

Projet éolien Les Grands Clos

Commune de Saint-Mayeux et de Saint-Gilles-Vieux-Marché

Département des Côtes d'Armor (22)

Etude de dangers complétée



Rédaction de l'étude :

Ora environnement
76 avenue des Vosges
67000 Strasbourg



Maître d'ouvrage :

SEPE Les Grands Clos
330 rue du Port Salut
F-60126 LONGEUIL SAINTE MARIE



Fevrier 2019

TABLE DES MATIERES

1	Préambule.....	4
1.1	Objectifs de l'étude de dangers.....	4
1.2	Contexte législatif et réglementaire.....	4
1.3	Nomenclature des installations classées.....	4
2	Informations générales concernant l'installation.....	5
2.1	Renseignements administratifs.....	5
2.2	Localisation du site.....	5
2.3	Définition de l'aire d'étude.....	5
3	Description de l'environnement de l'installation.....	6
3.1	Environnement humain.....	6
3.1.1	Zones urbanisées.....	6
3.1.2	Etablissements recevant du public (ERP).....	6
3.1.3	Installations classées pour la protection de l'environnement et installations nucléaires.....	6
3.1.4	Autres activités.....	6
3.2	Environnement naturel.....	6
3.2.1	Contexte climatique.....	6
3.2.2	Risques naturels.....	7
3.3	Environnement matériel.....	10
3.3.1	Voies de communication.....	10
3.3.2	Réseaux publics et privés.....	10
3.3.3	Autres ouvrages publics.....	11
3.4	Cartographie de synthèse.....	11
4	Description de l'installation.....	12
4.1	Caractéristiques de l'installation.....	12
4.1.1	Caractéristiques générales d'un parc éolien.....	12
4.1.2	Activité de l'installation.....	14
4.1.3	Composition de l'installation.....	15
4.2	Fonctionnement de l'installation.....	15
4.2.1	Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur.....	15
4.2.2	Sécurité de l'installation.....	15
4.2.3	Protection incendie.....	16
4.2.4	Opérations de maintenance de l'installation.....	18

4.2.5	Stockage et flux de produits dangereux.....	20
4.3	Fonctionnement des réseaux de l'installation.....	20
4.3.1	Raccordement électrique.....	20
4.3.2	Autres réseaux.....	20
5	Identification des potentiels de dangers de l'installation.....	21
5.1	Potentiels de dangers liés aux produits et déchets.....	21
5.2	Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation.....	22
5.3	Réduction des potentiels de dangers à la source.....	22
5.3.1	Principales actions préventives.....	22
5.3.2	Utilisation des meilleures techniques disponibles.....	22
6	Analyse des retours d'expérience.....	23
6.1	Inventaire des accidents et incidents en France.....	23
6.2	Inventaire des accidents et incidents à l'international.....	24
6.3	Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience.....	24
6.3.1	Analyse de l'évolution des accidents en France.....	24
6.3.2	Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents.....	24
6.4	Limites d'utilisation de l'accidentologie.....	25
7	Analyse préliminaire des risques.....	26
7.1	Objectif de l'analyse préliminaire des risques.....	26
7.2	Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques.....	26
7.3	Recensement des agressions externes potentielles.....	26
7.3.1	Agression externes liées aux activités humaines.....	26
7.3.2	Agressions externes liées aux phénomènes naturels.....	27
7.4	Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques.....	27
7.5	Effets dominos.....	28
7.6	Mise en place des mesures de sécurité.....	29
7.7	Conclusion de l'analyse préliminaire des risques.....	34
8	Etude détaillée des risques.....	35
8.1	Rappel des définitions.....	35
8.1.1	Cinétique.....	35
8.1.2	Intensité.....	35
8.1.3	Gravité.....	36
8.1.4	Probabilité.....	36
8.2	Caractérisation des scénarios retenus.....	37

8.2.1	Effondrement de l'éolienne	37
8.2.2	Chute de glace	38
8.2.3	Chute d'éléments de l'éolienne	39
8.2.4	Projection de pales ou de fragments de pales	40
8.2.5	Projection de glace	42
8.3	Synthèse de l'étude détaillée des risques	43
8.3.1	Tableaux de synthèse des scénarios étudiés	43
8.3.2	Synthèse de l'acceptabilité des risques	43
8.3.3	Cartographie des risques	43
9	Moyens de secours et d'intervention	44
9.1	Moyens internes	44
9.2	Moyens externes	44
9.3	Traitement de l'alerte	44
9.4	Implantation des bases de maintenance	44
10	Conclusion	45
11	Annexes	46
11.1	Annexe 1 – Méthode de comptage des personnes pour la détermination de la gravité potentielle d'un accident à proximité d'une éolienne	46
11.1.1	Terrains non bâtis	46
11.1.2	Voies de circulation	46
11.1.3	Logements	46
11.1.4	Etablissements recevant du public (ERP)	46
11.1.5	Zones d'activité	47
11.2	Annexe 2 – Tableau de l'accidentologie française	48
11.3	Annexe 3 – Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques	51
11.3.1	Scénarios relatifs aux risques liés à la glace (G01 et G02)	51
11.3.2	Scénarios relatifs aux risques d'incendie (I01 à I07)	51
11.3.3	Scénarios relatifs aux risques de fuites (F01 à F02)	51
11.3.4	Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments (C01 à C03)	52
11.3.5	Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales (P01 à P06)	52
11.3.6	Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E01 à E10)	52
11.4	Annexe 4 – Probabilité d'atteinte et Risque individuel	53
11.5	Annexe 5 – Glossaire	53
11.6	Annexe 6 – Bibliographie et références utilisées	55

11.7	Annexe 7 – Description du système SCADA Enercon
11.8	Annexe 8 – Description du démontage d'une éolienne Enercon
11.9	Annexe 9 – Description du système de détection de givre
11.10	Annexe 10 – Description du mode Tempête Enercon
11.11	Annexe 11 – Description de la procédure de redémarrage de l'éolienne après détection de givre

1 PREAMBULE

1.1 Objectifs de l'étude de dangers

La présente étude de dangers a pour objet de rendre compte de l'examen effectué par Enercon IPP France pour caractériser, analyser, évaluer, prévenir et réduire les risques du parc éolien Les Grands Clos, autant que technologiquement réalisable et économiquement acceptable, que leurs causes soient intrinsèques aux substances ou matières utilisées, liées aux procédés mis en œuvre ou dues à la proximité d'autres risques d'origine interne ou externe à l'installation. Cette étude est proportionnée aux risques présentés par les éoliennes du parc Les Grands Clos. 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 Les Grands Clos, qui réduisent le risque à l'intérieur et à l'extérieur des éoliennes à un niveau jugé acceptable par l'exploitant. Ainsi, cette étude permet une approche rationnelle et objective des risques encourus par les personnes ou l'environnement, en satisfaisant les principaux objectifs suivants :

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

1.2 Contexte législatif et réglementaire

Les objectifs et le contenu de l'étude de dangers sont définis dans la partie du Code de l'environnement relative aux installations classées. Selon l'article L. 512-1, l'étude de dangers expose les risques que peut présenter l'installation pour les intérêts visés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation. L'arrêté du 29 septembre 2005 relatif à l'évaluation et à la prise en compte de la probabilité d'occurrence, de la cinétique, de l'intensité des effets et de la gravité des conséquences des accidents potentiels dans les études de dangers des installations classées soumises à autorisation [10] fournit un cadre méthodologique pour les évaluations des scénarios d'accident majeurs. Il impose une évaluation des accidents majeurs sur les personnes uniquement et non sur la totalité des enjeux identifiés dans l'article L. 511-1. En cohérence avec cette réglementation et dans le but d'adopter une démarche proportionnée, l'évaluation des accidents majeurs dans l'étude de dangers d'un parc d'aérogénérateurs s'intéressera prioritairement aux dommages sur les personnes. Pour les parcs éoliens, les atteintes à l'environnement, l'impact sur le fonctionnement des radars et les problématiques liées à la circulation aérienne feront l'objet d'une évaluation détaillée au sein de l'étude d'impact. Ainsi, l'étude de dangers a pour objectif de démontrer la maîtrise du risque par l'exploitant. Elle comporte une analyse des risques qui présente les différents scénarios d'accidents majeurs susceptibles d'intervenir. Ces scénarios sont caractérisés en fonction de leur probabilité d'occurrence, de leur cinétique, de leur intensité et de la gravité des accidents potentiels. Elle justifie que le projet permet d'atteindre, dans des conditions économiquement acceptables, un niveau de risque aussi bas que possible, compte tenu de l'état des connaissances et des pratiques et de la vulnérabilité de l'environnement de l'installation.

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

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

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

1.3 Nomenclature des installations classées

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

A. – Nomenclature des installations classées			
N°	DÉSIGNATION DE LA RUBRIQUE	A, E, D, S, C (1)	RAYON (2)
2980	Installation terrestre de production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent et regroupant un ou plusieurs aérogénérateurs :		
	1. Comprenant au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure ou égale à 50 m.....	A	6
	2. Comprenant uniquement des aérogénérateurs dont le mât a une hauteur inférieure à 50 m et au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur maximale supérieure ou égale à 12 m et pour une puissance totale installée :		
	a) Supérieure ou égale à 20 MW.....	A	6
	b) Inférieure à 20 MW.....	D	

(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.

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

2 INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION

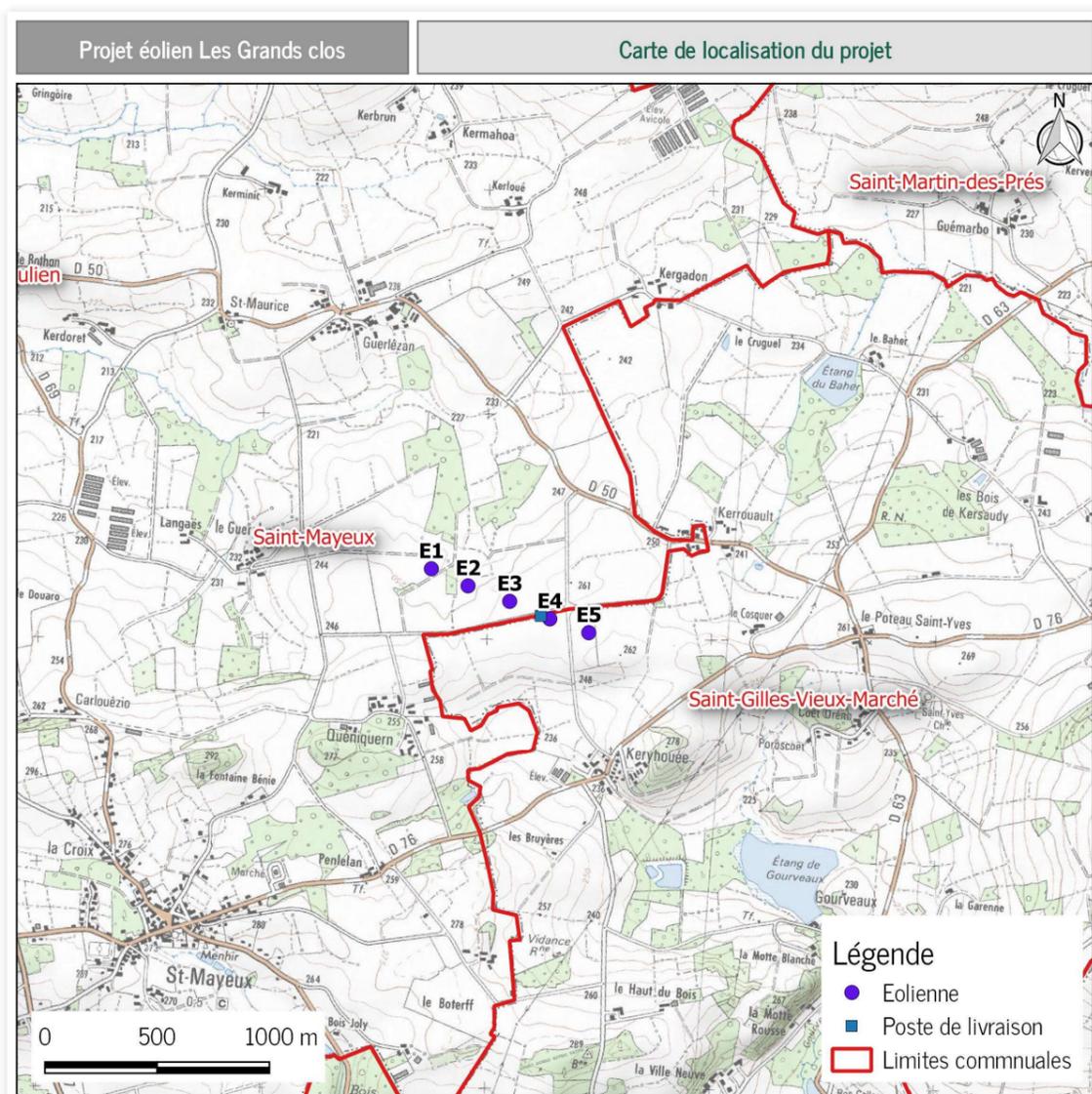
2.1 Renseignements administratifs

L'exploitant du parc éolien est la Société d'Exploitation du Parc Eolien Les Grands Clos, S.A.R.L. immatriculée sous le numéro 828 659 813 au R.C.S. de Compiègne et domiciliée au 330 rue du Port Salut, 60126 à Longueuil-Sainte-Marie.

Le rédacteur de la présente étude est Alexis MAHIAS, chargé d'études environnementales au sein du bureau d'études Ora environnement, S.A.R.L. immatriculée sous le numéro 820 828 333 au R.C.S. de Strasbourg et domiciliée au 67 avenue des Vosges, 67000 STRASBOURG.

2.2 Localisation du site

Le parc éolien Les Grands Clos, composé de 5 aérogénérateurs, est localisé sur les communes de Saint-Mayeux et de Saint-Gilles-Vieux-Marché dans le département des Côtes d'Armor en région Bretagne.



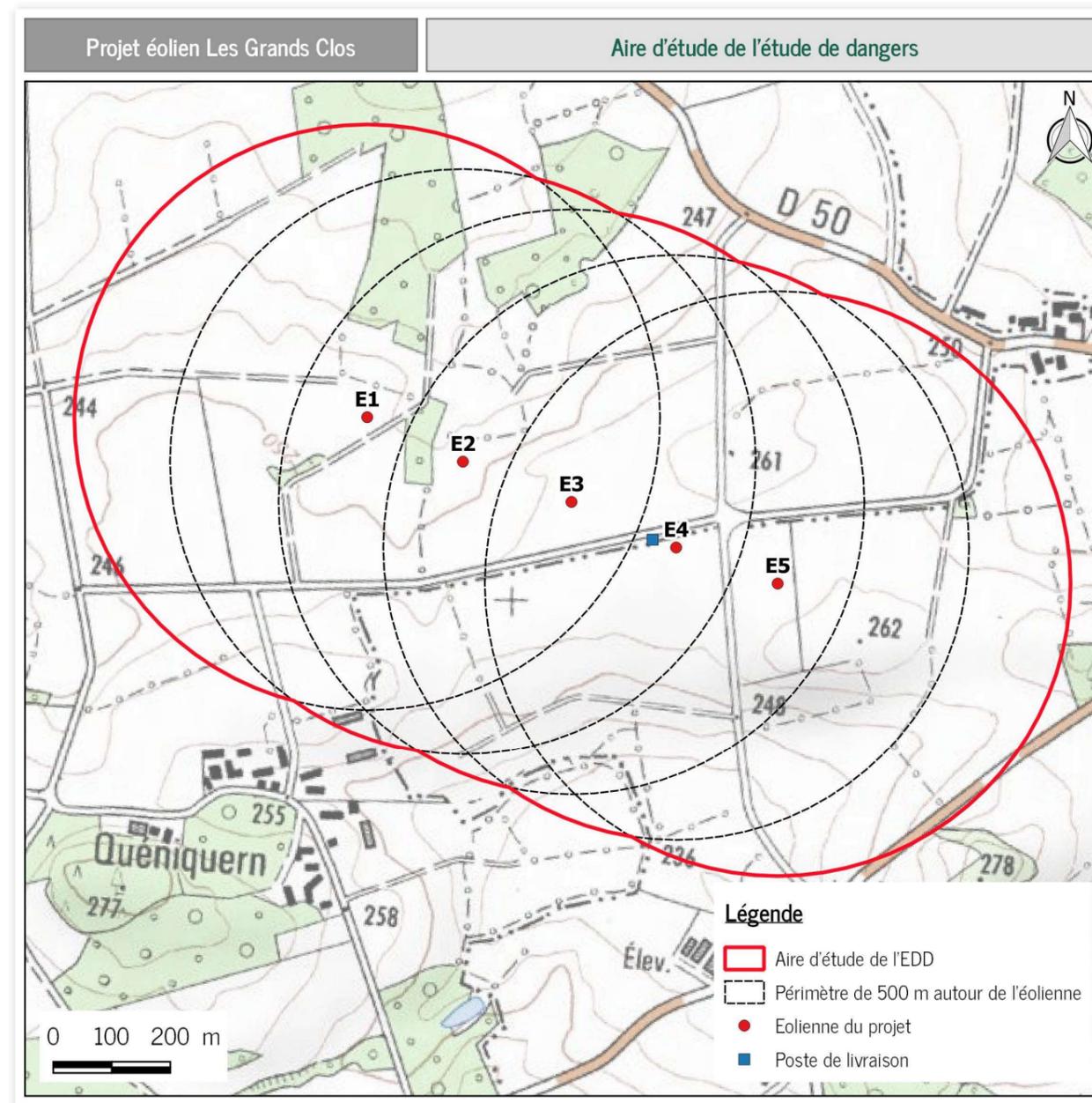
Carte 1 : Localisation du projet

2.3 Définition de l'aire d'étude

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

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



Carte 2 : Aires d'étude du projet

3 DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

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

3.1 Environnement humain

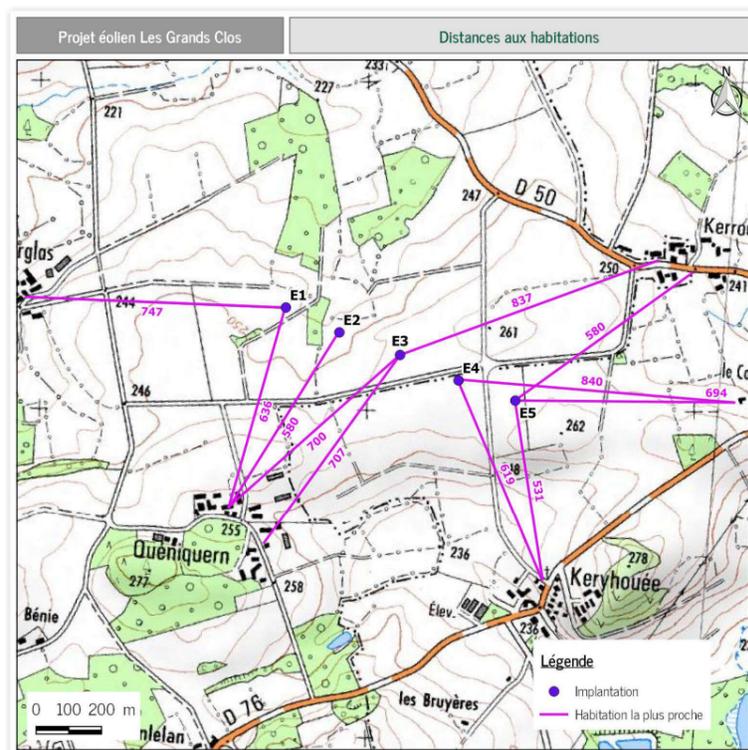
3.1.1 Zones urbanisées

Les éoliennes du projet sont à plus de 550 m des habitations les plus proches. Les habitations les plus proches pour chaque commune voisine sont rappelées dans le tableau suivant.

Commune	Nombre d'habitants	Hameau / Lieu-dit	Distance à l'éolienne la plus proche (en m)	Eolienne la plus proche
Saint-Gilles-Vieux Marché	302	Hameau (Keryhouée)	531 m	E5
Saint-Mayeux	484	Hameau (Queniquern)	580 m	E2
Saint-Gilles-Vieux Marché	302	Hameau (Keryhouée)	619 m	E4
Saint-Gilles-Vieux Marché	302	Hameau (Kerrouault)	580 m	E5
Saint-Gilles-Vieux Marché	302	Hameau (Le Cosquer)	694 m	E5
Saint-Mayeux	484	Hameau (Le Guerglas)	747 m	E1

Tableau 1: Distances des éoliennes aux habitations

La distance séparant chacune des éoliennes et l'habitation la plus proche est donnée sur la carte suivante :



Carte 3 : Distances aux habitations

3.1.2 Etablissements recevant du public (ERP)

Aucun ERP n'est concerné par le périmètre d'étude. Les ERP les plus proches se situent au sein des villages alentours, à plus d'un kilomètre des éoliennes.

3.1.3 Installations classées pour la protection de l'environnement et installations nucléaires

Une Installation Classée pour la Protection de l'Environnement est présente à moins de 500 m des éoliennes :

Nom	Rubrique	Régime	Activité	Commune	Adresse	Distance
EARL La Bruyère	2102	E	Élevage de porcs	Saint-Mayeux	Queniquern	460 m (E2)
EARL Keryhouée	2102	E	Élevage de porcs	Saint-Gilles-Vieux-Marché	Keryhouée	615 m (E5)

Tableau 2: Liste des ICPE

Ces établissements n'induisent pas de risques notables dans le cadre du projet. En effet, les élevages de porcs soumis à enregistrement au titre des installations classées pour la protection de l'environnement sont essentiellement concernés par les risques de pollution du milieu naturel. Ils n'engendrent pas de véritable risque industriel susceptible d'avoir des conséquences sur le projet de parc éolien.

3.1.4 Autres activités

Les parcelles voisines aux éoliennes sont destinées principalement à la culture, l'élevage et la sylviculture.

3.2 Environnement naturel

3.2.1 Contexte climatique

3.2.1.1 Caractéristiques climatiques

Le climat dominant dans les Côtes d'Armor est de type océanique, caractérisé par des étés plutôt beaux et doux, et des hivers pluvieux, ventés et doux. Les écarts de température sont faibles, les jours de gels en hiver peu nombreux et les précipitations plutôt bien réparties sur l'année. Mais le climat est très variable localement en Bretagne. Généralement, il varie sensiblement entre le nord et le sud, et d'est en ouest au sein même du département. A l'est le climat est déjà continentalisé avec des hivers frais ou froids, tandis que l'ouest connaît une humidité et des précipitations constantes, avec des journées très nuageuses. Saint-Mayeux est caractérisée par ce dernier type de climat puisque cette commune se trouve au centre-ouest de la Bretagne.

La station la plus proche du site est Rostrenen (25 km à l'ouest). Les données présentées ci-après sont issues des normales climatiques sur la période 1971-2000.

Les températures moyennes fluctuent peu en fonction des saisons, avec des températures minimales de 4,8°C en janvier, et des températures maximales de 16,8°C en août.

Température moyenne de Rostrenen (°C)												
Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Moy
4.8	5.3	6.9	8.3	11.6	14.2	16.6	16.8	14.6	11.3	7.7	5.9	10.3

Tableau 3: Température moyenne de Rostrenen

La formation de gel peut potentiellement intervenir environ 27 jours/an en moyenne, sur une période s'étendant de novembre à avril lorsque les températures sont inférieures à 0°C.

Nombre de jours avec des températures inférieures ou égales à 0°C de Rostrenen												
Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
7.5	6.8	3.1	1.4	0	0	0	0	0	0	2.5	5.9	27.2

Tableau 4: Nombre de jours avec des températures inférieures ou égales à 0°C de Rostrenen

La station de mesure de Rostrenen montre des précipitations moyennes (1971-2001) comprise entre 834,8 et 1 286 mm. L'influence du climat océanique résulte en des précipitations bien réparties sur l'année.

Hauteur moyenne des précipitations (en mm) de Rostrenen												
Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
130.8	103.3	88.5	76.1	79.5	53.6	52.2	51.8	91.3	110.0	107.5	134.4	1079.0

Tableau 5: Hauteur moyenne des précipitations (en mm) de Rostrenen

Les données sur le brouillard, les orages, la grêle et la neige n'étant pas disponibles à Rostrenen, ce sont les chiffres de Saint-Brieuc (40 km au nord) qui ont été utilisés. On notera que la visibilité est réduite en moyenne 45 jours/an lors de la présence de brouillard et on dénombre en moyenne 8,3 jours d'orage par an. On observe en moyenne 4,7 jours de grêle par an et 7,3 jours de neige.

Nombre de jours de brouillard d'orage, de grêle et de neige à la station de Saint-Brieuc													
	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Brouillard	3.1	2.5	2.5	3.3	5.1	4.1	5.4	5.9	3.6	3.9	2.1	3.3	45.0
Orage	0.2	0.3	0.4	0.8	1.3	1.1	1.3	1.4	0.9	0.2	0.2	0.3	8.3
Grêle	0.5	0.5	0.6	1.3	0.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.6	0.6	4.7
Neige	1.1	2.7	1.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.6	7.3

Tableau 6: Nombre de jours de brouillard et d'orage de Saint-Brieuc

3.2.1.2 Régime de vent

La Bretagne dispose de manière générale d'un des gisements éoliens les plus importants à l'échelle française et européenne. Les vents sont présents toute l'année et donc très favorables à l'exploitation éolienne. La moyenne annuelle (vent moyenné sur 10 mn) à une altitude de 10 m sur la station de Saint-Brieuc est de 4,7 m/s. Le maximum est relevé au mois de janvier (5,7 m/s) et le minimum au mois d'août (3,7 m/s).

Période	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Vitesse en m/s	5,7	5,6	5,1	5,1	4,4	4,2	4,0	3,7	4,2	4,7	4,9	5,4

Tableau 7: Vitesse de vent par mois

Les normales relevées à la station de Rostrenen sur la période 1981-2000 montrent une prédominance des vents du sud-ouest, tant par leur fréquence que par leur vitesse.

3.2.2 Risques naturels

3.2.2.1 Dossier départemental des risques majeurs

L'objectif du dossier départemental des risques majeurs (DDRM) est d'informer et de sensibiliser les élus locaux et les citoyens sur les risques potentiels auxquels ils sont exposés, afin de développer une véritable culture des risques et l'appropriation des mesures pertinentes pour les prévenir et s'en protéger.

Le DDRM comporte une liste des communes du département exposées à un ou plusieurs risques majeurs. D'après ce document, les risques naturels potentiels sont liés aux inondations de plaine, au risque tempête, au radon pour la commune de Saint-Mayeux et Saint-Gilles-Vieux-Marché.

3.2.2.2 Arrêtés de catastrophes naturelles

Le tableau suivant recense les arrêtés de catastrophe naturelle sur les communes de l'aire d'étude.

