloignent de la RD3 à plus d'une longueur de pale (41m). Pour limiter tout risque vis-à-vis de cette voie structurante, l'éolienne la plus proche (E4) est située à 200 m.

5.3.2. Utilisation des meilleurs 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 IED (« Integrated Pollution Prevention and Control »), afin d'autoriser et de contrôler les installations industrielles.

Pour l'essentiel, la directive IED 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 IED doivent obtenir des autorités des Etats-membres une autorisation environnementale avant leur mise en service.

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

6 ANALYSE DES RETOURS D'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 maitrise 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, littératures spécialisées, etc.). Ces bases de données sont cependant très différentes tant en termes de structuration des données qu'en termes de détail de l'information.

L'analyse des retours d'expérience vise donc ici à faire émerger des typologies d'accident rencontres 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 8 pour l'analyse détaillée des risques.

6.1. INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS EN FRANCE

6.1.1. Base de données

Un inventaire des incidents et accidents en France a été réalisé afin d'identifier les principaux phénomènes dangereux potentiels pouvant affecter le parc éolien Lande du Moulin. 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 (mai 2012).

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

- Rapport du Conseil General 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.

6.1.2. Bilan accidentologie matériel

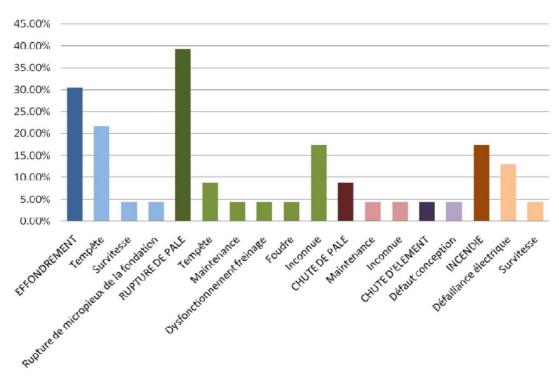
Un total de 53 incidents a pu être recensé entre 2000 et 2015 (voir tableau ci-après listant les accidents survenus en France). Ce tableau de travail a été validé par les membres du groupe de travail précédemment mentionné.

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

Le graphique ci-après montre la répartition des évènements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et 2011. Cette synthèse exclut les accidents du travail (maintenance, chantier de construction, etc.) et les évènements qui n'ont pas conduit à des effets sur les zones autour des aérogénérateurs. L'identification des causes est nécessairement réductrice. Dans ce graphique sont présentés :

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

Par ordre d'importance, les accidents les plus recensés sont les ruptures de pale, les effondrements, les incendies, les chutes de pale et les chutes des autres éléments de l'éolienne dont la cause principale tient aux tempêtes.



<u>Figure 16</u>: Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc éolien français entre 2000 et 2010 (source : SER/FEE/INERIS, 2012)

Date	Localisation	Incident
2000	Port la Nouvelle (Aude)	Le mât d'une machine de la ferme éolienne s'est plié lors d'une tempête, suite à la perte d'une pale.
2001	Sallèles-Limousis (Aude)	Bris de pâle dont la cause n'est pas connue.
01/02/2002	Wormhout (Nord)	Bris de pale et mat plié à la suite d'une tempête.
25/02/2002	Sallèles-Limousis (Aude)	Bris de pale sur une éolienne bipale, lors d'une tempête.
01/07/2002	Port la Nouvelle – Sigean (Aude)	Electrocution et brûlures d'un opérateur par contact avec une partie sous haute tension d'un transformateur.
28/12/2002	Nevian (Aude)	Effondrement d'une éolienne suite au dysfonctionnement du système de freinage lors d'une tempête.
05/11/2003	Sallèles-Limousis (Aude)	Bris de pales sur 3 éoliennes lié à un dysfonctionnement du système de freinage.
2004	Escales-Conilhac (Aude)	Bris de trois pales.
02/01/2004	Le Portel - Boulogne- sur-mer (Pas de Calais)	Cassure du mât d'une éolienne et chute de plusieurs pales - Défaut de serrage des boulons servant à relier 2 tronçons du mât (défaillance d'entretien).
20/03/2004	Loon Plage - port de Dunkerque	Une éolienne est abattue par le vent : le mât et une partie de sa fondation a été arrachée. Cause non identifiée.
22/06/2004	Pleyber-Christ (Finistère)	Premier incident : une pale se brise par vent fort
08/07/2004	Pleyber-Christ (Finistère)	Deuxième incident : une autre pale se brise par vent fort
2005	Wormhout (Nord)	Bris de pale
22/12/2005	Montjoyer-Rochefort (Drôme)	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne en raison de vents forts et d'un dysfonctionnement du système de freinage.
07/10/2006	Pleyber-Christ (Finistère)	Troisième incident : une éolienne perd une pâle
18/11/2006	Roquetaillade (Aude)	Incendie de 2 éoliennes – Acte de malveillance
03/12/2006	Bondues (Nord)	Effondrement d'une éolienne en zone industrielle, relatif à une tempête.
31/12/2006	Ally (Haute-Loire)	Chute de pale lors de la maintenance visant à remplacer les rotors.
02/03/2007	Clitours (Manche)	Bris de pale de 4 m de long, projeté à plus de 200 mètres.
11/10/2007	Plouvien (Finistère)	Chute d'un élément de la nacelle (la trappe de visite)
Mars 2008	Dinéault (Finistère)	Emballement de l'éolienne (sans bris de pale associé) lors d'une tempête – dysfonctionnement du système de freinage.
Avril 2008	Plouguin (Finistère)	Collision d'un petit avion avec une éolienne, sans gravité pour le pilote amateur, vraisemblablement à cause des mauvaises conditions météo l'obligeant à voler au-dessous de l'altitude autorisée.
19/07/2008	Erizée-la-Brulée (Meuse)	Chute de pale et projection de morceaux de pale suite à un coup de foudre et un défaut de pale.
28/08/2008	Vauvillers (Somme)	Incendie de la nacelle relatif à problème au niveau d'éléments électroniques
26/12/2008	Raival (Meuse)	Chute de pale – cause inconnue.
26/01/2009	Clastres (Aisne)	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance suite à l'explosion d'un convertisseur.
08/06/2009	Bollène (Vaucluse)	Bout de pale éolienne ouverte liée à un coup de foudre.
21/10/2009	Froidfond – Espinassière (Vendée)	Incendie de la nacelle – cause inconnue.
30/10/2009	Freyssenet (Ardèche)	Incendie de la nacelle relatif à court-circuit faisant suite à une opération de maintenance
20/04/2010	Toufflers (Nord)	Décès d'un technicien (crise cardiaque) au cours d'une opération de maintenance.
30/05/2010	Port la Nouvelle (Aude)	Effondrement d'une éolienne – Rotor endommagé par survitesse.
19/09/2010	Rochefort-en-Valdaine (Drôme)	Emballement de deux éoliennes et incendie des nacelles lors d'une tempête et relatif à un dysfonctionnement du système de freinage.
15/12/2010	Pouillé-les-Côteaux (Loire-Atlantique)	Chute de 3 m d'un technicien de maintenance. Aucune blessure grave.

31/05/2011	Mesvres (Saône-et- Loire)	Collision entre train régional et un convoi exceptionnel transportant une pâle d'éolienne. Aucun blessé.
14/12/2011	Non communiqué	Rupture de pale liée à la foudre.
03/01/2012	Non communiqué	Acte de vandalisme : départ de feu au pied de tour.
05/01/2012	Widehem (Pas-de- Calais)	Bris de pales – Projection à 380 m
06/02/2012	Lehaucourt (Aisne)	Opération de maintenance dans la nacelle - un arc électrique (690V) blesse deux sous-traitants (brulure sérieuse au visage et aux mains)
18/05/2012	Fresnay l'Evêque (Eure)	Chute d'une pale au pied d'une éolienne et rupture du roulement qui raccordait la pale au hub.
30/05/2012	Port-la-Nouvelle (Aude)	Chute d'une éolienne liées à des rafales de vent de 130 km/h – Eolienne de 1991, tour en treillis (200 kW)
01/11/2012	Vieillespesse (Cantal)	Projection d'un élément de la pale à 70 m du mât pour une éolienne de 2,5 MW.
05/11/2012	Sigean (Aude)	Feu sur une éolienne de 660 KW entrainant une chute de pale et enflammant 80 m² de garrigue environnante
06/03/2013	Conihac-de-la-Montagne (Aude)	Chute d'une pale liée à un problème de fixation entrainant un arrête automatique de l'éolienne (détection d'échauffement + vitesse de rotation excessive).
17/03/2013	Euvy (Marne)	Incendie dans une nacelle conduisant à la chute d'une pale et une fuite de 450 l d'huile en provenance du multiplicateur. L'origine du feu est liée à une défaillance électrique. Le feu a été maitrisé en 1 heure.
03/08/2013	Moreac (Morbihan)	Perte de 270 L d'huile hydraulique d'une nacelle élévatrice intervenant sur une éolienne – pollution du sol sur 80 m ²
09/01/2014	Anthény (Ardennes)	Feu dans une nacelle au niveau de la partie moteur
20/01/2014	Sigean (Aude)	Chute d'une pale au pied d'une éolienne suite à un défaut de vibration
14/11/2014	Saint-Cirgues-en- Montagne (Ardèche)	Chute d'une pale d'éolienne
05/12/2014	Fitou (Aude)	Chute d'une pale d'éolienne
29/01/2015	Remigny (Aisne)	Feu dans une éolienne, probablement en raison d'un défaut d'isolation au niveau des connexions des conducteurs de puissance
06/02/2015	Lusseray (Deux-Sèvres)	Feu au niveau d'une armoire électrique dans une éolienne où interviennent deux techniciens
24/08/2015	Santilly (Eure-et-Loir)	Feu sur le moteur d'une éolienne situé à 90 m de hauteur
11/2015	Mesnil-la-Horgne (Meuse)	Chute du rotor
04/2016	Côtes-d'Armor (Calanhel)	Chute d'une pale

<u>Tableau 23</u>: Liste des incidents intervenus en France (source : aria.developpement-durable.gouv.fr, 21/07/2016)

6.1.3. Bilan accidentologie humain

Le bilan de l'accidentologie humain nous indique que depuis 11 ans environ :

- Aucun tiers, extérieur au parc, n'a été blessé ou tué ;
- Les personnes blessées sont toutes du personnel de maintenance. Sept accidents sont à déplorer conduisant à huit blessés dont deux morts.

Année	Nbr. Individu	Blessure	Cause
2002	1	Electrocution et brulure	Contact avec le transformateur
2009	2	Brulure	Explosion du convertisseur
2010	1	Décès	Crise cardiaque
2010	1	Blessure légère	Chute de 3 m dans la nacelle
2011	1	Décès	Ecrasement lors du levage d'éléments d'éolienne
2012	2	Brulure	Arc électrique
2013	1	Fracture du nez et atteinte des voies respiratoires	Projection d'un embout d'alimentation du réservoir d'azote sous pression et jet de gaz au visage

Tableau 24 : Liste des accidents humains inventoriés

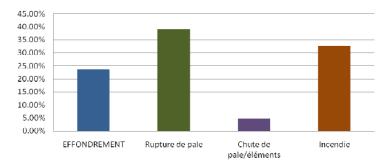
⇒ A ce jour, en France, aucun accident affectant des tiers ou des biens appartenant à des tiers n'est à déplorer. Le seul accident de personne recensé en France relève de la sécurité du travail dans des locaux où des appareils à haute tension sont en service.

6.2. INVENTAIRE DES ACCIDENTS ET INCIDENTS A

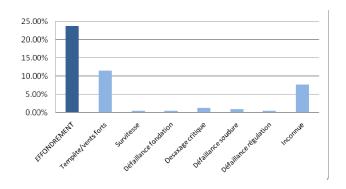
Un inventaire des incidents et accidents à l'international a également été réalisé. Il se base lui aussi sur le retour d'expérience de la filière éolienne fin 2010.

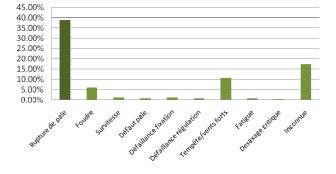
La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur les 994 accidents décrits dans la base de données au moment de sa consultation par le groupe de travail, seuls 236 sont considérés comme des « accidents majeurs ».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

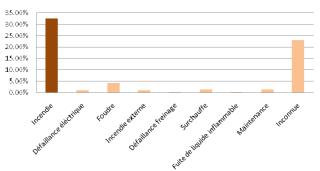
Le graphique suivant montre la répartition des évènements accidentels par rapport à la totalité des accidents analysés. Tout comme pour le retour d'expérience français, ce retour d'expérience montre l'importance des causes « tempêtes et vents forts » dans les accidents. Il souligne également le rôle de la foudre dans les accidents.



<u>Figure 17</u>: Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2010 (source : SER/FEE/INERIS, 2012)







Répartition des causes premières :

- D'effondrement (en haut, à gauche);
- De rupture de pale (en haut, à droite);
- D'incendie (en bas, à gauche).

<u>Figure 18</u> : Répartition des causes premières d'accident pour le parc éolien mondial (source : SER/FEE/INERIS, 2012)

6.3. SYNTHESE DES PHENOMENES DANGEREUX REDOUTES ISSUS DU RETOUR D'EXPERIENCE

6.3.1. Analyse de l'évolution des accidents en France

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

La figure ci-dessous montre cette évolution et il apparait 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 sures.

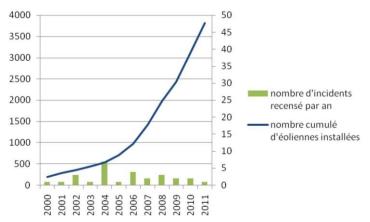


Figure 19 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées (source : INERIS/SER/FEE. 2012)

6.3.2. Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

Comme le montre l'arbre de défaillance (figure 12), de nombreux phénomènes peuvent être à l'origine d'incident et d'accident. Toutefois, la tempête (vent fort) associée à un dysfonctionnement du système de freinage est l'une des principales causes.

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

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

6.4. 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) ;
- <u>Les importantes incertitudes</u> 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.

ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

OBJECTIF DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

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

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

7.2. RECENSEMENT DES EVENEMENTS EXCLUS DE L'ANALYSE DES RISQUES

Conformément à la circulaire du 10 mai 2010, les évènements 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 règlementation applicable aux installations classées considérées;
- Crues d'amplitude supérieure à la crue de référence, selon les règles en vigueur ;
- Evènements climatiques d'intensité supérieure aux évènements 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. 214-212 du Code de l'Environnement ou d'une digue de classe A, B ou C au sens de l'article R. 214-213 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 évènements, en termes de gravité et d'intensité, sont largement supérieures aux conséquences potentielles de l'accident qu'ils pourraient entrainer sur les aérogénérateurs. Le risque de sur-accident lié à l'éolienne est considéré comme négligeable dans le cas des évènements suivants :

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

7.3. RECENSEMENT DES AGRESSIONS EXTERNES POTENTIELLES

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

Traditionnellement, deux types d'agressions externes sont identifiés :

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

Agression externe liées aux activités humaines 7.3.1.

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.

Remarque : Aucun aérodrome n'est présent dans un rayon de 2 km. Aucun autre parc éolien n'est situé dans un périmètre de 500 m par rapport à l'installation projetée. Aucune ligne THT n'est inventoriée dans ce périmètre.

Infrastructure	Fonction	Evénement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Distance par rapport au mât des éoliennes (m)				
		redoute	potentiei		E1	E2	E3	E4	E5
Voies de circulation	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	42 Cc3	55 Cc3	160 Cc3	60 Cc2	60 Cc2

Tableau 25 : Liste des agressions externes liées aux activités humaines (Source : INERIS/SER/FEE, 2012)

7.3.2. Agression externe liées aux phénomènes naturels

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

Agression externe	Intensité
Vents et tempête	 Le DDRM du 44 indique que les communes de Campbon et de Bouvron ne sont pas consernées par ce risque; Absence de cyclone.
Foudre	 Densité de foudroiement : 8 contre 20 en moyenne nationale ; Respect de la norme IEC 61 400-24 (Juin 2010) et EN 62 305 – 3 (Décembre 2006).
Glissement de sols / affaissement miniers	 Aléa faible de retrait et gonflement des argiles; Cavité: 11 cavités naturelles sur Campbon – aucune cavité connue sur Bouvron / Une cavité intègre le périmètre d'étude de dangers (cavité de l'Audrenais, PALAA0100007).

Tableau 26 : Liste des agressions externes liées aux phénomènes naturels (source : INERIS/SER/FEE, 2012)

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 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 incendie, etc.). En effet, le système de mise à 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 scenarios de rupture de pale.

7.4. TABLEAU D'ANALYSE GENERIQUE 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 5.1 et 5.2), l'Analyse Préliminaire des Risques doit identifier l'ensemble des séquences accidentelles et phénomènes dangereux associés pouvant déclencher la libération du danger.

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

- Une description des causes et de leur séquençage (événements initiateurs et événements intermédiaires);
- Une description des événements redoutés centraux qui marquent la partie incontrôlée de la séquence d'accident :
- Une description des fonctions de sécurité permettant de prévenir l'événement redouté central ou de limiter les effets du phénomène dangereux;
- Une description des *phénomènes dangereux* dont les effets sur les personnes sont à l'origine d'un accident ;
- Une évaluation préliminaire de la zone d'effets attendue de 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). Les détails des scénarios sont présentés en annexe p.69.