Commune	Type de catastrophe	Début le	Fin le	Arrêté du
SAINT-MAYEUX	Inondations, coulées de boue	15/01/1988	15/02/1988	02/08/1988
	Tempête	15/10/1987	16/10/1987	22/10/1987
	Inondations, coulées de boue	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999
SAINT-GILLES-VIEUX-MARCHE	Tempête	15/10/1987	16/10/1987	22/10/1987
	Inondations, coulées de boue	08/06/1993	09/06/1993	28/09/1993
	Inondations, coulées de boue	25/12/1999	29/12/1999	29/12/1999
	Inondations, coulées de boue	27/06/2005	27/06/2005	02/03/2006

Tableau 8: Arrêtés préfectoraux des catastrophes naturelles

3.2.2.3 Inondations

Une inondation est une submersion, rapide ou lente, d'une zone habituellement hors d'eau. Le risque inondation est la conséquence de deux composantes : l'eau qui peut sortir de son lit habituel d'écoulement et l'installation dans la zone inondable de constructions, d'équipements ou d'activités. Les inondations peuvent être liées à :

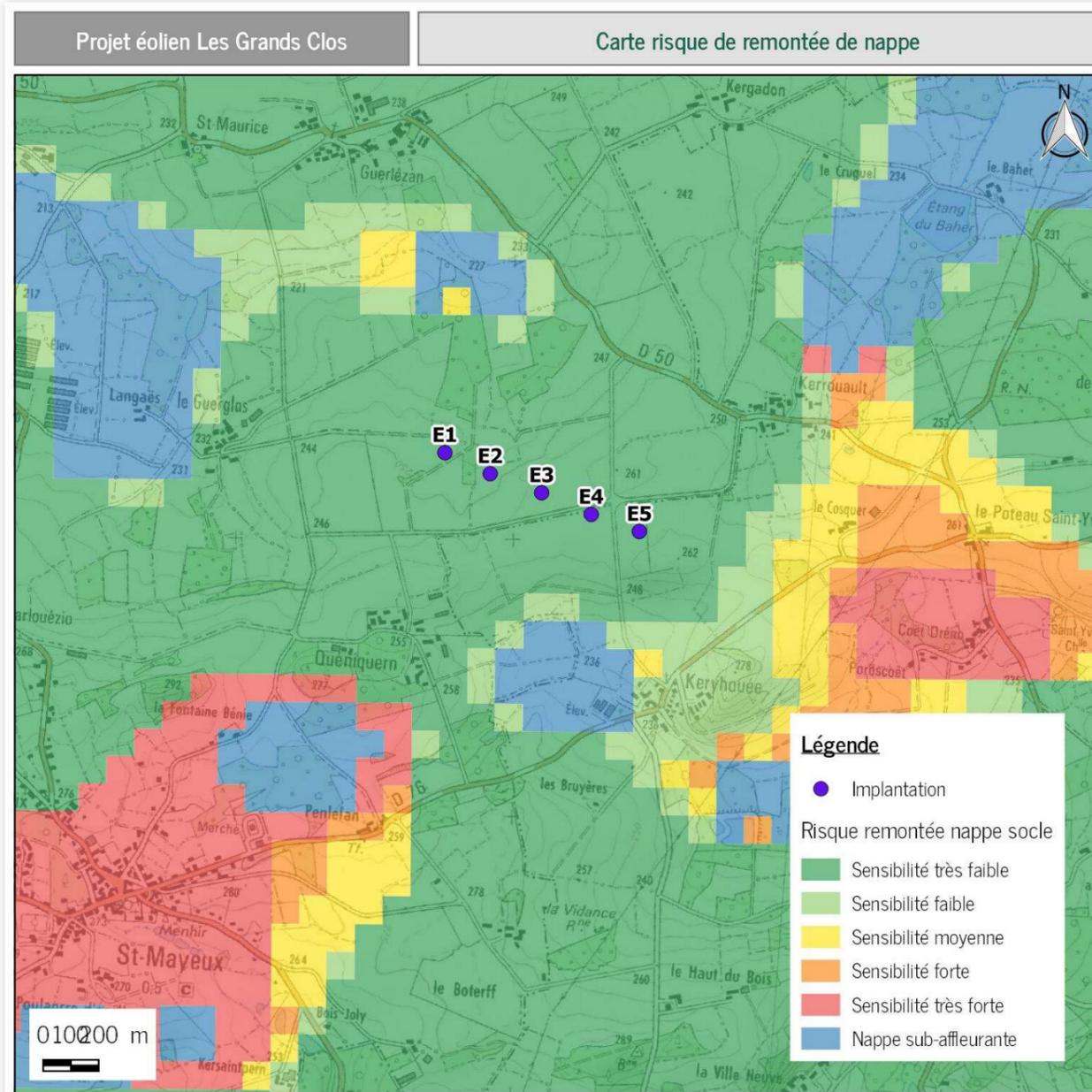
- La montée lente des eaux en région de plaine par débordement d'un cours d'eau ou remontée de la nappe phréatique ;
- La formation rapide de crues torrentielles consécutives à des averses violentes ;
- Le ruissellement pluvial renforcé par l'imperméabilisation des sols et les pratiques culturales limitant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

Les communes de Saint-Mayeux et de Saint-Gilles-Vieux-Marché sont concernées par le risque inondation de plaine. Elles appartiennent à l'Atlas de zone inondable (AZI) du Phéc 95 et sont concernées par le Programme d'Action et de Prévention des Inondations (PAPI) de la Vilaine 2 et du Blavet. Les PAPI ont pour objet d'inciter les collectivités territoriales, notamment celles dotées d'un plan de prévention du risque d'inondation (PPRI), à développer des méthodes globales et intégrées prenant en compte la totalité du bassin versant concerné pour mettre en œuvre et compléter les mesures de maîtrise de l'urbanisation. Le projet se situe toutefois en dehors des communes concernées par les plans de prévention du risque inondation (PPRI). La zone d'implantation potentielle des éoliennes se localise sur un interfluve, dans les parties les plus amont des bassins versants qui sont donc très peu concernées par le risque d'inondation par débordement des cours d'eau.

Lorsque le sol est saturé d'eau, il arrive que les nappes des formations sédimentaires affleurent et qu'une inondation spontanée se produise ; c'est l'inondation par remontée de nappe. À ce titre, le BRGM met à disposition une carte de remontée des nappes. Les susceptibilités les plus faibles tendent à garantir une certaine profondeur de la nappe (moins de risque de remontée), alors que les plus élevées montrent un risque plus conséquent de remontée.

C'est le cas pour les parties nord de la zone du projet qui sont à priori situées sur une nappe sub-affleurante. Le reste de la zone d'implantation ne présente qu'un faible risque de remontée.

Au droit du projet le risque des remontées des nappes est considéré comme très faible.



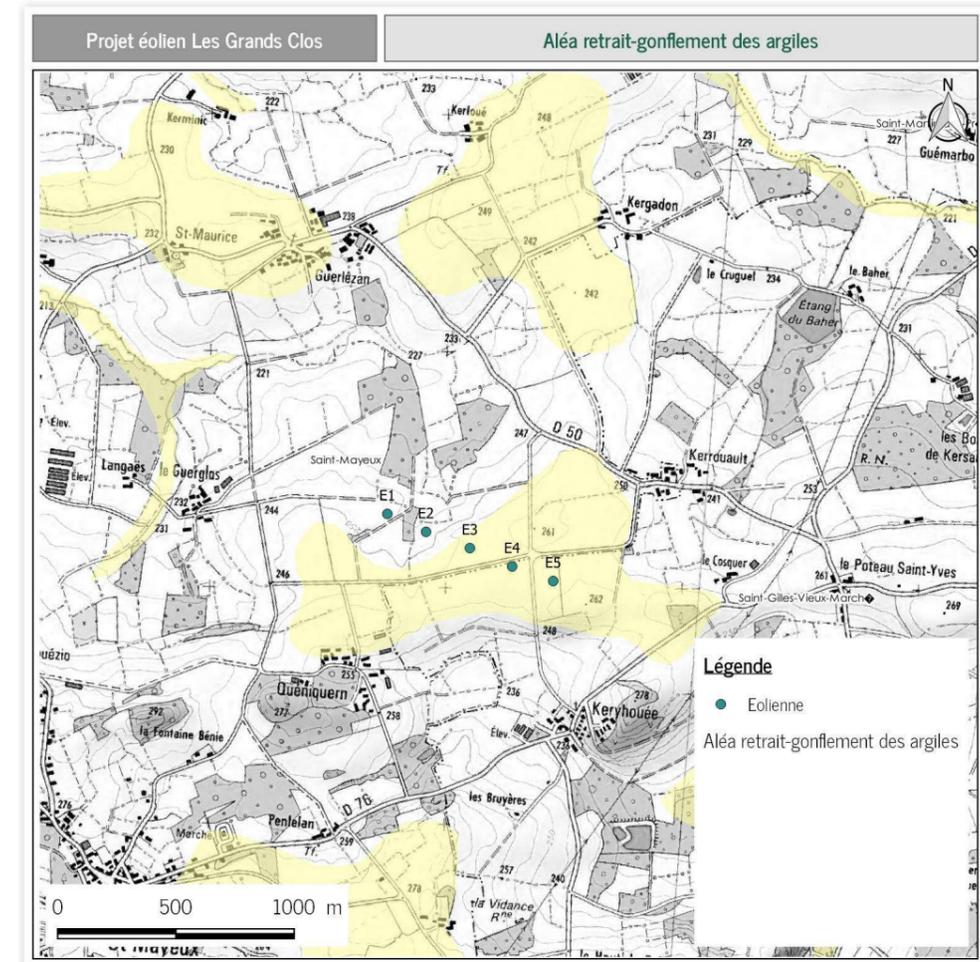
Carte 4 : Risque de remontée de nappe

3.2.2.4 Mouvements de terrain

Un mouvement de terrain est un phénomène qui se caractérise par un déplacement, plus ou moins brutal, du sol ou du sous-sol sous l'effet d'influences naturelles (agent d'érosion, pesanteur...) ou anthropiques (exploitation de matériaux, déboisement, terrassement...). Il se manifeste de diverses manières, lentes ou rapides, en fonction des mécanismes initiateurs, des matériaux considérés et de leur structure.

Les mouvements lents et continus	Les mouvements rapides et discontinus
Tassements et les affaissements de sols ; Retrait-gonflement des argiles ; Glissements de terrain le long d'une pente.	Effondrements de cavités souterraines naturelles ou artificielles (carières et ouvrages souterrains) ; Ecoulements et les chutes de blocs ; Coulées boueuses et torrentielles ; Erosion de berges.

L'aléa retrait-gonflement des argiles sur la zone est considéré comme faible à nul, comme en témoigne les données du BRGM.



Carte 5 : Aléa retrait-gonflement des argiles

Au sein de la zone d'implantation potentielle les communes de Saint-Mayeux et de Saint-Gilles-Vieux-Marché n'ont fait l'objet d'aucun éboulement ou affaissement de terrain d'après le DDRM. Aucun Plan de Prévention des Risques Mouvement de Terrain n'est adopté sur ces communes. La consultation de la base de données des cavités souterraines du BRGM n'a en outre pas permis de mettre en évidence la présence de cavité à proximité.

3.2.2.5 Sismicité

Un séisme ou tremblement de terre correspond à une fracturation des roches en profondeur, le long d'une faille généralement préexistante. Cette rupture s'accompagne d'une libération soudaine d'une grande quantité d'énergie. Différents types d'ondes sismiques rayonnent à partir du foyer, point où débute la fracturation. Elles se traduisent en surface par des vibrations du sol. L'intensité, observée en surface, dépendra étroitement de ces deux paramètres (profondeur et magnitude) et de la distance à l'épicentre.

La France dispose d'un zonage sismique divisant le territoire national en cinq zones de sismicité croissante :

- Une zone de sismicité 1 (très faible) où il n'y a pas de prescription parasismique particulière pour les ouvrages "à risque normal" ;
- Quatre zones de sismicité 2 à 5, où les règles de construction parasismique sont applicables aux bâtiments.

L'ensemble du département des Côtes d'Armor est en zone de sismicité 2 où l'aléa sismique est qualifié de faible. Plusieurs séismes ont été ressentis sur les communes concernées par la zone d'implantation immédiate (base de données SisFrance).

Date	Localisation épicentrale	Région ou pays de l'épicentre	Intensité épicentrale	Intensité dans la commune
2 Janvier 1959	Cornouaille (Melgven)	BRETAGNE	7	4
9 Janvier 1930	Landes de Lanvaux (Meucon)	BRETAGNE	7	4.5
2 Décembre 1923	Pays de Pontivy (Neuillac)	BRETAGNE	5	0
30 Septembre 2002	Vannetais (Hennebont-Branderion)	BRETAGNE	5.5	3.5

Tableau 9 : Liste des séismes recensés dans les communes du projet (Source : SisFrance)

3.2.2.6 Feux de forêt et feux de culture

On définit le feu de forêt comme un incendie qui a atteint une formation forestière ou sub-forestière (friches - landes) dont la surface, d'un seul tenant, est supérieure à 1 hectare.

Le département des Côtes d'Armor est caractérisé par de nombreux massifs forestiers de faible superficie et des zones de landes touristiques. Il s'agit d'un des départements de Bretagne les moins menacés par le risque de feux de forêt, contrairement au Finistère et au Morbihan, comme l'atteste l'un des feux les plus importants de la région localisée dans la région de Brasparts en 2000. Le risque feu de forêt n'est donc pas un risque important dans les Côtes-d'Armor, il provient d'ailleurs essentiellement des zones de landes sur ce territoire.

Le dossier départemental des risques majeurs des Côtes d'Armor recense les principaux secteurs concernés par le risque de feux de forêt ou de landes. Les zones à risque avec enjeux concernent les massifs forestiers les plus importants du département, des zones forestières de superficie moins importante ou des zones naturelles touristiques très fréquentées. Sur ces critères, les communes de Saint-Mayeux et Saint-Gilles-Vieux-Marché ne sont pas recensées comme des communes à risque dans le département.

La zone d'implantation potentielle comporte deux ensembles boisés de faible superficie. Ces boisements, de par leur faible emprise, leur entretien et leur isolement, sont très peu susceptibles d'induire des départs de feu. L'enjeu lié au risque de feu de forêt dans le cadre du projet est donc très faible.



Communes soumises au risque de feu de forêt ou de landes en Côtes d'Armor (Source : DDRM 22)



Boisements au centre de la zone d'implantation potentielle (Source : Ginko)

Un incendie de culture est un incendie qui peut se déclencher dans les parcelles agricoles plantées de cultures facilement inflammables telles que les céréales à paille (blé, orge, ...). Ces feux de champs se déclenchent en été. Ils peuvent se produire lorsque que :

- la culture est sur pieds,
- la culture a été moissonnée et qu'elle est en attente de pressage,
- la paille est pressée ou que la culture est à l'état de chaume.

Les communes de Saint-Mayeux et de Saint-Gilles-Vieux-Marchés ne sont pas répertoriées dans les zones à risque feu de culture dans le DDRM. Aucun événement de ce type n'a pu être recensé dans le département. Le risque n'est pas nul puisque la zone, est composée de landes et de cultures. Cependant du fait des températures peu extrêmes, le risque n'est pas considéré comme majeur. On note également que les mâts d'éoliennes sont composés de matériaux inertes (acier ou béton) peu sensibles aux incendies.

3.2.2.7 Aléas climatiques

Foudroiement

Afin de mesurer l'impact de la foudre, l'indice utilisé au niveau français est celui de la densité de foudroiement (Ng). Ce chiffre présente un nombre de coups de foudre par kilomètre carré et par an. Le département des Côtes d'Armor a une densité de foudroiement Ng 0,9 (0,9 impacts/km²/an) ; Le niveau kéraunique (Nk), nombre de jours d'orages où le tonnerre est entendu dans une zone donnée, est également utilisé. D'après les relevés climatiques de la station de Saint-Brieuc, on dénombre 8.3 jours d'orage chaque année, contre une vingtaine de jours en moyenne en France.

Tempêtes et vents violents

Une tempête correspond à l'évolution d'une perturbation atmosphérique, ou dépression, le long de laquelle s'affrontent deux masses d'air aux caractéristiques distinctes (température, teneur en eau). De cette confrontation naissent notamment des vents pouvant être très violents. On parle de tempête lorsque les vents dépassent 89 km/h (soit 48 nœuds, degré 10 de l'échelle de Beaufort). Les tornades sont considérées comme un type particulier de manifestation des tempêtes, singularisé notamment par une durée de vie limitée et par une aire géographique touchée minime par rapport aux tempêtes classiques. Ces phénomènes localisés peuvent toutefois avoir des effets dévastateurs, compte tenu en particulier de la force des vents induits (vitesse maximale de l'ordre de 450 km/h).

Les communes de Saint-Mayeux et de Saint-Gilles-Vieux-Marchés sont exposées au risque tempête. D'après les relevés météorologiques effectués à la station de Rostrenen, la rafale maximale a été enregistrée à plus de 162 km/h en octobre 1987.

Les relevés météorologiques de la station de Saint-Brieuc entre 1985 et 2000 montrent qu'il y a en moyenne 3,7 jours par an où les rafales de vent dépassent les 100 km/h. Ce risque concerne principalement la période hivernale, mais peut se produire entre les mois septembre et avril.

Nombre de jours avec des rafales de vent supérieures à 100 km/h à la station de Saint-Brieuc													
	Jan.	Fev.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année
Vent supérieur à 100 km/h	11	0.9	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.1	0.8	3.7

Les aérogénérateurs devront donc tenir compte des conditions de vent connues sur le site et être adaptés à ces dernières.

3.3 Environnement matériel

3.3.1 Voies de communication

L'étude de dangers identifie l'ensemble des réseaux de communication présents dans les limites de la zone d'étude :

- Transport routier (routes, autoroutes, ouvrages d'art, etc.)
- Transport ferroviaire (voies de chemin de fer, gares, passages à niveau, etc.)
- Transport fluvial (cours d'eau navigables, canaux, écluses, etc.)
- Transport aérien (aéroports ou aérodromes, servitudes aéronautiques civiles et militaires, etc.)

Pour chacune des voies de communication identifiée dans la zone d'étude, il est précisé la distance minimale par rapport à chaque éolienne, ainsi que sa caractérisation et le trafic journalier. Une distinction sera faite entre les routes structurantes (trafic supérieur à 2000 véhicules par jour) et les routes non structurantes.

Type de transport	Voie	Distance minimale à l'installation	Caractérisation	Traffic journalier
Routier	Route départementale (D76)	486 m	Voie goudronnée non structurante	545 véhicules jours
	Routes communale n°1	35 m	Voie goudronnée non structurante	Route non structurante
	Route communale n°2	352 m	Voie goudronnée non structurante	Route non structurante
	Route communale n°3	95 m	Voie goudronnée non structurante	Route non structurante
	Chemin rural n°1	395 m	Chemin non goudronné	
	Chemin rural n°2	79 m	Chemin non goudronné	
	Chemin rural n°3	24 m	Chemin non goudronné	
	Chemin rural n°4	182 m	Chemin non goudronné	
	Chemin rural n°5	246 m	Chemin non goudronné	
	Chemin rural n°6	280 m	Chemin non goudronné	
Chemin rural n°7	370 m	Chemin non goudronné		

Tableau 10: Distances minimales des éoliennes aux voies de communication

3.3.2 Réseaux publics et privés

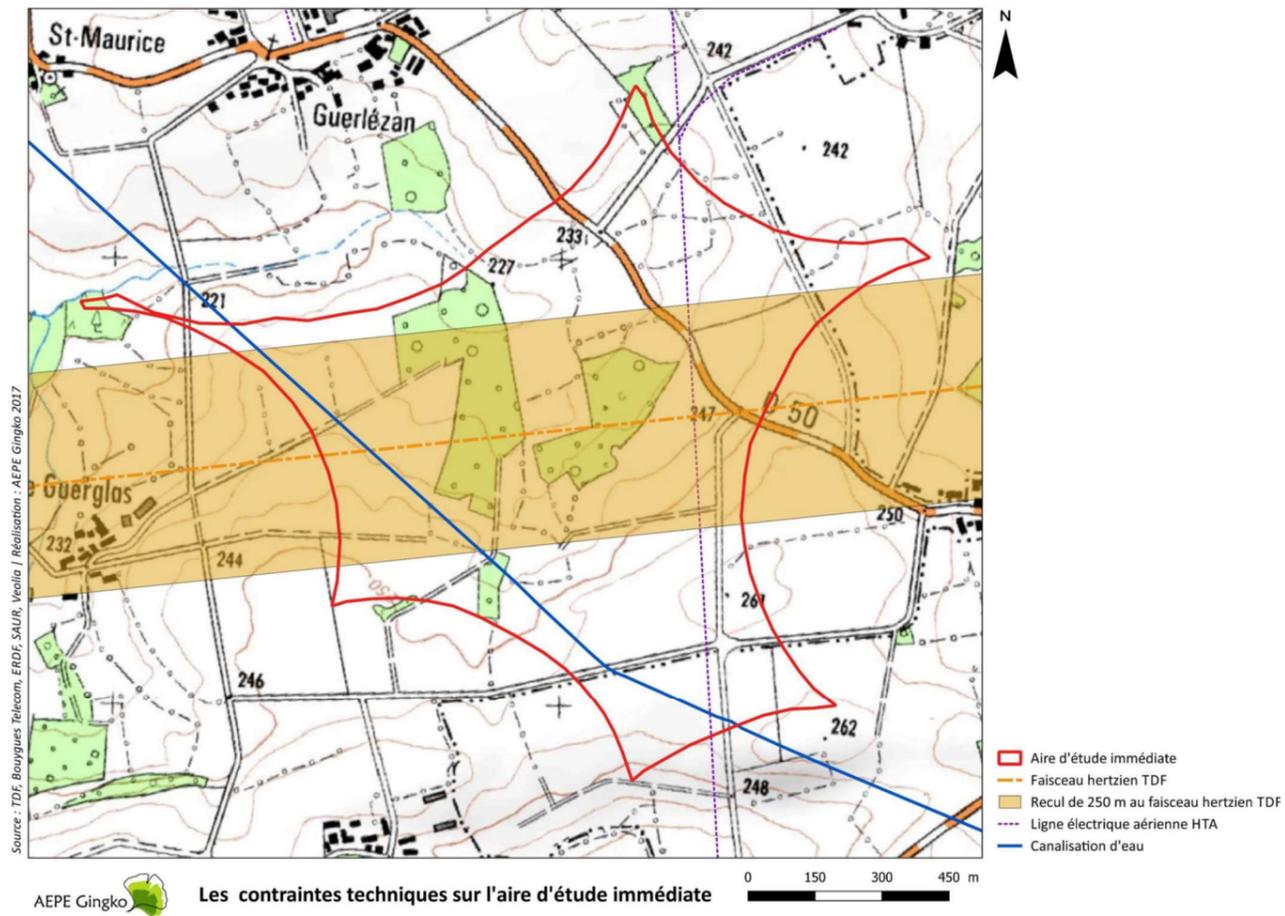
L'étude de dangers recense les principales installations publiques non enterrées présentes dans les limites de la zone d'étude :

- Transport d'électricité (lignes électriques haute et très haute tension, postes électriques)
- Canalisations de transport (gaz combustibles, hydrocarbures liquides ou liquéfiés et produits chimiques)
- Réseaux d'assainissement (stations d'épuration)
- Réseaux d'alimentation en eau potable (captages AEP, zones de protection des captages)

Seule une ligne électrique aérienne HTA est recensées au sien de la zone d'implantation (Voir la Carte 6 : Contraintes techniques sur l'aire d'étude immédiate partie : 3.3.3. Autres ouvrages)

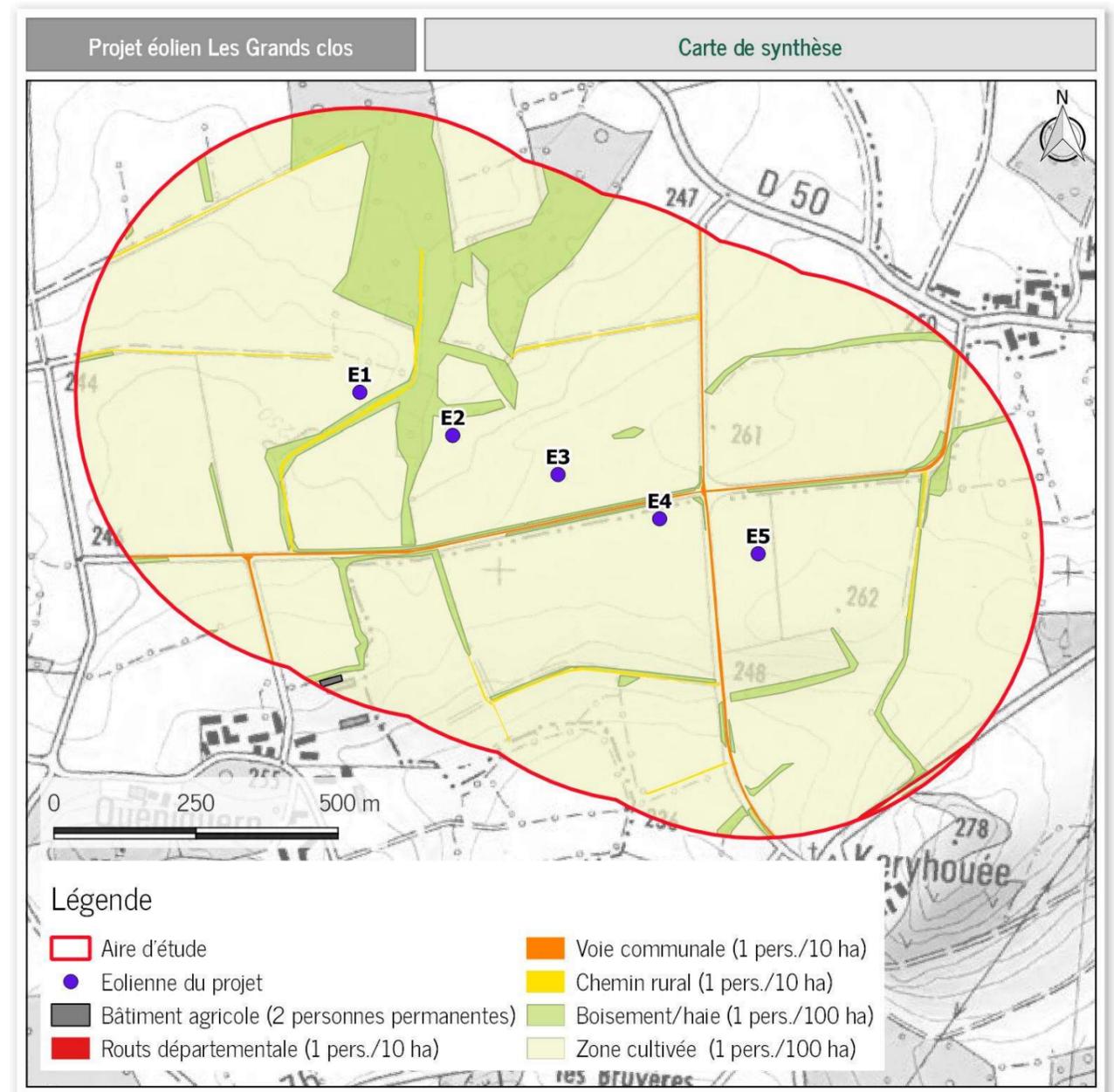
3.3.3 Autres ouvrages publics

Une canalisation d'eau enterrée est présente au sein de la zone d'implantation.



Carte 6 : Contraintes techniques sur l'aire d'étude immédiate

3.4 Cartographie de synthèse



Carte 7 : Cartographie de synthèse

4 DESCRIPTION DE L'INSTALLATION

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

4.1 Caractéristiques de l'installation

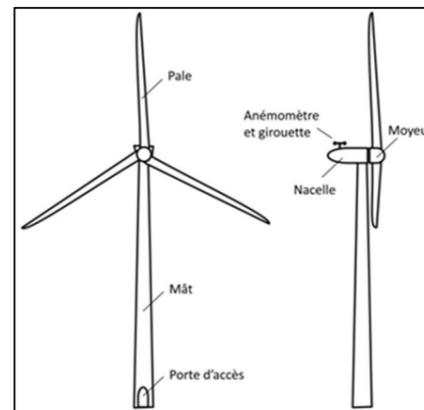
4.1.1 Caractéristiques générales d'un parc éolien

Un parc éolien est une centrale de production d'électricité à partir de l'énergie du vent. Il est composé de plusieurs aérogénérateurs et de leurs annexes (cf. schéma du raccordement électrique 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 les trois postes de livraison électrique (appelé " réseau inter-éolien ")
- Trois postes 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 enterré permettant d'évacuer l'électricité regroupée au(x) poste(s) de livraison vers le poste source (appelé " réseau externe " et appartenant le plus souvent au gestionnaire du réseau de distribution d'électricité)
- Un réseau de chemins d'accès
- Éventuellement des éléments annexes type mât de mesure de vent, aire d'accueil du public, aire de stationnement, etc.

4.1.1.1 Éléments constitutifs d'un aérogénérateur

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



Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :

Le rotor :

Le rotor de l'éolienne est équipé de trois pales en matière composite (résine époxy) renforcée de fibres de verre qui jouent un rôle important dans le rendement de l'éolienne et dans son comportement sonore. À l'extérieur, les pales du rotor sont protégées des intempéries par un revêtement de surface (" Gel Coat "). Ce revêtement à base de polyuréthane est robuste, très résistant à l'abrasion, aux facteurs chimiques et aux rayons du soleil.

Les pales de l'éolienne sont conçues pour fonctionner à angle et à vitesse variables. Le réglage d'angle individuel de chaque pale du rotor est assuré par trois systèmes indépendants et commandés par microprocesseurs. L'angle de chaque pale est surveillé en continu par une mesure d'angle des pales, et les trois angles sont synchronisés entre eux. Ce principe permet d'ajuster rapidement et avec précision l'angle des pales aux conditions du vent (ce qui limite la vitesse du rotor et la force engendrée par le vent). La puissance fournie par l'éolienne est ainsi limitée exactement à la puissance nominale, même pour des courtes durées.

L'inclinaison des pales du rotor en position dite de drapeau stoppe le rotor de manière aérodynamique, sans que l'arbre d'entraînement ne subisse les fortes contraintes occasionnées par l'action d'un frein mécanique.

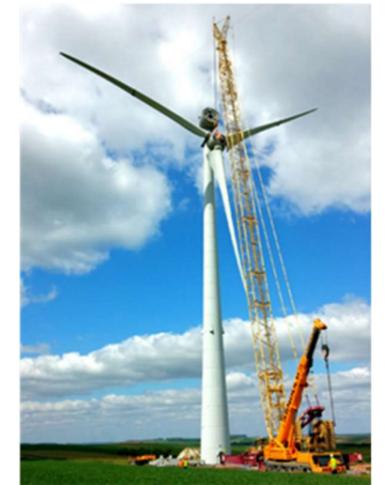


Figure 1 Levage du rotor d'une éolienne Enercon

Le mat :

Le mât est composé de 3 tronçons en acier. Dans la plupart des éoliennes, il abrite le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique.

Dans la plupart des éoliennes, le mât abrite le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique.

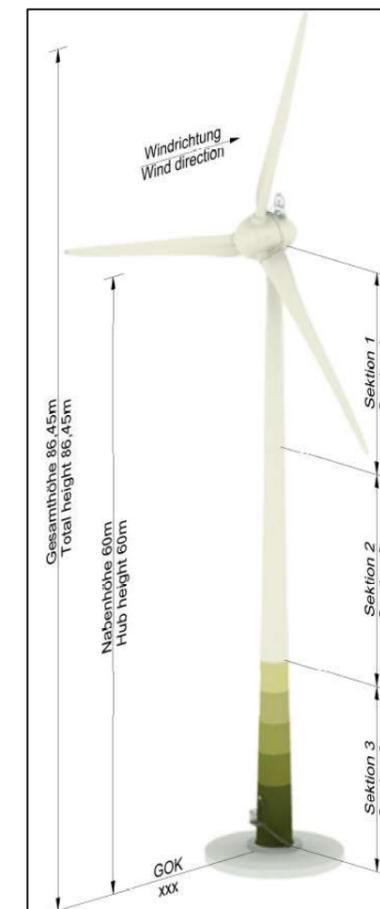
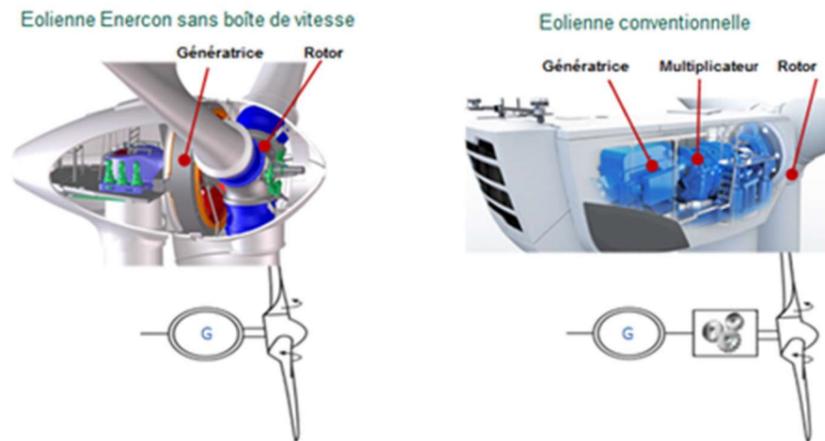


Figure 2: Composition du mat d'une éolienne

La nacelle :

Elle abrite plusieurs éléments fonctionnels :

- le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique. La partie rotative du générateur annulaire ENERCON et le rotor forment une unité. Ces pièces sont fixées directement sur le moyeu, de sorte qu'elles tournent à la même vitesse de rotation (vitesse lente). Grâce à l'absence de boîte de vitesse et d'autres pièces à grande vitesse de rotation, les pertes d'énergie entre le rotor et le générateur, les bruits émis, la consommation d'huile à engrenages et l'usure mécanique se trouvent considérablement réduits. En raison de la faible vitesse de rotation et de la grande section transversale du générateur, le niveau de température reste relativement bas en service et ne subit que de faibles variations. De faibles fluctuations de température pendant le fonctionnement et des variations de charges relativement rares réduisent les tensions mécaniques et le vieillissement des matériaux.

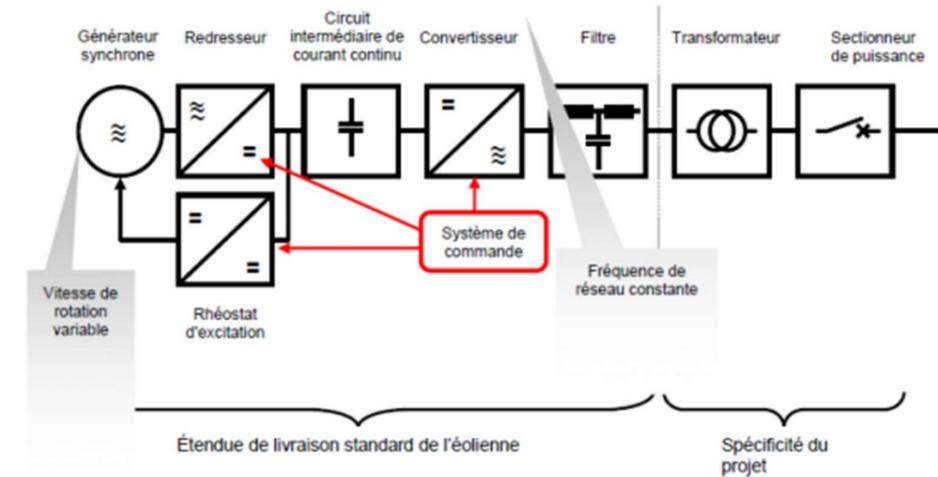


- le système de freinage mécanique ;
- le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent pour une production optimale d'énergie
- les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette),
- le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique.

4.1.1.2 Unité d'alimentation au réseau

Les éoliennes ENERCON disposent d'une technologie d'intégration intelligente au réseau. Elles répondent de manière exemplaire aux critères internationaux relatifs au raccordement en garantissant une injection fiable de la puissance produite.

Le générateur annulaire est connecté au système d'injection dans le réseau, qui se compose de redresseurs, d'une liaison en courant continu (DC link) et d'onduleurs. Pour garantir la compatibilité au réseau, la tension, l'intensité et la fréquence sont enregistrées en permanence au point de référence et transmises au système de contrôle de l'éolienne. Le point de référence se trouve côté BT en amont du transformateur de puissance.



Cette connexion au réseau au travers de l'électronique de puissance permet d'injecter de façon optimale l'énergie produite sur le réseau. En effet, ce design permet de minimiser les interactions réciproques néfastes que peut avoir la production issue de la génératrice vers le réseau et celle du réseau vers la génératrice. D'un côté l'effet indésirable des rafales de vent sur le réseau est atténué par une injection contrôlée et propre (sans flickers ni harmoniques) de la puissance sur le réseau et des défauts ; de l'autre, les défauts ou court-circuit réseau ne créent que très peu de stress mécanique sur les parties tournantes de la machine.

L'énergie produite par les éoliennes est redirigée 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 des éoliennes jusqu'au poste de livraison correspond au réseau électrique interne. Il se fera en souterrain. 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.

4.1.1.3 Emprise au sol

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

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

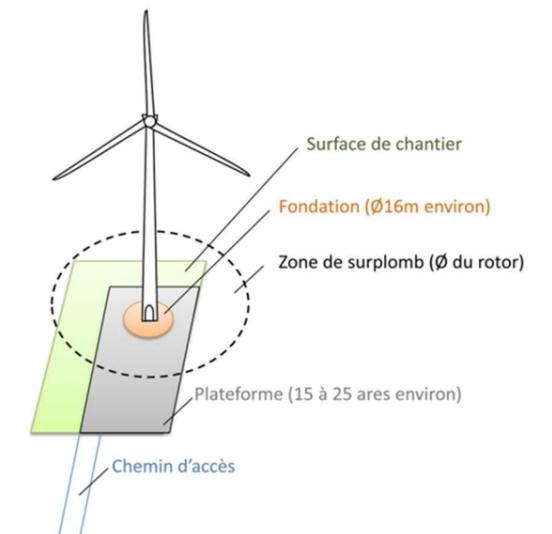


Figure 3: Emprise au sol d'une éolienne

4.1.1.4 Chemins d'accès

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

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

Durant la phase de construction et de démantèlement, les engins empruntent ces chemins pour acheminer les éléments constituant les éoliennes et de leurs annexes. Durant la phase d'exploitation, les chemins sont utilisés par des véhicules légers (maintenance régulière) ou par des engins permettant d'importantes opérations de maintenance (ex : changement de pale).

4.1.1.5 Croisements et virages

En cas de croisements ou virage, il convient d'aménager la route en respectant des rayons de courbure et surface de survol en fonction de la taille des éoliennes. Dans l'exemple ci-dessous, les zones rayées doivent être exemptes d'obstacles, car elles seront franchies par les composants transportés (les pales des rotors, par exemple, dépassent de l'arrière du véhicule lors de leur transport).

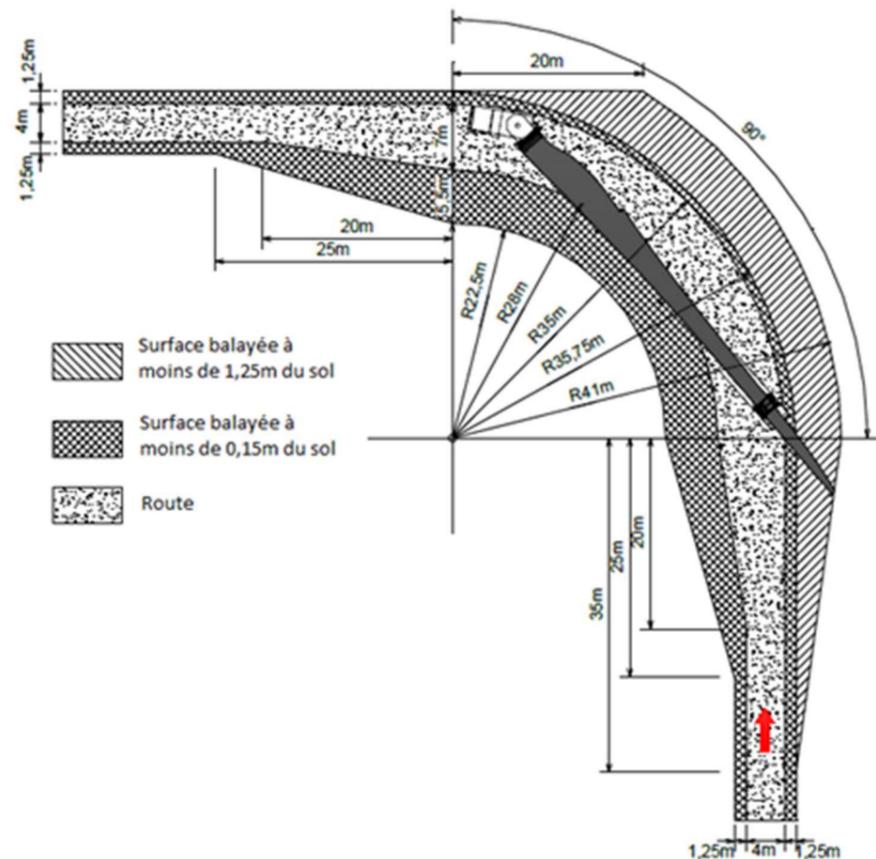


Figure 4 Exemple de spécifications d'aménagement

4.1.1.6 Aires de grutage

L'aire de grutage garantit l'effectivité du déroulement de la phase de construction, conformément aux prescriptions de sécurité.

De ce fait, l'aire de grutage doit également être construite de manière durable et insensible au gel.

La construction de l'aire de grutage est réalisée en concertation avec un expert géotechnique afin de prouver sa capacité portante (ex. par sondages sous pression) et la documenter en conséquence.

Une surface parfaitement plane est établie, avec un revêtement de mélange de minéraux.

Le niveau altimétrique de l'aire de grutage doit être supérieur à celui du sol afin de garantir l'évacuation des eaux superficielles. Le niveau de l'aire de grutage peut être inférieur au niveau des fondations jusqu'à 200 mm maximum.

Pour évacuer les précipitations, de l'aire de grutage dispose d'un système de drainage

4.1.2 Activité de l'installation

L'activité principale du parc éolien Les Grands Clos est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur (mât + nacelle) supérieure à 50 m (la hauteur au moyeu des éoliennes du projet des Grands Clos est égale à 60 m, le mât ayant une hauteur de 58,95 m et la nacelle culminant à 62,25 m). Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.

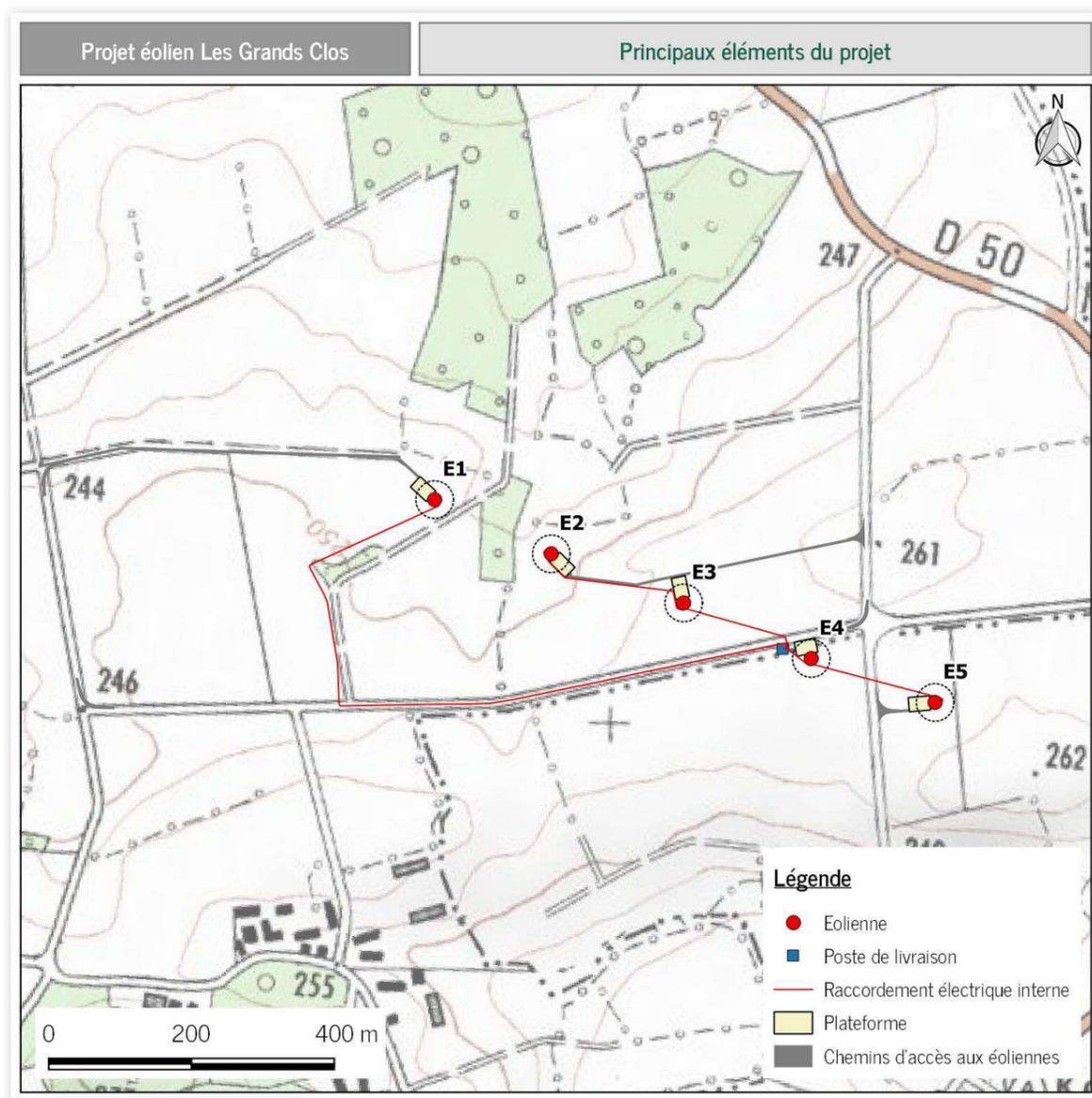
4.1.3 Composition de l'installation

Le parc éolien Les Grands Clos est composé de 5 aérogénérateurs et d'un poste de livraison. Chaque aérogénérateur a une hauteur de moyeu de 60 mètres et un diamètre de rotor de 53 mètres, soit une hauteur totale en bout de pale de 86.5 mètres. La hauteur de mât (au sens de l'ICPE) est de 58,95 m. La nacelle culmine quant à elle à 62,25 m.

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

Numéro de l'éolienne ou du poste de livraison	Longitude (X) Lambert 93	Latitude (Y) Lambert 93	Altitude en mètres NGF
E1	255854	6813591	247
E2	256017	6813515,0	248
E3	256203	6813446	256
E4	256381	6813369	259
E5	256555	6813307	260
PDL	256341	6813381	258

Tableau 11: Coordonnées géographie des éoliennes



Carte 8: Localisation des éoliennes

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 10 km/h et c'est seulement à partir de 12 km/h que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique. Les éoliennes ENERCON sont dépourvues de multiplicateur. La génératrice est entraînée directement par l'arbre "lent" lié au rotor et 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, l'éolienne fournit sa puissance maximale quand une certaine vitesse de vent est atteinte. Cette puissance est dite "nominale".

Les éoliennes ENERCON disposent d'un système de contrôle spécial "Mode tempête" leur permettant de fonctionner par vents violents. Sans ce mode tempête, les éoliennes s'arrêteraient quand la vitesse de vent atteint environ 25 m/s. Avec l'activation de ce mode, elles peuvent continuer à produire en mode bridé jusqu'à environ 40 m/s (en moyenne sur 12 s) selon le type de machine. Cela signifie que le système contrôle de l'éolienne va réduire la puissance de l'éolienne jusqu'à la vitesse d'arrêt. Ce système offre deux avantages : un gain de productible et une influence positive sur la stabilité du réseau électrique du fait que la puissance injectée est réduite graduellement évitant les passages brusques de pleine puissance à puissance nulle.

Les vitesses de vent définissant les différents modes de fonctionnement	E53
Vitesse de démarrage	7,2 km/h
Vitesse puissance nominale	47 km/h
Vitesse réduction de puissance	103 km/h
Vitesse arrêt	137 km/h

Tableau 12: Vitesse de de vent définissant les différents modes de fonctionnement

La tension de la génératrice jusqu'au transformateur est de 400 V. La tension est ensuite élevée en 20 000 V à la sortie de l'éolienne et jusqu'au poste de livraison, lui aussi en 20 000 V en entrée. La tension en sortie du poste de livraison dépend du réseau où se raccordera le projet (non défini à ce stade de l'étude).

4.2.2 Sécurité de l'installation

4.2.2.1 Système de fermeture de la porte

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.

4.2.3 Protection incendie

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 lors du fonctionnement, 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.

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. En outre, la technologie Enercon sans boîte de vitesse permet également de réduire le risque d'incendie provoqué par frottement mécanique.

Toutes les éoliennes Enercon sont équipées de système de détection incendie et d'extincteurs. Leur nombre et emplacement varient selon le modèle d'éolienne. 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.

Enfin de nombreux capteurs de températures sont présents à proximité de tous les composants critiques

Détection	Extinction
1 capteur optique de fumée en pied de mât, 1 capteur optique de fumée dans la nacelle	1 extincteur manuel CO2 dans la nacelle, 1 extincteur manuel CO2 au pied du mât

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

Lorsqu'un capteur de sécurité signale un défaut ou qu'un interrupteur correspondant se déclenche, l'éolienne est arrêtée automatiquement. Les détecteurs de fumée et/ou les capteurs de température émettent des signaux qui sont immédiatement transmis au Service ENERCON par le système de surveillance à distance SCADA qui alerte alors immédiatement l'exploitant, par un message SMS et/ou email, qui prévient alors les pompiers.

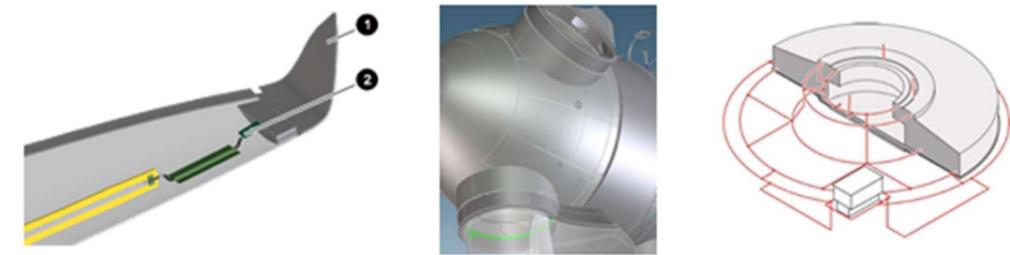
L'exploitant est en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant la détection de l'incendie. Il sera capable également de mettre en œuvre les procédures d'urgence dans un délai de 60 minutes.

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.

4.2.3.1 Protection foudre

Les éoliennes ENERCON sont équipées d'un système parafoudre qui conduit le courant émanant de l'impact de foudre aux points de mise à la terre sans dommages ou sans perturbations des systèmes.

Le système de protection externe est conçu pour gérer un coup de foudre direct sur 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.



La protection interne 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 haute absorption. 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.

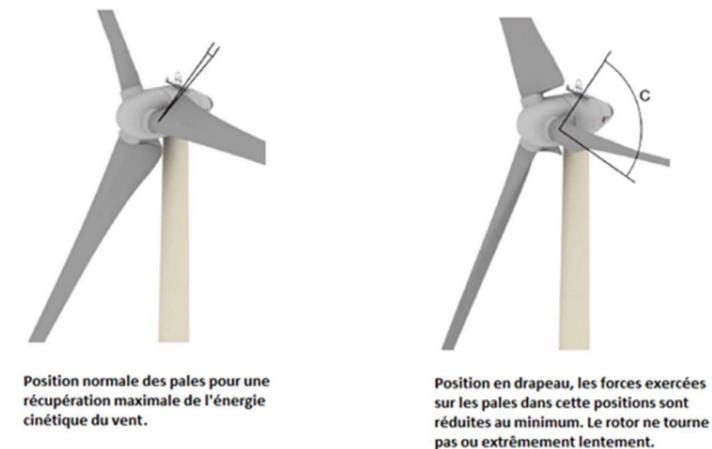
Le système de protection contre la foudre a été conçu pour atteindre un niveau de protection I selon la norme CEI 61400-24.

4.2.3.2 Système de freinage

Il existe plusieurs types de freinage :

Arrêt automatique

Les éoliennes sont freinées de façon aérodynamique grâce aux dispositifs d'inclinaison des pales (pitch) qui mettent les pales " en drapeau ", c'est-à-dire dans la position offrant la moindre résistance au vent possible. Ce système de freinage permet à l'éolienne de passer de sa puissance nominale à une puissance nulle en 10 à 15 secondes sans que l'arbre d'entraînement ne subisse les fortes contraintes occasionnées par l'action d'un frein mécanique. Chaque pale dispose d'un pitch indépendant les uns des autres. La mise en drapeau d'une seule pale suffit à arrêter l'éolienne, ainsi même si l'un d'eux est défaillant, il est tout à fait possible d'arrêter l'éolienne.



L'éolienne s'arrête automatiquement en cas de défaut. Lorsque l'éolienne est à l'arrêt, le rotor n'est pas bloqué, cela permet de limiter les charges qui s'exercent sur le rotor.

Arrêt manuel

En cas d'arrêt manuel, via les boutons d'arrêt d'urgence, en plus du frein aérodynamique, le frein électro mécanique s'enclenche, ralentissant au maximum les mouvements résiduels du rotor. Il est alors possible de verrouiller le rotor grâce au verrouillage du rotor.

Le verrouillage du rotor est notamment actionné en cas de maintenance pour assurer la sécurité des techniciens.

4.2.3.3 Surveillance des principaux paramètres

L'éolienne est dotée d'un grand nombre de capteurs (vitesse du rotor, températures, charges, vibrations, etc.). En cas d'anomalie, les alertes relatives au fonctionnement de la machine sont remontées automatiquement par le système SCADA des éoliennes à la coordination technique. Lorsque nécessaires, une intervention sur site du personnel ENERCON habilité est programmée.

Si l'exploitant en fait la demande, un SMS ou un courrier électronique lui est envoyé à chaque alerte générée par l'éolienne.

Survitesse :

La machine possède 3 capteurs placés dans le support du rotor de la génératrice. Ce capteur est une masselotte montée sur ressort. Lorsque la force centrifuge du rotor est trop importante (cas de la survitesse), le déplacement de cette masselotte atteint un capteur situé en bout de course. La détection de survitesse est alors enclenchée et les pales reviennent en position drapeau. Le redémarrage de l'éolienne suite à un arrêt par action du système de détection de survitesse nécessite un réenclenchement manuel dans la nacelle, après identification des causes.

Températures :

La technologie Enercon sans boîte de vitesse permet de réduire le risque d'échauffement provoqué par frottement mécanique. En effet la génératrice ENERCON tourne environ à 20 tours par minute, alors que les génératrices entraînées par une boîte de vitesse tournent à environ 1500 tours par minute.

De nombreux capteurs de températures sont présents à proximité de tous les composants critiques :

- Nacelle
- Génératrice
- Palier du moyeu
- Mât
- Extérieur de la machine
- Armoires électriques
- Transformateurs
- Ventilateurs et éléments chauffants

Des seuils d'acceptabilité de niveau de températures sont prédéfinis dans le système de contrôle de l'éolienne pour chacun des capteurs. En cas de dépassement de seuils, des codes d'état associés à des alarmes sont activés et peuvent, le cas échéant, entraîner un ralentissement de la machine (bridage préventif) voire 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.

Gestion à distance du fonctionnement des éoliennes (SCADA) :

L'exploitation des éoliennes ne fait pas l'objet d'une présence permanente sur site. Des interventions sur site sont programmées pour les opérations de maintenance. Le fonctionnement du parc éolien Les Grands Clos 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 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 peuvent être commandées.

De plus, les éoliennes sont équipées d'un système de contrôle et acquisition de données à distance des données, appelé système SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). 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.

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.

Les détails complémentaires du système SCADA sont donnés en annexe.

4.2.3.4 Système de détection du givre/glace

Dans certaines conditions météorologiques, les pales peuvent se recouvrir de glace, de givre ou d'une couche de neige. Ceci arrive lorsque l'air est très humide, en cas de pluie ou de neige et à des températures proches de 0°C.

Le système de contrôle 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 donnée. La détection, l'alerte et l'arrêt se font dès la sortie de la machine de ces tolérances ;
- La puissance produite, lorsque la machine fonctionne à sa puissance nominale.

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 documentation relative à ce système est fournie en annexe.

4.2.3.5 Protection contre le risque électrique

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 aux dites vérifications sont fixés par l'arrêté du 10 octobre 2000.