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualifica tion de la zone d'effet
G01	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales, le mât et la nacelle	Chute de glace lorsque les éoliennes sont arrêtées	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace (N°2)	Impact de glace sur les enjeux	1
G02	Conditions climatiques favorables à la formation de glace	Dépôt de glace sur les pales	Projection de glace lorsque les éoliennes sont en mouvement	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de la glace (N°1)	Impact de glace sur les enjeux	2
101	Humidité / Gel	Court-circuit	Incendie de tout ou partie de l'éolienne	Prévenir les Courts- circuits (N°5)	Chute/projection d'éléments enflammés Propagation de l'incendie	2

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

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualifica tion de la zone d'effet
С3	Défaut fixation nacelle – pivot central – mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop importante sur les pales	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Impact sur cible	2
P03	Serrage inapproprié Erreur maintenance – desserrage	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	2
E01	Effets dominos autres installations	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E02	Glissement de sol	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E05	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E07	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du plan de prévention (N°13)	Chute fragments et chute mât	2
E08	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°12) Dans les zones cycloniques, mettre	Projection/chute fragments et chute mât	2

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualifica tion de la zone d'effet
				en place un système de prévision cyclonique et équiper les éoliennes d'un dispositif d'abattage et d'arrimage au sol (N°13)		
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

Tableau 27 : Analyse générique des risques (source : INERIS/SER/FEE, 2012)

7.5. EFFETS DOMINOS SUR LES ICPE

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

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

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

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

On limite l'évaluation de la probabilité d'impact d'un élément de l'aérogénérateur sur une autre installation ICPE que lorsque celle-ci se situe dans un rayon de 100 m (source : INERIS/SER/FEE, Mai 2012). Or, sur la zone d'étude, aucune éolienne du parc éolien Lande du Moulin ne se trouve à moins de 100 m d'une installation ICPE.

Aucun effet domino n'est donc à prévoir.

7.6. 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 Lande du Moulin. 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 »). Dans le cadre des études de dangers éoliennes, il est recommandé de mesurer cette indépendance à travers les questions suivantes :
 - ✓ Est-ce que la mesure de sécurité décrite a pour unique but d'agir pour la sécurité ? Il s'agit en effet ici de distinguer ces dernières de celles qui ont un rôle dans la sécurité mais aussi dans l'exploitation de l'aérogénérateur ;
 - Cette mesure est-elle indépendante des autres mesures intervenant sur le scenario ?
- Temps de réponse (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité. Il s'agit ici de vérifier que la mesure de maîtrise des risques agira « à temps » pour prévenir ou pour limiter les accidents majeurs. Dans le cadre d'une étude de dangers éolienne, l'estimation de ce temps de réponse peut être simplifié et se contenter d'une estimation d'un temps de réponse maximum qui doit être atteint. Néanmoins, et pour rappel, la règlementation impose les temps de réponse suivants :
 - ✓ Une mesure de maîtrise des risques remplissant la fonction de sécurité « limiter les conséquences d'un incendie » doit permettre de détecter un incendie et de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes ;
 - ✓ Une seconde mesure de maitrise des risques remplissant la fonction de sécurité « limiter les conséquences d'un incendie » doit permettre de détecter un incendie et de mettre en œuvre une procédure d'arrêt d'urgence dans un délai de 60 minutes ;
- Efficacité (100% ou 0%): l'efficacité mesure la capacité d'une mesure de maîtrise des risques à remplir la fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation. Il s'agit de vérifier qu'une mesure de sécurité est bien dimensionnée pour remplir la fonction qui lui a été assigné. En cas de doute sur une mesure de maitrise des risques, une note de calcul de dimensionnement peut être produite;
- **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.

Remarque 1 : Pour certaines mesures de maitrise 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).

Remarque 2 : Certaines mesures de maitrise des risques ne remplissent pas les critères « efficacité » ou « indépendance » : elles ont une fiabilité plus faible que d'autres mesures de maitrise 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.

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

Notamment selon l'art. 15 de l'arrêté du 26 août 2011, 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.

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 du givre et de mise à l'arrêt de la ma Procédure adéquate de redémarrage	chine	
Description	Système de détection redondant du givre (par exemple : de fonctionnement de l'éolienne + système de mesure d'vibrations) permettant, en cas de détection de glace immédiate de l'aérogénérateur. Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquemen conditions de givre, soit manuellement après inspection vis	les oscillations , une mise à t après disparition	et des l'arrêt
Indépendance	Non Les systèmes traditionnels s'appuient généralement sur appareils propres à l'exploitation du parc. En cas de da élevé sur site (survol d'une zone fréquentée sur site soum gel importantes), des systèmes additionnels peuvent être e	anger particulièr is à des condition	ement
Temps de réponse	Quelques minutes (<60 min.) conformément à l'article 25 2011	de l'arrêté du 2	6 août
Efficacité	100 %		
Tests	Tests menés par le concepteur au moment de la constructi	on de l'éolienne	
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnem de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipe	•	enance

Fonction de sécurité	Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace	N° de la fonction de sécurité	2
Mesures de sécurité	Panneautage en pied de machine Eloignement des zones habitées et fréquentées Mise en place de panneaux informant de la possible formation de glace en pied de machines (conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011). Oui NA 100 %		
Description			en pied
Indépendance			
Temps de réponse			
Efficacité			
Tests	NA		
Maintenance	NA		

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 T° pour chaque type de co Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement	mposant avec a	larmes
Description	1		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	A préciser si possible		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctior annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2 Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionneme	011.	

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 dépa vitesse prédéfinis, indépendamment du système de cont NB: Le système de freinage est généralement aérodynamique principal (mise en drapeau des pal- mécanique auxiliaire.	rôle commande. constitué d'un	frein
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Temps de détection < 1 minute L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de services d'urgence compétents dans un délai de 15 mir fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformén l'arrêté du 26 août 2011	nutes suivant l'entre	ée en
Efficacité	100 %		
Tests	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procé survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs 15 de l'arrêté du 26 août 2011.		
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de foncti- annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 ac l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urg Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionner	oût 2011 (notamme jence.)	nt de

Fonction de sécurité	Prévenir les Courts-circuits N° de la 5 fonction de sécurité
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 6 fonction de sécurité			
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	NA			
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 7 fonction de sécurité
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 d'incendie 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, l'alarme et le lancement du système d'extinction automatique 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	1
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Le matériel incendie (type extincteurs) est contrôlé périodiquement par le fabriquant du matériel ou un organisme extérieur. Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.

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

Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les N° de la 9 défauts d'assemblage (construction – exploitation) fonction de sécurité
Mesures de sécurité	Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.) Procédures qualités
Description	La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi la nacelle, le 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 au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011.

Fonction de sécurité Prévenir les erreurs de maintenance N° de la fonction de sécurité Mesures de sécurité Procédure maintenance Description Préconisations du manuel de maintenance Formation du personnel Indépendance Oui Temps de réponse NA Efficacité 100 % Tests A préciser si possible Maintenance N° de la 10 fonction de sécurité

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas N° de la 11 de vent fort fonction de sécurité
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	A préciser si possible
Maintenance	A préciser si possible

<u>Tableau 28</u>: Ensemble des fonctions de sécurité (Source : INERIS/SER/FEE, 2012)

7.7. CONCLUSION DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

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

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

<u>Tableau 29</u>: Scenarios exclus (Source : INERIS/SER/FEE, 2012)

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

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

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

ETUDES DETAILLEES DES RISQUES

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

8.1. RAPPEL DES DEFINITIONS

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

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

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

Cette circulaire précise en son point 1.2.2 qu'à l'exception de certains explosifs pour lesquels les effets de projection présentent un comportement caractéristique à faible distance, les projections et chutes liées à des ruptures ou fragmentations ne sont pas modélisées en intensité et gravité dans les études de dangers. Force est néanmoins de constater que ce sont les seuls phénomènes dangereux susceptibles de se produire sur des éoliennes.

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

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

8.1.1. Cinétique

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

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

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

8.1.2. Intensité

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

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

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

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

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

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

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

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

Tableau 30 : Degré d'exposition (source : INERIS/SER/FEE, 2012)

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

8.1.3. Gravité

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

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

<u>Tableau 31</u>: Critères permettant d'apprécier les conséquences de l'événement (source : arrêté du 29 septembre 2005)

8.1.4. Probabilité

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

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

Tableau 32 : Grille de criticité du scenario redouté (source : arrêté du 29 septembre 2005)

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

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

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

Cependant, on pourra rappeler que la probabilité qu'un accident sur une personne ou un bien se produise est très largement inférieure à la probabilité de départ de l'événement redouté. La probabilité d'accident est en effet le produit de plusieurs probabilités :

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

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

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

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

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

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

8.1.5. Matrice de criticité

La criticité de l'évènement est définie par le croisement de la probabilité et de la gravité via un tableau nommé « matrice de criticité ».

La criticité de l'évènement est alors définie à partir d'une cotation du couple probabilité-gravité et définit 3 zones :

- En vert : une zone pour laquelle les risques peuvent être qualifiés de moindre et donc acceptable, et l'événement est jugé sans effet majeur et nécessite pas de mesures particulières ;
- En jaune : une zone de risques intermédiaires, pour laquelle les mesures de sécurité sont jugées suffisantes et la maîtrise des risques concernés doit être assurée et démontrée par l'exploitant (contrôles appropriés pour éviter tout écart dans le temps) ;
- En rouge : une zone de risques élevés, qualifiés de non acceptable pour laquelle des modifications substantielles doivent être définies afin de réduire le risque à un niveau acceptable ou intermédiaire, par la démonstration de la maîtrise de ce risque.

GRAVITÉ Conséquences	Classe de Probabilité				
·	Е	D	С	В	А
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux					
Modéré					

Légende de la matrice :

٠			
	Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
	Risque très faible		acceptable
	Risque faible		acceptable
	Risque important		non acceptable

<u>Tableau 33</u>: Matrice de criticité de l'installation (source : INERIS/SER/FEE, 2012)

8.2. DETERMINATION DES PARAMETRES POUR L'ETUDE DETAILLEE DES RISQUES

8.2.1. 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, soit 149,38 m pour les éoliennes du parc Lande du Moulin.

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

Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne dans le cas du parc éolien Lande du Moulin. R est la longueur de pale (R= 38,8 m), H la hauteur du mat (H= 106,8 m), L la largeur du mat (L= 7,71 m) et LB la largeur de la base de la pale (LB= 4,34 m).

Effondrement de l'éolienne			
Zone d'impact en m²	Zone d'effet du phénomène étudié en m²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
$Z_{l} = (HxL) + (3xRxLB/2)$	$Z_E = \pi \times (H+R)^2$	$d = (Z_I/Z_E) \times 100$	
1076	66 600	1,6 (>1%)	Exposition forte

Tableau 34 : Evaluation de l'intensité dans le scenario effondrement de la machine

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

Gravité

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

- Plus de 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 gravite associée :

	Effondrement de l'éolienne		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité	
E1	0,102	Sérieuse	
E2	0,103	Sérieuse	
E3	0,07	Sérieuse	
E4	0,102	Sérieuse	
E5	0,101	Sérieuse	

Tableau 35 : Evaluation de la gravité dans le scenario de l'effondrement de l'éolienne

Remarque: le calcul du nombre de personnes permanentes est défini dans le chapitre 3-4.

Probabilité

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

Source	Fréquence	Justification
Guide for risk based zoning of wind turbine	4,5 x 10 ⁻⁴	Retour d'expérience
Specification of minimum distances	1,8 x 10 ⁻⁴ (effondrement de la nacelle et de la tour)	Retour d'expérience

Tableau 36 : Fréquence d'effondrement d'une éolienne dans la littérature (source : INERIS/SER/FEE, 2012)

Ces valeurs correspondent à une classe de probabilité « C » selon l'arrêté du 29 septembre 2005.

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité « C ». En effet, il a été recensé seulement 7 évènements pour 15 667 années d'expérience⁷, soit une probabilité de 4,47 x 10⁻⁴ par éolienne et par an.

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

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

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

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

⁷ 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.

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 aout 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation permet de s'assurer que les éoliennes font l'objet de mesures réduisant significativement la probabilité d'effondrement.

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

Acceptabilité

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

Effondrement de l'éolienne			
Eolienne	Gravité	Niveau de risque	
E1	Sérieuse	Acceptable	
E2	Sérieuse	Acceptable	
E3	Sérieuse	Acceptable	
E4	Sérieuse	Acceptable	
E5	Sérieuse	Acceptable	

Tableau 37 : Détermination de l'acceptabilité du risque du scenario « effondrement de l'éolienne »

Ainsi, pour le parc éolien Lande du Moulin, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

8.2.2. Chute de glace

Considérations générales

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

Selon l'étude WECO, une grande partie du territoire français (hors zones de montagne) est 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 mat de l'éolienne. Pour le parc éolien Lande du Moulin, la zone d'effet a donc un rayon de 41 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.

Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace dans le cas du parc éolien Lande du Moulin. Z_I est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, R est le rayon du rotor (R= 41 m), R0, R1 surface du morceau de glace majorant (R3).

Chute de glace				
Zone d'impact en m²	Zone d'effet du phénomène étudié en m²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité	
Z _I = SG	$Z_E = \pi \times R^2$	$d = (Z_I/Z_E) \times 100$		
1	5 281	0,02 (< 1 %)	Exposition modérée	

Tableau 38 : Evaluation de l'intensité dans le scenario de chute de glace

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

Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (§ 8.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute de glace, dans la zone de survol de l'éolienne :

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

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

	Chute de glace	
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,005	Modérée
E2	0,005	Modérée
E3	0,005	Modérée
E4	0,005	Modérée
E5	0,005	Modérée

Tableau 39 : Evaluation de la gravité dans le scenario « chute de glace »

Probabilité

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

Acceptabilité

Le tableau ci-après rappelle, pour chaque aérogénérateur du parc Lande du Moulin, la gravité associée et le niveau de risque (acceptable/inacceptable).

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.

Chute de glace			
Eolienne	Gravité	Niveau de risque	
E1	Modérée	Acceptable	
E2	Modérée	Acceptable	
E3	Modérée	Acceptable	
E4	Modérée	Acceptable	
E5	Modérée	Acceptable	

Tableau 40 : Détermination de l'acceptabilité du risque du scenario « chute de glace »

Ainsi, pour le parc éolien Lande du Moulin, le phénomène de chute de glace de éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

8.2.3. 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 détaillé des risques pour représenter toutes les chutes d'éléments.

Le risque de chute d'élément est cantonné à la zone de survol des pales, c'est-à-dire une zone d'effet correspondant à un disque de rayon égal à un demi-diamètre de rotor.

Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne, dans le cas du parc éolien Lande du Moulin. d est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R le rayon du rotor (R= 41 m) et LB la largeur de la base de la pale (LB= 4,34 m).

Chute d'éléments de l'éolienne				
Zone d'impact en m²	Zone d'effet du phénomène étudié en m²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité	
$Z_i = R \times LB/2$	$Z_E = \pi \times R^2$	$d = (Z/Z_E) \times 100$		
89	5 281	1,7 (> 1%)	Exposition forte	

Tableau 41 : Evaluation de l'intensité dans le scenario de chute de glace

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

Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (§ 8.1.3.), 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 1000 personnes exposées → « Désastreux » :
- Entre 100 et 1000 personnes exposées → « Catastrophique » :
- Entre 10 et 100 personnes exposées → « Important » ;
- Moins de 10 personnes exposées → « Sérieux » ;
- Présence humaine exposée inférieure à « une personne » → « Modéré ».

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

	Chute d'éléments de l'éolienne	
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1	0,005	Modérée
E2	0,005	Modérée
E3	0,005	Modérée
E4	0,005	Modérée
E5	0,005	Modérée

Tableau 42 : Evaluation de la gravité dans le scenario « chute d'éléments de l'éolienne »

Probabilité

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

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

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

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

Acceptabilité

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

Chute d'éléments de l'éolienne			
Eolienne	Gravité	Niveau de risque	
E1	Modérée	Acceptable	
E2	Modérée	Acceptable	
E3	Modérée	Acceptable	
E4	Modérée	Acceptable	
E5	Modérée	Acceptable	

Tableau 43 : Détermination de l'acceptabilité du risque du scenario « chute d'éléments de l'éolienne »

Ainsi, pour le parc éolien Lande du Moulin, le phénomène de chute d'éléments de l'éolienne constitue un risque acceptable pour les personnes.

8.2.4. Projection de pales et 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 (source : Trame type INERIS, Mai 2012) 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.

Pour autant, des études de risques déjà réalisées dans le monde ont utilisé une distance de 500 mètres, en particulier les études présentées aux points 5 et 6 au chapitre 10.5 (bibliographie).

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.

Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de pale ou de fragment de pale dans le cas du parc éolien Lande du Moulin. d est le degré d'exposition, Z_I la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R correspond à la longueur de la pale (R= 38,8 m), R_E correspond au rayon d'effet de projection de pale et LB la largeur de la base de la pale (LB= 4,34m).

Projection de pale ou de fragment de pale				
Zone d'impact en m²	Zone d'effet du phénomène étudié en m²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité	
Z =R x LB/2	$Z_E = \pi \times R_E^2$	$d = (Z_I/Z_E) \times 100$		
84,2	785 398	0,010 (< 1%)	Exposition modérée	

Tableau 44 : Evaluation de l'intensité dans le scenario « projection de pale ou de fragment de pale »

Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (§ 8.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection, dans la zone de 500 m autour de l'éolienne :

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

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

	Projection de pale ou de fragment de pale			
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité		
E1	13,5	Important		
E2	6,12	Sérieux		
E3	1	Sérieux		
E4	13,8	Important		
E5	5,9	Sérieux		

Tableau 45 : Evaluation de la gravité dans le scenario « projection de pale ou de fragment de pale »

Probabilité

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

Source	Fréquence	Justification
Site specific hazard assessment for a	1 x 10 ⁻⁶	Respect de l'Eurocode EN 1990-Basis of structural
wind farm project		design
Guide for risk based zoning of wind	1,1 x 10 ⁻³	Retour d'expérience au Danemark (1984-1992) et en
turbine		Allemagne (1989-2001)
Specification of minimum distances	6,1 x 10 ⁻⁴	Recherche Internet des Accidents entre 1996 et
		2003

<u>Tableau 46</u>: Fréquence de rupture de tout ou partie de pale dans la littérature (source : INERIS/SER/FEE, 2012)

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 évènements pour 15 667 années d'expérience, soit 7,66 x 10⁻⁴ évènement par éolienne et par an).

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

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

Néanmoins, les dispositions constructives des éoliennes ayant fortement évolué, le niveau de fiabilité est aujourd'hui bien meilleur. Des mesures de maitrise 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 :
- Le système de détection des survitesses et un système redondant de freinage;
- Le système de détection des vents forts et un système redondant de freinage et de mise en sécurité des installations un système adapte est installé en cas de risque cyclonique ;
- L'utilisation de matériaux résistants pour la fabrication des pales (fibre de verre ou de carbone, résines, etc.).