4.2.3.6 Protection contre le risque de fuite de liquide dans la nacelle

L'absence de multiplicateur réduit la quantité de liquide dans la nacelle (cf. Tableau des produits utilisés dans une éolienne pour le détail des produits présents dans l'éolienne). Des rétentions sont prévues aux endroits les plus critiques, par exemple au niveau des moteurs de yaw à la limite entre la tour et la nacelle ou au niveau du transformateur situé en pied de tour.

4.2.3.7 Conception des éoliennes

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.

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.

4.2.4 Opérations de maintenance de l'installation

Au moment de la mise en service des tests et inspection spécifiques sont réalisées :

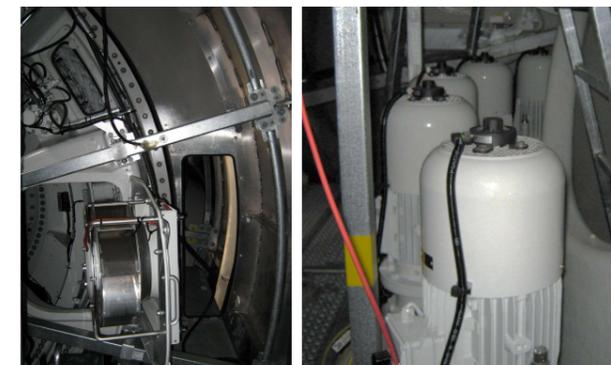
- Tests de mise en service : essai de survitesse et tests électriques.
- Maintenance des 300 heures : La première maintenance après la mise en service a lieu après 300 heures. Au cours de cette opération, l'intégralité des opérations de maintenance précédemment mentionnées est effectuée.

Puis, les équipes de techniciens Enercon interviennent au moins une fois tous les 6 mois sur les éoliennes en maintenance préventive :

- 6 mois : graissage d'entretien
- 12 mois : maintenance principale (électrique et mécanique)
- 18 mois : graissage d'entretien
- 24 mois : maintenance principale (électrique et mécanique)
- Etc.
- 48 mois : maintenance quadriennale (électrique, mécanique et contrôles requis conformément à la DGUV V3)
- Etc.

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. 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 15 ans



Nacelle d'éolienne ENERCON neuve



Nacelle d'éolienne ENERCON en service depuis 15 ans



Les opérations de maintenance mécanique concernent les points suivants :

- Panneaux d'avertissement
- Pied du mât / local des armoires électriques
- Fondations
- Mât : Echelle 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

Ces opérations d'inspections sont faites au moins une fois par an. L'ensemble des points à vérifier est précisé dans le Maintenance Principale défini pour chaque modèle.

Cf. Annexe 1 : Protocole de maintenance

4.2.4.3 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;
- SST (Sauveteur Secouriste du Travail)

Ces habilitations sont recyclées périodiquement suivant la réglementation ou les recommandations en vigueur.

Des contrôles de connaissance 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.

4.2.4.1 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.

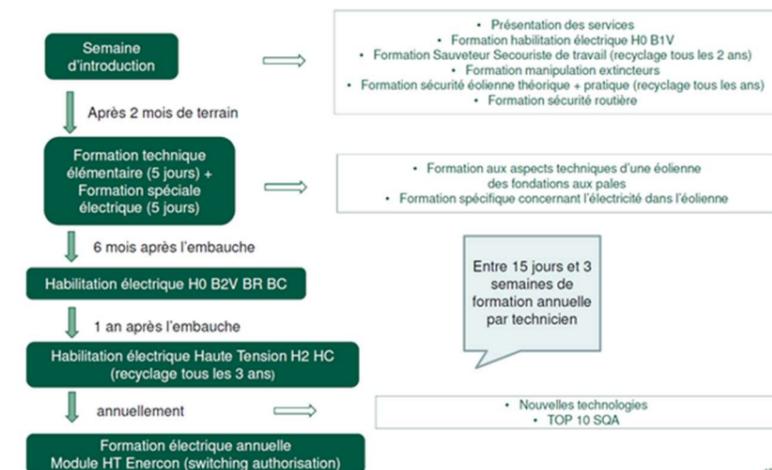
L'ensemble des points à vérifier est précisé dans le Plan de Maintenance relatif au graissage défini pour chaque modèle.

4.2.4.2 Maintenance principale

Lors de leurs interventions en machine, la vigilance des techniciens est axée sur les aspects suivants :

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

Les opérations de maintenance électrique visent à s'assurer du bon fonctionnement de tous les équipements électriques actifs (transformateurs, éclairage, mises à jour logicielles, ...) et passifs (mises à la terre, ...).



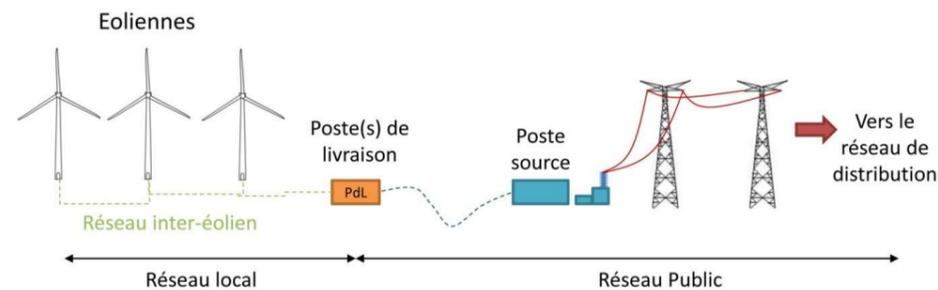
4.2.5 Stockage et flux de produits dangereux

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

Durant leur formation, les techniciens reçoivent la consigne de maintenir propres les aérogénérateurs et de ne pas y entreposer de matériaux, combustibles et inflammable ou non. Leur support de formation basique électrique/mécanique le stipule explicitement. Des rappels réguliers sont effectués lors des rappels de sécurité qu'ils suivent tous les 6 mois.

4.3 Fonctionnement des réseaux de l'installation

4.3.1 Raccordement électrique



4.3.1.1 Réseau inter-éolien électrique de haute tension

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

4.3.1.2 Réseau inter-éolien 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.

4.3.1.3 Poste de livraison

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

La localisation exacte des emplacements des postes de livraison est fonction de la proximité du réseau inter-éolien et de la localisation du poste source vers lequel l'électricité est ensuite acheminée.



Figure 5: Photo d'un poste de livraison

Dans le cas où le poste de livraison est fourni par ENERCON, des signaux utiles à l'exploitation sont intégrés au système de supervision SCADA, et des services d'opérations et de maintenance assurés par des équipes ENERCON habilitées à ces travaux électriques HTA. Ces prestations seront proposées sur les mêmes durées que le contrat de maintenance des éoliennes.

4.3.1.4 Réseau électrique externe

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

Pour toutes ces phases d'analyse, de dimensionnement et de construction, ENERCON se propose d'accompagner le client et de lui livrer une installation clé en main répondant aux critères du réseau de transport.

4.3.2 Autres réseaux

Le parc éolien Les Grands Clos 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.

5 IDENTIFICATION DES POTENTIELS DE DANGERS DE L'INSTALLATION

Ce chapitre de l'étude de dangers a pour objectif de mettre en évidence les éléments de l'installation pouvant constituer un danger potentiel, que ce soit au niveau des éléments constitutifs des éoliennes, des produits contenus dans l'installation, des modes de fonctionnement, etc. L'ensemble des causes externes à l'installation pouvant entraîner un phénomène dangereux, qu'elles soient de nature environnementale, humaine ou matérielle, seront traitées dans l'analyse de risques.

5.1 Potentiels de dangers liés aux produits et déchets

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

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

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

Substances liquides (lubrifiants) dans l'éolienne				Qtés (L)
Nom	Classification CLP	Etiquetage	Utilisation dans l'éolienne	E-53
RENOLIN UNISYN CLP 220	Non dangereux	EUH208, EUH 210	Transmission d'orientation	27,6
			Arbre de renvoi (pitch gear)	6,0
			Câble de treuil	0,2
			TOTAL	33,8
MOBIL SHC GREASE 460 WT	H412	H412, P273, P501	Palier arrière du moyeu	6,0
			Palier de bride de pale	3,6
			Palier d'orientation	1,0
			TOTAL	10,6
MOBILGEAR OGL 461	Non dangereux	Pas d'étiquetage spécifique	Couronne d'orientation	0,4
			Couronne de réglage des pales	0,5
			TOTAL	0,9
RENOLIN PG 46	Non dangereux	EUH210	Frein hydraulique du rotor	2,7
TOTAL SANS OPTION				48,0
Substances liquides (liquide de refroidissement) dans le transformateur				Qtés (L)
ESTER / MIDEL 7131	non dangereux	Pas d'étiquetage spécifique	Transformateur	700,0

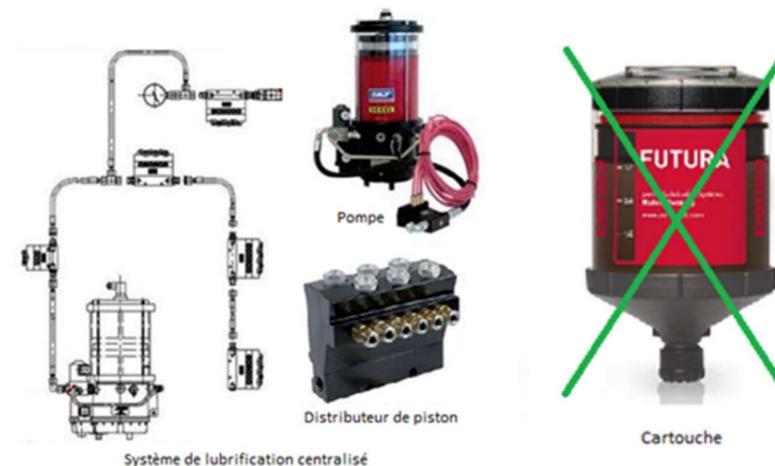
Tableau 13: Liste des substances liquides dans l'éolienne

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

La technologie ENERCON, grâce notamment à l'absence de boîte de vitesse, permet de générer une faible quantité de déchets.

Quantités de déchets produites annuellement par les activités de maintenance sur les éoliennes ENERCON	
Type de déchets	Quantités
Absorbants, matériaux filtrants (filtres à huile), chiffons d'essuyage et vêtements de protection contaminés par des substances dangereuses	5 kg
papiers et cartons	1 kg
emballages en mélange	1 kg
déchets résiduels	4 kg
TOTAL	11 kg

Tableau 14: Quantité de déchets produites annuellement par les activités de maintenance sur les éoliennes Enercon



5.2 Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

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

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

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant :

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

Tableau 15: Dangers potentiels liés au fonctionnement de l'installation

5.3 Réduction des potentiels de dangers à la source

5.3.1 Principales actions préventives

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

5.3.1.1 Emplacement du projet et choix de la machine

La partie concernant le choix du projet est présentée dans l'étude d'impact (partie Choix du projet). Elle détaille notamment les principales raisons ayant conduit le porteur de projet à retenir l'implantation et le modèle choisi pour le parc éolien des Grands Clos.

Les principales mesures de réduction des potentiels de dangers à la source sont présentées précédemment dans les paragraphes 4.2.2 page 15, 4.2.3 page 16 et 4.2.4 page 18.

Enfin l'analyse préliminaire des risques présentée page 26 explicite tous les potentiels de dangers réduits par les caractéristiques des éoliennes.

5.3.1.2 Réduction des dangers liés aux produits

Les produits dangereux présents dans l'éolienne ne peuvent pas être supprimés car ils sont nécessaires au bon fonctionnement du procédé (lubrification). Cependant, les éoliennes ENERCON sont conçues sans multiplicateur ce qui permet une réduction significative des quantités de substances dangereuses pour l'environnement par rapport à des éoliennes traditionnelles.

- **Engrenage** : L'éolienne ne possède pas de système d'engrenage principal : le rotor est directement couplé à un générateur annulaire. La vitesse de rotation n'a pas besoin d'être échelonnée. Par conséquent, la quantité d'huile d'engrenage habituellement disponible sur les éoliennes classiques (> 200 litres) n'est pas nécessaire.
- **Transmissions d'orientation** : L'éolienne possède entre 4 et 12 transmissions d'orientation (pour contrôler l'orientation de la nacelle). Chacune de ces transmissions sont remplies d'environ de 7 à 20 litres d'huiles selon la taille de l'éolienne. Les moteurs électriques reposent directement sur les transmissions. Les transmissions se trouvent dans le support principal qui peut recueillir toute la quantité d'huile, par ailleurs les réservoirs d'huile sont montés sous les entraînements d'orientation.
- **Système de réglage des pales** : 3 arbres de renvoi (pitch gear) permettent de régler les pales des éoliennes avec chacune un moteur pitch. Les arbres de renvoi (pitch gear) ne sont remplis que de quelques litres d'huile d'engrenage (de 2 à 8 litres selon la taille de l'éolienne). La totalité de la nacelle et la tête de rotor sont placées dans un carénage de sorte que des éventuelles pertes d'huile par défaut d'étanchéité soient recueillies par celui-ci.
- **Graissage du palier à roulement** : Les profils de dents et le palier de l'éolienne sont lubrifiés à l'aide de graisses spéciales (de 2 à 23 L selon la taille de l'éolienne). L'excédent de graisse ou les fuites éventuelles sont contenus dans les équipements.
- **Alimentation en lubrifiant des paliers** : Les paliers à roulement et à pivotement de l'éolienne sont alimentés en permanence en graisse au moyen d'unités de graissage permanent. Il s'agit de cartouches fermées de 125 ml chacune. Leur contenu est remplacé tous les ans.
- **Frein hydraulique du rotor** : Jusqu'à 8L d'huiles utilisés.
- **Huile du transformateur** : Le transformateur est situé selon la version au pied du mât ou dans un poste situé à l'extérieur du mât. Le puisard dans le sol en béton du poste est verrouillé et perméable à l'huile et peut recueillir l'ensemble de l'huile de transformation (de 600 à 1700 litres selon la taille de l'éolienne). Si le transformateur est installé dans le mât, une goulotte en acier assure la collecte de toute l'huile du transformateur. Les bacs de rétention d'huile dans les postes et les sous-sols de mâts sont étanches à l'huile.

5.3.2 Utilisation des meilleures techniques disponibles

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

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

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

6 ANALYSE DES RETOURS D'EXPERIENCE

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

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

6.1 Inventaire des accidents et incidents en France

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

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

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

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

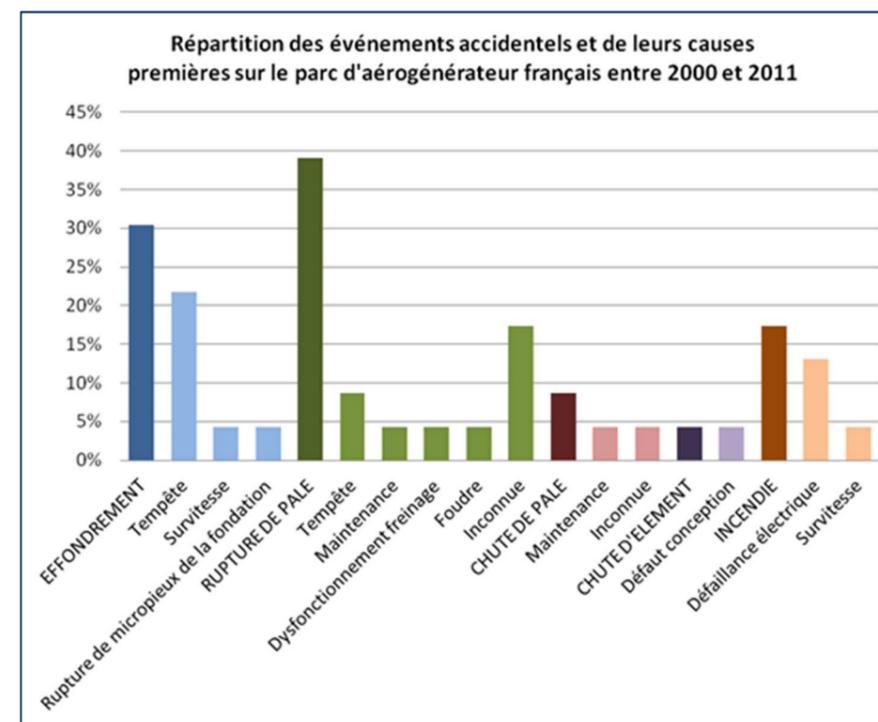
Dans l'état actuel, la base de données élaborée par le groupe de travail de SER/FEE ayant élaboré le guide technique d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis l'année 2000. L'ensemble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

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

Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et 2011. Cette synthèse exclut les accidents du travail (maintenance, chantier de construction, etc.) et les événements qui n'ont pas conduit à des effets sur les zones autour des aérogénérateurs.

Dans ce graphique sont présentés :

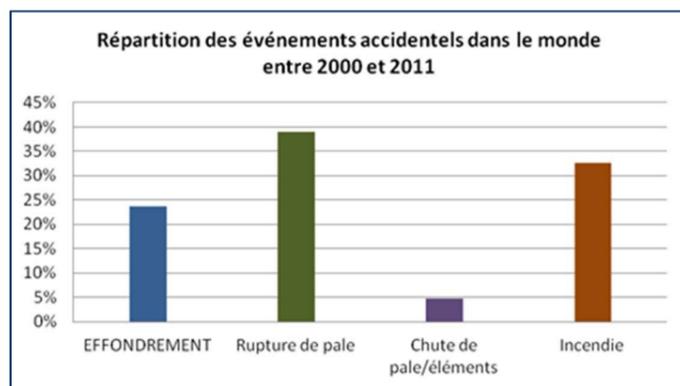
- La répartition des événements effondrement, rupture de pale, chute de pale, chute d'éléments et incendie, par rapport à la totalité des accidents observés en France. Elles sont représentées par des histogrammes de couleur foncée ;
- La répartition des causes premières pour chacun des événements décrits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



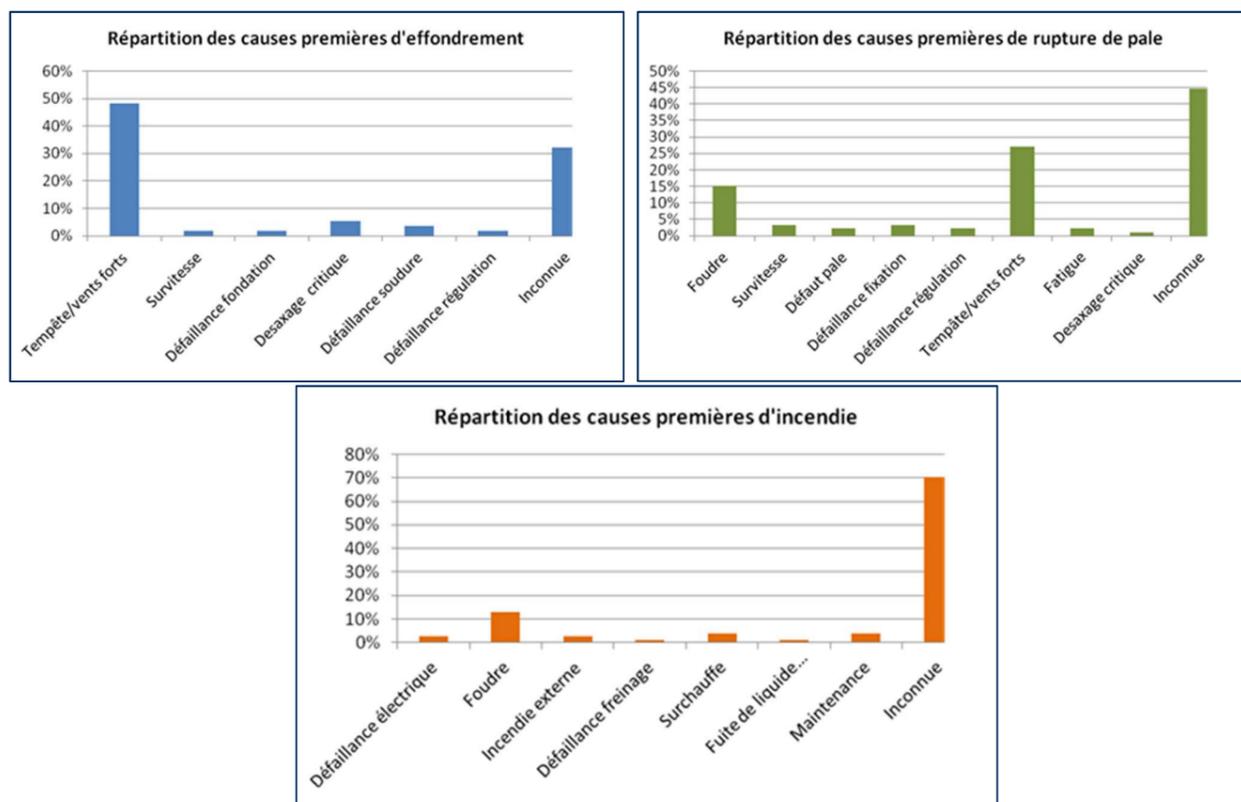
Par ordre d'importance, les accidents les plus recensés sont les ruptures de pale, les effondrements, les incendies, les chutes de pale et les chutes des autres éléments de l'éolienne. La principale cause de ces accidents est les tempêtes.

6.2 Inventaire des accidents et incidents à l'international

Un inventaire des incidents et accidents à l'international a également été réalisé. Il se base lui aussi sur le retour d'expérience de la filière éolienne fin 2010. La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur les 994 accidents décrits dans la base de données au moment de sa consultation par le groupe de travail précédemment mentionné, seuls 236 sont considérés comme des "accidents majeurs". Les autres concernant plutôt des accidents du travail, des presque-accidents, des incidents, etc. et ne sont donc pas pris en compte dans l'analyse suivante. Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels par rapport à la totalité des accidents analysés.



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



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

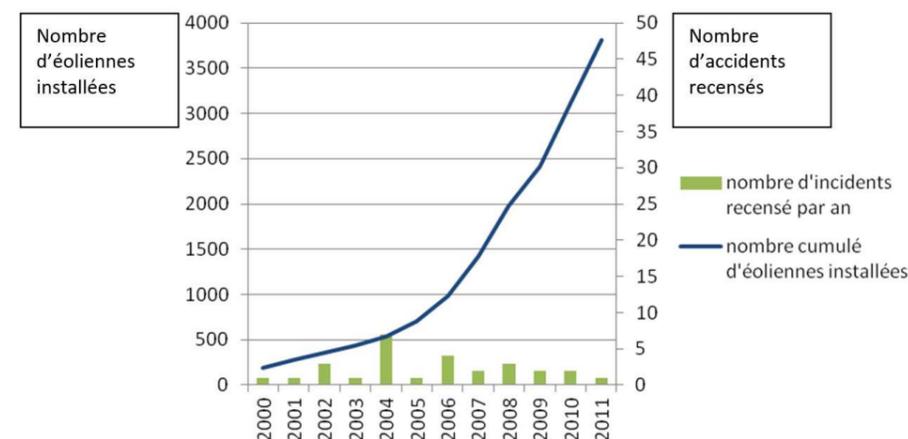
6.3 Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience

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

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



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

6.3.2 Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

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

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

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) ;
- Les importantes incertitudes sur les causes et sur la séquence qui a mené à un accident : de nombreuses informations sont manquantes ou incertaines sur la séquence exacte des accidents ;

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

7 ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES

7.1 Objectif de l'analyse préliminaire des risques

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

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

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

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

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

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

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

7.3 Recensement des agressions externes potentielles

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

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

Les tableaux suivants constituent une synthèse des agressions externes identifiées par le groupe de travail à l'origine du présent guide. Les porteurs de projet sont invités à indiquer si leurs aérogénérateurs sont soumis à ces agressions potentielles en complétant les tableaux ci-dessous.

7.3.1 Agression externes liées aux activités humaines

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

Infrastructure	Fonction	Evénement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Distance par rapport au mât des éoliennes (en m)						
					E1	E2	E3	E4	E5		
CR (1) *	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Energie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m							
CR (2) *					70						
CR (3) *					30	112,5					
CR (4) *						146	207				
CR (5) *											
CR (6)											
RC (1)**								181,4	76,8	28	111,5
RC (2)**											
RC (3)**										81,3	79,1
D76											
Ligne électrique HTA							56	112			

Tableau 16: Distance des infrastructures par rapport au mât des éoliennes

CR = Chemin rural (nom ou numéro de parcelle) | RC = Route communale HTA : ligne haute tension

7.3.2 Agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

Agression externe	Intensité
Vents et tempête	. D'après les relevés météorologiques effectués à la station de Rostrenen, la rafale maximale a été enregistrée à plus de 162 km/h en octobre 1987. L'emplacement de la zone d'étude n'est pas compris dans une zone affectée par des cyclones tropicaux.
Foudre	Les éoliennes Enercon sont équipées de système de protection contre la foudre respectant la norme IEC 61 400-24 (juin 2010) ou EN 62 305 – 3 (décembre 2006)
Inondation	Bien que les communes de Saint-Mayeux et de Saint-Gilles-Vieux-Marché sont soumises aux risques d'inondation, les éoliennes se situent en dehors des zones inondables
Risque de remontée des nappes	La totalité des éoliennes sont implantées sur des zones avec un risque très faible de remontée des nappes.

Tableau 17: Agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

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

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

Concernant le risque de remontée des nappes, les éoliennes se trouvent à plus de 700 m des nappes sub-affleurantes, le risque est faible.

7.4 Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques

Le tableau suivant présente une proposition d'analyse générique des risques. Il est construit de la manière suivante :

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

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

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

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

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

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
I06	Rongeur	Surtension	Court-circuit	Prévenir les courts-circuits (N°5) Protection et intervention incendie (N°7)	Incendie poste de livraison (flux thermiques + fumées toxiques SF6) Propagation de l'incendie	2
I07	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2
F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur Fuite transformateur	Ecoulement hors de la nacelle et le long du mât, puis sur le sol avec infiltration	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Ecoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
C01	Défaut de fixation	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	1
C02	Défaillance fixation anémomètre	Chute anémomètre	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
C3	Défaut fixation nacelle – pivot central – mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop 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	Projection/chute fragments et chute mât	2

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
				d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°12)		
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

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

7.5 Effets dominos

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

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

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

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

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

7.6 Mise en place des mesures de sécurité

Les tableaux suivants ont pour objectif de synthétiser les fonctions de sécurité identifiées et mise en œuvre sur les éoliennes du parc Les Grands Clos. 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 des mesure(s) de sécurité : il s'agira principalement de " empêcher, éviter, détecter, contrôler ou limiter " et sera en relation avec un ou plusieurs événements conduisant à un accident majeur identifié dans l'analyse des risques. Plusieurs mesures de sécurité peuvent assurer une même fonction de sécurité.
- **Numéro de la fonction de sécurité** : ce numéro vise à simplifier la lecture de l'étude de dangers en permettant des renvois à l'analyse de risque par exemple.
- **Mesures de sécurité** : cette ligne permet d'identifier les mesures assurant la fonction concernée. Dans le cas de systèmes instrumentés de sécurité, tous les éléments de la chaîne de sécurité sont présentés (détection + traitement de l'information + action).
- **Description** : cette ligne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires.
- **Indépendance** (" oui " ou " non ") : cette caractéristique décrit le niveau d'indépendance d'une mesure de maîtrise des risques vis-à-vis des autres systèmes de sécurité et des scénarios d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner " oui ") ou non (renseigner " non ").
- **Temps de réponse** (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité. 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 simplifiée et se contenter d'une estimation d'un temps de réponse maximum qui doit être atteint. Néanmoins, et pour rappel, la réglementation 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 maîtrise 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.
- **Test (fréquence)** : dans ce champ sont rappelés les tests/essais qui seront réalisés sur les mesures de maîtrise des risques. conformément à la réglementation, un essai d'arrêt, d'arrêt d'urgence et d'arrêt à partir d'une situation de survitesse seront réalisés avant la mise en service de l'aérogénérateur. Dans tous les cas, les tests effectués sur les mesures de maîtrise des risques seront tenus à la disposition de l'inspection des installations classées pendant l'exploitation de l'installation.
- **Maintenance (fréquence)** : ce critère porte sur la périodicité des contrôles qui permettront de vérifier la performance de la mesure de maîtrise des risques dans le temps. Pour rappel, la réglementation demande qu'à minima : un contrôle tous les ans soit réalisé sur la performance des mesures de sécurité permettant de mettre à l'arrêt, à l'arrêt d'urgence et à l'arrêt à partir d'une situation de survitesse et sur tous les systèmes instrumentés de sécurité.

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

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

Fonction de sécurité	Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace	N° de la fonction de sécurité	1
Mesures de sécurité	Système de détection ou de déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur. Procédure adéquate de redémarrage.		
Description	Deux sondes mesurent la température de l'air en nacelle et en pied du mât, afin de détecter si les conditions sont propices à la formation de givre. La présence de glace ou de givre modifie les caractéristiques aérodynamiques de la pale entraînant une dégradation de la courbe de puissance. Lorsque la température est inférieure à 2°C la courbe de puissance à l'instant t est comparée à la courbe de puissance de l'éolienne en condition normale. Une plage de tolérance est définie. A partir de 30 points mesurés hors de la plage de tolérance, l'éolienne s'arrête automatiquement. Un point de mesure est enregistré par minute.		
Indépendance	Non		
Temps de réponse	10 à 30 minutes, conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011		
Efficacité	100 %		
Tests	Le système de détection de glace par courbe de puissance a été certifié par le bureau par le TÜV Nord (rapport n°8104206760).		
Maintenance	S'agissant d'un système purement logiciel, il n'y a pas de maintenance spécifique.		

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

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
Mesures de sécurité	Capteurs de température des pièces mécaniques Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant qui déclenchent des alertes et alarmes dans le système de contrôle commande de la machine. Mise à l'arrêt ou bridage jusqu'à refroidissement		
Description	En cas de température anormalement haute, une alarme est émise par le système SCADA au centre de contrôle ENERCON. Si la température dépasse un seuil haut, l'éolienne est mise à l'arrêt et ne peut être relancée qu'après intervention d'un technicien en nacelle, qui procédera à une identification des causes et à des opérations techniques le cas échéant.		
Indépendance	Oui.		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	Pas de test.		
Maintenance	Contrôle automatique permanent grâce à des redondances pour les capteurs des principaux composants (génératrices, transformateur).		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage. Eléments du système de protection contre la survitesse conformes aux normes IEC 61508 (SIL 2) et EN 954-1		
Description	Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande. Le système coupe l'alimentation électrique des pitch. Les condensateurs électriques du système de sécurité des pitchs se déchargent alors, activant la mise en drapeau des pales. L'éolienne s'arrête en 10 à 15 secondes.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	15 à 60s (arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage adapté) L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011. Un test de survitesse est également effectué lors de la mise en service de l'installation		
Efficacité	100 %		
Tests	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procédure d'arrêt en cas de survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011. Un test de survitesse est également effectué lors de la mise en service de l'installation		
Maintenance	Maintenance préventive annuelle de l'éolienne avec notamment contrôle de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.		

Fonction de sécurité	Prévenir les courts-circuits	N° de la fonction de sécurité	5
Mesures de sécurité	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.		
Description	Les organes et armoires électriques de l'éolienne sont équipés d'organes de coupures et de protection adéquats et correctement dimensionnés. Tout fonctionnement anormal des composants électriques est suivi d'une coupure de la transmission électrique et à la transmission d'un signal d'alerte vers l'exploitant qui prend alors les mesures appropriées. Les systèmes électriques sont équipés de disjoncteurs à tous les niveaux		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	De l'ordre de la seconde		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	La vérification des organes de coupure est comprise dans la maintenance électrique annuelle. Les installations électriques sont contrôlées avant la mise en service du parc puis à une fréquence annuelle, conformément à l'article 10 de l'arrêté du 26 août 2011.		

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
Mesures de sécurité	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur.		
Description	Système de protection foudre de l'éolienne dimensionné pour prévenir toute dégradation des pales de l'éolienne conformément à la norme IEC 61400-24. Pour la protection parafoudre extérieure, 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. Pour la protection interne de la machine, les composants principaux tels 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 ligne 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.		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Immédiat dispositif passif		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011.		

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
Mesures de sécurité	<p>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</p> <p>Système de détection incendie relié au système SCADA qui émet une alarme au centre de contrôle ENERCON et prévient Enercon par SMS</p> <p>Intervention des services de secours</p>		
Description	<p>La technologie Enercon sans boîte de vitesse permet de réduire le risque d'échauffement provoqué par frottement mécanique. En effet la génératrice ENERCON tourne environ à 20 tours par minute, alors que les génératrices entraînées par une boîte de vitesse tournent à environ 1500 tours par minute.</p> <p>De nombreux capteurs de températures sont présents à proximité de tous les composants critiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nacelle - Génératrice - Palier du moyeu - Mât - Extérieur de la machine - Armoires électriques - Transformateurs - Ventilateurs et éléments chauffants <p>Des seuils d'acceptabilité de niveau de températures sont prédéfinis dans le système de contrôle de l'éolienne pour chacun des capteurs.</p> <p>Des capteurs optiques de fumée sont placés en pied de mât et dans la nacelle. Leur déclenchement conduit 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 ENERCON ainsi qu'à [SOCIETE] par SMS, qui se charge de contacter les services d'urgence compétents.</p> <p>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)</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	<p>< 1 minute pour les détecteurs et l'enclenchement de l'alarme</p> <p>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.</p>		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	<p>Contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011.</p> <p>Le matériel incendie (type extincteurs) est contrôlé périodiquement par le fabricant du matériel ou un organisme extérieur.</p> <p>Maintenance curative suite à une défaillance du matériel</p>		

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
Mesures de sécurité	<p>Utilisation d'une très faible quantité d'huile (absence de boîte de vitesses)</p> <p>Rétentions pouvant contenir 100% des fuites.</p>		
Description	<p>Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence.</p> <p>Présence de plusieurs bacs collecteurs au niveau des principaux composants.</p> <p>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.</p> <p>Des kits de dépollution d'urgence composés de grandes feuilles de textile absorbant pourront être utilisés afin :</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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. <p>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.</p>		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	Dépendant du débit de fuite		
Efficacité	100 %		
Tests	/		
Maintenance	Inspection des niveaux d'huile plusieurs fois par an et de l'état des rétentions plusieurs fois par an		

Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation)	N° de la fonction de sécurité	9
Mesures de sécurité	Surveillance des vibrations Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.) Procédures qualités Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)		
Description	La norme IEC 61 400-1 " Exigence pour la conception des aérogénérateurs " fixe les prescriptions propres à fournir " un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie " de l'éolienne. Ainsi la nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23. Les éoliennes sont équipées de capteurs de vibration, qui entraînent l'arrêt en cas de dépassement des seuils définis. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223 (peinture et revêtement anti-corrosion).		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	15 à 60s (arrêt de l'éolienne selon le programme de freinage adapté)		
Efficacité	100 %		
Tests	Déclenchement manuel des capteurs de vibration et vérification de la réponse du système		
Maintenance	Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du pitch system, couronne du Yaw(engrenage d'orientation), boulons de fixation de la nacelle...) sont vérifiés au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Inspection visuelle du mât et, si besoin, nettoyage lors des maintenances préventives annuelles.		

Fonction de sécurité	Prévenir les erreurs de maintenance	N° de la fonction de sécurité	10
Mesures de sécurité	Procédure maintenance		
Description	Préconisations du manuel de maintenance + Formation du personnel		
Indépendance	Oui		
Temps de réponse	NA		
Efficacité	100 %		
Tests	Il existe des manuels de maintenance spécifiques à chaque modèle d'éolienne. Tout personnel amené à intervenir dans les éoliennes est formé et habilité : <ul style="list-style-type: none"> - 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. <ul style="list-style-type: none"> - 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. 		
Maintenance	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	11
Mesures de sécurité	<p>Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents.</p> <p>Détection et prévention des vents forts et tempêtes</p> <p>Déclenchement du mode tempête = diminution de la prise au vent progressive des pales et arrêt automatique au-delà d'une certaine vitesse de vent.</p>		
Description	<p>Procédure " site vérification " : une étude de vent est menée sur un an afin de vérifier l'adéquation effective des machines. En cas de doute sur l'adéquation des aérogénérateurs, le site est modélisé et une étude de charge est effectuée.</p> <p>Le mode tempête s'enclenche au-delà d'une certaine vitesse de vent, permettant à l'éolienne de continuer à produire mais à puissance réduite. L'éolienne s'arrête complètement au-delà d'un autre seuil de vitesse de vent (Cf chapitre 4.2.1).</p>		
Indépendance	<p>Oui</p> <p>Ces systèmes s'appuient sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. Ces données sont cependant analysées par l'automate de sécurité embarqué sur chaque éolienne, dont le rôle est dédié à la sécurité de l'installation.</p>		
Temps de réponse	15 à 60 s suivant le programme de freinage		
Efficacité	<p>100 %.</p> <p>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. Si le site est trop turbulent ou les machines trop rapprochées entre elles il est possible de mettre en place des arrêts sectoriels pour limiter l'impact de la turbulence sur les machines.</p>		
Tests	Procédure de " Site Verification " (contrôle de l'adéquation par rapport à des mesures de fonctionnement)		
Maintenance	Les paramètres d'entrée en cas d'arrêt sectoriel sont régulièrement mis à jour et contrôlés lors des modifications d'hardware ou de software. L'usure de l'éolienne est contrôlée à chaque maintenance. des plaquettes de frein et des capteurs du frein mécanique.		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne par la surveillance de paramètres clés	N° de la fonction de sécurité	12
Mesures de sécurité	<p>Capteurs de vibrations entraînant un arrêt de l'éolienne</p> <p>Capteurs de bruit</p> <p>Contrôle de l'entrefer</p>		
Description	<p>Deux capteurs sont placés dans la nacelle pour détecter les accélérations longitudinales et transversales. Au-delà d'une certaine limite (spécifique à chaque modèle d'éolienne) l'éolienne s'arrête puis redémarre automatiquement après un court délai. Si plusieurs niveaux d'oscillation au-delà du seuil d'acceptabilité sont enregistrés au cours d'une période de 24h, le redémarrage automatique est suspendu.</p> <p>L'espace entre le rotor et le stator appelé entrefer ne doit pas être réduit en deçà d'une largeur minimum. Des capteurs mesurent cette largeur et si un certain seuil est atteint, l'éolienne s'arrête puis redémarre automatiquement après un court délai. Si la faute se répète plus d'une fois en 24h, le redémarrage automatique est suspendu.</p> <p>Un capteur de bruit est positionné dans la tête du rotor. En cas de bruits correspondant à des chocs importants (détachement ou rupture d'une pièce) et que la cause ne peut être discernée, p. ex. la grêle pendant un orage, l'éolienne s'arrête.</p>		
Indépendance	<p>Oui.</p> <p>Les signaux des capteurs sont traités par l'automate de sécurité embarqué sur chaque éolienne, dont le rôle est dédié à la sécurité de l'installation..</p>		
Temps de réponse	Quelques secondes (< 2 min)		
Efficacité	100 %		
Tests	Les protocoles de maintenance annuelle prévoient la vérification de chacun de ces capteurs.		
Maintenance	NA		

L'ensemble des procédures de maintenance et des contrôles d'efficacité des systèmes sera conforme à l'arrêté du 26 août 2011. Notamment, 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 est réalisée tous les ans (cf. §4.5 : Opérations de maintenance de l'éolienne).

7.7 Conclusion de l'analyse préliminaire des risques

A l'issue de l'analyse préliminaire des risques, l'étude de dangers doit préciser quels scénarios sont retenus en vue de l'analyse détaillée des risques. Ne sont retenus que les séquences accidentelles dont l'intensité est telle que l'accident peut avoir des effets significatifs sur la vie humaine. Dans le cadre de l'analyse préliminaire des risques génériques des parcs éoliens, quatre catégories de scénarios sont a priori exclues de l'étude détaillée, en raison de leur faible intensité :

Nom du scénario exclu	Justification
Incendie de l'éolienne (effets thermiques)	En cas d'incendie de nacelle, et en raison de la hauteur des nacelles, les effets thermiques ressentis au sol seront mineurs. Par exemple, dans le cas d'un incendie de nacelle située à 50 mètres de hauteur, la valeur seuil de 3 kW/m ² n'est pas atteinte. Dans le cas d'un incendie au niveau du mât, les effets sont également mineurs et l'arrêté du 26 Août 2011 encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques. Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.
Incendie du poste de livraison ou du transformateur	En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 août 2011 [9] et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200) Tout comme les éoliennes, les postes de livraison disposent tous d'un système de sécurité permettant la détection d'un incendie et la transmission continue de données à l'exploitant. En cas de détection d'un incendie dans un poste de livraison, le système d'alarme informe automatiquement l'exploitant du problème, et l'ensemble des éoliennes du parc éolien sont automatiquement mises à l'arrêt tel que décrit dans la fonction de sécurité n°12 " Empêcher la perte de contrôle de l'éolienne en cas de défaillance réseau ".
Chute et projection de glace dans les cas particuliers où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C	Lorsqu'un aérogénérateur est implanté sur un site où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C, il peut être considéré que le risque de chute ou de projection de glace est nul. Des éléments de preuves doivent être apportés pour identifier les implantations où de telles conditions climatiques sont applicables.
Infiltration d'huile dans le sol	En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs. Ce scénario peut ne pas être détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques sauf en cas d'implantation dans un périmètre de protection rapprochée d'une nappe phréatique.

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

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

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

8 ETUDE DETAILLEE DES RISQUES

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

8.1 Rappel des définitions

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

Cet arrêté ne prévoit de détermination de l'intensité et de la gravité que pour les effets de surpression, de rayonnement thermique et de 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 événements constituant une séquence accidentelle, de l'événement initiateur aux conséquences sur les éléments vulnérables.

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

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

8.1.2 Intensité

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

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

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

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

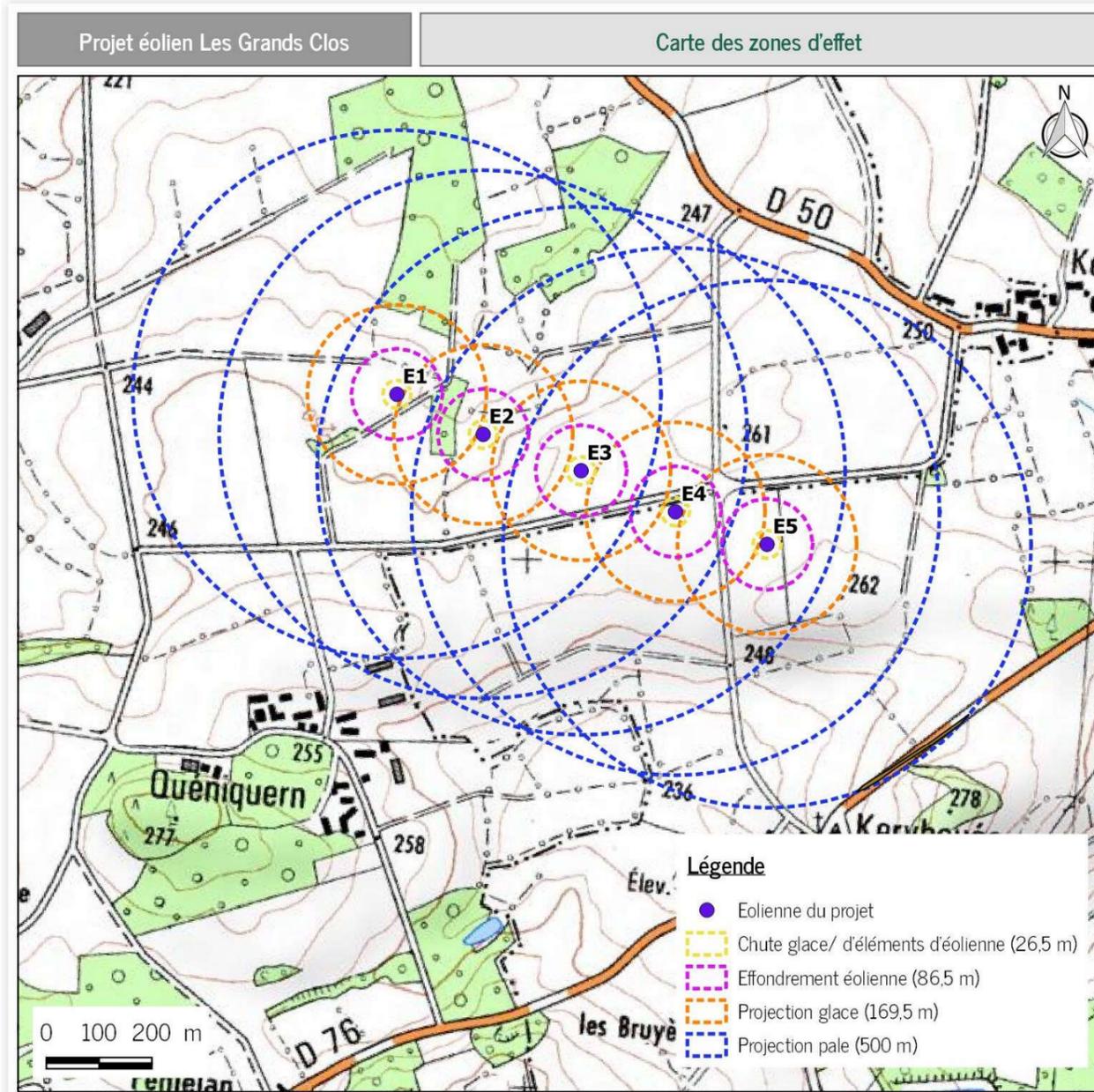
C'est pourquoi, pour chacun des événements accidentels retenus (chute d'éléments, chute de glace, effondrement et projection), deux valeurs de référence ont été retenues :

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

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

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

Les zones d'effets sont définies pour chaque événement accidentel comme la surface exposée à cet événement. La carte suivante illustre les différentes zones d'effet retenues.



Carte 9: Zones d'effet

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

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

8.1.4 Probabilité

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$P_{\text{présence}}$ = probabilité de présence d'un enjeu donné au point d'impact sachant que l'élément est projeté en ce point donné
 Dans le cadre des études de dangers des éoliennes, une approche majorante assimilant la probabilité d'accident (P_{accident}) à la probabilité de l'événement redouté central (P_{ERC}) a été retenue.

8.2 Caractérisation des scénarios retenus

8.2.1 Effondrement de l'éolienne

8.2.1.1 Zone d'effet

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à la hauteur du mât plus la longueur d'une pale, soit 86,45 m pour la E53. Cette méthodologie se rapproche de celles utilisées dans la bibliographie (références [5] et [6]). Les risques d'atteinte d'une personne ou d'un bien en dehors de cette zone d'effet sont négligeables et ils n'ont jamais été relevés dans l'accidentologie ou la littérature spécialisée.

8.2.1.2 Intensité

Pour le phénomène d'effondrement de l'éolienne, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface totale balayée par le rotor et la surface du mât non balayée par le rotor, d'une part, et la superficie de la zone d'effet du phénomène, d'autre part. Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne dans le cas du parc éolien Les Grands Clos. R est la longueur de pale, H la hauteur du mât, L la largeur du mât et LB la largeur de la base de la pale.

	E53
Longueur d'une pale R	26,5 m
Hauteur du mât H	60 m
Largeur moyenne de mât L	3,3 m
Largeur maximale de la pale LB	2,5 m

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)				
Eolienne	Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_i = H \times L + 3 \cdot R \cdot LB / 2$	$Z_e = \pi \times (H+R)^2$	$D = Z_i / Z_e$	
E53	297,38	23506,18	1,27%	Exposition forte

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

8.2.1.3 Gravité

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

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

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

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)				
Eolienne	Superficie concernée par la zone d'effet		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
	Terrains non aménagés en ha (1 pers./100ha)	Terrains aménagés peu fréquentés en ha (1 pers./10ha)		
E1	2,25	0,0982	0,032	Sérieux
E2	2,35		0,024	Sérieux
E3	2,33	0,0223	0,026	Sérieux
E4	2,28	0,067	0,030	Sérieux
E5	2,33	0,0199	0,025	Sérieux

Pour chacune des éoliennes, le nombre de personnes exposées sera donc inférieur à 1. La gravité sera donc considérée comme " sérieuse ".

8.2.1.4 Probabilité

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

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

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

Le retour d'expérience français montre également une classe de probabilité " C ". En effet, il a été recensé seulement 7 événements pour 15 667 années d'expérience¹, soit une probabilité de $4,47 \times 10^{-4}$ par éolienne et par an.

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

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

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

Ces mesures de sécurité sont notamment :

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

On note d'ailleurs, dans le retour d'expérience français, qu'aucun effondrement n'a eu lieu sur les éoliennes mises en service après 2005. De manière générale, le respect des prescriptions de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations éoliennes soumises à autorisation permet de s'assurer que les éoliennes font l'objet de mesures réduisant significativement la probabilité d'effondrement. Il est considéré que la classe de probabilité de l'accident est " D ", à savoir : " *S'est produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité*".

8.2.1.5 Acceptabilité

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

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

Ainsi, pour le parc éolien Les Grands Clos, le phénomène d'effondrement des éoliennes constitue un risque acceptable pour les personnes.

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

8.2.2 Chute de glace

8.2.2.1 Considérations générales

Les périodes de gel et l'humidité de l'air peuvent entraîner, dans des conditions de température et d'humidité de l'air bien particulières, une formation de givre ou de glace sur l'éolienne, ce qui induit des risques potentiels de chute de glace. Selon l'étude WECO [15], une grande partie du territoire français (hors zones de montagne) est concerné par moins d'un jour de formation de glace par an. Certains secteurs du territoire comme les zones côtières affichent des moyennes variant entre 2 et 7 jours de formation de glace par an. Lors des périodes de dégel qui suivent les périodes de grand froid, des chutes de glace peuvent se produire depuis la structure de l'éolienne (nacelle, pales). Normalement, le givre qui se forme en fine pellicule sur les pales de l'éolienne fond avec le soleil. En cas de vents forts, des morceaux de glace peuvent se détacher. Ils se désagrègent généralement avant d'arriver au sol. Ce type de chute de glace est similaire à ce qu'on observe sur d'autres bâtiments et infrastructures.

8.2.2.2 Zone d'effet

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales. Pour le parc éolien Les Grands Clos, la zone d'effet a donc un rayon de 26,5 mètres. Cependant, il convient de noter que, lorsque l'éolienne est à l'arrêt, les pales n'occupent qu'une faible partie de cette zone.

8.2.2.3 Intensité

Pour le phénomène de chute de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace et la superficie de la zone d'effet du phénomène (zone de survol). Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace dans le cas du parc éolien Les Grands Clos. Z_I est la zone d'impact, Z_E est la zone d'effet, R est la longueur de pale, SG est la surface du morceau de glace majorant ($SG = 1 \text{ m}^2$).

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à la zone de survol)				
Eolienne	Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_I = SG$	$Z_E = \pi \times R^2$	$d = Z_I / Z_E$	
E53	1,00	2206,18	0,05%	Exposition modérée

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

8.2.2.4 Gravité

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

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

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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal à la zone de survol)				
Eolienne	Superficie concernée par la zone d'effet		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
	Terrains non aménagés en ha (1 pers./100ha)	Terrains aménagés peu fréquentés en ha (1 pers./10ha)		
E1	0,22	0	0,002	Modérée
E2	0,22	0	0,002	Modérée
E3	0,22	0	0,002	Modérée
E4	0,22	0	0,002	Modérée
E5	0,22	0	0,002	Modérée

8.2.2.5 Probabilité

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

8.2.2.6 Acceptabilité

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

Dans le cas contraire, l'exploitant devra démontrer que des mesures de sécurité supplémentaires sont mises en place afin d'améliorer l'acceptabilité de ce risque.

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

Chute de glace (dans un rayon inférieur ou égal au survol de la pale)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modérée	Acceptable
E2	Modérée	Acceptable
E3	Modérée	Acceptable
E4	Modérée	Acceptable
E5	Modérée	Acceptable

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

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

8.2.3 Chute d'éléments de l'éolienne

8.2.3.1 Zone d'effet

La chute d'éléments comprend la chute de tous les équipements situés en hauteur : trappes, boulons, morceaux de pales ou pales entières. Le cas majorant est ici le cas de la chute de pale. Il est retenu dans l'étude détaillée des risques pour représenter toutes les chutes d'éléments. Le risque de chute d'élément est cantonné à la zone de survol des pales. Pour le parc éolien Les Grands Clos, la zone d'effet a donc un rayon de 26,5 mètres.

8.2.3.2 Intensité

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute d'éléments de l'éolienne dans le cas du parc éolien Les Grands Clos. d est le degré d'exposition, Z_i la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, R la longueur de pale et LB la largeur de la base de la pale.

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la zone de survol)				
Eolienne	Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$ZI = R \cdot LB / 2$	$ZE = \pi \times R^2$	$ZI / ZE \times 100$	
E53	33,13	2206,18	1,50%	Exposition forte

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

8.2.3.3 Gravité

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

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

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

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à 26,5 m)				
Eolienne	Superficie concernée par la zone d'effet		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
	Terrains non aménagés en ha (1 pers./100ha)	Terrains aménagés peu fréquentés en ha (1 pers./10ha)		
E1	0,22	0	0,002	Sérieux
E2	0,22	0	0,002	Sérieux
E3	0,22	0	0,002	Sérieux
E4	0,22	0	0,002	Sérieux
E5	0,22	0	0,002	Sérieux

8.2.3.4 Probabilité

Peu d'éléments sont disponibles dans la littérature pour évaluer la fréquence des événements de chute de pales ou d'éléments d'éoliennes. Le retour d'expérience connu en France montre que ces événements ont une classe de probabilité " C " (2 chutes et 5 incendies pour 15 667 années d'expérience, soit 4.47×10^{-4} événement par éolienne et par an). Ces événements correspondent également à la définition qualitative de l'arrêté du 29 Septembre 2005 d'une probabilité " C " : " *Événement similaire déjà rencontré dans le secteur d'activité ou dans ce type d'organisation au niveau mondial, sans que les éventuelles corrections intervenues depuis apportent une garantie de réduction significative de sa probabilité*". Une probabilité de classe " C " est donc retenue par défaut pour ce type d'événement.

8.2.3.5 Acceptabilité

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

Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal au survol des pales)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Sérieux	Acceptable
E2	Sérieux	Acceptable
E3	Sérieux	Acceptable
E4	Sérieux	Acceptable
E5	Sérieux	Acceptable

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

8.2.4 Projection de pales ou de fragments de pales

8.2.4.1 Zone d'effet

Dans l'accidentologie française rappelée en annexe, la distance maximale relevée et vérifiée par le groupe de travail précédemment mentionné pour une projection de fragment de pale est de 380 mètres par rapport au mât de l'éolienne. On constate que les autres données disponibles dans cette accidentologie montrent des distances d'effet inférieures. L'accidentologie éolienne mondiale manque de fiabilité car la source la plus importante (en termes statistiques) est une base de données tenue par une association écossaise majoritairement opposée à l'énergie éolienne [3]. L'analyse de ce recueil d'accidents indique une distance maximale de projection de l'ordre de 500 mètres à deux exceptions près :

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

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

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

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

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

8.2.4.2 Intensité

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

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

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)				
Eolienne	Zone d'impact en m^2	Zone d'effet du phénomène étudié en m^2	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	$Z_I = R \cdot LB / 2$	$Z_E = \pi \times R \cdot d^2$	$Z_I / Z_E \times 100$	
E53	33,125	785 398	0,00%	Exposition modérée

8.2.4.3 Gravité

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

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

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

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)					
Eolienne	Superficie concernée par la zone d'effet			Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
	Terrains non aménagés en ha (1 pers./100ha)	Terrains aménagés peu fréquentés en ha (1 pers./10ha)	Zones d'activités Nombre d'employés		
E1	77,43	1,11		0,885	Modérée
E2	77,30	1,24	2	2,897	Sérieux
E3	77,28	1,26		0,899	Modérée
E4	77,34	1,2		0,893	Modérée
E5	77,26	1,28		0,901	Modérée

Ex : nombre de personnes équivalentes pour l'éolienne E4 = $(77,34/100) + (1,2/10) = 0,893$

8.2.4.4 Probabilité

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

Source	Fréquence	Justification
Site specific hazard assessment for a wind farm project [4]	1×10^{-6}	Respect de l'Eurocode EN 1990 – Basis of structural design
Guide for risk based zoning of wind turbines [5]	$1,1 \times 10^{-3}$	Retour d'expérience au Danemark (1984-1992) et en Allemagne (1989-2001)
Specification of minimum distances [6]	$6,1 \times 10^{-4}$	Recherche Internet des accidents entre 1996 et 2003

Ces valeurs correspondent à des classes de probabilité de “ B ”, “ C ” ou “ E ”.