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

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

Acceptabilité

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

Projection de pale ou de fragment de pale			
Eolienne	Gravité	Niveau de risque	
E1	Important	Acceptable	
E2	Sérieux	Acceptable	
E3	Sérieux	Acceptable	
E4	Important	Acceptable	
E5	Sérieux	Acceptable	

<u>Tableau 47</u>: Détermination de l'acceptabilité du risque du scenario « projection de pale ou de fragment de pale

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

8.2.5. 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 n°15 du chapitre 10.5 propose une distance d'effet fonction de la hauteur et du diamètre de l'éolienne, dans les cas où le nombre de jours de glace est important et où l'éolienne n'est pas équipée de système d'arrêt des éoliennes en cas de givre ou de glace :

Distance d'effet = 1,5 x (hauteur de moyeu + diamètre de rotor), soit 285.57 m

Cette distance de projection est jugée conservative dans des études postérieures (voir n°17 du chapitre 10.5). A défaut de données fiables, il est proposé de considérer cette formule pour le calcul de la distance d'effet pour les projections de glace.

Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace avec les éoliennes Enercon dans le cas du parc éolien Lande du Moulin. d est le degré d'exposition, ZI la zone d'impact, ZE la zone d'effet, R le rayon rotor (R= 41 m), H la hauteur au moyeu (H= 108,38 m), et SG la surface majorante d'un morceau de glace.

Projection de morceaux de glace				
Zone d'impact en m²	Zone d'effet du phénomène étudié en m²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité	
Z _i = SG	$Z_E = \pi x (1.5 \times H + 2 \times R)^2$	$d = (Z_I/Z_E) \times 100$		
1	256 198	0,0004 (< 1%)	Exposition modérée	

Tableau 48 : Evaluation de l'intensité dans le scenario « projection de glace »

Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005 (§ 8.1.3.), il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection de glace, dans la zone d'effet de ce phénomène :

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

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

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

	Projection de glace				
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité			
E1	0,26	Modéré			
E2	0,26	Modéré			
E3	0,26	Modéré			
E4	0,26	Modéré			
E5	0,26	Modéré			

Tableau 49 : Evaluation de la gravité dans le scenario « projection de morceaux de glace »

Probabilité

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

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

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

Acceptabilité

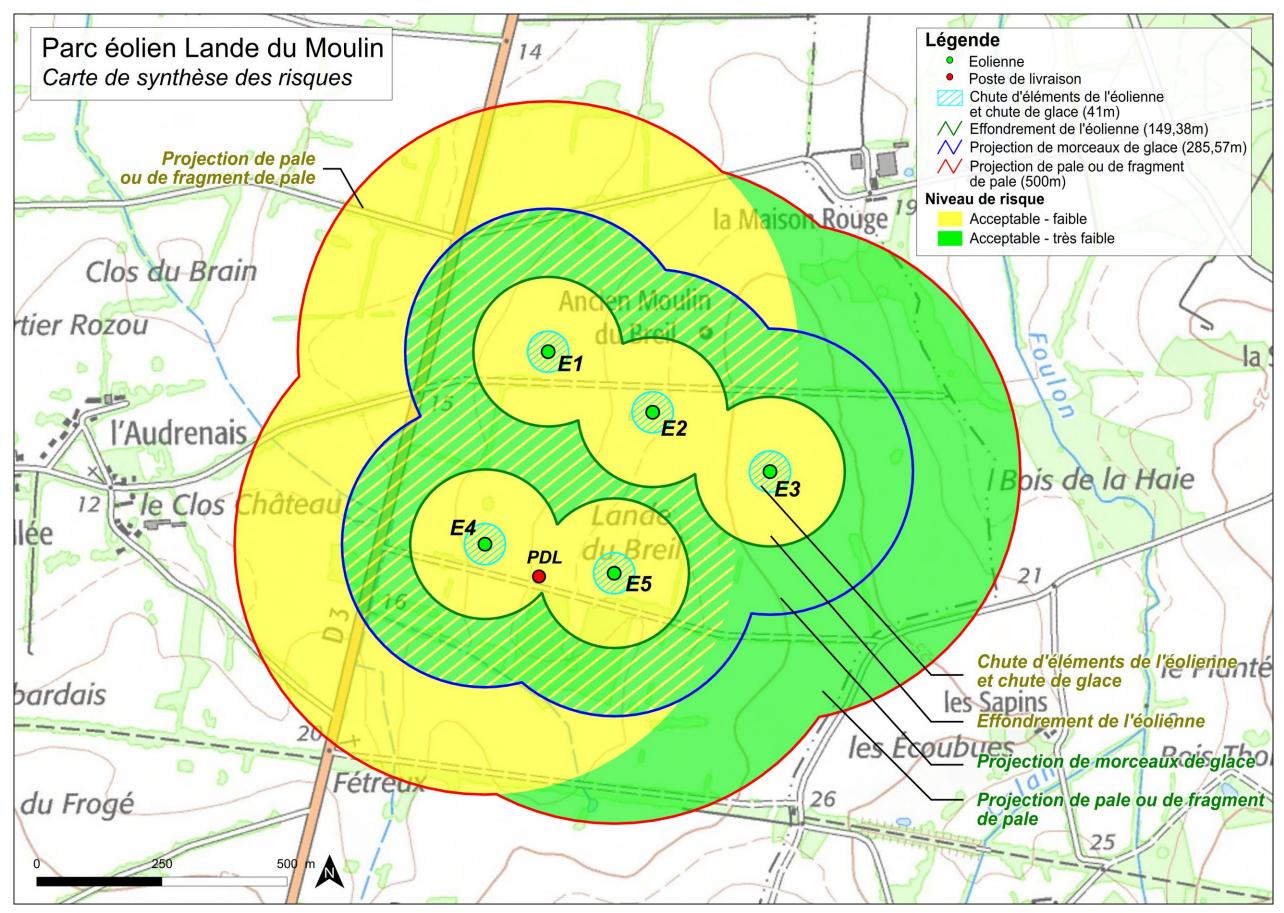
Le risque de projection pour chaque aérogénérateur est évalué comme acceptable dans le cas d'un niveau de gravité « modéré ». Cela correspond pour cet événement à un nombre équivalent de personnes permanentes inférieures à 1 dans la zone d'effet.

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

	Projection de morceaux de glace				
Eolienne	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage		Niveau de risque		
E1	Modéré	Oui	Acceptable		
E2	Modéré	Oui	Acceptable		
E3	Modéré	Oui	Acceptable		
E4	Modéré	Oui	Acceptable		
E5	Modéré	Oui	Acceptable		

<u>Tableau 50</u>: Détermination de l'acceptabilité du risque du scenario « projection de morceaux de glace »

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



<u>Carte 14</u> : Synthèse des risques sur le périmètre d'étude de dangers (source : ENERCON, 2016)

8.3. SYNTHESE DE L'ETUDE DETAILLEE DES RISQUES

8.3.1. Tableaux de synthèse des scenarios étudiés

Les tableaux suivants récapitulent, pour chaque événement redouté central retenu, les paramètres de risques : la cinétique, l'intensité, la gravité et la probabilité.

Scenario	Zone d'effet	Cinétique	Intensité	Probabilité	Gravité
Effondrement de l'éolienne	Disque dont le rayon correspond à une hauteur totale de la machine en bout de pale (149,38 m)	Rapide	Exposition forte	D	<u>Sérieuse</u> E1, E2, E3, E4, E5
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol des pales (de rayon 41 m)	Rapide	Exposition forte	С	<u>Modérée</u> E1, E2, E3, E4, E5
Chute de glace	Zone de survol des pales (de rayon 41 m)	Rapide	Exposition modérée	А	<u>Modérée</u> E1, E2, E3, E4, E5
Projection de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D	Modérée E3 <u>Sérieuse</u> E2, E5 Important E1, E4
Projection de glace	1,5 x (H+2R) autour de l'éolienne soit un disque de rayon 285,57 m	Rapide	Exposition modérée	В	<u>Modérée</u> E1, E2, E3, E4, E5

<u>Tableau 51</u>: Synthèse des scenarios étudiés pour l'ensemble des éoliennes du parc

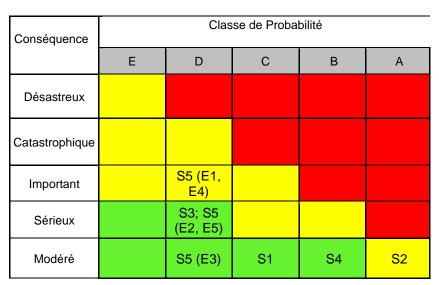
8.3.2. Synthèse de l'acceptabilité des risques

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

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

La liste des scenarios pointés dans la matrice sont les suivants :

- Chute d'éléments des éoliennes : S1 ;
- Chute de glace des éoliennes : S2 ;
- Effondrement des éoliennes : S3 ;
- Projection de glace des éoliennes : S4 ;
- Projection de pale des éoliennes : S5.



Légende de la matrice :



Figure 20 : Matrice de criticité de l'installation (source : INERIS/SER/FEE, 2012)

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- Aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice
- Certains accidents figurent en case jaune. Pour ces accidents, il convient de souligner que les fonctions de sécurité détaillées dans la partie 7.6 sont mises en place.

8.3.3. Cartographie des risques

Une carte de synthèse des risques est présentée à la page précédente. Elle fait apparaître, pour les scénarios les plus critiques :

- Les enjeux étudiés dans l'étude détaillée des risques ;
- Une représentation graphique de la probabilité d'atteinte des enjeux.

9 CONCLUSION

Les principaux risques d'accidents majeurs identifiés pour le parc éolien Lande du Moulin sont ceux les plus fréquents au regard de l'accidentologie, à savoir :

- Le bris de pâle,
- L'effondrement de l'éolienne,
- La chute d'éléments.
- La chute et le bris de glace.

La probabilité d'atteinte d'un enjeu par un projectile est variable en fonction du scenario :

- D pour l'effondrement de l'éolienne
- C pour la chute d'éléments ;
- A pour la chute de glace ;
- D pour la projection d'un fragment de pale ;
- B pour la projection de glace.

<u>Dans la zone de surplomb des éoliennes</u>, là où s'observe la chute de glace et d'éléments, l'enjeu humain est défini à 0,005 personne engendrant une gravité modérée. Sur cette zone, seuls des champs sont présents. L'enjeu humain restera inférieur à 1 personne.

<u>Dans la zone d'effondrement de la machine</u>, l'enjeu humain est évalué à 0,07 personne. Sur cette zone, des champs mais également un chemin rural ont été observés. Toutefois, en l'absence d'infrastructure structurante, l'enjeu humain est nettement inférieur à 1 personne.

Dans la zone de projection de glace, l'enjeu humain est défini à 0,26 personnes pour E1, E2, E3, E4 et E5.

Enfin, sur <u>dans la zone de projection de pale</u>, l'enjeu humain est plus important. En effet, la route départementale RD 3 étant structurante, l'enjeu humain est beaucoup plus élevé, atteignant 11,31 personnes pour l'éolienne E1, 5,01 pour E2, 11,6 pour E4 et 4,72 pour E5. Néanmoins, le niveau de risque reste acceptable. Concernant l'aérogénérateur E3, la route départementale ne passant pas dans sa zone de projection de pale, l'enjeu humain reste modéré. Il s'agit, pour l'essentiel, de champs pour lequel il est estimé 0,79 personnes. Sur cette zone, plusieurs voies communales et des chemins ruraux sont présents.

Rappelons que cette zone est concernée par le bris de pale pour lequel la probabilité de réalisation est de D « S'est produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité ».

Les principales mesures de maîtrise des risques mises en place pour prévenir ou limiter les conséquences de ces accidents majeurs sont :

- Des barrières de prévention avec :
 - ✓ Des balisages des éoliennes ;
 - ✓ Des détecteurs de feux ;
 - ✓ Des détecteurs de survitesse ;
 - ✓ Un système antifoudre :
 - ✓ Des protections contre la glace
 - ✓ Des protections contre l'échauffement des pièces mécaniques :
 - ✓ Des protections contre les courts-circuits ;
 - Des protections contre la pollution environnementale.
- Une maintenance préventive régulière avec des vérifications étendues :
 - ✓ Planning de maintenance préventive ;
 - ✓ Maintenance des installations électriques ;
 - ✓ Vérifications électrique, équipement incendie, annuelle par un organisme agrée.
 - Un personnel formé ;
 - Des machines certifiées.

L'ensemble des scenarios étudiés est en zone de risques intermédiaires, pour laquelle les mesures de sécurité sont jugées suffisantes et la maîtrise des risques concernés est assurée et démontrée par l'exploitant (contrôles appropriés pour éviter tout écart dans le temps).

Les mesures de maîtrise des risques mises en place sur l'installation sont suffisantes pour garantir un risque acceptable pour chacun des phénomènes dangereux retenus dans l'étude détaillée.

10 ANNEXES

10.1. SCENARIOS GENERIQUES ISSUS DE L'ANALYSE

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 7.4. 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'événements 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).

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

Scénario G01

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

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

Scénario G02

La projection de glace depuis une éolienne en mouvement interviendra lors d'éventuels redémarrages 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.

10.1.2. Scénarios relatifs aux risques d'incendie (IO1 à IO7)

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 scenarios devant être analysé :

Découper l'installation en plusieurs parties : rotor, nacelle, mât, fondation et poste de livraison ;

Déterminer à l'aide de mot clé les différentes causes (cause 1, cause 2) d'incendie possibles.

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

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

L'emballement peut notamment intervenir lors de pertes d'utilités (à savoir la perte d'un élément nécessaire au fonctionnement de l'installation). 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, entrainant l'arrêt des éoliennes;
- Basculement automatique de l'alimentation principale sur l'alimentation de secours (batteries) pour arrêter les aérogénérateurs et assurer la communication vers le superviseur.

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

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

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

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

10.1.3. 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, ...).

Scénario F01

En cas de rupture de flexible, perçage d'un contenant ..., il peut y avoir une fuite d'huile ou de graisse ... alors

que l'éolienne est en fonctionnement. Les produits peuvent alors s'écouler hors de la nacelle, couler le long du mât et s'infiltrer dans le sol environnant l'éolienne.

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

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

Deux événements peuvent être aggravants :

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

Scénario F02

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

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

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

Ce scénario est à adapter en fonction des produits utilisés.

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

10.1.4. Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments (CO1 à CO3)

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

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

10.1.5. Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales (P01 à P03)

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

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

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

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

Scénario P01

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

Scénario P02

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

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

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

Scénarios P03

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

10.1.6. 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, ...

10.2. 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 :

Paccident = PERC x Porientation x Protation x Patteinte x Pprésence

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

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

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

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

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

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

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

Evènement redouté central	Borne supérieure de la classe de probabilité de l'ERC (pour les éoliennes récentes)	Degré d'exposition	Probabilité d'atteinte
Effondrement	10 ⁻⁴	10 ⁻²	10 ⁻⁶ (E)
Chute de glace	1	5*10 ⁻²	5 10 ⁻² (A)
Chute d'éléments	10 ⁻³	1,8*10 ⁻²	1,8 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*10 ⁻⁶	1,8 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.

10.3. GLOSSAIRE

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

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

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

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

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

Evénement initiateur : Événement, 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.

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

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

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

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

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

SER: Syndicat des Energies Renouvelables

FEE: France Energie Eolienne (branche éolienne du SER)

INERIS: Institut National de l'EnviRonnement Industriel et des RisqueS

EDD: Etude de dangers

APR: Analyse Préliminaire des Risques ERP: Etablissement Recevant du Public

Braam H. (2005) – Handboek Risicozonering Winturbines – 2^e versie. S1:

DDRM de Loire Atlantique (2014) – Dossier Départemental des Risques Majeurs ;

Guillet R., Leteurtrois J.-P. - Rapport sur la sécurité des installations éoliennes, Conseil Général des Mines -

2004) ·

INERIS/SER/FEE (déc. 2011) - Trame Type de l'étude de dangers dans le cadre de parcs éoliens ;

Région Pays de la Loire (2013) – Schéma Régional Eolien; WECO (déc. 1998) – Wind energy production in cold climate.

10.4. BIBLIOGRAPHIE

- L'évaluation des fréquences et des probabilités à partir des données de retour d'expérience (réf DRA-11-117406-04648A), INERIS, 2011;
- NF EN 61400-1 Eoliennes Partie 1 : Exigences de conception, Juin 2006 ;
- Wind Turbine Accident data to 31 March 2011, Caithness Windfarm Information Forum;
- Site Specific Hazard Assessment for a wind farm project Case study Germanischer Lloyd, Windtest:
- Kaiser-Wilhelm-Koog GmbH, 2010/08/24;
- 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;
- Specification of minimum distances, Dr-ing. Veenker ingenieurgesellschaft, 2004;
- Permitting setback requirements for wind turbine in California, California Energy Commission Public;
- Interest Energy Research Program, 2006;
- Omega 10: Evaluation des barrieres techniques de securite, INERIS, 2005 ;
- Arrêté du 26 aout 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;
- 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 gravite des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées 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;
- 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 gravite des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation;
- Alpine test site Gutsch: monitoring of a wind turbine under icing conditions- R. Cattin et al.;
- Wind energy production in cold climate (WECO), Final report Bengt Tammelin et al. Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 2000;
- Rapport sur la sécurité des installations éoliennes, Conseil General des Mines Guillet R., Leteurtrois J.-P. - juillet 2004;
- Risk analysis of ice throw from wind turbines, Seifert H., Westerhellweg A., Kroning J. DEWI, avril 2003 :
- Wind energy in the BSR: impacts and causes of icing on wind turbines, Narvik University College, novembre 2005;

- DDRM de la Loire-Atlantique (2008) Dossier Départemental des Risques Majeurs ;
- SRE des Pays de la Loire (2013) Schéma Régional Eolien ;
- PLU des communes de Bouvron (2013), Campbon (2013) et Quilly (2014) Plan Local d'Urbanisme ;
- SCoT de la métropole Nantes-Saint-Nazaire (2007) Schéma de Cohérence Territoriale;
- Randonnées en Loire et Sillon (2009) ;
- INERIS/SER/FEE (2012) Trame Type de l'étude de dangers dans le cadre de parcs éoliens.