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

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

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

Néanmoins, les dispositions constructives des éoliennes ayant fortement évolué, le niveau de fiabilité est aujourd'hui bien meilleur.

Des mesures de maîtrise des risques supplémentaires ont été mises en place notamment :

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

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

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

8.2.4.5 Acceptabilité

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

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modérée	Acceptable
E2	Sérieux	Acceptable
E3	Modérée	Acceptable
E4	Modérée	Acceptable
E5	Modérée	Acceptable

Ainsi, pour le parc éolien Les Grands Clos, 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

8.2.5.1 Zone d'effet

L'accidentologie rapporte quelques cas de projection de glace. Ce phénomène est connu et possible, mais reste difficilement observable et n'a jamais occasionné de dommage sur les personnes ou les biens. En ce qui concerne la distance maximale atteinte par ce type de projectiles, il n'existe pas d'information dans l'accidentologie. La référence [15] propose une distance d'effet fonction de la hauteur et du diamètre de l'éolienne, dans les cas où le nombre de jours de glace est important et où l'éolienne n'est pas équipée de système d'arrêt des éoliennes en cas de givre ou de glace : Distance d'effet = 1,5 x (hauteur de moyeu + diamètre de rotor), soit pour le projet éolien Les Grands Clos une distance de 169,5 m

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

8.2.5.2 Intensité

Pour le phénomène de projection de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace (cas majorant de 1 m²) et la superficie de la zone d'effet du phénomène. Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de projection de glace dans le cas du parc éolien Les Grands Clos. d est le degré d'exposition, Z_i la zone d'impact, Z_E la zone d'effet, D le diamètre du rotor, H la hauteur au moyeu et SG la surface majorante d'un morceau de glace.

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de R _{PG} = 1,5 x Hauteur totale autour de l'éolienne)				
Eolienne	Zone d'impact en m ²	Zone d'effet du phénomène étudié en m ²	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
	ZI = SG	ZE = π x (1,5*(H+2R)) ²	ZI / ZE x 100	
E53	1	90258,74	0,0011%	Exposition modérée

8.2.5.3 Gravité

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

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

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

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

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de RPG = 1,5 x (H+D) autour de l'éolienne)				
Eolienne	Superficie concernée par la zone d'effet		Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
	Terrains non aménagés en ha (1 pers./100ha)	Terrains aménagés peu fréquentés en ha (1 pers./10ha)		
E1	8,79	0,2357	0,111	Modérée
E2	8,93	0,0995	0,099	Modérée
E3	8,93	0,0989	0,099	Modérée
E4	8,79	0,235	0,111	Modérée
E5	8,81	0,2118	0,109	Modérée

Ex : nombre de personnes équivalentes pour l'éolienne E4 = (8,79/100) + (0,235/10) = 0,111

8.2.5.4 Probabilité

Au regard de la difficulté d'établir un retour d'expérience 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.

8.2.5.5 Acceptabilité

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

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

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de RPG = 1,5 x D autour de l'éolienne)		
Eolienne	Gravité	Niveau de risque
E1	Modérée	Acceptable
E2	Modérée	Acceptable
E3	Modérée	Acceptable
E4	Modérée	Acceptable
E5	Modérée	Acceptable

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

8.3 Synthèse de l'étude détaillée des risques

8.3.1 Tableaux de synthèse des scénarios étudiés

Les tableaux suivants récapitulent, pour chaque événement redouté central retenu, les paramètres de risques : la cinétique, l'intensité, la gravité et la probabilité. Les tableaux regrouperont les éoliennes qui ont le même profil de risque.

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

Scénario	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	Rapide	Exposition forte	D (pour des éoliennes récentes)	Sérieux pour toutes les éoliennes
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol des pales	Rapide	Exposition forte	C	Sérieux pour toutes les éoliennes
Chute de glace	Zone de survol des pales	Rapide	Exposition modérée	A sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Modérée pour toutes les éoliennes
Projection de pales	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D (pour des éoliennes récentes)	Sérieux pour l'éolienne E2 Modérée pour les éoliennes E1, E3, E4, E5
Projection de glace	Disque dont le rayon est égal à $1,5 \times (H + 2R)$	Rapide	Exposition modérée	B sauf si les températures hivernales sont supérieures à 0°C	Modérée pour toutes les éoliennes

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.

Récapitulatif					
Gravité (traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		EE1 EE2 EE3 EE4 EE5 FP2	CE1 CE2 CE3 CE4 CE5		
Modérée		FP1 FP3 FP4 FP5		PG1 PG2 PG3 PG4 PG5	CG1 CG2 CG3 CG4 CG5

Légende de la matrice :

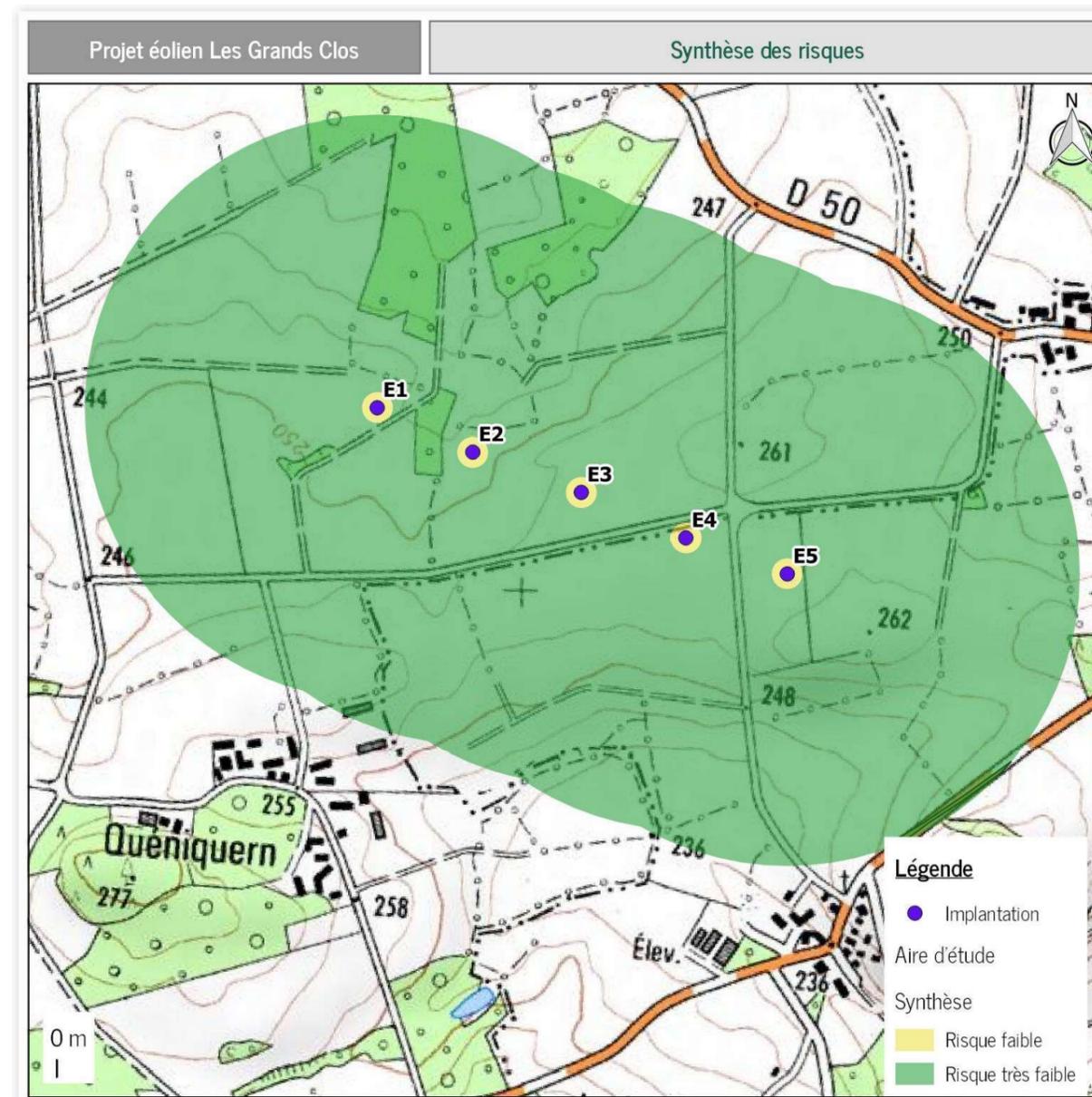
Niveau de risque	Couleur	Acceptabilité
Risque très faible		Acceptable
Risque faible		Acceptable
Risque important		Non acceptable

EE : effondrement de l'éolienne
CE : chute d'élément de l'éolienne
CG : chute de glace
PG : projection de glace
FP : projection de fragment de pale

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 VII.6 sont mises en place.

8.3.3 Cartographie des risques



Carte 10: Synthèse des risques

9 MOYENS DE SECOURS ET D'INTERVENTION

9.1 Moyens internes

Des panneaux de signalisation rappelant les consignes de sécurité ainsi que les coordonnées des secours sont placés sur les voies d'accès au site ainsi qu'à l'entrée des différents équipements (mâts des éoliennes et poste de livraison).

Un kit de premiers secours est disposé dans chacune des nacelles, ainsi qu'un extincteur. Un extincteur est également placé en pied de mât de chaque éolienne ainsi qu'au poste de livraison.

Le personnel est formé à l'utilisation des extincteurs.

9.2 Moyens externes

La caserne de pompiers la plus proche du projet Les Grands Clos est celle de Locminé situé à 7 km.

9.3 Traitement de l'alerte

Les paramètres sont retransmis au centre de surveillance ENERCON en continu via le système SCADA en place sur le parc (cf. description du système SCADA en ANNEXE 1).

Les données d'exploitation et les messages d'état (anomalies, alertes...) sont par ailleurs conservés en copie sur le système implanté, sur le parc sur une période de 20 ans. Les systèmes embarqués des éoliennes peuvent quant à eux conserver les 10 derniers messages d'état horodatés.

0 Turbine in operation	61 Mains breakdown	302 Data bus error blade
1 Turbine stopped	62 Feeding fault	303 Data bus error blade control (CAN3)
2 Lack of wind	64 Overcurrent inverter	304 Data bus error (Timeout)
3 Storm	65 Overcurrent inverter	305 No data from I/O-Board control cabinet
4 Shadow shutdown	66 Fault rectifier	306 No data from
5 Blade defroster	67 Overtemperature	307 Timeout angle encoder
7 Unauthorized access	69 Acoustic sensor	310 Unknown node-ID
8 Maintenance	70 Generator overtemperature	315 Invalid Index
9 Generator heating	72 Air gap monitoring	318 Error CAN1-Interrupt
10 EMERGENCY STOP actuated	73 Torque monitoring	319 Error CAN2-Interrupt
11 Rotor brake activated manual	76 Bearing temperature	320 Malfunction IIC-bus
12 Rotor lock	80 Excitation error	402 Error +12V processor
14 Formation of ice	90 Protective circuit breaker tripped	403 Error -12V processor
15 Turbine moist	91 Semiconductor fuse blown	404 Error +15V processor
16 Overspeed switch test	95 Error temperature measurement	405 Error -15V processor
17 Test safety system	96 Error temperature measurement inverter	411 Error +4V ref. processor
20 Wind measurement fault	112 Smoke detector	412 Error +5V ref. processor
21 Cable twisted	122 Fault transformer	413 Error -5V ref. processor
22 Yaw control fault	150 Initialize EEPROMII	414 Error +10V ref. processor
25 Faulty yaw inverter	152 Program incompatibleII	415 Error -10V ref. processor
29 Anemometer interface	153 No turbine ID	421 Error +5V sensoric
30 Vibration sensor	155 Wrong bootblock address	422 Error +12V sensoric
31 Tower oscillation	158 Serial number	423 Error -12V sensoric
40 Rotor overspeed	202 Inverter bus error	424 Error +15V sensoric
41 Rotor overspeed switch	204 Inverter bus error all inverters	425 Error -15V sensoric
42 Pitch control error	206 No data from power control	426 Error +20V sensoric
43 Main security circuit fault	207 Fault inverter control	427 Error -20V sensoric
44 Fault emergency stop capacitor	220 Processor reset	428 Error +12V relay
45 Capacitor charging error	221 Watchdog reset	429 Error supply hardware
46 Fault capacitor test	222 Turbine reset	432 Error +5V sensoric
47 Fault security system	223 Software Update	433 Error -5V sensoric
48 Speed sensor error	228 Time out warn message	434 Error +10V sensoric
49 Fault blade load control	229 Too many warnings	435 Error -10V sensoric
55 Blade heating faulty	240 Remote control PC	438 Error supply IGBT-driver
60 Mains failure	300 Turbine control bus error (Bus-Off)	441 Error pos. supply current measure

Les messages d'état sont construits sous la forme de codes " état principal : sous état ". Une alerte est envoyée en moins d'une minute au centre de contrôle, qui est à même de contacter les services compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'installation.

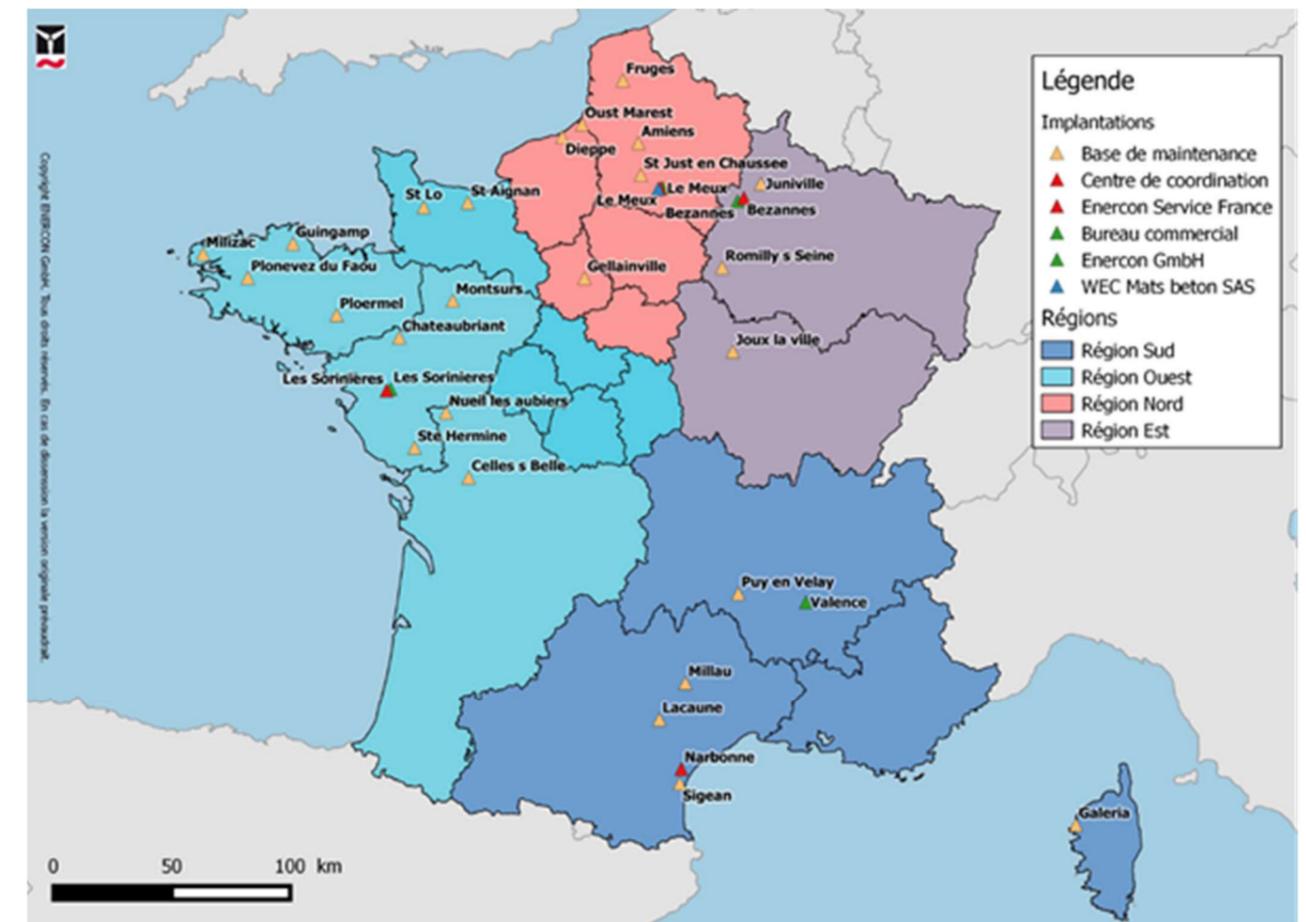
9.4 Implantation des bases de maintenance

Afin de garantir une rapidité d'intervention et une qualité des services de maintenance, Enercon Service France a adopté une stratégie de proximité de ses bases de maintenance par rapport à ses parcs installés.

La base de maintenance la plus proche du projet Les Grands Clos se trouve à Guingamp à 40 km du projet.

Base de maintenance	Guingamp
Temps de trajet	40 min

La carte ci-dessous représente les bases de maintenance et sièges sociaux ENERCON installés en France.



10 CONCLUSION

Les mesures de maîtrise des risques mises en place par le constructeur Enercon et par l'exploitant du parc éolien permettent de prévenir et de limiter les risques pour la sécurité des personnes et des biens sur la zone d'implantation du projet éolien Les Grands Clos. De plus, le caractère très peu aménagé et peu fréquenté du site, ainsi que la distance par rapport aux premiers enjeux humains (premières habitations à plus de 550 m) permettent de limiter la probabilité et la gravité des accidents majeurs, qui sont tous acceptables pour l'ensemble du parc éolien.

Ainsi, deux événements redoutés constituent un risque faible d'atteindre une personne non abritée située à proximité d'une éolienne :

- La chute de glace : Ce risque correspond à un degré d'exposition " modérée " (petits fragments de glace) et donc à une gravité " modérée ", avec une probabilité d'occurrence de l'évènement supérieure à 10^{-2} par éolienne et par an.
- La chute d'élément de l'éolienne : Ce risque correspond à un degré d'exposition forte et donc à une gravité " Sérieuse " avec une probabilité d'occurrence de l'évènement comprise entre à 10^{-4} et à 10^{-2} par éolienne et par an.

Il faut noter que les zones de survol des pales sont très peu fréquentées (au plus 0,002 personne équivalente). De plus, conformément à l'article 14 de l'arrêté du 26 août 2011, un panneau préventif informant des risques de chute de glace au pied des éoliennes sera mis en place afin de limiter les risques pour le public.

Enfin, le risque lié à l'effondrement de l'éolienne est considéré comme très faible. Il correspond à un degré d'exposition " forte " et à une gravité " sérieuse ", avec une probabilité d'occurrence de $4,47 \times 10^{-4}$ par éolienne et par an. La zone d'effet considérée ici est de 86,5 m.

Les niveaux de risque des accidents majeurs susceptibles de se produire sur le parc éolien Les Grands Clos sont tous acceptables au vu de l'analyse menée dans la présente étude de dangers.

11 ANNEXES

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

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

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

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

11.1.1 Terrains non bâtis

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

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

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

11.1.2 Voies de circulation

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

11.1.2.1 Voies de circulation automobiles

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

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

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

11.1.2.2 Voies ferroviaires

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

11.1.2.3 Voies navigables

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

11.1.2.4 Chemins et voies piétonnes

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

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

11.1.3 Logements

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

11.1.4 Etablissements recevant du public (ERP)

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

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

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

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

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

11.1.5 Zones d'activité

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

11.2 Annexe 2 – Tableau de l'accidentologie française

Le tableau ci-dessous a été établi par le groupe de travail constitué pour la réalisation du présent guide. Il recense l'ensemble des accidents et incidents connus en France concernant la filière éolienne entre 2000 et fin 2011. L'analyse de ces données est présentée dans la partie VI. de la trame type de l'étude de dangers.

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Effondrement	Novembre 2000	Port la Nouvelle	Aude	0,5	1993	Non	Le mât d'une éolienne s'est plié lors d'une tempête suite à la perte d'une pale (coupure courant prolongée pendant 4 jours suite à la tempête)	Tempête avec foudre répétée	Rapport du CGM Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2001	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts)	?	Site Vent de Colère	Information peu précise
Effondrement	01/02/2002	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris d'hélice et mât plié	Tempête	Rapport du CGM Site Vent du Bocage	-
Maintenance	01/07/2002	Port la Nouvelle – Sigean	Aude	0,66	2000	Oui	Grave électrisation avec brûlures d'un technicien	Lors de mesures pour cartériser la partie haute d'un transformateur 690V/20kV en tension. Le mètre utilisé par la victime, déroulé sur 1,46m, s'est soudainement plié et est entré dans la zone du transformateur, créant un arc électrique.	Rapport du CGM	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	28/12/2002	Névian - Grande Garrigue	Aude	0,85	2002	Oui	Effondrement d'une éolienne suite au dysfonctionnement du système de freinage	Tempête + dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Site Vent de Colère Article de presse (Midi Libre)	-
Rupture de pale	25/02/2002	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pale en bois (avec inserts) sur une éolienne bipale	Tempête	Article de presse (La Dépêche du 26/03/2003)	Information peu précise
Rupture de pale	05/11/2003	Sallèles-Limousis	Aude	0,75	1998	Non	Bris de pales en bois (avec inserts) sur trois éoliennes. Morceaux de pales disséminés sur 100 m.	Dysfonctionnement du système de freinage	Rapport du CGM Article de presse (Midi Libre du 15/11/2003)	-
Effondrement	01/01/2004	Le Portel – Boulogne sur Mer	Pas de Calais	0,75	2002	Non	Cassure d'une pale, chute du mât et destruction totale. Une pale tombe sur la plage et les deux autres dérivent sur 8 km.	Tempête	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (Windpower Monthly May 2004, La Voix du Nord du 02/01/2004)	-
Effondrement	20/03/2004	Loon Plage – Port de Dunkerque	Nord	0,3	1996	Non	Couchage du mât d'une des 9 éoliennes suite à l'arrachement de la fondation	Rupture de 3 des 4 micropieux de la fondation, erreur de calcul (facteur de 10)	Base de données ARIA Rapport du CGM Site Vent de Colère Articles de presse (La Voix du Nord du 20/03/2004 et du 21/03/2004)	-
Rupture de pale	22/06/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 50 m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	-
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5m à 50m, mât intact	Tempête + problème d'allongement des pales et retrait de sécurité (débridage)	Rapport du CGM Articles de presse (Le Télégramme, Ouest France du 09/07/2004)	Incident identique à celui s'étant produit 15 jours auparavant
Rupture de pale	2004	Escales-Conilhac	Aude	0,75	2003	Non	Bris de trois pales		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale + incendie	22/12/2004	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Bris des trois pales et début d'incendie sur une éolienne (survitesse de plus de 60 tr/min)	Survitesse due à une maintenance en cours, problème de régulation, et dysfonctionnement du système de freinage	Base de données ARIA Article de presse (La Tribune du 30/12/2004) Site Vent de Colère	-
Rupture de pale	2005	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris de pale		Site Vent de Colère	Information peu précise
Rupture de pale	08/10/2006	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2004	Non	Chute d'une pale de 20 m pesant 3 tonnes	Allongement des pales et retrait de sécurité (débridage), pas de REX suite aux précédents accidents sur le même parc	Site FED Articles de presse (Ouest France) Journal FR3	-
Incendie	18/11/2006	Roquetaillade	Aude	0,66	2001	Oui	Acte de malveillance: explosion de bonbonne de gaz au pied de 2 éoliennes. L'une d'entre elles a mis le feu en pieds de mat qui s'est propagé jusqu'à la nacelle.	Malveillance / incendie criminel	Communiqués de presse exploitant Articles de presse (La Dépêche, Midi Libre)	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Effondrement	03/12/2006	Bondues	Nord	0,08	1993	Non	Sectionnement du mât puis effondrement d'une éolienne dans une zone industrielle	Tempête (vents mesurés à 137Kmh)	Article de presse (La Voix du Nord)	-
Rupture de pale	31/12/2006	Ally	Haute-Loire	1,5	2005	Oui	Chute de pale lors d'un chantier de maintenance visant à remplacer les rotors	Accident faisant suite à une opération de maintenance	Site Vent de Colère	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident pendant la phase chantier)
Rupture de pale	03/2007	Clitourps	Manche	0,66	2005	Oui	Rupture d'un morceau de pale de 4 m et éjection à environ 80 m de distance dans un champ	Cause pas éclaircie	Site FED Interne exploitant	-
Chute d'élément	11/10/2007	Plouvien	Finistère	1,3	2007	Non	Chute d'un élément de la nacelle (trappe de visite de 50 cm de diamètre)	Défaut au niveau des charnières de la trappe de visite. Correctif appliqué et retrofit des boulons de charnières effectué sur toutes les machines en exploitation.	Article de presse (Le Télégramme)	-
Emballlement	03/2008	Dinéault	Finistère	0,3	2002	Non	Emballlement de l'éolienne mais pas de bris de pale	Tempête + système de freinage hors service (boulon manquant)	Base de données ARIA	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (événement unique et sans répercussion potentielle sur les personnes)
Collision avion	04/2008	Plouguin	Finistère	2	2004	Non	Léger choc entre l'aile d'un bimoteur Beechcraftch (liaison Ouessant-Brest) et une pale d'éolienne à l'arrêt. Perte d'une pièce de protection au bout d'aile. Mise à l'arrêt de la machine pour inspection.	Mauvaise météo, conditions de vol difficiles (sous le plafond des 1000m imposé par le survol de la zone) et faute de pilotage (altitude trop basse)	Articles de presse (Le Télégramme, Le Post)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident aéronautique)
Rupture de pale	19/07/2008	Erize-la-Brûlée - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale et projection de morceaux de pale suite à un coup de foudre	Foudre + défaut de pale	Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain 22/07/2008)	-
Incendie	28/08/2008	Vauvillers	Somme	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Problème au niveau d'éléments électroniques	Dépêche AFP 28/08/2008	-
Rupture de pale	26/12/2008	Raival - Voie Sacrée	Meuse	2	2007	Oui	Chute de pale		Communiqué de presse exploitant Article de presse (l'Est Républicain)	-
Maintenance	26/01/2009	Clastres	Aisne	2,75	2004	Oui	Accident électrique ayant entraîné la brûlure de deux agents de maintenance	Accident électrique (explosion d'un convertisseur)	Base de données ARIA	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Rupture de pale	08/06/2009	Bollène	Vaucluse	2,3	2009	Oui	Bout de pale d'une éolienne ouvert	Coup de foudre sur la pale	Interne exploitant	Non utilisable dans les chutes ou les projections (la pale est restée accrochée)
Incendie	21/10/2009	Froidfond - Espinassière	Vendée	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit dans transformateur sec embarqué en nacelle ?	Article de presse (Ouest-France) Communiqué de presse exploitant Site FED	-
Incendie	30/10/2009	Freyssenet	Ardèche	2	2005	Oui	Incendie de la nacelle	Court-circuit faisant suite à une opération de maintenance (problème sur une armoire électrique)	Base de données ARIA Site FED Article de presse (Le Dauphiné)	-
Maintenance	20/04/2010	Toufflers	Nord	0,15	1993	Non	Décès d'un technicien au cours d'une opération de maintenance	Crise cardiaque	Article de presse (La Voix du Nord 20/04/2010)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Effondrement	30/05/2010	Port la Nouvelle	Aude	0,2	1991	Non	Effondrement d'une éolienne	Le rotor avait été endommagé par l'effet d'une survitesse. La dernière pale (entière) a pris le vent créant un balourd. Le sommet de la tour a plié et est venu buter contre la base entraînant la chute de l'ensemble.	Interne exploitant	-
Incendie	19/09/2010	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Emballlement de deux éoliennes et incendie des nacelles.	Maintenance en cours, problème de régulation, freinage impossible, évacuation du personnel, survitesse de +/- 60 tr/min	Articles de presse Communiqué de presse SER-FEE	-

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers
Maintenance	15/12/2010	Pouillé-les-Côteaux	Loire Atlantique	2,3	2010	Oui	Chute de 3 m d'un technicien de maintenance à l'intérieur de l'éolienne. L'homme de 22 ans a été secouru par le GRIMP de Nantes. Aucune fracture ni blessure grave.		Interne SER-FEE	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance)
Transport	31/05/2011	Mesvres	Saône-et-Loire	-	-	-	Collision entre un train régional et un convoi exceptionnel transportant une pale d'éolienne, au niveau d'un passage à niveau Aucun blessé		Article de presse (Le Bien Public 01/06/2011)	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident de transport hors site éolien)
Rupture de pale	14/12/2011	Non communiqué	Non communiqué	2,5	2003	Oui	Pale endommagée par la foudre. Fragments retrouvés par l'exploitant agricole à une distance n'excédant pas 300 m.	Foudre	Interne exploitant	Information peu précise sur la distance d'effet
Incendie	03/01/2012	Non communiqué	Non communiqué	2,3	2006	Oui	Départ de feu en pied de tour. Acte de vandalisme : la porte de l'éolienne a été découpée pour y introduire des pneus et de l'huile que l'on a essayé d'incendier. Le feu ne s'est pas propagé, dégâts très limités et restreints au pied de la tour.	Malveillance / incendie criminel	Interne exploitant	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (pas de propagation de l'incendie)
Rupture de pale	05/01/2012	Widehem	Pas-de-Calais	0,75	2000	Non	Bris de pales, dont des fragments ont été projetés jusqu'à 380 m. Aucun blessé et aucun dégât matériel (en dehors de l'éolienne).	Tempête + panne d'électricité	Article de presse (La Voix du Nord 06/01/2012) Vidéo DailyMotion Interne exploitant	-
Incendie	17/03/2013	Fère Champenoise	Marne	2	2011	Oui	Incendie de la nacelle	Défaillance électrique	ARIA	-
Incendie	09/01/2014	Vent de la Thiérache 2	Ardennes	2,5	2013	Oui	Incendie de la nacelle	Défaillance électrique	ARIA	-
Effondrement	10/11/2015	Eoliennes Surcoit SNC	Meuse	2	?	Oui	Les 3 pales et le rotor d'une éolienne chutent au sol	Défaillance de l'arbre lent	ARIA	-
Rupture de pale	27/02/2017	Nélausa-Lavallée	Meuse	2	2011	Oui	Lors d'un orage, la pointe d'une pale d'éolienne se rompt. L'extrémité, de 7 à 10 m, est retrouvée au sol, en 3 morceaux, à 200 m de l'éolienne	Une rafale de vent extrême ayant été mesurée dans les secondes précédant la rupture, cette origine est privilégiée pour expliquer la casse de la pale.	ARIA	-
Incendie	05/06/2018	Aumelas	Hérault	2	2014	Oui	Incendie de la nacelle et au niveau du convertisseur	?	Midi Libre 05/06/2018	-
Effondrement	06/11/2018	Guigneville, Charmont-en-Beauce	Loiret	3	2010	Oui	Effondrement au sol d'une éolienne	Inconnue à ce jour	France bleu 06/11/2018	

11.3 Annexe 3 – Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques

Cette partie apporte un certain nombre de précisions par rapport à chacun des scénarios étudiés par le groupe de travail technique dans le cadre de l'analyse préliminaire des risques. Le tableau générique issu de l'analyse préliminaire des risques est présenté dans la partie VII.4. de la trame type de l'étude de dangers. Il peut être considéré comme représentatif des scénarios d'accident pouvant potentiellement se produire sur les éoliennes et pourra par conséquent être repris à l'identique dans les études de dangers. La numérotation des scénarios ci-dessous reprend celle utilisée dans le tableau de l'analyse préliminaire des risques, avec un regroupement des scénarios par thématique, en fonction des typologies d'événement redoutés centraux identifiés grâce au retour d'expérience par le groupe de travail précédemment cité (" G " pour les scénarios concernant la glace, " I " pour ceux concernant l'incendie, " F " pour ceux concernant les fuites, " C " pour ceux concernant la chute d'éléments de l'éolienne, " P " pour ceux concernant les risques de projection, " E " pour ceux concernant les risques d'effondrement).

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

11.3.1.1 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.

11.3.1.2 Scénario G02

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

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

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

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

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

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

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

L'incendie peut aussi être provoqué par l'échauffement des pièces mécaniques en cas d'emballlement 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'emballlement peut notamment intervenir lors de pertes d'utilités. Ces pertes d'utilités peuvent être la conséquence de deux phénomènes :

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

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

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

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

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

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

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

11.3.3 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, ...).

11.3.3.1 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.

11.3.3.2 Scénario F02

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

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

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

Ce scénario est à adapter en fonction des produits utilisés.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

11.3.5.1 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.

11.3.5.2 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, emballlement de l'éolienne

11.3.5.3 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.

11.3.6 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, ...

11.4 Annexe 4 – Probabilité d’atteinte et Risque individuel

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

11.5 Annexe 5 –Glossaire

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

11.6 Annexe 6 – Bibliographie et références utilisées

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

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 savoir-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 écrite 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 accords 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
2014-09-19	fre	DA	WRD GmbH / Documentation Department

Sommaire

1	Introduction	1
2	Composants et fonctionnalités standard	2
2.1	ENERCON 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 données ENERCON dans un parc éolien	3
2.3	ENERCON SCADA Remote	4
2.3.1	Fonctionnalité	4
2.3.2	Echange de données	5
2.4	Messages d'état et informations	6
2.5	Mise à disposition de données lors d'un défaut de communication	7
3	Composants et fonctionnalités secondaires	8
3.1	Interfaces 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	Composants 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	Commande 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	25
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	Conditions préalables	28
5	Etendue des prestations de livraison	29
6	Maintenance	30
6.1	Maintenance nécessaire	30
6.2	Système ENERCON SCADA dans ENERCON PartnerKonzept (EPK)	30
	Table des figures	31
	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.

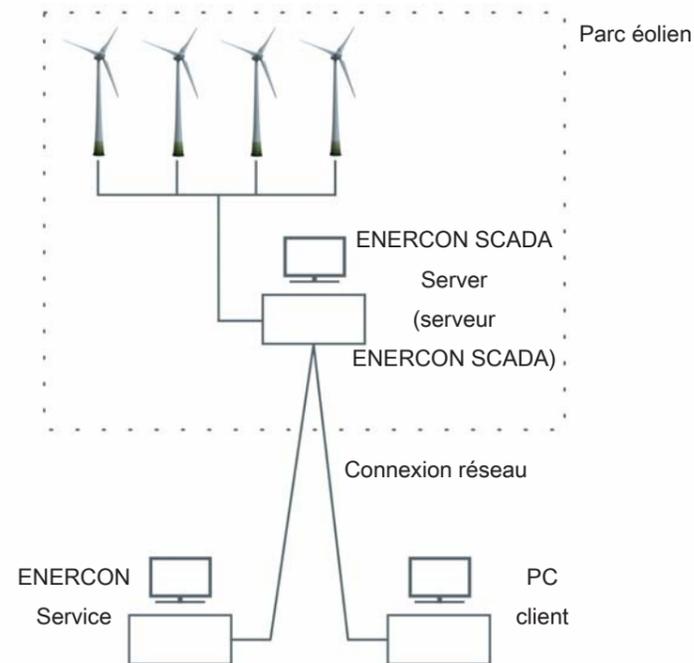


Fig. 1: Représentation schématique du système ENERCON SCADA avec composants standards

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.

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 chargée 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. Cela 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).

2.3 ENERCON SCADA Remote

2.3.1 Fonctionnalité

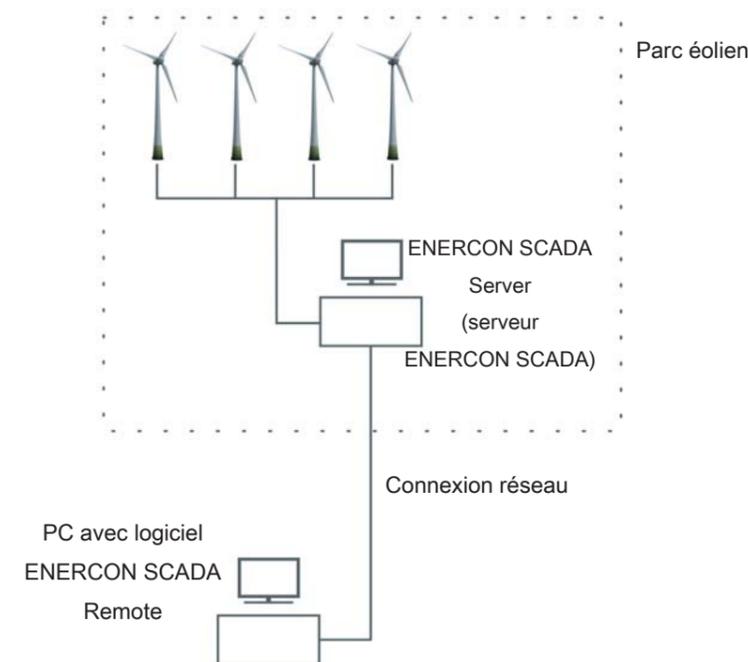


Fig. 2: ENERCON SCADA Remote

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

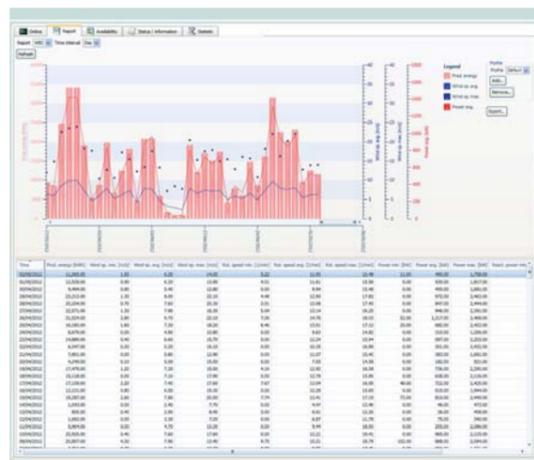


Fig. 3: ENERCON SCADA Remote: Affichage des données quotidiennes

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 mis 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 dBASE, dans les tableurs ou dans d'autres applications logicielles.

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

2.4 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.

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.

3.1.2 ENERCON SCADA PDI-OPC

3.1.2.1 Fonctionnalité

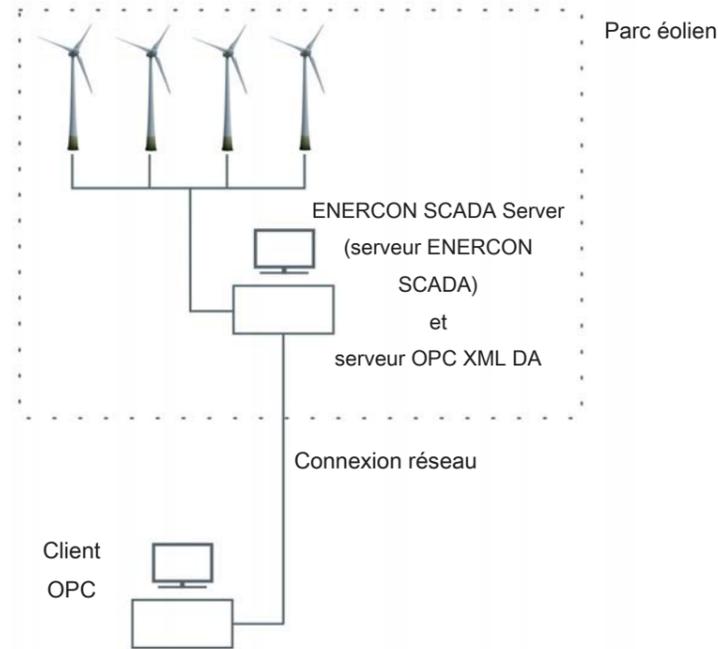


Fig. 4: ENERCON SCADA PDI-OPC dans le système ENERCON SCADA

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.

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 affichée 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 actuelles, 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

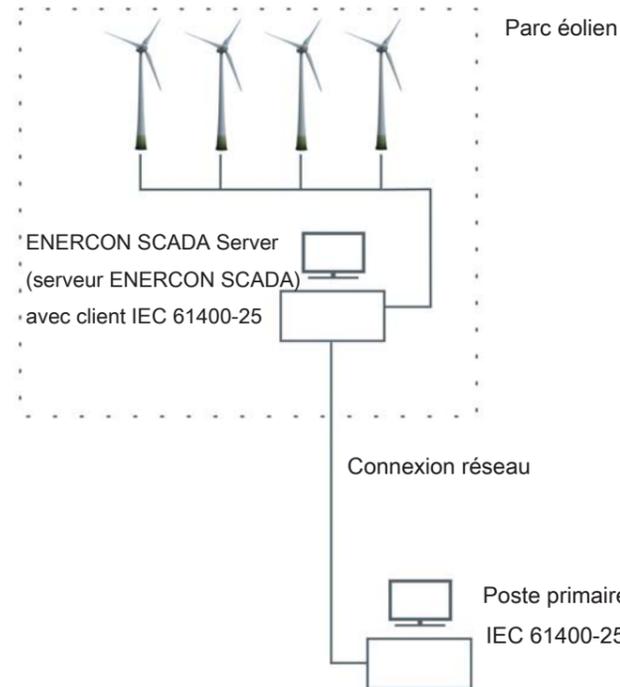


Fig. 5: ENERCON SCADA PDI-61400

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.

3.1.4 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 $\cos \varphi$
- 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

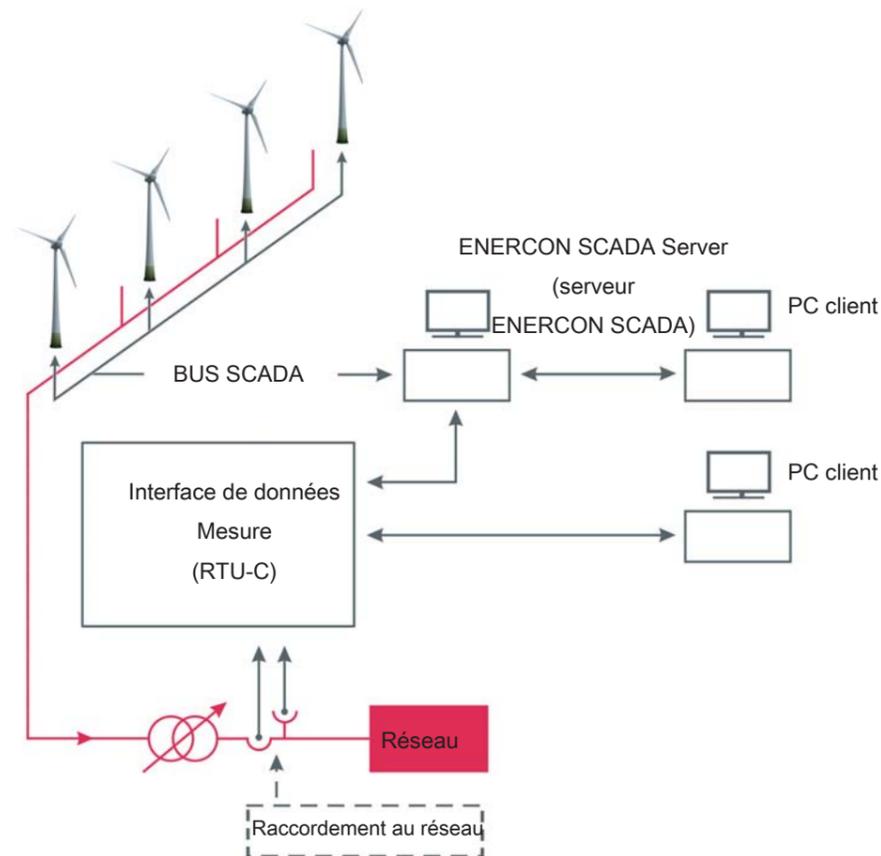


Fig. 6: Aperçu RTU-C

Le RTU-C prend en charge les fonctions suivantes:

- Interface de données
- Mesure de grandeurs électriques au point de raccordement au réseau

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

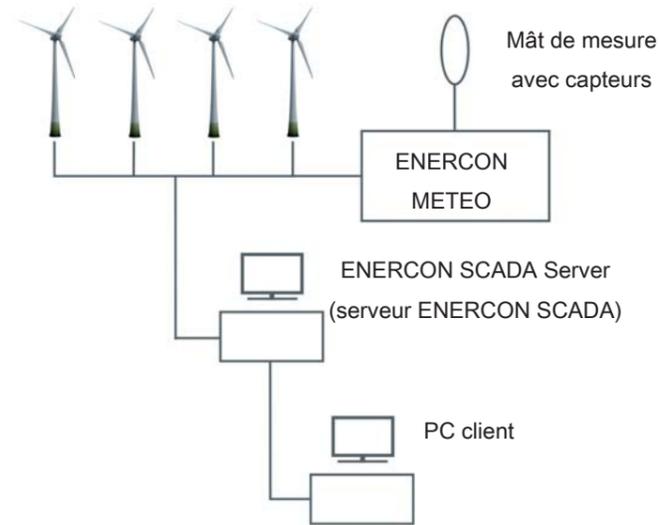


Fig. 7: ENERCON METEO

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

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.

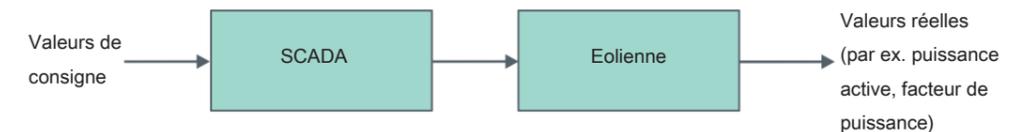


Fig. 8: Structure d'un système de commande de dimensions électriques à l'aide de l'ENERCON SCADA

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.

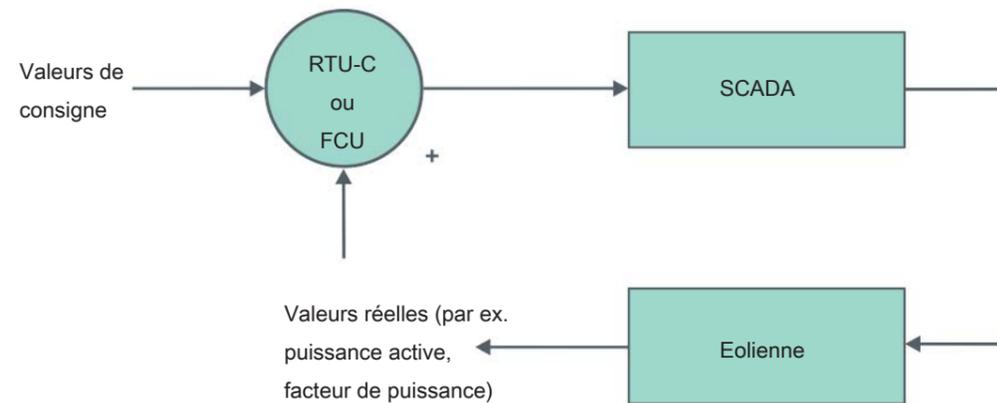


Fig. 9: Structure d'une régulation avec réinjection caractéristique du signal de sortie

3.3.4 ENERCON SCADA RTU-C

3.3.4.1 Aperçu du produit

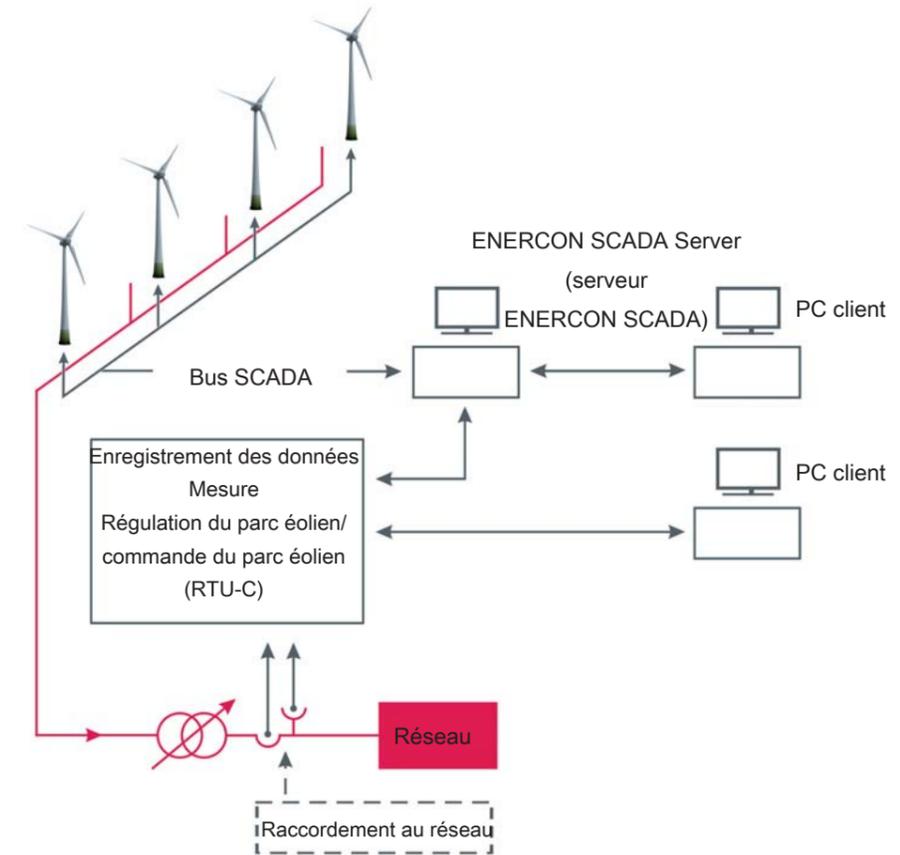


Fig. 10: Aperçu RTU-C

Le RTU-C prend en charge les fonctions suivantes:

- Interface de données
- Mesure de grandeurs électriques au point de raccordement au réseau
- 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.

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.

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

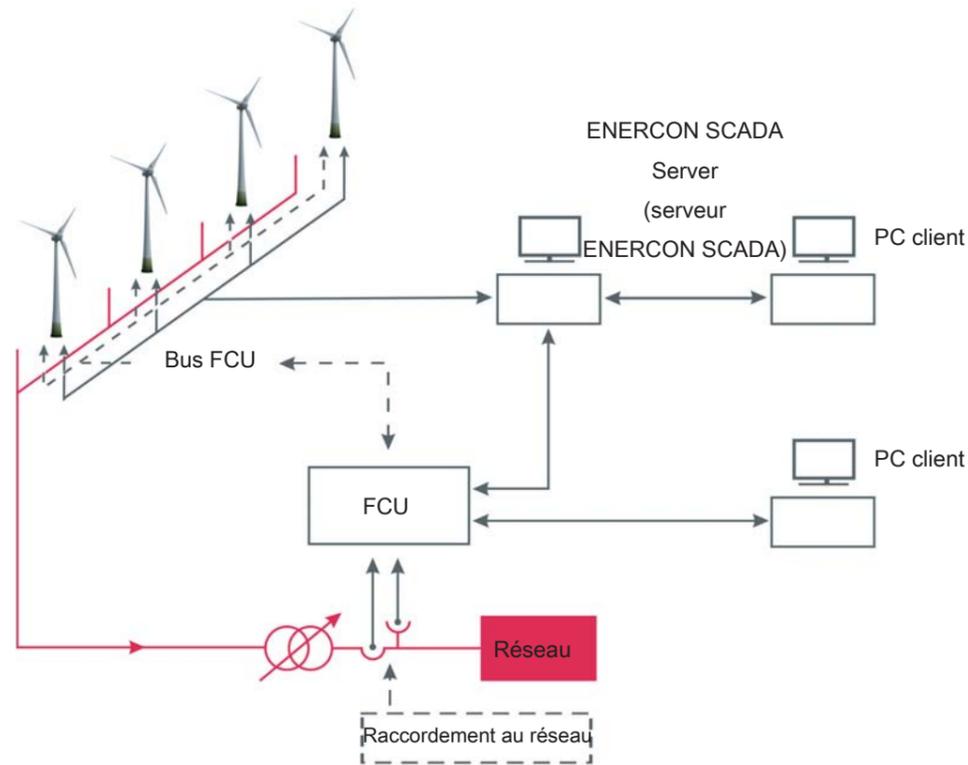


Fig. 11: Aperçu FCU

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.

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 $Q-\Delta U$ (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 $Q-\Delta U$.

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 envoie 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.

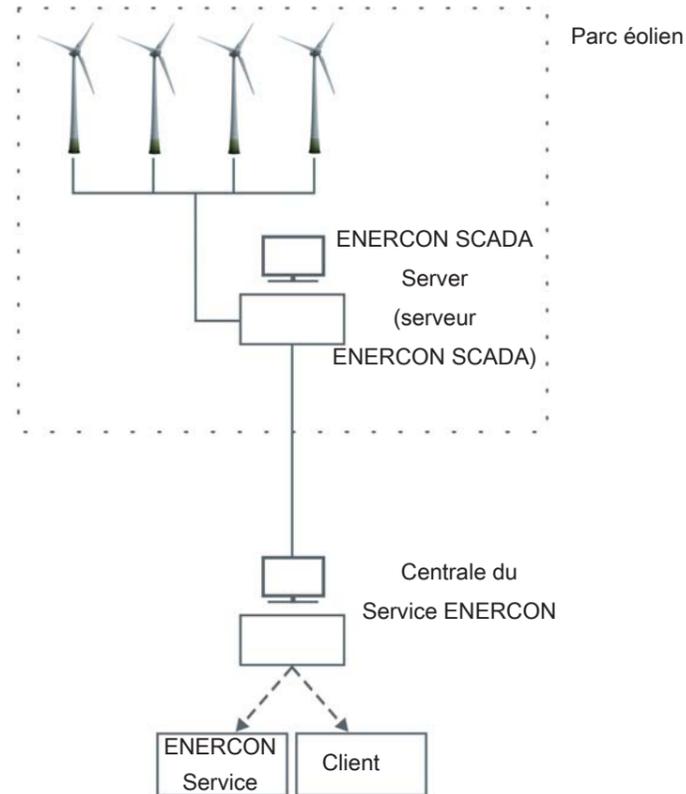


Fig. 12: Messages de défaut

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.

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

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.

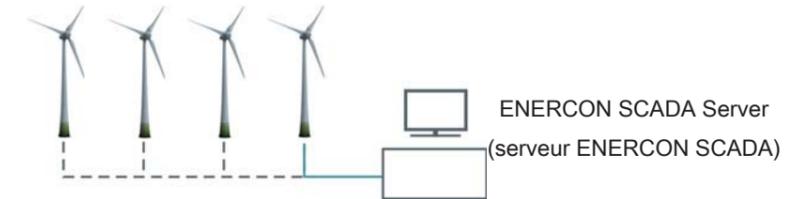


Fig. 13: Interruption d'une partie du bus de données sans management annulaire

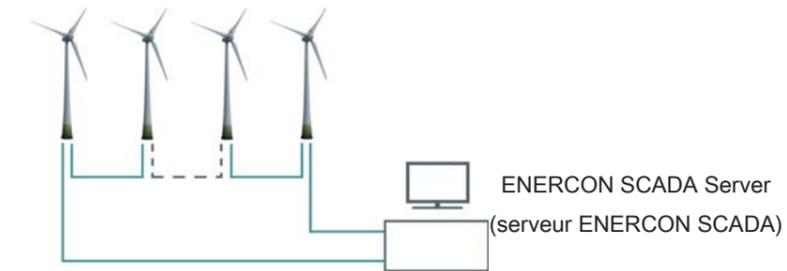


Fig. 14: Interruption d'une partie du bus de données avec management annulaire

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).

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 quantité 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

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).