Sites internet consultés :

- www.aria.developpement-durable.gouv.fr;
- www.argiles.fr;
- www.asn.fr:
- www.capareseau.fr;
- www.cartes-topographiques.fr;
- www.enercon.fr;
- www.inondationsnappes.fr;
- www.metweb.fr;
- www.planseisme.fr;
- www.prim.net :
- www.statistiques-locales.insee.fr.

10.5. TABLE DES ILLUSTRATIONS

10.5.1. Liste des figures

Figure 1 : Illustration des températures de 1981 à 2010 – Station de Saint-Nazaire-Montoir (source : Infoclimat
2016) 14
Figure 2 : Illustration des précipitations de 1981 à 2010 – Station de Saint-Nazaire-Montoir (source : Infoclimat
2016) 14
Figure 3 : Rose des vents de Nantes (source : Etat des lieux inital de la société AEPE Ginko)15
Figure 4 : Schéma simplifié d'un aérogénérateur (à gauche) - Illustration des emprises au sol d'une éolienne (à
droite) (Les dimensions sont données à titre d'illustration pour une éolienne d'environ 150m de hauteur totale
(source : INERIS/SER/FERR, 2012) 25
Figure 5 : Illustration du système en anneau garantissant une communication continue des éoliennes – 31
Figure 6 : Phases de maintenance Enercon (source : Enercon, 2012) 31
Figure 7 : Illustration de la maintenance réalisée sur une éolienne de 17 ans (source : Enercon, 2012) 31
Figure 8 : Illustration de la maintenance réalisée sur une éolienne de 17 ans (source : Enercon, 2012) 32
Figure 9 : Raccordement électrique des installations (source : INERIS/SER/FEE, 2012) 33
Figure 10 : Raccordement externe du projet éolien Lande du Moulin
Figure 11 : Plan en coupe des câbles (source : ENERCON, 2016)
Figure 12 : Illustration des travaux de mise en place des câbles (source : ENERCON, 2016)
Figure 13 : Coupes des tranchées du raccordement électrique interne (source : ENERCON, 2016) 36
Figure 14 : Poste de livraison type ENERCON (source : ENERCON, 2016) 36
Figure 15 : Plan de façade et de toiture du poste de livraison (source : ENERCON, 2016) 37
Figure 16 : Répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc éolien français
entre 2000 et 2010 (source : SER/FEE/INERIS, 2012)
Figure 17: Répartition des événements accidentels dans le monde entre 2000 et 2010 (source
SER/FEE/INERIS, 2012)46
Figure 18 : Répartition des causes premières d'accident pour le parc éolien mondial (source
SER/FEE/INERIS, 2012) 46
Figure 19 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées (source
INERIS/SER/FEE, 2012)
Figure 20 : Matrice de criticité de l'installation (source : INERIS/SER/FEE, 2012)66

10.5.2. Liste des tableaux

Tableau 1 : Nomenclature ICPE pour l'éolien terrestre (source : décret n°2011-984 du 23 août 2011)	6
Tableau 2 : Principales caractéristiques de la machine	6
Tableau 3 : Référence administrative de la société « Parc éolien Lande du Moulin » (source : ENERCON	١.
2016)	7
Tableau 4 : Références du signataire pouvant engager la société (source : ENERCON, 2016)	7
, , , , , , , , , , , , , , , , , , , ,	9
Tableau 6 : Quelques indicateurs de la population et leur logement (Insee, 2012)1	1
Tableau 7 : Synthèse des risques majeurs sur le territoire d'implantation du parc projeté (source : DDRM 44	1,
2008)1	5
Tableau 8 : Inventaire des arrêtés de catastrophe naturel (source : prim.net, 2016)1	5
Tableau 9 : Inventaires des cavités sur la commune de Campbon (source : géorisque.gouv.fr, 2016) 1	6
Tableau 10 : Distance des éoliennes par rapport aux infrastructures routières présentes dans le périmètr	е
d'étude de dangers2	0
Tableau 11 : Définition de l'enjeu humain relatif aux terrains non bâtis2	1
Tableau 12 : Nombre de personnes impactées en fonction des différents scénarios 2	2
Tableau 13 : Coordonnées géographiques du parc éolien2	7
Tableau 14: Synthèse du fonctionnement des aérogénérateurs Enercon selon le tableau type d	е
l'INERIS/SER/FEE, 20122	8
Tableau 15 : Localisation géographique des éoliennes (source : ENERCON, 2016) 3	3
Tableau 16 : Renseignements généraux liés à l'instruction (source : ENERCON, 2016) 3	4

Tableau 17 : Longueurs des câbles électriques (source : ENERCON, 2016) Tableau 18: Description du système de distribution (source: ENERCON, 2016)_ Tableau 19: Renseignements sur la distribution (source: ENERCON, 2016) 35 Tableau 20 : Détails techniques (source : ENERCON, 2016) 35 Tableau 21 : Liste des produits utilisés pour la maintenance des éoliennes (source : Enercon, 2015) 40 Tableau 22: Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation (source : guide INERIS/SER/FEE, Tableau 23: Liste des incidents intervenus en France (source: aria.developpement-durable.gouv.fr, 21/07/2016) Tableau 24 : Liste des accidents humains inventoriés 46 Tableau 25 : Liste des agressions externes liées aux activités humaines (Source : INERIS/SER/FEE, 2012)_48 Tableau 26 : Liste des agressions externes liées aux phénomènes naturels (source : INERIS/SER/FEE, 2012) Tableau 27 : Analyse générique des risques (source : INERIS/SER/FEE, 2012) 51 Tableau 28 : Ensemble des fonctions de sécurité (Source : INERIS/SER/FEE, 2012) 54 Tableau 29 : Scenarios exclus (Source : INERIS/SER/FEE, 2012) 54 Tableau 30 : Degré d'exposition (source : INERIS/SER/FEE, 2012) 56 Tableau 31 : Critères permettant d'apprécier les conséquences de l'événement (source : arrêté du 29 Tableau 32 : Grille de criticité du scenario redouté (source : arrêté du 29 septembre 2005) Tableau 33 : Matrice de criticité de l'installation (source : INERIS/SER/FEE, 2012) 58 Tableau 34 : Evaluation de l'intensité dans le scenario effondrement de la machine 59 Tableau 35 : Evaluation de la gravité dans le scenario de l'effondrement de l'éolienne Tableau 36 : Fréquence d'effondrement d'une éolienne dans la littérature (source : INERIS/SER/FEE, 2012) 59 Tableau 37 : Détermination de l'acceptabilité du risque du scenario « effondrement de l'éolienne » Tableau 38 : Evaluation de l'intensité dans le scenario de chute de glace _____ 60 Tableau 39 : Evaluation de la gravité dans le scenario « chute de glace » ____ 61 Tableau 40 : Détermination de l'acceptabilité du risque du scenario « chute de glace » 61 Tableau 41 : Evaluation de l'intensité dans le scenario de chute de glace Tableau 42 : Evaluation de la gravité dans le scenario « chute d'éléments de l'éolienne » 61 Tableau 43 : Détermination de l'acceptabilité du risque du scenario « chute d'éléments de l'éolienne » 62 Tableau 44 : Evaluation de l'intensité dans le scenario « projection de pale ou de fragment de pale » Tableau 45 : Evaluation de la gravité dans le scenario « projection de pale ou de fragment de pale » 63 Tableau 46 : Fréquence de rupture de tout ou partie de pale dans la littérature (source : INERIS/SER/FEE, 63 Tableau 47 : Détermination de l'acceptabilité du risque du scenario « projection de pale ou de fragment de pale 63 Tableau 48 : Evaluation de l'intensité dans le scenario « projection de glace » 64 Tableau 49 : Evaluation de la gravité dans le scenario « projection de morceaux de glace » 64 Tableau 50 : Détermination de l'acceptabilité du risque du scenario « projection de morceaux de glace » 64 Tableau 51 : Synthèse des scenarios étudiés pour l'ensemble des éoliennes du parc 66

10.5.3. Liste des cartes

	_
Carte 1 : Localisation géographique de l'installation	_ 8
Carte 2 : Périmètre d'étude de dangers	10
Carte 3 : Distances aux premières habitations	12
Carte 4 : Potentiel éolien terrestre des Pays de la Loire à 90 m d'altitude - Légende : Etoile rouge / Localisat	tion
du site d'étude (source : Schéma Régional Eolien, 2013)	15
Carte 5 : Sensibilité des territoires d'accueil aux phénomènes d'inondations par remontée de nappe	-
	16
Carte 6 : Localisation de la cavité de l'Audrenais	16
Carte 7 : Aléa retrait-gonflement des argiles sur le site d'étude - Légende : Cercle rouge / implantation of	des
sites (source : www.argiles.fr, 2016)	17
Carte 8 : Zone de sismicité sur les territoires communaux de Campbon et de Bouvron - Légende : Cer	rcle
rouge / implantation des sites (source : planseisme.fr, 2016)	17
Carte 9 : Enjeux matériels dans le périmètre d'étude de dangers	18
,	19
Carte 11 : Enjeux humains dans le périmètre d'étude de dangers	24
Carte 12 : Plan détaillé de l'installation (source : ENERCON 2016)	26
,	33
Carte 14 : Synthèse des risques sur le périmètre de dangers (source : ENERCON 2016)	65

Description technique

Système ENERCON SCADA



Description technique Système ENERCON SCADA



Mentions légales

Éditeur ENERCON GmbH • Dreekamp 5 • 26605 Aurich • Allemagne

Téléphone : +49 4941 927-0 • Fax : +49 4941 927-109 E-mail : info@enercon.de • Internet : http://www.enercon.de Directeur général : Hans-Dieter Kettwig, Nicole Fritsch-Nehring

Tribunal compétent : Aurich • Numéro d'immatriculation au registre de commerce :

HRB 411

N° TVA: DE 181 977 360

Remarque sur les droits de propriété intellectuelle

Les contenus de ce document sont protégés par les droits de propriété intellectuelle de la loi allemande sur la propriété intellectuelle et par les contrats internationaux

applicables.

La totalité de la propriété intellectuelle du contenu de ce document appartient à ENERCON GmbH, dans la mesure où et tant qu'une autre propriété intellectuelle

n'est pas expressément indiquée ou n'est pas ouvertement reconnue.

La transmission et la permission d'utilisation du contenu de ce document ne confère à son utilisateur aucun droit de propriété, de droit d'exploitation ou quelconque autre droit relatif au contenu du document. L'utilisateur ne peut enregistrer de droits de quelque type que ce soit relativement au contenu du document, incluant le sa-

voir-faire ou les pièces.

L'utilisateur ne peut transmettre, céder et distribuer à des tiers le contenu ou une partie du contenu de ce document, en faire des copies, duplicatas ou autres reproductions ou les utiliser sans l'autorisation préalable, expresse et écrit d'ENERCON

GmbH, en respect de la législation applicable.

Toute violation des droits de propriété intellectuelle du contenu de ce document est illégale et passible de sanctions en vertu des articles §§ 106 et suivants de la Loi sur la Propriété Intellectuelle de la République Fédérale d'Allemagne (UrhG). ENERCON GmbH se réserve le droit d'intenter tout recours légal nécessaire au respect de ses droits, incluant le recours en injonction et en dommages et intérêts.

Marques déposées

Toutes les marques de commerce et logos désignés dans ce document sont la propriété intellectuelle de l'auteur correspondant. Les droits conférés par le droit des

marques de commerce et logos s'appliquent de manière illimitée.

Réserve de modification

ENERCON GmbH se réserve le droit, à tout moment et sans préavis de modifier ce document et son contenu dans le but de l'améliorer et de le mettre à jour, sauf ac-

cords contractuels ou législation contraires.

Information concernant le document

ID du document	D0230085-4		
Note	Document original. Document source pour cette traduction D0190917-4.		
Date	Langue DCC Usine / Département		Usine / Département
2014-09-19	fre	DA	WRD GmbH / Documentation Department

D0230085-4 / DA



Description technique Système ENERCON SCADA

Description technique Système ENERCON SCADA



Sommaire

1	Intro	duction		1
2	Com	iposants e	et fonctionnalités standard	2
	2.1	ENERCO	ON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA)	2
		2.1.1	Fonctionnalité	2
		2.1.2	Types de données	2
		2.1.3	Transmission des données à distance sur la centrale de service ENERCON	3
	2.2	Bus de d	lonnées ENERCON dans un parc éolien	3
	2.3	ENERCO	ON SCADA Remote	4
		2.3.1	Fonctionnalité	4
		2.3.2	Echange de données	5
	2.4	Message	es d'état et informations	6
	2.5	Mise à d	isposition de données lors d'un défaut de communication	7
3	Com	posants e	et fonctionnalités secondaires	8
	3.1	Interface	es de données vers les systèmes externes	8
		3.1.1	Aperçu	8
		3.1.2	ENERCON SCADA PDI-OPC	9
		3.1.2.1	Fonctionnalité	9
		3.1.2.2	Echange de données	10
		3.1.2.3	Analyses externes	10
		3.1.3	ENERCON SCADA PDI-61400	11
		3.1.4	ENERCON SCADA RTU (RTU-I et RTU-C)	12
	3.2	Compos	ants pour la saisie des valeurs de mesure	13
		3.2.1	Aperçu	13
		3.2.2	ENERCON SCADA RTU-C	13
		3.2.3	ENERCON METEO	15
	3.3	Commar	nde et régulation avec le système ENERCON SCADA	16
		3.3.1	Aperçu	16
		3.3.2	Commande avec le système ENERCON SCADA	16
		3.3.3	Régulation avec le système ENERCON SCADA	17
		3.3.4	ENERCON SCADA RTU-C	18
		3.3.4.1	Aperçu du produit	18
		3.3.4.2	Types de commande et de régulation	19
		3.3.5	ENERCON SCADA FCU	21
		3.3.5.1	Aperçu du produit	21
		3.3.5.2	Régulation	21

	3.4	Envoi de message de défaut automatique	23				
	3.5	Système de contrôle d'événement					
	3.6	Management annulaire du système ENERCON SCADA	26				
	3.7	ENERCON SCADA Power Consumption Management	27				
	3.8	Système ENERCON SCADA - Solutions spéciales et applications en fonction du pays	27				
4	Cond	itions préalables	28				
5	Eteno	due des prestations de livraison	29				
6	Maint	enance	30				
	6.1	Maintenance nécessaire	30				
	6.2	Système ENERCON SCADA dans ENERCON PartnerKonzept (EPK)	30				
	Table des figures						
	Index	des termes techniques	32				



1 Introduction

Le système ENERCON SCADA est la plateforme éprouvée depuis de longues années pour la surveillance et la régulation à distance des éoliennes, et constitue une partie intégrale du concept Service et Maintenance d'ENERCON. Lancé en 1998, le système a fait ses preuves pour la surveillance de milliers d'éoliennes partout dans le monde. Il offre une multitude de fonctions optionnelles, des interfaces pour l'intégration des parcs éoliens ENERCON dans différentes configurations de réseau et le respect des critères techniques relatifs aux directives de raccordement au réseau. ENERCON SCADA est de conception modulaire très flexible et peut être adapté aisément pour répondre aux applications spécifiques d'un client. Le système ENERCON SCADA est aussi utilisé dans les parcs solaires et les centrales hydroélectriques.

Les composants et les fonctionnalités du système ENERCON SCADA sont présentés dans ce document. Vous trouverez des informations détaillées de ces composants dans les documentations produits correspondantes. Ces dernières sont disponibles auprès du contact concerné du bureau des ventes.

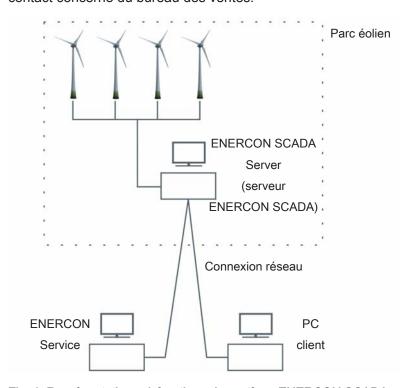


Fig. 1: Représentation schématique du système ENERCON SCADA avec composants standards

Des coupures ou des bridages d'éoliennes individuelles, par ex. en raison de conditions spécifiques au projet concernant les émissions sonores ou les zones d'ombre, ne sont pas exécutées via le système ENERCON SCADA, mais sont directement programmées dans le système de commande des éoliennes. Cela a pour avantage que même en cas de pannes de communication dans le système ENERCON SCADA, les valeurs limites d'émission sont respectées.

Le contact pour toutes questions quant à la satisfaction d'exigences spécifiques au projet ou au pays et à l'équipement nécessaire est le Sales-Grid Integration et est joignable à l'adresse suivante sales-grid-integration@enercon.de.

D0230085-4 / DA 1 sur 32

Description technique
Système ENERCON SCADA



2 Composants et fonctionnalités standard

2.1 ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA)

2.1.1 Fonctionnalité

Le ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA) est le composant central d'un système ENERCON SCADA. Le ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA) assure une série de fonctions en liaison avec la communication, la commande et la régulation dans le parc éolien et est l'emplacement central disponible pour stocker des données d'exploitation actuelles et passées des éoliennes et des composants SCADA. Par ailleurs, des algorithmes de commande peuvent être implémentés dans le ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA).

Le ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA) couvre par ex. les fonctions suivantes:

- Acquisition et enregistrement des données d'exploitation du parc éolien
- Communication du parc éolien avec le Service ENERCON
- Communication du parc éolien avec le client et l'exploitant du réseau
- Système de commande dans le parc éolien

2.1.2 Types de données

Les types de données suivants sont mis à disposition par le ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA):

Données en ligne

Les données en ligne sont des valeurs momentanées actualisées via le ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA) aussi souvent que le système SCADA l'autorise dans le parc éolien. La fréquence de l'actualisation de ces données dépend du nombre d'éoliennes installées dans le parc éolien, de la structure du bus de données dans le parc éolien et, en premier lieu, du matériel de communication choisi.

D'autres données à définir tels que les numéros de série d'une éolienne, appartiennent au groupe des données en ligne.

Données de rapport

Les données de mesure sont disponibles pendant tout le temps de fonctionnement des éoliennes. En service, l'éolienne est surveillée en permanence par les appareils de mesure et un enregistreur de données note les données de mesure. Les données d'accès de l'éolienne ainsi que les valeurs moyennes sur des périodes définies en font partie. Les données recueillies par le programme ENERCON SCADA sur le ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA) font partie de ces valeurs moyennes.

Les valeurs moyennes sont généralement déterminées sur une minute, dix minutes, un jour, une semaine, un mois et une année. Elles sont toutes basées sur des valeurs moyennes sur une minute. Toutes les valeurs sur 10 minutes (et les valeurs d'intervalles plus longs) sont enregistrées sur le ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA).



Archivage des données d'exploitation

La capacité du disque dur du ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA) permet généralement la sauvegarde complète des données pendant la période d'exploitation de 20 ans. Si l'acquisition de données par le ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA) inclut également les postes sources, les mâts de mesure météo ou autres, la quantité de données peut considérablement augmenter, ce qui signifie que la limite de capacité sera plus vite atteinte. Si la capacité du disque dur est chargé à 90 %, le ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA) envoie un message d'avertissement à ENERCON Service.

2.1.3 Transmission des données à distance sur la centrale de service ENERCON

La nuit, ENERCON transmet les données de toutes ses éoliennes à travers le monde à la centrale de service et les enregistre (disponibilité téléphonique nécessaire). Une mise à jour des messages d'état des dernières 24 heures est requise ainsi que les données d'exploitation du jour et du mois écoulé. Si une période de 24 heures est dépassée depuis la dernière communication transmise, des présentations de périodes plus longues sont adaptées en conséquence.

Si 24 heures se sont écoulées après la dernière communication avec la centrale de Service ENERCON, alors un message test est envoyé par le système ENERCON SCADA. Ce-la garantit par conséquent qu'un défaut de communication plus long avec l'extérieur ne passe pas inaperçu.

2.2 Bus de données ENERCON dans un parc éolien

Le ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA) est relié via le système de bus de données par câbles en fibre optique interne au parc avec les éoliennes du parc.

Dans l'intérêt de conserver un haut degré de sécurité de communication, un maximum de 10 éoliennes sont réunies dans un bus de données physique. S'il y a plus de 10 éoliennes installées dans le parc, plusieurs lignes de bus de données physiques sont montées en étoile. Le système de bus de données logique comprend toujours toutes les éoliennes du parc éolien.

La liaison du serveur du ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA) au système de bus de données ENERCON s'effectue par une platine d'interface. Elle constitue le convertisseur entre les signaux électriques et optiques.

La platine d'interface SCADA peut être mise en mémoire tampon en option grâce à des accumulateurs. Si une éolienne dans un bus de données physique est mise hors tension, par exemple à cause d'opérations de maintenance du transformateur HTA, la communication peut être conservée avec les installations se trouvant en aval du ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA).

Afin de garantir la connexion des données pendant une interruption d'une partie concernée du système de bus de données fibre optique, le bus de données peut être découpé en topologie annulaire et la communication peut être maintenue via le management annulaire ENERCON SCADA même en cas de défaut par câble fibre optique, vers une grande partie de l'éolienne et d'appareils (voir chap. 3.6, p. 26).

D0230085-4 / DA 3 sur 32

Description technique
Système ENERCON SCADA



2.3 ENERCON SCADA Remote

2.3.1 Fonctionnalité

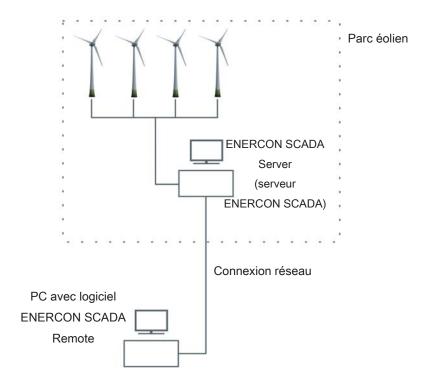


Fig. 2: ENERCON SCADA Remote

Le programme ENERCON SCADA Remote fait partie de l'ensemble de programmes ENERCON SCADA et sert tout d'abord à la surveillance à distance des éoliennes. Grâce à ce programme, il est possible d'établir une liaison avec le serveur ENERCON SCADA pour pouvoir consulter en ligne, les données actuelles et l'historique des données du parc éolien et continuer à les traiter en ligne.

Dans le parc éolien, des informations enregistrées peuvent, grâce à ce logiciel, être présentées sous forme de tableau ou de graphique. On compte, parmi elles, les données de fonctionnement actuelles et les données passées, comme les messages d'état, la vitesse du vent, les heures de service et la disponibilité technique de l'éolienne.

Si une autorisation d'utilisation étendue est accordée par ENERCON, des éoliennes ou tout le parc éolien peuvent être démarrés ou arrêtés à l'aide de l'ENERCON SCADA Remote.

2.3.2 Echange de données

Données en ligne

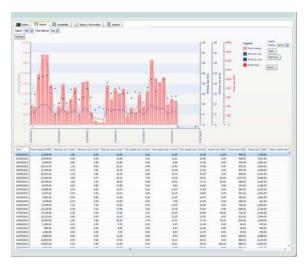


Fig. 3: ENERCON SCADA Remote: Affichage des données quotidiennes

Le client a la possibilité d'observer « en ligne » les éoliennes existantes. Pour ce faire, une connexion de télécommunication est nécessaire entre le Remote PC (PC distant) du client et le serveur ENERCON SCADA. L'affichage sur le Remote PC (PC distant) est mise à jour très rapidement, en fonction du débit de la transmission de données entre le système ENERCON SCADA et le Remote PC (PC distant).

Pour d'autres informations sur les données en ligne, voir *Données en ligne*, p. 2.

Données de rapport

Avec le SCADA Remote, les données rassemblées dans le serveur ENERCON SCADA sont transmises de manière ciblée pendant des intervalles choisis vers le Remote PC (PC distant) (par ex. du client). Par conséquent, une copie exacte des données d'exploitation est reproduite sur le Remote PC (PC distant), permettant de procéder à une analyse indépendamment d'une autre connexion en ligne. Les fichiers d'origine restent sur le serveur ENERCON SCADA. Par conséquent, une modification involontaire des données est évitée.

Les données transmises sont ensuite sauvegardées sur le Remote PC (PC distant) au format dBASE IV. Elles sont alors disponibles pour tout type d'analyses par ex. dans dBA-SE, dans les tableurs ou dans d'autres applications logicielles.

Pour d'autres informations sur les données de rapport, voir *Données de rapport*, p. 2.

D0230085-4 / DA 5 sur 32

Description technique Système ENERCON SCADA



Messages d'état et informations

Généralités

Une éolienne ENERCON génère pendant son fonctionnement des messages qui donnent des informations sur son état.

Une partie de ces messages est transmise par le parc éolien automatiquement au service ENERCON, pour qu'il puisse garantir la disponibilité de l'éolienne. Les messages qui ne se rapportent pas directement à la disponibilité technique de l'éolienne ne sont pas transmis au service ENERCON, mais sont à la disposition de l'ENERCON SCADA Remote.

Etat

L'état indique l'état de fonctionnement actuel de l'éolienne. Les messages d'état apportent continuellement des informations sur l'état de l'éolienne ainsi que, le cas échéant, la raison à l'origine du statut actuel. Un état peut être par ex.:

Turbine in operation (éolienne en service) ou Lack of wind (absence de vent).

Chaque état se compose d'un état principal et d'un sous-état.

- L'état principal désigne l'état de fonctionnement général, comme *TURBINE STOPPED* (éolienne arrêtée).
- Le sous-état donne de plus amples informations et la raison de l'actuel état principal, comme TURBINE STOPPED: CONTROL CABINET (éolienne arrêtée : armoire de commande).

Les états s'affichent dans l'ENERCON SCADA Remote et sur l'écran de l'éolienne comme des codes chiffrés avec une courte explication sous forme de texte. Lors de l'état 0:0, l'éolienne se trouve en service.

Messages de défaut

Si un état de fonctionnement inhabituel apparaît sur l'éolienne (par ex. un défaut), l'éolienne envoie un message de défaut et s'arrête.

Informations

Les informations présentent dans le système ENERCON SCADA des consignes pour l'éolienne et ses composants et sont structurées de la même manière que des états en information principale et information secondaire.

Les informations s'affichent dans l'ENERCON SCADA Remote et sur l'écran de l'éolienne comme des codes chiffrés avec une courte explication sous forme de texte.

Messages d'avertissement

Les messages d'avertissement correspondent aux informations de priorité élevée. Les messages d'avertissement se composent d'un avertissement principal et d'un avertissement secondaire.

Si un état de fonctionnement inhabituel apparaît sur l'éolienne (par ex. défaut dans le système de lubrification) qui n'entraîne pas un arrêt immédiat de l'éolienne, mais exige une intervention du service, l'éolienne envoie un message d'avertissement. L'éolienne est encore en service.



2.5 Mise à disposition de données lors d'un défaut de communication

Messages d'état

Lors d'un défaut de communication entre le système de contrôle d'une éolienne ENERCON et le serveur ENERCON SCADA, jusqu'à 400 messages d'état peuvent s'afficher en fonction du type de commande (par ex. CS82a).

Une fois la communication rétablie, au moins 50 messages d'état sont transmis rétroactivement au serveur ENERCON SCADA. Le nombre peut être supérieur, si besoin.

Messages d'avertissement et d'informations

Les messages d'avertissement et d'informations sont tout d'abord supprimés de la mémoire du système de contrôle, lorsqu'ils ont été transmis au serveur ENERCON SCADA.

Comme lors d'un défaut de communication, aucun message ne peut être transmis, ils sont disponibles sur le serveur ENERCON SCADA, une fois la communication rétablie.

Valeurs momentanées

Les valeurs momentanées, comme la vitesse du vent, la vitesse de rotation, la puissance, etc. ne sont pas mises à disposition.

Valeur moyenne sur 10 minutes

Le serveur ENERCON SCADA appelle de manière cyclique les valeurs moyennes mises à disposition par le système de contrôle de l'éolienne et en donne une valeur moyenne sur 10 minutes.

Aussi longtemps que la communication est interrompue ou perturbée, le serveur ENERCON SCADA ne peut consulter aucune valeur moyenne et n'est donc pas en possibilité de créer ni de fournir de valeurs moyennes sur 10 minutes.

Heures de service et énergie injectée

Les heures de service et l'énergie injectée dans le réseau sont répertoriées et enregistrées par le système de contrôle.

Une fois la communication rétablie, les données sont transmises rétroactivement au serveur ENERCON SCADA.

Dispositifs SCADA

Les dispositifs SCADA comme RTU, FCU, METEO etc. ne donnent aucune donnée en cas de défaut de communication.

Description technique
Système ENERCON SCADA



3 Composants et fonctionnalités secondaires

Les composants et fonctionnalités secondaires pour le système ENERCON SCADA doivent être convenus séparément lors des négociations de contrat. Le contact est l'employé correspondant dans le bureau des ventes.

3.1 Interfaces de données vers les systèmes externes

3.1.1 Aperçu

ENERCON offre les interfaces de données suivantes pour les systèmes externes:

- ENERCON SCADA PDI-OPC
- ENERCON SCADA PDI-61400
- ENERCON SCADA RTU-I
- ENERCON SCADA RTU-C (autres fonctions, voir chap. 3.2.2, p. 13 et chap. 3.3.4, p. 18)

Les interfaces de données ENERCON SCADA PDI-OPC et ENERCON SCADA RTU sont utilisées, lorsque des indications de valeur de consigne doivent être apportées de manière flexible et rapide. Les valeurs de consigne « en ligne » sont transmises au parc éolien, via ENERCON SCADA PDI-OPC. Une liaison permanente de données est nécessaire. Il est possible de consulter les données des éoliennes via ENERCON SCADA PDI-OPC et ENERCON SCADA PDI-61400. Comparé au programme de télésurveillance ENERCON SCADA REMOTE, l'échange de données via l'interface ENERCON SCADA PDI-OPC offre avant tout la possibilité de définir de nouvelles valeurs de consigne. La vitesse de transmission des données dépend du type de liaison.

D0230085-4 / DA 7 sur 32 8 sur 32 D0230085-4 / DA



3.1.2 ENERCON SCADA PDI-OPC

3.1.2.1 Fonctionnalité

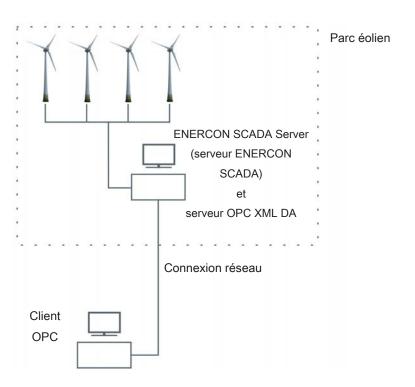


Fig. 4: ENERCON SCADA PDI-OPC dans le système ENERCON SCADA

ENERCON SCADA PDI-OPC est un serveur OPC XML DA selon les spécifications V1.01 de la OPC Foundation et peut être utilisé pour consulter les valeurs de mesure et pour la commande de tout le parc éolien ou d'éoliennes individuelles.

Toutes les données disponibles via le logiciel ENERCON SCADA Remote peuvent également être activées via ENERCON SCADA PDI-OPC. De plus, il est également possible d'envoyer des valeurs de consigne à l'aide d'ENERCON SCADA PDI-OPC pour modifier la génération de puissance réactive du parc éolien.

Les fonctions de l'ENERCON SCADA PDI-OPC, ainsi que les interfaces et signaux techniques afférents et disponibles sont décrits dans la documentation correspondante. Le réglage approprié de valeur de consigne doit être choisi en fonction des caractéristiques du projet.

D0230085-4 / DA 9 sur 32

Description technique Système ENERCON SCADA



3.1.2.2 Echange de données

Les données suivantes sont mises à disposition via le serveur OPC XML DA ou peuvent être reçues:

Données en ligne

Les données en ligne sont souvent mises à jour par le serveur OPC XML DA, comme le système ENERCON SCADA le permet dans le parc éolien. La structure du projet spécifique est transmise par le système et peut être affiché sur le Client. L'intervalle d'actualisation le plus court dans l'OPC est une seconde.

Pour d'autres informations sur les données en ligne, voir *Données en ligne*, p. 2.

Données de rapport

Le processus de données de rapport est conservé, cela signifie que le serveur OPC ne présente pas seulement des valeurs actuelle, mais aussi des valeurs d'intervalles passés et permet par conséquent de préserver la concordance entre les données sur les PC du client et du parc éolien.

Pour d'autres informations sur les données de rapport, voir *Données de rapport*, p. 2.

Indications de valeur de consigne

A l'aide des données de commande, les paramètres du parc éolien ou de l'éolienne peuvent être modifiés par le client. Cela concerne notamment les commandes ou ordres Marche/arrêt des différentes éoliennes ainsi que la modification des valeurs de consigne pour les régulations du parc éolien.

3.1.2.3 Analyses externes

Les données du serveur OPC XML DA dans le parc éolien peuvent être exportées et pour terminer peuvent continuer à être traitées.

Le système IT du client nécessite un logiciel dimensionné pour l'échange de données grâce au rapport OPC XML DA. Une large sélection d'applications logicielles est disponible sur le marché. Le client peut décider lui-même quelles sont les données qu'il sélectionne, affiche et enregistre sur son système.

Le serveur OPC XML DA dans le parc éolien est dimensionné de sorte que le client puisse enregistrer localement les données présentes dans le parc éolien, également en cas de communication en ligne défectueuse. Cela permet de garantir que, parallèlement aux valeurs en ligne et moyennes actuelles, l'évolution complète soit également mise à disposition. Le client a ainsi la possibilité de compléter ultérieurement les données manquantes en cas d'interruption de la transmission des données. Cela doit cependant être initié par OPC Client (=client) car le serveur ne peut pas déterminer les manques au niveau des données du client.

3.1.3 ENERCON SCADA PDI-61400

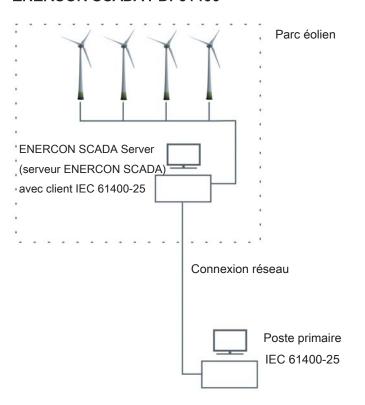


Fig. 5: ENERCON SCADA PDI-61400

Avec ENERCON SCADA PDI-61400, l'opérateur dispose d'une interface qui permet d'accéder en ligne aux données des éoliennes indépendamment du logiciel ENERCON SCADA Remote.

Pour l'ENERCON SCADA PDI-61400, il s'agit d'une interface qui utilise le modèle de données de la norme IEC 61400-25 et qui transmet les données via le rapport de la norme IEC 60870-5-104 (2006).

Il s'agit exclusivement d'un poste secondaire avec « Monitor Direction ». « Reverse Direction » et « Both Direction » ne sont pas pris en charge.

Le principe de communication dans le parc éolien ENERCON est schématisé à la Fig. 5, p. 11. Un poste primaire se relie via le réseau de communication au serveur ENERCON SCADA et peut ainsi accéder aux données des éoliennes.

Les fonctions de l'ENERCON SCADA PDI-61400, ainsi que les interfaces et signaux techniques afférents et disponibles sont décrits dans la documentation correspondante. Le réglage approprié de valeur de consigne doit être choisi en fonction des caractéristiques du projet.

D0230085-4 / DA 11 sur 32

Description technique Système ENERCON SCADA



ENERCON SCADA RTU (RTU-I et RTU-C)

Le terminal à distance ENERCON SCADA Remote Terminal Unit (RTU) prend en charge la fonction d'une interface de données du système ENERCON SCADA vers l'extérieur. DNP3, Modbus RTU et des bus de terrain basés sur Ethernet comme le Modbus TCP ou IEC60870-5-104 sont supportés.

Le RTU peut être équipé en option de modules I/O numériques et/ou analogiques, pour échanger les signaux avec le distributeur d'électricité ou avec l'exploitant. En plus, le RTU peut, selon l'équipement, prendre en charge les fonctions de commande ou de régulation pour influencer les paramètres du réseau.

Les valeurs de consigne suivantes peuvent être déterminées sur le RTU:

- Puissance active P [%] rapportée à la puissance d'alimentation du parc éolien convenue contractuellement
- Puissance réactive Q [%] rapportée à la puissance réactive nominale du parc éolien
- Facteur de puissance cos φ
- Offset de tension U [%] rapporté à la tension nominale au point d'injection du réseau

Interface IEC60870-5-104

Le terminal à distance ENERCON SCADA RTU peut fonctionner comme IEC60870-5-104 Controlled Station (esclave). Via les interfaces IEC60870-5-104, seules des valeurs de consigne peuvent être écrites et les données de parc éolien peuvent être consultées. Il n'est toutefois pas possible de consulter les données des éoliennes individuelles.

Interface DNP3

Le RTU peut être relié comme Outstation DNP3 (DNP3 esclave) aux postes de commande/ centre de Dispatch (DNP3 maître) (implémentation de rapport: DNP3-L2 Outstation).

Via les interfaces DNP3, seules des valeurs de consigne peuvent être écrites et les données de parc éolien peuvent être consultées. Il n'est toutefois pas possible de consulter les données des éoliennes individuelles.

Interface

Modbus TCP/RTU

Via les interfaces Modbus, seules des valeurs de consigne peuvent être écrites et les données de parc éolien peuvent être consultées. Il n'est toutefois pas possible de consulter les données des éoliennes.



3.2 Composants pour la saisie des valeurs de mesure

3.2.1 Aperçu

La fonction des composants pour la saisie des valeurs de mesure est de prendre en charge les valeurs de mesure des appareils de mesure spécifiques et des capteurs, et la préparation des données puis la transmission au système ENERCON SCADA.dans le rapport spécifique ENERCON.

ENERCON offre les composants SCADA suivants pour la saisie des valeurs de mesure:

- ENERCON SCADA RTU-C (autres fonctions, voir chap. 3.1.4, p. 12 et chap. 3.3.4, p. 18)
- ENERCON METEO

3.2.2 ENERCON SCADA RTU-C

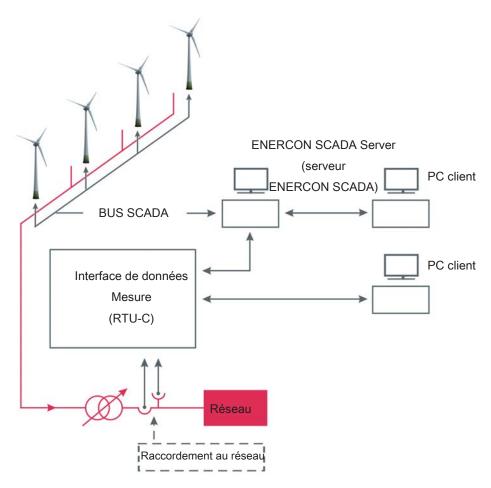


Fig. 6: Aperçu RTU-C

Le RTU-C prend en charge les fonctions suivantes:

- Interface de données
- Mesure de grandeurs électriques au point de raccordement au réseau

D0230085-4 / DA 13 sur 32

Description technique Système ENERCON SCADA



Le RTU enregistre via le transformateur de mesure, à l'aide d'un analyseur de réseau de courant (I1, I2, I3) et de tension (U1, U2, U3, N) triphasée sur le point de référence, en général au point d'injection du réseau. L'analyseur de réseau enregistre les valeurs de courant et de tension triphasée, et détermine tous les paramètres importants du réseau comme la puissance réactive et la puissance active.

Lié aux valeurs de consigne qui sont par ex. prédéfinies par l'exploitant du réseau, le RTU-C fournit au parc les valeurs de contrôle qui sont transmises via le serveur ENERCON SCADA. De cette manière, il est possible d'installer un circuit de régulation fermé.

Les valeurs suivantes sont enregistrées comme des valeurs moyennes sur une durée de 10 minutes et sont enregistrées dans le serveur ENERCON SCADA:

- Puissance active P, P1, P2, P3
- Puissance réactive Q, Q1, Q2, Q3
- Tensions composées U12, U23, U31
- Intensités I1, I2, I3
- Fréquence du réseau
- Facteur de puissance cos phi



3.2.3 ENERCON METEO

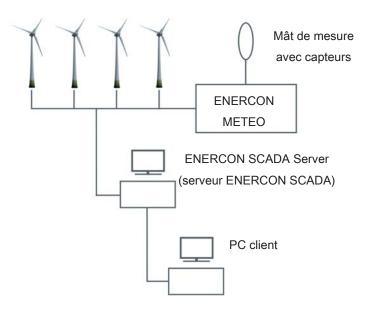


Fig. 7: ENERCON METEO

Le système METEO ENERCON sert à enregistrer et analyser les données météorologiques à l'aide du système ENERCON SCADA. La composante centrale du système METEO ENERCON est l'enregistreur de données, placé dans la boîte d'enregistrement de données météorologiques. Cela permet de raccorder un grand choix de capteurs pour la mesure de vent et la mesure météo. Des capteurs et un mât de mesure ne font pas partie du système METEO ENERCON, mais peuvent être fournis sur demande par ENERCON.

Enregistrement des données et transmission

Un microcontrôleur du système METEO ENERCON lit les données mises à disposition de l'enregistreur de données en quelques secondes. Il calcule en une seconde, basé sur un jeu de données sur une valeur moyenne d'une minute, les minima et maxima. Le serveur ENERCON SCADA interroge les jeux de données du microcontrôleur en quelques minutes et rend de son côté des valeurs moyennes plus élevées (sur 10 minutes, en heures, jours, etc.). L'horodateur afférent à un jeu de données est fixé par le serveur ENERCON SCADA.

Tant qu'il y a une connexion en ligne entre l'ENERCON SCADA Remote et le serveur ENERCON SCADA, les données disponibles en quelques secondes par l'enregistreur de données sont transmises au SCADA et affichées par l'ENERCON SCADA Remote. Une autre solution peut être aussi d'interroger les données via OPC XML par les clients externes OPC. La fréquence d'actualisation de l'affichage dans l'ENERCON SCADA Remote dépend du débit de la connexion en ligne. Pour une liaison stable par le réseau fixe, les valeurs affichées sont en général actualisées toutes les secondes.

Alimentation sans interruption (ASI)

L'ASI (UPS) en option permet un fonctionnement normal en cas de panne de l'alimentation en courant externe. Le fonctionnement du système de chauffage du boîtier est déjà exclus lors du fonctionnement de l'ASI (UPS), pour pouvoir maintenir le plus longtemps possible le service de mesure. Il est possible de partir d'une durée de fonctionnement de

D0230085-4 / DA 15 sur 32

Description technique Système ENERCON SCADA



l'ASI (UPS) de plusieurs jours à quelques semaines, en fonction des conditions de température sur site et du nombre de capteurs raccordés. Une alimentation en courant solaire ne peut pas être raccordée.

3.3 Commande et régulation avec le système ENERCON SCADA

3.3.1 Aperçu

Le système ENERCON SCADA est un outil complexe qui permet de remplir différentes fonctions de contrôle-commande du parc éolien.

Pour ce faire, des commandes (circuit de régulation ouvert, sans réinjection) et des régulations (circuit de régulation fermé, avec réinjection) peuvent être réalisées avec des composants ENERCON SCADA.

Pour commander à l'aide du système ENERCON SCADA, ENERCON offre les composants suivants:

- ENERCON SCADA PDI-OPC (autres fonctions, voir chap. 3.1.2, p. 9)
- ENERCON SCADA RTU (toutes les versions)

Pour réguler à l'aide du système ENERCON SCADA, ENERCON offre les composants suivants :

- ENERCON SCADA RTU-C (autres fonctions, voir chap. 3.1.4, p. 12 et chap. 3.2.2, p. 13)
- ENERCON SCADA FCU (Farm Control Unit)

3.3.2 Commande avec le système ENERCON SCADA

La manière la plus simple pour intervenir sur le fonctionnement d'un parc éolien est de commander les paramètres de fonctionnement. « Système de commande » signifie (contrairement à « régulation ») qu'il n'y a pas de retour d'effet des valeurs de consigne. En d'autres termes, la valeur réelle à régler n'est pas contrôlée et ne peut pas être automatiquement prise en compte dans le prochain processus de commande.

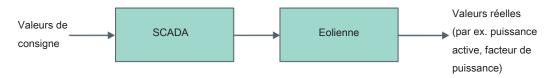


Fig. 8: Structure d'un système de commande de dimensions électriques à l'aide de l'ENERCON SCADA

Commande de valeur de consigne

Sur le serveur ENERCON SCADA, les valeurs de consigne peuvent être définies comme paramètres de commande. Les valeurs saisies sont envoyées de la même façon sur toutes les éoliennes raccordées au système SCADA et s'appliquent jusqu'à ce que de nouvelles valeurs de consigne soient déterminées.

Les paramètres de service suivants peuvent être commandés:

- Puissance active
- Facteur de puissance
- Puissance réactive



Commande par table

La commande par table peut être utilisée pour régler la puissance nominale d'un parc et le facteur de puissance jusqu'à 40 périodes par semaine. La commande du parc éolien se réfère à ces valeurs de consigne en fonction du temps. Les valeurs de table sont seulement entrées une fois via ENERCON SCADA Remote ou directement sur le serveur ENERCON SCADA. La modification de paramètres est protégée par mot de passe, et peut uniquement être fixée par ENERCON.

Valeurs de commande via des interfaces

ENERCON propose des interfaces qui peuvent également être utilisées pour transmettre des signaux de commande purs, par exemple de l'exploitant du réseau au système ENERCON SCADA du parc éolien. Parmi ces interfaces, on compte ENERCON SCADA RTU (toutes les versions) et ENERCON SCADA PDI-OPC.

3.3.3 Régulation avec le système ENERCON SCADA

Grâce à ENERCON SCADA RTU-C et ENERCON SCADA FCU, un circuit de régulation en boucle fermé peut être établi, en liaison avec le système ENERCON SCADA et les éoliennes. La régulation de grandeurs électriques se réfère au point de saisie des valeurs de mesure, c'est-à-dire la plupart du temps le point d'alimentation de l'exploitant du réseau.

Si une régulation est souhaitée, il faut utiliser soit le RTU-C ou la FCU. Des valeurs de consigne externes peuvent être intégrées par les interfaces décrites. La précision et la dynamique de la régulation dépend de la configuration du parc éolien, du nombre d'éoliennes raccordées, de la classe du transformateur de courant et d'autres facteurs.

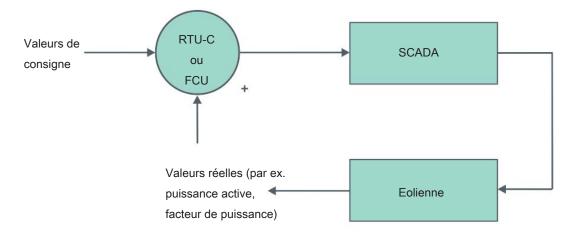


Fig. 9: Structure d'une régulation avec réinjection caractéristique du signal de sortie

D0230085-4 / DA 17 sur 32

Description technique
Système ENERCON SCADA



3.3.4 ENERCON SCADA RTU-C

3.3.4.1 Aperçu du produit

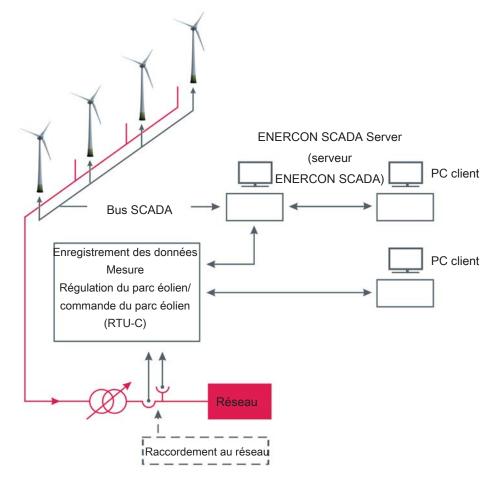


Fig. 10: Apercu RTU-C

Le RTU-C prend en charge les fonctions suivantes:

- Interface de données
- Mesure de grandeurs électriques au point de raccordement au réseau
- Régulation du parc éolien ou commande du parc éolien

À l'aide du RTU-C, il est possible de réaliser une régulation du parc éolien en lien avec les « paramètres réels » au point d'alimentation. Les grandeurs de référence peuvent être la puissance active, la puissance réactive, le facteur de puissance (cos Phi) et la tension. Pour ce faire, différents modes de régulateurs peuvent être choisis et configurés en fonction du projet par le personnel spécialisé ENERCON.

Le RTU (ENERCON SCADA Remote Terminal Unit) enregistre via le transformateur de mesure, à l'aide d'un analyseur de réseau de courant (I1, I2, I3) et de tension (U1, U2, U3, N) triphasée sur le point de référence, en général au point d'injection du réseau.

Lié aux valeurs de consigne qui sont par ex. prédéfinies par l'exploitant du réseau, le RTU fournit au parc les valeurs de contrôle qui sont transmises via le serveur ENERCON SCADA. De cette manière, il est possible d'installer un circuit de régulation fermé.



Description technique Système ENERCON SCADA

3.3.4.2 Types de commande et de régulation

Régulation de puissance active et commande de puissance active

Il est possible de différencier les types suivants d'indications de valeur de consigne:

- Indications fixes de valeur de consigne (les valeurs de consigne sont enregistrées dans le RTU)
- Indications de valeur de consigne en ligne (via les interfaces définies)

La valeur de consigne s'affiche comme valeur relative, rapportée au câble de connexion du parc éolien convenue par contrat.

Régulateur

Le régulateur peut fonctionner en différents modes, en fonction du cas d'utilisation:

- Default Values Open Loop Control (système de commande)
- P Open Loop Control (système de commande)
- P Closed Loop Control (système de régulation)

Régulation de puissance réactive et commande de puissance réactive

Il est possible de différencier les types suivants d'indications de valeur de consigne:

- Indication fixe de valeur de consigne
- Indication en ligne de valeur de consigne
- Indication de valeur de consigne d'une courbe de référence

Indication fixe de valeur de consigne

La valeur de consigne est réglée de manière fixe dans le RTU.

Indication en ligne de valeur de consigne

Pour une régulation choisie de puissance réactive (régulation Q), la valeur de consigne est déterminée comme valeur relative rapportée par la puissance réactive installée du parc éolien. Pour la régulation du facteur de puissance, la valeur de consigne est déterminée de manière absolue.

Indication de valeur de consigne d'une courbe de référence

La valeur de consigne correspondante est déterminée depuis une courbe de référence. Le paramètre de courbes peut être la valeur moyenne de puissance active ou valeur moyenne de tension de réseau. La formation de valeur moyenne peut être réglée dans le temps entre 1 s et 1 min.

Chaque transfert de valeur de consigne est limité dans le temps. Ce paramètre réglable doit garantir une stabilisation sûre du régulateur.

D0230085-4 / DA 19 sur 32

Description technique Système ENERCON SCADA



Régulateur

Le régulateur peut fonctionner en différents modes, en fonction du cas d'utilisation:

- Default Values (régulateur off, les valeurs par défaut sont envoyées)
- Cos φ Open Loop Control (système de commande)
- Q Open Loop Control (système de commande)
- Cos φ Closed Loop Control (régulation)
- Q Closed Loop Control (régulation)
- Cos φ(P) Closed Loop Control (régulation, courbe)
- Q(U) Closed Loop Control (régulation, courbe)
- Cos φ(U) Closed Loop Control (régulation, courbe)
- Q(P) Closed Loop Control (régulation, courbe)



3.3.5 ENERCON SCADA FCU

3.3.5.1 Aperçu du produit

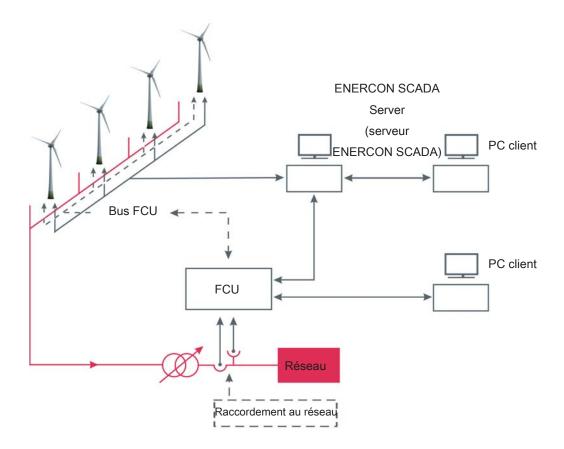


Fig. 11: Aperçu FCU

À l'aide de l'ENERCON Farm Control Unit (FCU), il est possible de réaliser une régulation rapide, continue et centrale du parc éolien. Le point de référence de cette régulation est un point de référence défini selon le projet. Ce dernier est d'habitude identique avec le point d'alimentation de réseau du parc éolien sur le réseau HTA ou HTB.

Selon les exigences de l'exploitant du réseau, il est possible de réguler, d'une part, la puissance active injectée dans le réseau et, d'autre part, les grandeurs de puissance réactive ou de facteur de puissance et de tension qui y sont liées.

La ENERCON SCADA FCU comprend, outre le logiciel et matériel central (armoire de commande de la FCU) au point de référence, du matériel supplémentaire dans les éoliennes et un système de transmission des données à distance par câble en fibre optique.

3.3.5.2 Régulation

Les valeurs de consigne de régulation peuvent être, d'une part, paramétrées de manière fixe ou, d'autre part, être déterminées de l'extérieur via des interfaces définies.

Le régulateur et ses paramètres sont conçus et réglés par ENERCON en fonction du projet. Pour garantir une régulation stable au point d'alimentation, il est indispensable d'établir une étroite collaboration entre le client, ENERCON et l'exploitant du réseau. Il relève de la responsabilité du développeur de projet de vérifier au préalable avec l'exploitant du réseau quelles exigences doivent être satisfaites au point de connexion pour que le temps et les coûts appropriés puissent être pris en considération.

D0230085-4 / DA 21 sur 32

Description technique Système ENERCON SCADA



La FCU enregistre au point de référence la tension et le courant injecté et calcule les valeurs réelles des grandeurs de régulation, par ex. la puissance active ou réactive. De la différence des valeurs de consigne données, c'est-à-dire de la différence de régulation, les régulateurs implémentés dans la FCU génèrent les valeurs de réglage correspondantes et les envoient aux éoliennes. Pour ce faire, la FCU envoie le même signal de réglage à toutes les éoliennes.

Limitation de la puissance active

Ce régulateur limite la puissance active injectée au point de référence sur une valeur de consigne définie par ex. par l'exploitant du réseau. On enregistre la puissance active injectée au point de référence et, en cas de vitesse de vent insuffisante, parfaitement réglée sur la valeur de consigne définie. Le régulateur se compose d'un régulateur P avec retard. La valeur de consigne peut être modifiée sous forme de saut ou avec un gradient réglable.

Régulation du facteur de puissance

Le régulateur règle le facteur de puissance cos Phi au point de référence sur une valeur de consigne prédéfinie par l'exploitant du réseau, par ex.

La FCU calcule du facteur de puissance prédéfini et de la puissance active injectée mesurée au point de référence, la valeur de consigne de puissance réactive nécessaire. La valeur réelle de la puissance réactive injectée est parfaitement réglée sur la valeur de consigne de puissance réactive.

Réglage de la puissance réactive

Le régulateur limite la puissance réactive injectée au point de référence sur une valeur de consigne définie par ex. par l'exploitant du réseau.

Régulation de la tension

Comme les points d'alimentation sont principalement inductifs, la valeur absolue de la tension au point de référence peut être régulée de manière ciblée via la puissance fournie ou le rapport de puissance réactive.

Le régulateur de tension implémenté dans la FCU transforme la différence de réglage entre la valeur de consigne et la valeur réelle de la tension au point de référence en un signal de réglage de puissance réactive et l'envoie à toutes les éoliennes du parc éolien qui sont activées pour cette régulation.

Régulation de puissance réactive en fonction de la tension

A l'aide de cette structure de régulation, il est possible de réaliser une courbe d'injection Q-ΔU (calcul statique) linéaire définie par l'exploitant du réseau. Une telle courbe décrit la puissance réactive injectée au point de référence en fonction de la différence de régulation de la tension au point de référence.

On détermine, pour ce faire, la différence entre la valeur de consigne de tension et la valeur réelle enregistrée au point de référence. La puissance réactive injectée au point de référence est ensuite régulée sur la valeur de consigne de puissance réactive résultant de la courbe Q- ΔU .



3.4 Envoi de message de défaut automatique

Pour la communication du système ENERCON SCADA vers l'extérieur, on utilise en général TCP/IP. Le système ENERCON SCADA envoit en cas de défaut automatiquement des messages d'avertissement et de défauts à la centrale de service ENERCON. Ces messages sont automatiquement affectés aux équipes du Service et enregistrés.

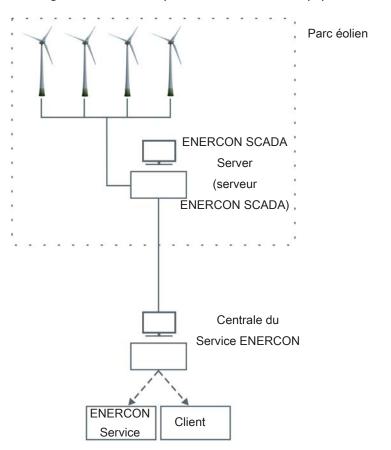


Fig. 12: Messages de défaut

Le client peut, sur demande, être informé de tout message de défaut par la centrale de Service ENERCON. Cette information peut en principe être transmise par SMS ou e-mail. Si plusieurs personnes sont informées des messages de défaut, ENERCON conseille de choisir le transfert par e-mail au client. Le client peut ensuite décider lui-même quels messages doivent être transférés. ENERCON doit seulement être tenu informé en cas de modification de l'adresse e-mail ou du numéro de téléphonie mobile.

D0230085-4 / DA 23 sur 32

Description technique Système ENERCON SCADA



Structure du message de défaut

Les messages envoyés au client par e-mail ou par texto (SMS) ont le format suivant : [Numéro du parc éolien]_[Numéro de l'éolienne]_[Numéro de série]_[EC DB Nr.]_[Nom du client]_[Nom du site]_[Heure du défaut]_[(Type de message)]_[État de l'éolienne]_[Numéro du message de défaut ou du message d'avertissement]_[Description de l'état]_[Description du message de défaut ou du message d'avertissement]

Exemple de message (en anglais)

3252 01 70217 1 Test Ltd. Test farm 2013-07-01 15:59:57 (Warning) 0:0 190:2 Hazard light : Fault

Les informations suivantes doivent être transmises au service à la clientèle ENERCON (département Customer Relations Management (gestion des relations avec la clientèle) - appel d'offres):

- Type d'envoi : Par e-mail ou par texto (SMS)
- Numéro(s) de série de(s) (l') éolienne(s)
- Numéro du parc éolien
- Nom du site
- Coordonnées du destinataire

Service à la clientèle ENERCON (appel d'offres):

ENERCON Kundenservice (Angebotswesen)

Dornumer Straße 20

26607 Aurich, Allemagne

E-mail: serviceoffer@enercon.de

Tél.: +49 4941 976 388

Des frais d'envoi supplémentaires peuvent s'appliquer selon le lieu où est situé le parc éolien, le type de communication du message ainsi que par rapport au contrat de maintenance.



3.5 Système de contrôle d'événement

Le système de contrôle d'événement est conçu et installé comme un programme sur le serveur ENERCON SCADA. Avec celui-ci, il est possible de modifier en fonction de la date et de l'heure, l'état des éoliennes en prenant compte des valeurs de mesure.

En saisissant les lignes de commande relatives au fichier de configuration du procédé, une opération peut, dans une certaine mesure, être programmée, par ex. « Marche/Arrêt de l'éolienne » ou « Envoyer messages ». Une réduction de la puissance active n'est toutefois pas possible à l'aide du système de contrôle de l'événement. Tous les événements apparus sont documentés à part.



Les systèmes de commande liés à la sécurité ne peuvent pas être réalisés par la présente !

Il est possible de choisir entre 3 types d'événements:

- Date/heure
- Etat
- Condition de mesure d'un enregistreur de données via SCADA METEO ou de données de l'éolienne comme la direction et la vitesse du vent

Ces événements peuvent être reliés entre eux ET- par ligne de commande, lancer une opération.



Les modifications nécessaires dans le fichier de configuration peuvent être effectuées pour des raisons de sécurité, exclusivement par ENERCON.

Exemples d'utilisation pour le système de contrôle de l'événement:

- Protection des chauves-souris
- Protection contre le bruit
- Distance minimale aux bâtiments

3.6 Management annulaire du système ENERCON SCADA

Description technique

Système ENERCON SCADA

Le management annulaire du système ENERCON SCADA permet, en relation avec l'installation du bus de données fibre optique interne du parc éolien en topologie annulaire, d'augmenter la fiabilité du système de bus.

Les données sont envoyées en deux directions des bus de données et restent comme cela disponibles à la majorité des éoliennes lors de l'interruption d'une partie du bus de données, par ex. à cause d'un câble défectueux.

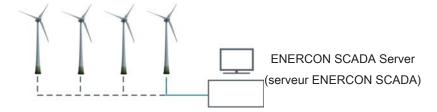


Fig. 13: Interruption d'une partie du bus de données sans management annulaire

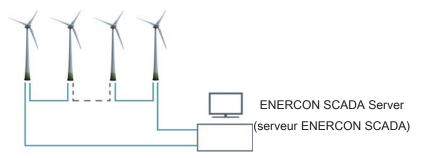


Fig. 14: Interruption d'une partie du bus de données avec management annulaire

Le management annulaire ENERCON SCADA est réalisé comme solution logicielle dans des modules de communication à fibres optiques et peut aussi être utilisé pour le bus de données du Farm Control Unit (FCU).



ENERCON ENERCON

3.7 ENERCON SCADA Power Consumption Management

L'ENERCON SCADA Power Consumption Management (système de gestion de la consommation d'énergie ENERCON SCADA; abrégé par PCM) permet de limiter la consommation d'énergie des éoliennes ENERCON à une valeur réglable au point d'alimentation.

Cela est utile notamment pour les grandes charges thermiques telles que le système de dégivrage de pales et le système de séchage du générateur, car ces processus ne sont souvent effectués que lors de l'arrêt de l'éolienne, s'appliquent fréquemment à l'ensemble du parc éolien et ont pour conséquence une consommation d'énergie considérable au point d'alimentation.

Le PCM calcule cycliquement la puissance de consommation disponible aux éoliennes. Cette puissance correspond à la différence entre la puissance de consommation maximale prédéfinie (valeur de consigne définie par le client/l'exploitant du réseau) et la puissance actuelle consommée au point d'alimentation. La puissance actuelle consommée au point d'alimentation peut être déterminée soit par un point d'alimentation virtuel soit par un système de saisie optionnel des valeurs de mesure (FCU ou RTU-C).

La puissance est offerte cycliquement aux éoliennes les unes après les autres. Si une éolienne a besoin de puissance de consommation et qu'il y a assez de puissance disponible, l'éolienne réserve et consomme de la puissance de consommation. La puissance de consommation disponible aux autres éoliennes se réduit par la guantité réservée.

Le besoin de puissance d'une éolienne peut se composer des besoins de plusieurs systèmes internes de celle-ci. L'éolienne réserve de la puissance pour chaque système, c.-à-d. si la puissance offerte à l'éolienne ne suffit que pour un système sur deux, l'éolienne réserve de la puissance uniquement pour ce système.

En raison de ce comportement et du traitement cyclique, la consommation d'énergie au point d'alimentation est limitée.

Le PCM est un processus exécuté sur l'ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA) et sur le logiciel de commande des éoliennes ENERCON.

Aucun matériel supplémentaire n'est nécessaire.

Interfaces

L'ajustement et la demande de données peut se faire par le biais des interfaces/ programmes suivants:

- ENERCON SCADA Remote 3
- ENERCON SCADA PDI-OPC

3.8 Système ENERCON SCADA - Solutions spéciales et applications en fonction du pays

Les solutions spéciales en fonction du projet et du pays sont possibles après concertation.

4 Conditions préalables

Système ENERCON SCADA

Description technique

ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA)

Le serveur ENERCON SCADA est une condition préalable pour le fonctionnement du système ENERCON SCADA dans le parc éolien.

Communication de données

Pour garantir la communication du ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA) vers l'extérieur, une connexion Internet est nécessaire.

Les options de liaison suivantes sont possibles:

- DSL (option de liaison préférée)
- Liaison satellite (option de liaison alternative)
- Une connexion Internet mobile avec GSM, EDGE, UMTS/3G et analogique/ISDN (conçue exclusivement comme liaison de sauvegarde automatique (backup) supplémentaire vers une connexion DSL ou satellite)

ENERCON doit vérifier dans quelle mesure l'utilisation d'un réseau client est possible.

Câble fibre optique

Pour la transmission de données dans le parc éolien, une connexion de données sécurisée est nécessaire. Pour cette connexion de données, des câbles en fibre optique sont nécessaires.

Alimentation sans interruption (ASI)

Le serveur ENERCON SCADA est équipé de manière standard d'une alimentation sans interruption (UPS).

D0230085-4 / DA 27 sur 32 28 sur 32 D0230085-4 / DA



5 Etendue des prestations de livraison

Par système ENERCON SCADA, on entend tous les composants SCADA installés en fonction du projet et leur interaction. Ces composants sont utilisés en fonction du projet.

La prestation de livraison standard d'un projet de parc éolien contient les composants suivants:

- ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA)
- ENERCON SCADA (logiciel installé sur le serveur ENERCON SCADA)
- ENERCON SCADA Remote pour un PC approprié du client
- une licence pour chacun des deux programmes
- une clé de connexion (Dongle)

Description technique
Système ENERCON SCADA



6 Maintenance

6.1 Maintenance nécessaire

Les mesures de maintenance nécessaires aux différentes composantes matérielle et logicielle du système ENERCON SCADA sont définies dans les documentations produits correspondantes.

6.2 Système ENERCON SCADA dans ENERCON PartnerKonzept (EPK)

Il faut déterminer en fonction du projet la manière et comment le système ENERCON SCADA est couvert par l'ENERCON PartnerKonzept (EPK).

D0230085-4 / DA 29 sur 32 30 sur 32 D0230085-4 / DA



Description technique Système ENERCON SCADA

Table des figures

Fig. 1	Représentation schématique du système ENERCON SCADA avec compo-	
	sants standards	1
Fig. 2	ENERCON SCADA Remote	4
Fig. 3	ENERCON SCADA Remote: Affichage des données quotidiennes	5
Fig. 4	ENERCON SCADA PDI-OPC dans le système ENERCON SCADA	9
Fig. 5	ENERCON SCADA PDI-61400	11
Fig. 6	Aperçu RTU-C	13
Fig. 7	ENERCON METEO	15
Fig. 8	Structure d'un système de commande de dimensions électriques à l'aide de l'ENERCON SCADA	16
Fig. 9	Structure d'une régulation avec réinjection caractéristique du signal de sortie	17
Fig. 10	Aperçu RTU-C	18
Fig. 11	Aperçu FCU	21
Fig. 12	Messages de défaut	23
Fig. 13	Interruption d'une partie du bus de données sans management annulaire	26
Fig. 14	Interruption d'une partie du bus de données avec management annulaire	26

Description technique Système ENERCON SCADA



Index des termes techniques

ASI (UPS) Alimentation sans interruption (ASI): système technique assurant

pratiquement sans délai l'alimentation des consommateurs de cou-

rant en cas de panne du réseau électrique

Bus de données Câble de données qui relie par ex. chaque éolienne avec le

ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA).

Client Un « Client » (en français : client) est un programme informatique qui

établit une liaison avec le serveur pour recourir aux services du serveur. En fonction du type de client, il est possible d'accéder à diffé-

rents services.

dBASE Système de banque de données

Dongle Clé pour la protection de copie du matériel

EPK L'ENERCON PartnerKonzept (EPK) prévoit un contrat facultatif de

maintenance complète entre l'exploitant d'une éolienne et

ENERCON, à la suite de quoi ENERCON prend en charge les maintenances et les réparations des éoliennes et garantit une disponibilité

technique définie.

Etat principal est dans le système ENERCON SCADA un état de l'éolienne et de

ses composants, et s'affiche comme code numérique avec des expli-

cations.

Informations Les informations présentent dans le système ENERCON SCADA des

consignes pour l'éolienne et ses composants. L'apparition d'une infor-

mation signifie que l'éolienne continue à fonctionner.

Message de défaut Un message de défaut est généré lors d'un état de fonctionnement

inhabituel. L'éolienne est arrêtée.

Messages d'avertisse-

ment

Les messages d'avertissement correspondent aux informations de

priorité élevée. L'éolienne est encore en service.

OPC XML DA Open Process Connectivity, voir www.opcfoundation.org. L'Extensible

Markup Language (en français : langage de balisage extensible) est un langage XML qui est utilisé entre autres pour l'échange de données entre des systèmes informatiques, spécialement via Internet. DA est l'abréviation de « Data Access » (en français : accès aux don-

nées).

Sous-état Indique dans le système ENERCON SCADA des informations plus

précises y compris la raison pour l'actuel état principal et s'affiche

comme code numérique avec des explications.

D0230085-4 / DA 31 sur 32 32 sur 32 D0230085-4 / DA



Description technique
Système de détection de givre/glace ENERCON
Procédé de la courbe de puissance



Description technique

Système de détection de givre/glace ENERCON Procédé de la courbe de puissance





Description technique Procédé de la courbe de puissance

Mentions légales

Editeur: ENERCON GmbH • Dreekamp 5 • 26605 Aurich • Allemagne

Téléphone : +49 4941 927-0

Fax: +49 4941 927-109

Copyright: © ENERCON GmbH. Toute communication et reproduction de ce document,

toute exploitation ou communication de son contenu sont interdites, sauf autorisation expresse. Tout manquement à cette règle est illicite et expose son auteur au versement de dommages et intérêts. Tous nos droits sont réservés, notamment pour le cas de la délivrance d'un brevet, ou de l'enregistrement

d'un modèle d'utilité ou d'un modèle de présentation.

Proposition de modification : ENERCON GmbH se réserve le droit, à tout moment et sans préavis de modi-

fier ce document et son contenu dans le but de l'améliorer et de le mettre à jour.

Information concernant le document

Document	Date	Langue	"Original" ou Traduction du <document></document>
D0157529-2	03.12.2010	fre	Traduction de D0154407-2 (ger)

D0157529-2



1 Introduction

Dans certaines conditions météorologiques, les pales peuvent se recouvrir de glace, de givre ou d'une couche de neige. Ceci arrive le plus souvent lorsque l'air est très humide, ou en cas de pluie ou de neige et à des températures proches de 0 °C. La glace se forme quand des gouttes d'eau gèlent sur la surface de la pale. Du givre se forme lorsque l'humidité contenue dans l'air gèle et reste accrochée à la surface des pales de rotor.

Les températures de givre les plus fréquentes se situent dans la plage comprise entre - 1°C et - 4°C. Pour des températures supérieures à + 1°C et inférieures à - 7°C, il n'y a habituellement pas de givre. En dessous de - 7°C, l'humidité disponible dans l'air est généralement insuffisante. La commande de l'éolienne mesure, à l'aide de deux sondes de température indépendantes, la température de l'air sur la nacelle et en bas, au pied du mât, ce qui permet de constater si les conditions sont propices à la formation de givre.

Les dépôts de glace et de givre peuvent réduire le rendement et accroître la sollicitation du matériel - en particulier par le déséquilibre créé - et la nuisance sonore. En outre, les épaisseurs de glace atteintes peuvent constituer un danger pour les personnes et les biens en cas de chute ou de projection.

Le principe de détection de glace/ givre avec le procédé de la courbe de puissance est utilisé en série dans toutes le éoliennes munies de pales réglables et sa vraisemblance a été certifié par le TÜV Nord (n° rapport TÜV 8104206760).

D0157529-2 Introduction 1/8



Description technique Procédé de la courbe de puissance

2 Fonctionnement

Des profilés aérodynamiques haut de gamme sont utilisés pour les pales de rotor, afin d'obtenir un rendement optimal sur une large plage de fonctionnement. Les caractéristiques aérodynamiques de ces profilés réagissent très sensiblement aux modifications des contours et de la rugosité causées par le givre. La modification importante des caractéristiques de fonctionnement qui en résulte pour l'éolienne (rapport vent/vitesse de rotation/puissance/angle de pale) est utilisée par le système de détection de givre/glace. Par ailleurs, lorsque la température dépasse +2 °C sur la nacelle, les rapports de fonctionnement spécifiques à l'éolienne (vent/puissance/angle des pales) sont identifiés comme étant des valeurs moyennes à long terme. Pour des températures inférieures à +2 °C (conditions de givre), les données de fonctionnement actuelles sont comparées aux valeurs moyennes à long terme.

Pour cela, une plage de tolérance, déterminée de manière empirique, est définie autour de la courbe de puissance et de la courbe d'angle de pale. Celle-ci se base sur des simulations, des essais et plusieurs années d'expérience sur un grand nombre d'éoliennes de types variés. Si les données de fonctionnement concernant la puissance ou l'angle de pale sont hors de la plage de tolérance, dans le cadre d'une prise glissante de moyennes, l'éolienne est stoppée avec l'état principal 14 *lce detection* (dépôt de glace).

Sous-état

Le type d'écart de la plage de tolérance est également analysé et s'affiche sous forme de sous-état.

Si la puissance moyenne mesurée se situe sous la fourchette de puissance, cela indique le givrage du rotor. L'éolienne est alors stoppée avec l'état 14:11 *Ice detection: Rotor (power measurement)* (dépôt de glace rotor [mesure puissance]).

Dans le cas où de la glace se dépose sur l'anémomètre et que la puissance moyenne mesurée de l'éolienne dépasse la fourchette de puissance, l'éolienne est stoppée avec l'état 14 :12 *lce detection: Anemometer (power measurement)* (dépôt de glace : anémomètre [mesure puissance]), car le système part du principe que les pales de rotor sont aussi givrées, et pas seulement l'anémomètre.

Si les pales de rotor sont givrées, l'angle de pale est réduit par rapport à des pales de rotor sans glace. Si l'angle de pale moyen mesuré se situe sous la fourchette d'angle de pale, cela indique le givrage du rotor. L'éolienne est alors stoppée avec l'état 14:13 *Ice detection: Rotor (blade angle)* (dépôt de glace rotor [mesure angle de pale]).

Si l'angle de pale moyen mesuré se situe au-dessus de la fourchette d'angle de pale, cela indique que l'anémomètre est givré, comme pour la mesure de la puissance. L'éolienne est alors stoppée avec l'état 14:14 *Ice detection: Anemometer (blade angle)* (dépôt de glace : anémomètre [mesure angle de pale]), car

2/8 Fonctionnement D0157529-2



il n'est pas possible d'en dire plus sur un éventuel dépôt de glace sur le rotor. De cette manière, on s'assure que tout dépôt de glace est détecté sur toute la plage de vitesse du vent.

Il n'y a pas de risque de gel sur un anémomètre à ultrasons.

Délai avant coupure

Grâce à l'étroitesse de la plage de tolérance, la coupure a lieu généralement en moins d'une heure, avant que l'épaisseur de la couche de glace ne constitue un danger pour l'environnement. Même en fonctionnement sans givre, certains points de fonctionnement sortent régulièrement de la plage de tolérance sans conduire à une coupure grâce à la prise de moyenne glissante.

D0157529-2 Fonctionnement 3/8

Description technique Procédé de la courbe de puissance

3 Redémarrage de l'éolienne

Il n'est possible de redémarrer automatiquement l'éolienne qu'une fois le dégivrage terminé, c'est-à-dire lorsque la température est repassée de manière permanente au-dessus de +2°C. En fonction de la température extérieure, il sera indiqué un temps nécessaire pour le dégivrage, pendant lequel l'éolienne ne démarrera pas automatiquement. Un réenclenchement prématuré manuel ne sera possible que directement sur l'éolienne, après avoir procédé au contrôle visuel requis. L'exploitant est ainsi responsable des éventuels dangers encourus.

On part du fait que la glace ne peut fondre qu'à des températures extérieures supérieures à +2°C. Le temps de dégivrage requis - basé sur des valeurs empiriques - est défini en fonction de la température extérieure, de sorte que lors du redémarrage, les risques de formation de glace sur les pales sont réduits. Il peut donc s'écouler plusieurs heures avant le redémarrage de l'éolienne, en fonction de la température extérieure.

Système de dégivrage de

ENERCON propose un système de dégivrage de pale en option. Ce système est enclenché, une fois l'éolienne arrêtée. Le système de dégivrage des pales n'empêche pas la formation de glace/ givre, mais le temps de dégivrage peut être nettement réduit.

Si l'éolienne est équipée d'un système de dégivrage, elle redémarre après écoulement de la durée de chauffage, en général plusieurs heures.

Dans le système de commande, il est possible de régler si nécessaire que l'éolienne ne reprenne pas son fonctionnement automatique, une fois le dépôt de glace/ givre détecté. Le redémarrage de l'éolienne se fait alors manuellement.

4/8 Redémarrage de l'éolienne D0157529-2



4 Sécurité

La fiabilité du fonctionnement du système de détection de givre/ glace est très élevée avec le procédé de la courbe de puissance. Une défaillance éventuelle au niveau du point de mesure de la température sera relevée par le deuxième point de mesure situé au pied du mât. Toutes les autres valeurs sujettes à tolérances, telles que la vitesse du vent, la puissance et l'angle de pale, ne sont pas considérées par le système de commande comme étant des valeurs absolues. Le système ne fait que prendre en compte les variations se produisant sur ces valeurs pour mettre en évidence la formation de glace.

La plausibilité de toutes les mesures liées à l'éolienne est contrôlée en permanence par la commande. Une modification non plausible d'une valeur de mesure qui ne tient pas à un dépôt de glace est interprétée comme un dépôt de glace par la commande et l'éolienne est stoppée. Ceci exclut toute défaillance du système de détection de givre/glace soit-il pour cause de tolérances inadmissibles dans les signaux de mesure ou soit-il pour cause de l'absence d'un signal.

Le procédé des courbes peut même détecter un dépôt de glace en fonction du système quand les capteurs de glace sur la nacelle, utilisés par d'autres systèmes, ne peuvent pas détecter de givre en raison de stratification climatique.

D0157529-2 Sécurité 5/8



Description technique Procédé de la courbe de puissance

5 Limites

Comme le rotor doit tourner pour le procédé de la courbe de puissance, ce procédé ne peut fonctionner à l'arrêt. En cas de vitesses de vent faibles (inférieures à 3 m/s), la sensibilité du système de détection de givre/glace est réduite. Dans ces cas, une chute de glace ne peut pas être totalement exclue.

En cas d'absence totale de vent et de vitesses faibles de vent, des morceaux de glace épais ne se forment pas. Par ailleurs, le rotor ne tourne pas ou qu'à vitesse faible. Un dépôt de glace/ givre éventuel n'est par conséquent pas projeté sur une grande distance, mais tombe des pales à proximité de l'éolienne. Le risque de projection de glace lié est comparable au risque de projection de

glace pour des bâtiments plus élevés, des câbles HT ou similaires

6/8 Limites D0157529-2

10.8. MODE TEMPETE

Description technique

Eoliennes ENERCON Mode tempête



ENERCON

Description technique Mode tempête

Mentions légales

Editeur: ENERCON GmbH • Dreekamp 5 • 26605 Aurich • Allemagne

Téléphone : +49 4941 927-0

Fax: +49 4941 927-109

Copyright: © ENERCON GmbH. Toute communication et reproduction de ce document,

toute exploitation ou communication de son contenu sont interdites, sauf autorisation expresse. Tout manquement à cette règle est illicite et expose son auteur au versement de dommages et intérêts. Tous nos droits sont réservés, notamment pour le cas de la délivrance d'un brevet, ou de l'enregistrement

d'un modèle d'utilité ou d'un modèle de présentation.

Proposition de modification : ENERCON GmbH se réserve le droit, à tout moment et sans préavis de modi-

fier ce document et son contenu dans le but de l'améliorer et de le mettre à jour.

Information concernant le document

Document		D0191612-0	D0191612-0b		
Note		Ce document est une traduction du document original portant le numéro D0178786-0a (ger).			
Date		Langue		Usine / Département	
2012-01-11		fre	WRD GmbH / Validierung		
Index	D	ate	Mod	ification	
0	20)11-12-14	Réda	Rédaction du document	
0a	20)11-12-21	Modi	Modifications rédactionnelles	
0b	20	012-01-11	Modi	Modifications rédactionnelles	

Les informations sur les révisions se rapportent au document original. Le cas échéant, pas toutes les révisions n'ont été traduites.

Mentions légales D0191612-0b

1 Mode tempête ENERCON

Les éoliennes ENERCON disposent d'un système de contrôle spécial leur permettant de fonctionner par temps de tempête. Ceci signifie que, par vents très forts, l'éolienne travaille en mode bridé, ce qui évite les arrêts qui conduiraient à des pertes de production considérables.

Lorsque le mode tempête est activé la vitesse nominale est réduite linéairement pendant une vitesse de vent définie pour chaque type d'éolienne. La limitation de la vitesse nominale a comme conséquence la réduction de la puissance à partir d'une autre vitesse de vent spécifique au type d'éolienne. L'éolienne est uniquement arrêtée à partir d'une vitesse de vent supérieure à 34 m/s (valeur moyenne sur 10 minutes). A titre de comparaison : Lorsque le mode tempête est désactivé l'éolienne est arrêtée à une vitesse de vent de 25 m/s (valeur moyenne de 3 minutes).

À part une croissance du rendement, le mode tempête ENERCON a une influence positive sur la stabilité du réseau électrique vu que les éoliennes ENERCON réduisent graduellement la puissance injectée en évitant de la suspendre brusquement.



2 Comportement de l'éolienne lorsque le mode tempête est désactivé

Lorsque le mode tempête est désactivé, l'éolienne s'arrête si la vitesse du vent est de 25 m/s avec une valeur moyenne de 3 minutes ou si elle est de 30 m/s avec une valeur moyenne de 30 m/s (V_3). Si nécessaire, ces limites peuvent être modifiées dans le système de contrôle de l'éolienne. Pour des raisons de protection de l'éolienne l'augmentation des vitesses de coupure est cependant limitée assez rigoureusement.

L'éolienne redémarre dès que les conditions correspondantes aux 10 minutes (réglage standard) ne sont plus détectées. Si nécessaire on peut adapter cette période dans le système de contrôle de l'éolienne.



Comportement de l'éolienne lorsque le mode tempête est activé

Lorsque le mode tempête est activé, il est possible de sélectionner la possibilité de réglage nommée ci-dessus mais elle sera cependant pas analysée par le système de commande. Puis la vitesse est réduite linéairement depuis une vitesse de vent définie pour chaque type d'éolienne. Le temps de rapport de la vitesse du vent est de 12 s. Lors de rafales positives qui dépassent de plus de 3 m/s (moyenne par seconde) la valeur moyenne de 12 secondes, alors la valeur moyenne de 12 secondes est spontanément adaptée à la valeur moyenne par seconde.

La limitation de la vitesse a comme conséquence la réduction de la puissance à partir d'une vitesse de vent spécifique au type d'éolienne (V_4) .

L'éolienne s'arrête à partir d'une vitesse de vent V_5 de 34 m/s (valeur moyenne sur 10 minutes).

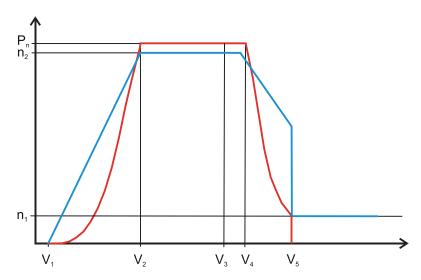


Figure 1: Vitesse du vent/vitesse de rotation/courbe de puissance lorsque le mode tempête est activé (exemple)

V_1	Vitesse du vent de démar- rage		Vitesse de rotation n
V_2	Vitesse nominale du vent	—	Puissance active P
V_3	Vitesse de coupure du vent lorsque le mode tem- pête est désactivé	n ₁	Plage de la vitesse de rotation à vide
V_4	Début de la réduction de puissance	n ₂	Vitesse de rotation nomi- nale lors de la puissance nominale
V_5	Vitesse de coupure du vent lorsque le mode tem- pête est activé	P _n	Puissance nominale



Pour les éoliennes équipées d'un anémomètre à coupelles, le mode tempête est automatiquement désactivé lorsque la températieure extérieure est < 3 °C.

4 Vitesses du vent spécifiques selon le type d'éolienne du mode tempête ENERCON

Le temps de rapport de la vitesse du vent pour la réduction de puissance (V_4) est de 12 s, lors de rafales (+3 m/s) 1 s. Les valeurs indiquées doivent être considérées comme valeurs momentanées.

M ENERCON

Le temps de rapport pour la vitesse de coupure du vent (V_5) est de 10 minutes.

À cause de l'impact des turbulences et des vitesses de vent fluctuantes, les valeurs sur 10 minutes peuvent varier dépandemment du site et des conditions de vent prédominentes, comme indiquent les prochains exemples :

Lors d'une vitesse de vent constante de 28 m/s sur 10 minutes, l'éolienne fournie une puissance nominale permanente de 100 % sur toute la période. Pour la valeur moyenne sur 10 minutes en résulte un rendement de 100 % de la puissance nominale.

Si par contre une vitesse de vent de

32 m/s persiste sur 5 minutes, alors la puissance pour cette période est réduite de 1/3 de la puissance nominale. Si pendant 5 minutes supplémentaires une vitesse de vent de 24 m/s persiste, l'éolienne fournira 100 % de la puissance nominale pendant cette période. Le long de la période de mesure de 10 minutes une vitesse de vent d'une moyenne de 28 m/s en résulte comme indiqué dans l'exemple précédent. Le rendement mesuré sur 10 minutes s'élève cependant seulement à environ 66 % de la puissance nominale.

Type d'éolienne	Vitesse du vent lors de la réduction de puissance (V ₄)	Vitesse de coupure (V ₅)
E-33 (330 kW)	28,2 m/s	34 m/s
E-44 (900 kW)	28,5 m/s	34 m/s
E-48 (800 kW)	28,8 m/s	34 m/s
E-53 (800 kW)	28,6 m/s	34 m/s
E-70 E4 (2,3 MW)	28,7 m/s	34 m/s
E-82 (2 MW)	29,0 m/s	34 m/s
E-82 (3 MW)	29,2 m/s	34 m/s
E-82 E2 (2 MW)	29,2 m/s	34 m/s
E-82 E2 (2,3 MW)	29,0 m/s	34 m/s
E-82 E3 (3 MW)	28,9 m/s	34 m/s
E-101 (3 MW)	29,1 m/s*	34 m/s
E-126 (6 MW)	29,1 m/s	34 m/s
E-126 (7,5 MW)	28,8 m/s	34 m/s

*indications provisoires

Vitesses du vent spécifiques selon le type d'éolien...

10.9. PROCEDURE DE REDEMARRAGE APRES DETECTION DE GLACE



Procédure de redémarrage après détection de glace

Page **1** of **1**

1. Objet

Cette procédure a pour objectif de détailler les différentes possibilités de redémarrage des aérogénérateurs à la suite d'un arrêt causé par la détection de glace ou de givre.

2. Circonstances

Durant la période hivernale, en fonction des conditions météorologiques et des spécificités de chaque site éolien, il est possible que de la glace et / ou du givre se forme ou s'amoncelle sur différents éléments de l'aérogénérateur (pales, anémomètre,...). Enercon GmbH a développé et installe de série un système de détection de ce phénomène. Lorsque les tolérances sont dépassées, l'aérogénérateur s'arrête automatiquement

3. Procédures de redémarrage

Il existe différentes possibilités pour effectuer le redémarrage d'un aérogénérateur qui sont détaillées ci-dessous :

3.1 Redémarrage automatique

Les aérogénérateurs sont programmés pour redémarrer automatiquement dès que l'ensemble des conditions définies pour que ce redémarrage soit possible sont remplies (température extérieure et temporisation selon cette température)

3.2 Le client vérifie sur site l'absence de glace et redémarre la machine directement à l'armoire de contrôle.

3.3 Le client vérifie sur site l'absence de glace et demande à Enercon Service France de démarrer la machine à distance.

Pour cela un formulaire est disponible, le client doit le signer et le transmettre dument rempli par fax à chaque fois que l'opération est nécessaire.



ESC_WEC reset after detection of icing_05-11-2008_rev000_ger-eng.pdf (Annexe 8)

3.4 Le client vérifie sur site l'absence de glace et redémarre la machine à partir de l'ordinateur de gestion du parc éolien

Ceci est possible uniquement si le système Scada "Linux" est intégré sur le parc éolien. Avec un ordinateur Scada fonctionnant sous DOS, cette opération n'est pas réalisable.

Le coût de la mise à niveau vers un système linux dépend de plusieurs facteurs qui pourront être déterminés au cas par cas.

	Info - document	Info - traduction
Rédigé/ Date:	T.Aoutin 2011-09-11	Traduit/Date:
Vérifié/Date:		Vérifié/Date:
Autorisation/Date:		Autorisation/Date:
Révision:		Révision:
Nom du fichier :	Annexe 5 - Procédure de rédémarrage après détection de glace 2012-01-09.docx	Version Modèle:

Page 1 de 1