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)

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).

Table des figures

Fig. 1	Représentation schématique du système ENERCON SCADA avec composants 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

Index des termes techniques

ASI (UPS)	Alimentation sans interruption (ASI) : système technique assurant pratiquement sans délai l'alimentation des consommateurs de courant 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 différents 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 explications.
Informations	Les informations présentent dans le système ENERCON SCADA des consignes pour l'éolienne et ses composants. L'apparition d'une information 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'avertissement	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 données).
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.

11.8 Annexe 8 – Description du démontage d'une éolienne Enercon



Description technique

Eoliennes ENERCON
 Démontage

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 modifier ce document et son contenu dans le but de l'améliorer et de le mettre à jour.

Information concernant le document

Document	D0206034-0		
Note	Ce document est une traduction du document original portant le numéro D0189163-0 (ger).		
Date	Langue	DCC	Usine / Département
2012-04-10	fre	DA	WRD GmbH / Documentation Department
Index	Date	Modification	
0	2012-03-09	Rédaction du document	

Les informations sur les révisions se rapportent au document original. Le cas échéant, pas toutes les révisions n'ont été traduites.

Sommaire

1	Introduction	1
2	Démontage	2
2.1	Les composants de montage, nacelle et rotor	2
2.1.1	Câbles et ascenseur de service	2
2.1.2	Pièces de montage	3
2.1.3	Rotor, nacelle et générateur	3
2.2	Mât	5
2.2.1	Mât béton	5
2.2.1.1	Alternative 1: Dynamitage	8
2.2.1.2	Alternative 2: Excavateur de démolition	9
2.2.1.3	Alternative 3: Démontage par section avec coupe de scie (joint de section)	10
2.2.1.4	Alternative 4: Démontage par section sans coupe de scie (joint de section)	14
2.2.2	Mât acier	15
2.3	Fondation	17
2.3.1	Réutilisation des fondations	17
2.3.2	Démolition des fondations	17
3	Estimation des efforts et temps requis	18

1 Introduction

Les éoliennes ENERCON sont presque entièrement réutilisables.

ENERCON a comme principe de s'engager à ce que ces éoliennes soient réutilisées ! Les composants individuels sont amenés au recyclage s'il n'est pas envisagé de les utiliser tel quel.

Les pales de rotor se composent principalement de plastique renforcé de fibres de verre (GFK). Des couches de bois sont introduites à certains endroits spécifiques. Les pointes de pale (tip) (à l'extrémité de la pale de rotor) sont en aluminium. Pour tous les composites s'applique qu'une réutilisation complète des matériaux n'est pas possible. Les pales de rotor broyées peuvent être utilisées avec certaines restrictions, comme additif pendant la production de nouvelles pales ou comme agent de charge dans certaines matières synthétiques. Si cette utilisation de matériaux n'est pas possible ou si elle n'est pas souhaitée, il existe la possibilité d'une utilisation thermique dans des incinérateurs à des fins de production énergétique.

Le béton de la fondation et le cas échéant celui du mât, peut être utilisé comme adjuvant dans la construction routière. Les métaux contenus dans les composants électroniques peuvent être séparés dans des affineries et sont réutilisables par la suite.

Le démontage d'une éolienne doit être réalisé par du personnel formé disposant d'une expérience suffisante. Des erreurs lors du démontage peuvent être à l'origine de dangers de mort ou de dommages matériels considérables. C'est pourquoi que le démontage doit exclusivement être réalisé par des employés ENERCON ou par des personnes habilitées par ENERCON.

Le principe de déroulement pour le démontage d'une éolienne qui est décrit dans ce document est non exhaustif.

2 Démontage

Avant le démontage les points suivants doivent être vérifiés :

- Les équipements de protection individuelle (EPI) comme par exemple la protection contre les chutes, casque, chaussures de sécurité et les lunettes de protection sont mis à disposition aux personnes participantes au démontage et elles sont obligées à les utiliser.
- L'aire de démontage de la grue et les voies d'accès correspondent aux exigences par rapport aux dimensions, la structure et l'accessibilité (si nécessaire prévoir des travaux d'aménagement).
- Les connexions électriques et les chemins de câbles sont dans un état approprié pour le démontage.
- Il faut s'assurer à ce que les voies d'accès pour les transports exceptionnels sont adéquats.
- La grue de démontage est intacte et conçue pour les charges qui doivent être levées.
- Le groupe électrique, le service de gardiennage et les toilettes sont à disposition sur le chantier.
- Pour tout le temps nécessaire au démontage un container verrouillable doit être disponible sur la surface d'emplacement.
- Les plaques de distribution de charge sont disponibles en nombre suffisant (10 -20 unités).

2.1 Les composants de montage, nacelle et rotor

Les composants de la salle des machines sont partiellement réutilisables mais doivent être conservés à cet effet.

2.1.1 Câbles et ascenseur de service

Préparatifs Couper l'éolienne du réseau électrique et retirer le câble de la cellule HTA.

Alternative 1 (judicieux lors d'un démontage avec la réutilisation suivante)

- Dans le mât**
- Retirer les câbles dans le système de distribution de courant continu ainsi que dans la nacelle
 - Equiper les câbles avec un tuyau rétractable et des brides de fixation, fixer le tuyau rétractable sur le treuil
 - Enlever les brides de fixation des équerres de fixation des câbles concernés et descente des câbles (maximum 2 câbles par processus de descente)
 - Retirer les câbles du mât, réduire les câbles en morceaux et les entreposer dans les containers mis à disposition
 - Retirer les câbles entre les niveaux des containers et stocker dans le container de l'E-module
 - Démontage des systèmes de distribution de courant continu et retirer les câbles jusqu'au container inférieur

Alternative 2 (judicieux lors d'un démontage sans réutilisation)

- Démontage de l'éolienne sans avoir procédé à l'enlèvement des câbles et accessoires au préalable (les câbles et accessoires ne sont dans ce cas plus réutilisables). Vu que les équipements nécessaires pour le démontage des câbles et accessoires n'ont pas besoin d'être installés, cela nous apporte un gain de temps (>deux jours).

À l'intérieur de l'éolienne

- Démontage de câbles et d'accessoires au sol
- Défaire et retirer les câbles entre le moyeu du rotor et le générateur
- Défaire les câbles dans l'E-module (connexion entre les différents containers) et protection à l'intérieur des containers

Démontage de l'ascenseur de service

L'ascenseur de service doit rester aussi longtemps que possible dans l'éolienne pour être disponible pour les différents transports.

- Défaire la cabine de l'ascenseur de service et retirer les câbles du Blockstopp et de l'entraînement
- Défaire les 2 câbles de guidage de la traverse
- Descendre les 2 câbles de guidage

2.1.2 Pièces de montage

Si possible, les pièces de montage devraient toujours être démontées au niveau du sol.

- Montage du monte-charge sur les 2 câbles de l'ascenseur de service
- Démontage des pièces de montage : Gaines d'évacuation d'air, plateformes de repos fixes avec garde-corps, garde corps et poignée
- Retirer les grilles, tôles latérales et les consoles, système de communication, système de guidage du câble de l'ascenseur, étriers, supports pour tuyaux, cadres de l'ascenseur, équerres de fixation de câbles
- Fermer tous les récipients qui contiennent du liquide, réutiliser ou éliminer selon le type de liquide. Procéder de même manière pour les chiffons et linges.
- Emballer le container de l'E-module avec un film de protection (protection contre les projections)
- Entreposage temporaire de tous les matériaux dans le container verrouillable

2.1.3 Rotor, nacelle et générateur

Conditions requises : Le container d'équipements est livré, la grue de démontage est montée.

- Attacher les cordes de guidage avec la nacelle élévatrice aux pales de rotor
- Mise en place de treuils de câbles à environ 100 m du mât
- Attacher la section du spinner et le spinner

- Découper la section du spinner depuis la nacelle élévatrice occupée par deux personnes
- Enlever la section du spinner et le spinner
- Installer le dispositif de rotation du moyeu (dispositif de levage du moyeu) et soulever la charge du moyeu à l'aide de la grue de démontage
- Détacher le moyeu du générateur
- Enlever le moyeu du rotor avec les pales de rotor et entreposage sur le châssis de montage
- Retirer les pales de rotor et entreposage dans la zone de l'éolienne
- Emballage des pales de rotor et du moyeu du rotor
- Chargement et enlèvement du moyeu du rotor
- Montage de l'anneau de levage du générateur et réception de la charge du générateur à l'aide de la grue de démontage
- Attacher les câbles, le système de guidage avec les treuils
- Détacher le raccord vissé vers le support principal
- Enlever le générateur et le déposer sur le châssis de transport
- Emballer le générateur
- Enlèvement du générateur
- Attacher la salle des machines et réception de la charge de la salle des machines avec la grue de démontage
- Détacher la salle des machines
- Retirer la salle des machines



Figure 1: Retirer la salle des machines

- Désassembler la salle des machines pour le transport (durée env. 3 h)
- Enlever la salle des machines

2.2 Mât

La grue de démontage n'est pas nécessaire pour tout le temps de démontage. Cet appareil à grande échelle est indispensable pour le démontage et le chargement de grands composants. Il serait également possible d'entreposer tous les composants et de les charger à l'aide d'une petite grue qui dispose des exigences requises pour la charge utile.

2.2.1 Mât béton

Le mât en béton se compose d'une ou de plusieurs section en acier sur l'extrémité supérieure.

Le démontage de la/ des section(s) acier et des éléments préfabriqués en béton s'effectue de manière similaire au montage.

Sections de mât Le mât en béton se compose de sections individuelles, les sections les plus grandes sont encore une fois divisées jusqu'à 3 éléments.

Techniques de montage et de démontage La société ENERCON a conçue différentes techniques pour assembler ces pièces lors du montage :

- Raccordement vertical des demi- et tiers de section variante 1.
Le ferrailage des éléments de béton dépasse de telle manière du béton que le creux entre les cônes de référence peut être rempli verticalement avec le matériau similaire ou un matériau plus dur. Par la suite les éléments sont raccordés ensemble comme s'ils formaient un grand cône creux. Pour cette méthode de montage il faut utiliser une scie/ un excavateur de démolition, si les éléments ont besoin d'être séparés à nouveau.
- Raccordement vertical des demi- et tiers de section variante 2.
Pendant la coulée, des boîtes de vissage sont installées dans le béton du mât qui sont utilisées pour le vissage lors de l'étape de montage. Cette méthode plus récente utilisée lors du montage pour raccorder des demi- et tiers de section, diminue la charge de travail lors du montage et démontage.



Figure 2: Le joint vertical est formé à l'aide d'un jeu de vis

- Raccordement horizontal des sections variante 1.
Les joints horizontaux des sections préfabriquées en béton sont collés ou traités avec du mortier de remplissage (joint de section).
 - Entre autre les sections du mât sont mis sous tension mécanique dans le sens vertical à l'aide de câbles en acier (câbles de précontrainte). À cet effet des tuyaux (gainés) sont coulés à l'intérieur de l'armature béton dans lesquels les câbles de précontraintes sont installés. Vu que les tuyaux (gainés) avec les câbles de précontrainte sont à nouveau remplis de mortier de remplissage pendant le montage, l'utilisation d'une scie est également nécessaire lors du démontage du mât.



Figure 3: Câble de précontrainte se composant de torons de précontrainte

- Raccordement horizontal des sections variante 2.
Les joints horizontaux des sections préfabriquées en béton ENERCON, sont aplanies avec de la résine époxy et placées les unes au-dessus des autres sans être collées (joint de section).
 - Pour une méthode encore plus récente les câbles de précontrainte ne sont plus mis sous tension mécanique à l'intérieur des éléments du mât mais directement dans la cavité du mât. Avec cette méthode on veut s'assurer que les sections du mât puissent être montées et démontées aussi facilement possible, d'éviter qu'une scie soit nécessaire lors du démontage et le cas échéant, que les composants du mât puissent éventuellement être utilisés lors du montage d'une autre éolienne.



Figure 4: Le joint horizontal est aplani avec de la résine époxy et les sections sont placées les unes au-dessus des autres sans être collées

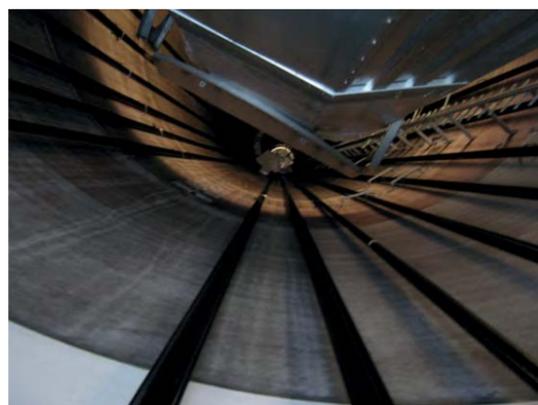


Figure 5: Câbles de précontrainte à l'intérieur du mât

La charge de travail supplémentaire nécessaire lors de l'installation des boîtes de vissage est compensée par des économies de temps lors du montage et démontage du mât, ce qui a comme résultat que les mâts fabriqués à ce jour sont seulement vissés. Si les câbles de précontrainte ne sont pas insérés à travers le béton, il n'est plus nécessaire de scier les joints verticaux des mâts en béton ENERCON actuellement fabriqués lors du démontage, mais on enlève la tension des câbles de précontrainte pour ensuite retirer les éléments en bon état. Les raccords vissés des joints verticaux sont desserrés au niveau du sol.

Après le démontage du mât avec cette méthode on est pas seulement limité au processus de recyclage. Le mât est prêt à être remonté après une expertise par des staticiens et un résultat positif le mât est prêt à être remonté.

2.2.1.1 Alternative 1: Dynamitage

Le dynamitage est rapide et avantageux mais pas très économe : Lors de cette méthode pas tous les éléments sont enlevés de l'intérieur du mât pour être réutilisés. Pour éviter un endommagement des E-modules installés dans le mât, il est nécessaire de les extraire du pied du mât avant le dynamitage. S'il est prévu que les E-modules ne soient plus réutilisés (éventuelle technologie défectueuse ou dépassée) on se désiste du démontage des E-modules.

- Les câbles de précontrainte sont séparés à l'aide d'un jet d'eau à haute pression.
- Les charges explosives sont placées dans des trous sur la circonférence à l'intérieur du mât. Pour ce faire on fait d'abord exploser une zone définie du pied du mât. Le mât doit ainsi tomber dans la direction prévue.



Figure 6: Dynamitage du mât en béton d'une éolienne

Avec cette méthode on a pas besoin d'installer des plateformes de travail ni de démonter les éléments en béton ou de retirer des sections, éventuellement nul besoin de retirer les E-modules.

Le dynamitage ne peut pas être effectué sur chaque site. Il faut au préalable effectuer des vérifications et des analyses du terrain de construction et des alentours.

2.2.1.2 Alternative 2: Excavateur de démolition

E-module Pour éviter un endommagement des E-modules installés dans le mât, il est nécessaire de les extraire du pied du mât avant le démontage à l'aide de l'excavateur de démolition. S'il est prévu que les E-modules ne soient plus réutilisés (éventuelle technologie défectueuse ou dépassée) on se désiste du démontage des E-modules.

Démontage des E-modules

- Retirer les E-modules par la porte dans le pied du mât
- Emballer et charger les E-modules

Démontage à l'aide de l'excavateur de démolition

À partir d'une hauteur de 30 m il est possible de procéder au démontage du mât à l'aide d'un excavateur de démolition.

Pour cette variante on a pas besoin de grue ni de plateforme de montage.

Le ferrailage et les câbles de précontrainte sont coupés à l'aide d'une pince hydraulique.

Cette technologie se laisse combiner avec le démontage par sections.

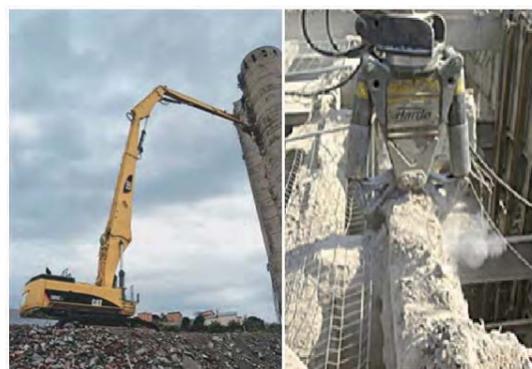


Figure 7: à gauche : Excavateur de démolition / à droite : Pince hydraulique



Figure 8: Excavateur de démolition en action sur une petite éolienne (pendant les travaux de démontage le mât est retenu par une grue)

2.2.1.3 Alternative 3: Démontage par section avec coupe de scie (joint de section)

Préparatifs

- Démontage des raccords des protections parafoudre et de l'échelle (seulement enlever la protection parafoudre sur les éléments qui doivent être démontés).
- Montage d'une plateforme de montage sur les filetages du côté intérieur et extérieur du mât.



Figure 9: Plateforme de montage extérieure

Démonter des sections en béton

- Attache de la scie murale ou la scie à câbles en dessous de la coupe
- Mise en place des coupes de scie selon le manuel d'opération de la scie concernée et protection des coupures avec des cales en acier ou en bois
- Au plus tard après que 2/3 de la surface à découper ont été sciés, il faut attacher la section sur les points d'attache disponibles et dégagés ainsi que sur la grue de démontage. En règle générale il faut retirer les sections en tant qu'anneau entier, une fois que les sections sont placées sur la surface de montage on peut commencer à séparer les raccords verticaux.



Figure 10: à gauche : Préparatifs pour la scie murale (paroi du mât), visser le rail de guidage sur la section / à droite : Commande hydraulique de la scie par une commande à distance

Dû à l'exactitude de coupe nécessaire, il faut utiliser la scie murale pour couper le joint entre la section en acier et la section supérieure en béton.



Figure 11: à gauche : Scie à câbles, avant le vissage sur la section / à droite : Commande hydraulique de la scie par une commande à distance

La scie à câbles travaille plus vite mais cependant pas si précisément. C'est pourquoi qu'elle n'est pas toujours utilisable.

Traitement du joint coupé

- Dégager les points d'attache disponibles sur la section
- Le cas échéant repasser le filetage endommagé sur la partie supérieure de la section de la section qui doit être démontée



Figure 12: Repassage de filetages endommagés

Retirer les sections de mât béton

- Enlever les sections attachées

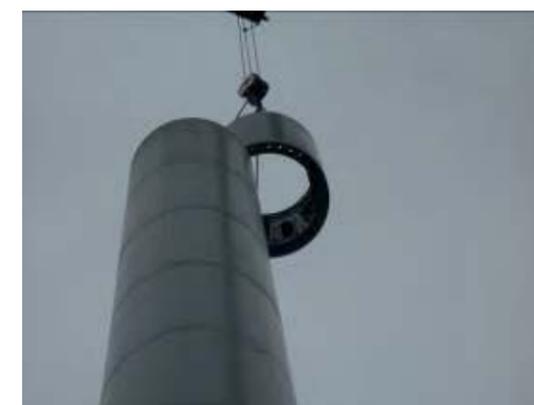


Figure 13: Utilisation de points d'attache présents pour enlever une section

- Détacher le raccord vertical du cône de référence, chargement des sections sur les véhicules pour enlèvement
 - Désassembler et éliminer comme matériel de recyclage
 - Réutilisation pour les sections équipées d'un joint de section aplani après contrôle statique



Figure 14: Béton et acier séparés



Figure 15: Enlèvement pour réutilisation

- E-module** Conditions requises : Le mât est démonté jusqu'au 3 sections inférieures.
- Retirer les E-modules par analogie au sens inverse du montage
 - Emballer et charger les E-modules

2.2.1.4 Alternative 4: Démontage par section sans coupe de scie (joint de section)

Développement chez ENERCON Déroulement du démontage comme pour l'Alternative 3. Il faut cependant laisser la coupe de côté. À cause du nouveau type de mât avec joint de section, le dynamitage n'est plus nécessaire et est remplacé par l'enlèvement par section sans utilisation d'une scie :

- Les câbles de précontrainte sont guidés à travers la cavité du cône du mât, puis détachés dans la chambre de précontrainte et ensuite sortie vers le haut et enroulés.
- Les sections sont descendues par analogie au montage.
- Les joints de vis verticaux sont détachés sur la surface de montage au niveau du sol.
- Les sections sont prêtes pour être enlevées. Une réutilisation est éventuellement possible.

2.2.2 Mât acier

- Descente des outils vers la plateforme de démontage
- Guider le dispositif de levage à l'aide de la grue de démontage sur la bride
- Attacher la section du mât (visser sur le dispositif de levage)
- Attacher le dispositif de levage de la grue avec les accessoires de levage de la grue
- Séparer l'échelle sur la plateforme (démonter les dispositifs de connexion de l'échelle; travailler de haut en bas et seulement aux endroits où la section attachée est démontée)
- Séparer les câbles de puissance au niveau de la plateforme (travailler de haut en bas et seulement aux endroits où la section attachée est démontée)
- Séparer les câbles d'alimentation au niveau de la plateforme (retirer la fiche du courant de force; travailler de haut en bas et seulement aux endroits où la section attachée est démontée)
- Réception du poids par la grue de démontage (env. 10 t)
- Desserrer les raccords vissés du mât (enlever tous les jeux de vis sauf 2)
- Réception du poids par la grue de démontage avec précaution jusqu'à ce qu'un espace se crée entre les sections
- Enlever les dernières vis et retirer la section du mât
- Déposer la section du mât à l'aide de la grue auxiliaire et des dispositifs de levage supplémentaires de la position verticale à la position horizontale (2 grues)



Figure 16: Déposer la section du mât

- Installation des pieds de transport sur le véhicule
- Charger la section du mât sur le châssis surbaissé du camion (2 grues)
- Descendre les vis du mât et les outils de la bride à l'aide de la grue de démontage

- Répéter ces étapes jusqu'à ce que toutes les sections soient démontées
- E-module (mât acier)**
- Séparer les raccords de câble de l'E-module et les ramener au niveau du module
 - Démontez l'E-module avec la grue de démontage (en partie vissé ou inséré)
 - Emballer et charger les E-modules
- Mât acier sans E-module**
- Enlever le câblage dans le sous-sol du mât
 - Rassembler le câblage pour le retirer ultérieurement avec la grue de démontage
 - Retirer les armoires de puissance des sections du mât (niveau 1+2 à l'aide de la grue de démontage; très onéreux pour un mât acier de 100 m)
 - Emballer (à l'épreuve de l'eau) et charger les armoires de puissance dans des containers
 - Retirer et emballer les transformateurs et les installations de distribution avec la grue de montage
 - Retirer les bassins de récupération d'huile, réutiliser et/ ou éliminer les résidus d'huile ainsi que les chiffons et les linges éventuellement utilisés

2.3 Fondation

2.3.1 Réutilisation des fondations

Conditions requises : Une éolienne identique doit être érigée sur le site.

- Sablage au jet de sable du restant de la section et de la rigole de fondation au moyen d'un processus de nettoyage à jet haute pression (le recouvrement de la fondation peut rester sur la fondation)
- Défaire la liaison (partie adhérente) entre les torons de précontrainte et la fondation jusqu'à une profondeur d'environ 70 cm à l'aide de carottages (100 mm)
- Installation d'un adaptateur sur la plaque d'ancrage dans le sous-sol de la fondation
- Fixation d'un câble de précontrainte d'une longueur d'env. 1 m sur l'adaptateur
- Retirer le câble de précontrainte prolongé de la fondation à l'aide d'un vérin de précontrainte
- Retirer et éliminer le câble de précontrainte
- Nettoyer la gaine restée dans la fondation au jet à l'aide du nettoyeur à jet haute pression (ce qui rend la paroi des zones alésées plus rugueuse et permet une adhérence parfaite avec le nouveau câble de précontrainte)

2.3.2 Démolition des fondations

Conditions requises : Fondation dégagée de l'extérieur.

Il existe les alternatives suivantes pour démonter la fondation à la hauteur requise :

- Ôter la fondation à l'aide d'un excavateur équipé d'un embout-burin
- Dynamiter la fondation



Figure 17: Armature en béton et en acier séparée

3 Estimation des efforts et temps requis

Le démontage d'une éolienne requiert environ 6 semaines. Les temps d'arrêt pour cause d'intempéries ne sont pas pris en considération.

1ère semaine

- Installation de la grue pour le démontage
- Démontage des éléments du mât
- Démontage rotor, nacelle, générateur et section en acier
- Démontage du mât acier environ 1,5 jours, indépendamment du type
- Démontage de toutes les sections du mât (sauf la section de base)
- Démontage de tous les éléments (armoires de puissance, transformateurs, installations de distribution etc.) ou E-module

2ème à 4ème semaine

- Installation de la plateforme de montage
- Eventuellement travaux de sciage du béton (env. 1,4 sections par jour)
- Démontage de la grue de démontage

5ème à 6ème semaine si la fondation est réutilisée

- Passer les fondations au jet
- Carottages
- Retirer les torons de précontrainte
- Passer les gaines au jet

5ème à 6ème semaine si la fondation est démontée

- Retirer le recouvrement de la fondation
- Ôter/ Dynamiter la fondation

11.9 Annexe 9 – Description du système de détection de givre Enercon



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

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 modifier 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>
D0157529-2	03.12.2010	fre	Traduction de D0154407-2 (ger)

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 les éoliennes munies de pales réglables et sa vraisemblance a été certifiée par le TÜV Nord (n° rapport TÜV 8104206760).

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 *Ice 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 *Ice 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

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.

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 pale 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 Sécurité

La fiabilité du fonctionnement du système de détection de givre/glacé 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/glacé 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.

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/glacé 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.

Description technique

Eoliennes ENERCON 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 modifier ce document et son contenu dans le but de l'améliorer et de le mettre à jour.

Information concernant le document

Document	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	Date	Modification
0	2011-12-14	Rédaction du document
0a	2011-12-21	Modifications rédactionnelles
0b	2012-01-11	Modifications rédactionnelles

Les informations sur les révisions se rapportent au document original. Le cas échéant, pas toutes les révisions n'ont été traduites.

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.

3 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).

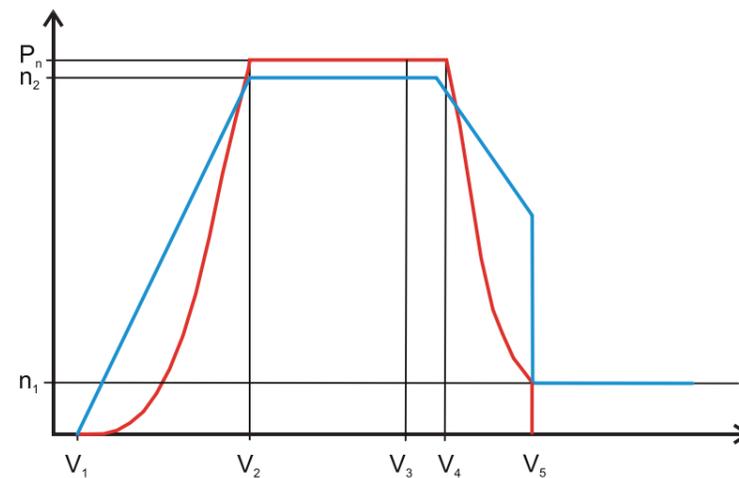


Figure 1: Vitesse du vent/vitesse de rotation/courbe de puissance lorsque le mode tempête est activé (exemple)

V_1	Vitesse du vent de démarrage	—	Vitesse de rotation n
V_2	Vitesse nominale du vent	—	Puissance active P
V_3	Vitesse de coupure du vent lorsque le mode tempête 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 nominale lors de la puissance nominale
V_5	Vitesse de coupure du vent lorsque le mode tempête est activé	P_n	Puissance nominale

Pour les éoliennes équipées d'un anémomètre à coupelles, le mode tempête est automatiquement désactivé lorsque la température 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.

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 dépendamment du site et des conditions de vent prédominantes, comme indiquent les prochains exemples :

Lors d'une vitesse de vent constante de 28 m/s sur 10 minutes, l'éolienne fournit 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

11.11 Annexe 11 – Description de la procédure de redémarrage de l'éolienne après
détection de givre Enercon

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 installé 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 dûment 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 redémarrage après détection de glace 2012-01-09.docx	Version Modèle: