

**Expéditeur :**

Yann GUILLYGOMARC'H

**BUREAU VERITAS**

Service Risques Industriels  
Immeuble « Le Guillaumet »  
60, Avenue du Général de Gaulle  
92046 Paris La-Défense

Tel : +33 (0)1 47 14 42 76

Mob : +33 (0)6 82 85 45 66

Mail : yann.guillygomarch@fr.bureauveritas.com

**Destinataires :**

Samuel MOISON

**ENERCON IPP FRANCE**

ZI n°2 Impasse du Pré Bernot  
60880 Le Meux

**ENERCON IPP France****AU-9 Etude de Dangers****Complétée****Parc Eolien « Les Garaches »****Rapport N°: 003665 / 6323914 RAP**

<b>Révision</b>	<b>Date</b>	<b>Auteur</b>	<b>Vérificateur</b>
Version 1	22/02/2018	M. ROUSSET	Y. GUILLYGOMARC'H

# SOMMAIRE

<b>1.</b>	<b>PREAMBULE (► I.)</b> .....	<b>14</b>
1.1.	Contexte de l'étude (► I.3.).....	14
1.2.	Objectifs de l'étude de dangers (► I.1.).....	15
1.3.	Contenu de l'étude de dangers (► I.2.).....	16
1.4.	Objet de la présente version.....	16
1.5.	Documents de référence (► I.2.).....	17
1.5.1.	Principaux textes réglementaires applicables .....	17
1.5.2.	Documents de référence relatifs au site et aux installations.....	18
1.5.3.	Principales références bibliographiques.....	19
1.6.	Présentation de la Méthodologie.....	20
1.6.1.	Analyse des potentiels de dangers .....	20
1.6.2.	Analyse préliminaire des risques .....	21
1.6.3.	Etude détaillée des risques.....	22
<b>2.</b>	<b>INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION (► II.)</b> ..	<b>26</b>
2.1.	Renseignements administratifs (► II.1.).....	26
2.2.	Localisation du parc (► II.2.).....	26
2.3.	Aire d'étude (► II.3.).....	27
<b>3.</b>	<b>DESCRIPTION DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION (► III.)</b> .....	<b>28</b>
3.1.	Environnement humain (► III.1.).....	28
3.2.	Environnement matériel (► III.3.).....	29
3.3.	Environnement naturel (► III.2.).....	33
<b>4.</b>	<b>DESCRIPTION DE L'INSTALLATION (► IV.)</b> .....	<b>37</b>
4.1.	Caractéristiques générales d'un parc éolien (► IV.1.).....	37
4.2.	Description d'une éolienne (► IV.1.1.).....	38
4.2.1.	Les fondations – Emprises au sol (► IV.1.1. & IV.2.1.).....	39
4.2.2.	Le mât (► IV.1.1. & IV.2.1.).....	40
4.2.3.	Rotor (► IV.1.1. & IV.2.1.).....	41
4.2.4.	Nacelle (► IV.1.1. & IV.2.1.).....	42
4.2.5.	Générateur (► IV.1.1. & IV.2.1.).....	44
4.2.6.	Unité d'alimentation au réseau (► IV.1.1. & IV.2.1.).....	45
4.2.7.	Caractéristiques techniques des éoliennes (► IV.2.1.).....	47
4.3.	Certification des éoliennes (► IV.2.2.).....	49

<b>4.4.</b>	<b>Fonctionnement de l'éolienne (► IV.2.1.)</b> .....	<b>49</b>
4.4.1.	Démarrage de l'éolienne (► IV.2.1.).....	49
4.4.2.	Fonctionnement normal (► IV.2.1.).....	49
4.4.3.	Fonctionnement en charge partielle (► IV.2.1.).....	50
4.4.4.	Fonctionnement de régulation (► IV.2.1.).....	50
4.4.5.	Mode de fonctionnement au ralenti (► IV.2.1.).....	50
4.4.6.	Arrêt de l'éolienne (► IV.2.1.).....	51
4.4.7.	Absence de vent (► IV.2.1.).....	53
4.4.8.	Tempête / Système « Storm Control » (► IV.2.1. & IV.2.2).....	54
4.4.9.	Dévrillage des câbles (► IV.2.1.).....	55
<b>4.5.</b>	<b>Opérations de maintenance de l'éolienne (► IV.2.3.)</b> .....	<b>56</b>
4.5.1.	Inspection visuelle (► IV.2.3.).....	58
4.5.2.	Graissage d'entretien (► IV.2.3.).....	58
4.5.3.	Maintenance électrique (► IV.2.3.).....	58
4.5.4.	Maintenance mécanique (► IV.2.3.).....	58
4.5.5.	Stockage et flux de produits dangereux (► IV.2.4.).....	59
<b>4.6.</b>	<b>Principaux systèmes de sécurité de l'éolienne (► IV.2.2.)</b> .....	<b>59</b>
4.6.1.	Système de freinage (► IV.2.2.).....	59
4.6.2.	Système de détection de survitesse (► IV.2.2.).....	59
4.6.3.	Protection foudre (► IV.2.2.).....	60
4.6.4.	Protection incendie (► IV.2.2.).....	60
4.6.5.	Système de détection de givre / glace (► IV.2.2.).....	61
4.6.6.	Surveillance des principaux paramètres (► IV.2.2.).....	62
4.6.7.	Accès aux éoliennes et aux postes de livraison.....	63
4.6.8.	Consignes de sécurité.....	63
<b>4.7.</b>	<b>Equipements et aménagements annexes (► IV.1.3.)</b> .....	<b>65</b>
4.7.1.	Chemins d'accès (► IV.1.1.).....	65
<b>5.</b>	<b>APPROBATION DU PROJET D'OUVRAGE (ART.24)</b> .....	<b>68</b>
<b>5.1.</b>	<b>presentation generale du projet</b> .....	<b>68</b>
5.1.1.	Réseau électrique externe.....	69
5.1.2.	Réseau de communication.....	70
<b>5.2.</b>	<b>Rappel des renseignements généraux liés à l'instruction</b> .....	<b>70</b>
<b>5.3.</b>	<b>Environnement de l'installation</b> .....	<b>70</b>
<b>5.4.</b>	<b>Description technique des ouvrages électriques et des postes de livraison (ouvrages privés)</b> .....	<b>71</b>
5.4.1.	Généralités.....	71
5.4.2.	Le câble / les câbles.....	72

5.5.	<b>Engagement du porteur de projet</b> .....	76
5.5.1.	Respect des règles de l'art .....	76
5.5.2.	Contrôle technique des travaux .....	77
5.5.3.	Information du gestionnaire du réseau public .....	77
5.5.4.	Information auprès de l'INERIS.....	77
5.6.	<b>Certificat de maîtrise foncière des propriétés</b> .....	78
<b>6.</b>	<b>IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES POTENTIELS DE DANGERS (► V.)</b> .....	<b>79</b>
6.1.	<b>Potentils de dangers liés aux produits (► V.1.)</b> .....	<b>79</b>
6.1.1.	Identification des potentiels de dangers liés aux produits (► IV.2.4. & V.1)..	80
6.1.2.	Phénomènes dangereux associés au caractère inflammable des huiles et des graisses .....	83
6.2.	<b>Potentils de dangers liés aux procédés</b> .....	<b>83</b>
6.2.1.	Potentils dangers liés aux déchets (►V.1.) .....	83
6.2.2.	Potentils de dangers liés au fonctionnement de l'installation (►V.2.) .....	83
6.3.	<b>Potentils de dangers liés aux pertes d'utilités</b> .....	<b>85</b>
6.4.	<b>Potentils de dangers liés aux évènements externes aux procédés (► VII.3.)</b> ...	<b>87</b>
6.4.1.	Potentils dangers liés aux activités humaines (►VII.3.1.).....	87
6.4.2.	Potentils dangers liés aux phénomènes naturels (►VII.3.2.).....	88
6.5.	<b>Potentils de dangers liés aux phases de travaux (►VII.3.1.)</b> .....	<b>93</b>
6.5.1.	Montage.....	93
6.5.2.	Démontage .....	93
6.5.3.	Synthèse des risques.....	94
<b>7.</b>	<b>REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS (► V.3.)</b> .....	<b>95</b>
7.1.	<b>Suppression des potentiels de dangers (► V.3.1.)</b> .....	<b>95</b>
7.2.	<b>Réduction des quantités de produits dangereux (►V.3.1.)</b> .....	<b>95</b>
7.3.	<b>Gestion des phases de travaux (►V.3.1.)</b> .....	<b>96</b>
7.3.1.	Communication – sensibilisation du public.....	96
7.3.2.	Gestion du chantier.....	96
7.4.	<b>utilisation des meilleures techniques disponibles (►V.3.2.)</b> .....	<b>96</b>
<b>8.</b>	<b>ANALYSE DE L'ACCIDENTOLOGIE (► VI.)</b> .....	<b>97</b>
8.1.	<b>Inventaire et description des accidents recensés en france (►VI.1.)</b> .....	<b>97</b>
8.2.	<b>Analyse des accidents recensés</b> .....	<b>110</b>
8.2.1.	Inventaire des accidents et incidents à l'international (►VI.2.) .....	111

8.2.2.	Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience (►VI.4.).....	113
<b>8.3.</b>	<b>Limites d'utilisation de l'accidentologie (►VI.5.).....</b>	<b>114</b>
<b>9.</b>	<b>ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES (►VII.) .....</b>	<b>116</b>
<b>9.1.</b>	<b>Méthodologie (►VII.2.).....</b>	<b>116</b>
9.1.1.	Définitions préliminaires.....	116
<b>9.2.</b>	<b>Démarche d'analyse (►VII.4.).....</b>	<b>117</b>
<b>9.3.</b>	<b>Tableaux d'analyse préliminaire des risques (►VII.4.).....</b>	<b>118</b>
<b>9.4.</b>	<b>Précisions sur les scénarios identifiés (►Annexe 3) .....</b>	<b>122</b>
9.4.1.	Scénarios relatifs aux risques liés à la glace (G01 et G02).....	122
9.4.2.	Scénarios relatifs aux risques d'incendie (I01 à I07).....	122
9.4.3.	Scénarios relatifs aux risques de fuites de liquides (F01 à F02) .....	123
9.4.4.	Scénarios relatifs aux risques de chute d'éléments (C01 à C03).....	124
9.4.5.	Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales (P01 à P06).....	124
9.4.6.	Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E01 à E10)..	125
<b>9.5.</b>	<b>Description des mesures de sécurité (►VII.6.) .....</b>	<b>126</b>
<b>9.6.</b>	<b>Conclusions de l'analyse préliminaire des risques (►VII.7.).....</b>	<b>142</b>
<b>10.</b>	<b>ETUDE DETAILLEE DES RISQUES (►VIII.) .....</b>	<b>144</b>
<b>10.1.</b>	<b>Méthodologie de l'Etude Détaillée des Risques (►VIII.1.).....</b>	<b>144</b>
10.1.1.	Objectifs de l'Analyse Détaillée des Risques et sélection des scénarios...	144
10.1.2.	Rappel des définitions (►VIII.1.) .....	144
<b>10.2.</b>	<b>Scénario d'effondrement d'éolienne (►VIII.2.1.).....</b>	<b>152</b>
10.2.1.	Description de l'événement redouté.....	152
10.2.2.	Probabilité.....	152
10.2.3.	Zone d'effet.....	153
10.2.4.	Zone d'impact .....	154
10.2.5.	Intensité .....	154
10.2.6.	Gravité .....	155
10.2.7.	Niveau de risque.....	156
<b>10.3.</b>	<b>Scénario de chute d'élément d'une éolienne (►VIII.2.3.) .....</b>	<b>157</b>
10.3.1.	Description de l'événement redouté.....	157
10.3.2.	Probabilité.....	157
10.3.3.	Zone d'effet.....	157
10.3.4.	Zone d'impact .....	158
10.3.5.	Intensité .....	158

10.3.6.	Gravité .....	159
10.3.7.	Niveau de risque .....	160
<b>10.4.</b>	<b>Scénario de chute de glace (► VIII.2.2.) .....</b>	<b>161</b>
10.4.1.	Description de l'événement redouté .....	161
10.4.2.	Probabilité .....	161
10.4.3.	Zone d'effet .....	162
10.4.4.	Zone d'impact .....	162
10.4.5.	Intensité .....	162
10.4.6.	Gravité .....	162
10.4.7.	Niveau de risque .....	164
<b>10.5.</b>	<b>Scénario de projection de glace (► VIII.2.5.) .....</b>	<b>165</b>
10.5.1.	Description de l'événement redouté .....	165
10.5.2.	Probabilité .....	165
10.5.3.	Zone d'effet .....	166
10.5.4.	Zone d'impact .....	166
10.5.5.	Intensité .....	166
10.5.6.	Gravité .....	167
10.5.7.	Niveau de risque .....	168
<b>10.6.</b>	<b>Scénario de projection de pale ou de fragments de pale (► VIII.2.4.) .....</b>	<b>169</b>
10.6.1.	Description de l'événement redouté .....	169
10.6.2.	Probabilité .....	169
10.6.3.	Zone d'effet .....	170
10.6.4.	Zone d'impact .....	171
10.6.5.	Intensité .....	171
10.6.6.	Gravité .....	172
10.6.7.	Niveau de risque .....	173
<b>10.7.</b>	<b>Synthèse de l'étude détaillée des risques (► VIII.3.) .....</b>	<b>174</b>
10.7.1.	Tableaux de synthèse des scénarios étudiés (► VIII.3.1.) .....	174
10.7.2.	Synthèse de l'acceptabilité des risques (► VIII.3.2.) .....	175
10.7.3.	Cartographie des risques (► VIII.3.3.) .....	176
<b>11.</b>	<b>ANALYSE DES EFFETS DOMINO POSSIBLES (► VII.5.) .....</b>	<b>177</b>
11.1.	Objectif – Notion d'effets domino .....	177
11.2.	Analyse des effets domino internes .....	178
11.3.	Analyse des effets domino externes .....	179
<b>12.</b>	<b>MOYENS DE SECOURS ET D'INTERVENTION .....</b>	<b>180</b>
12.1.	Moyens internes .....	180

12.2. Moyens externes .....	180
12.3. Traitement de l'alerte.....	180
12.4. Implantation des bases de maintenance .....	182
<b>13. CONCLUSION (► IX.) .....</b>	<b>183</b>
<b>ANNEXE 1. CARACTERISTIQUES DU SYSTEME SCADA.....</b>	<b>185</b>
<b>ANNEXE 2. CONDITIONS DE DEMONTAGE DES EOLIENNES.....</b>	<b>222</b>
<b>ANNEXE 3. SYSTEME "ICE DETECTION" (DETECTION GLACE) .....</b>	<b>245</b>
<b>ANNEXE 4. SYSTEME "STORM CONTROL" (MODE TEMPETE) .....</b>	<b>256</b>
<b>ANNEXE 5. DESCRIPTION TECHNIQUE DE L'EOLIENNE.....</b>	<b>265</b>

## SYMBOLIQUE

Afin d'en faciliter la lecture, cette étude présente trois principales codifications visuelles :

En fin de titre, en vert (► **X.X.**), les renvois aux paragraphes relatifs à ces aspects dans le guide publié par l'association FEE (réf. [9])

① *En bleu, précédés de la lettre « i », les encarts méthodologiques ou informations complémentaires, repris du guide publié par l'association FEE.*

*En encadré rouge, les informations méthodologiques importantes, ou des points sur la progression de la démarche, hors recommandations de l'association FEE.*

Cette étude est par ailleurs illustrée en plusieurs passages. La source des images utilisées n'est généralement pas précisée lorsqu'il s'agit d'éléments transmis par ENERCON. Dans le cas contraire, la source est directement citée en légende.

## GLOSSAIRE

Les définitions ci-dessous sont reprises de la circulaire du 10 mai 2010 et 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.

Ces définitions sont couramment utilisées dans le domaine de l'évaluation des risques en France.

**Acceptabilité** : Caractérise, au vu de la réglementation en vigueur, le niveau acceptable ou non des conséquences des phénomènes dangereux associés à un scénario identifié, au vu de leur probabilité et de leur gravité.

**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.

**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.

**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. Cette distinction traduit un temps de réaction entre l'évènement redouté et ses effets.

**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.

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

**Événement redouté central** : Événement 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 vulnérabilité donnés 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, projection). 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.

*Dans le cadre de cette étude, l'intensité est un paramètre traduisant l'exposition des personnes aux effets d'un phénomène dangereux et permettant l'évaluation de la gravité du scénario associé à ces effets.*

**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.

**Parc éolien** : Ensemble des aérogénérateurs de ENRECON et installations annexes (poste de livraison, réseau câblé, ...) implantés sur le site et étudié dans le cadre de la présente étude de dangers.

**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), associées 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.

**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.

**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.

①  *Selon la réglementation, une installation soumise à la rubrique 2980 des installations classées correspond à un parc éolien exploité par un seul et même exploitant. Dans un souci de simplification, nous emploierons indifféremment les termes « parc éolien » ou « installation » dans la présente étude.*

Les principaux signes et acronymes utilisés dans ce document sont explicités ci-dessous :

<b>ADR</b>	Analyse Détaillée des Risques
<b>AMDEC</b>	Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leur Criticité
<b>EI</b>	Evénement Initiateur
<b>EPR</b>	Evaluation Préliminaire des Risques
<b>ERC</b>	Evénement Redouté Central
<b>ERP</b>	Etablissement Recevant du Public
<b>HAZOP</b>	HAZard and OPerability – Méthode d’analyse des risques
<b>ICPE</b>	Installation Classée pour la Protection de l’Environnement
<b>INERIS</b>	Institut National de l’Environnement industriel et des risques
<b>FEE</b>	France Energie Eolienne
<b>MEDAD</b>	Ministère de l’Ecologie, du Développement et de l’Aménagement Durables
<b>MEDD</b>	Ministère de l’Ecologie et du Développement Durable
<b>MEEDDAT</b>	Ministère de l’Ecologie, de l’Energie, du Développement Durable et de l’Aménagement du Territoire
<b>MMR</b>	Mesure de Maitrise des Risques
<b>PLU</b>	Plan Local d’Urbanisme
<b>POI</b>	Plan d’Opération Interne
<b>SCADA</b>	Supervisory Control And Data Acquisition (télésurveillance et acquisition de données)
<b>SER</b>	Syndicat des Energies Renouvelables
<b>ZDG</b>	Zone des Dangers Graves
<b>ZDS</b>	Zone des Dangers Significatifs
<b>ZDTG</b>	Zone des Dangers Très Graves
<b>ZNIEFF</b>	Zone Naturelle d’Intérêt Ecologique, Faunistique et Floristique

## 1. PREAMBULE (►I.)

① *Cette partie introductive de l'étude de dangers explique les principes généraux de l'étude de dangers. Elle intègre également les recommandations de l'inspection des installations classées et a pour objectif de préciser au public le contexte dans lequel elle est réalisée.*

### 1.1. CONTEXTE DE L'ETUDE (►I.3.)

Dans le cadre de l'évolution de la réglementation des Installations Classées pour la Protection de l'Environnement (ICPE) et de son application aux éoliennes, ENERCON IPP souhaite réaliser une étude de dangers pour un projet de parc éolien « les Garaches » localisé sur la commune d'Assainvillers.

L'étude est notamment réalisée sur la base d'une description de l'environnement typique du site, défini au §3 de ce document, selon les informations communiquées par ENERCON.

Le projet de parc éolien d'Assainvillers prévoit la mise en place de 5 éoliennes de type ENERCON E115 d'une puissance nominale unitaire de 3,2 MW, soit 16 MW au total sur la commune d'Assainvillers, dans la Somme.

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 d'Assainvillers 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.

Cette étude porte sur les installations durant leur phase d'exploitation normale (excluant les phases de construction, transport, maintenance lourde...).

Elle s'inscrit dans le cadre de la constitution du Dossier de Demande d'Autorisation d'Exploiter (DDAE) et s'articule donc avec une Etude d'Impact, dont le contenu décrit l'intégration et l'influence de l'installation sur son environnement, tout au long de sa vie. L'étude d'impact intègre les interactions entre l'installation, pour chacune de ses phases de

vie, et l'environnement, tandis que l'Etude De Dangers se focalise sur une analyse en profondeur des risques générés par l'installation au cours de sa phase de fonctionnement.

## **1.2. OBJECTIFS DE L'ETUDE DE DANGERS (► I.1.)**

L'étude de dangers expose les dangers que peuvent présenter les installations en décrivant les principaux accidents susceptibles de se produire, leurs causes (d'origine interne ou externe), leur nature et leurs conséquences. Elle justifie les mesures propres à réduire la probabilité et les effets de ces accidents. Elle précise la consistance et les moyens de secours internes ou externes mis en œuvre par ENERCON sur le parc « les Garaches » en vue de combattre les effets d'un éventuel sinistre.

Cette étude doit permettre une approche rationnelle et objective des risques encourus par les personnes ou l'environnement. Elle a, selon le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable, des Transports et du Logement, trois objectifs principaux :

- améliorer la réflexion sur la sécurité à l'intérieur de l'entreprise (en l'occurrence, sur le site du parc éolien) 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.

### **1.3. CONTENU DE L'ETUDE DE DANGERS (►1.2.)**

La présente étude de dangers a été réalisée en respectant les prescriptions réglementaires en vigueur (R. 512-9 du Code de l'environnement et circulaire du 10 mai 2010 ; cf. textes de référence au §1.5.1). Elle comprend :

- le rappel de la description des installations concernées,
- le rappel de la description de l'environnement et du voisinage en tant qu'intérêts à protéger et agresseur potentiel,
- l'identification et la caractérisation des potentiels de danger,
- un examen de la réduction des potentiels de dangers (quantités de substances dangereuses limitées au juste besoin, utilisation des meilleures technologies disponibles, ...),
- l'analyse de l'accidentologie (historique des accidents déjà survenus sur des installations similaires) et des enseignements tirés de ce retour d'expérience,
- l'analyse des risques :
  - Evaluation Préliminaire des Risques (EPR) avec cotation de la probabilité, gravité, cinétique et identification des scénarios d'accidents majeurs,
  - Analyse Détaillée des Risques (ADR) majeurs : quantification (évaluation des conséquences) des scénarios majeurs et hiérarchisation en tenant compte de l'efficacité des mesures de prévention et de protection,
- l'analyse des effets domino possibles,
- l'inventaire des moyens de secours et d'intervention disponibles en cas d'accident ainsi que la présentation de l'organisation en matière de sécurité ;
- une cartographie des zones de risques significatifs ;
- un résumé non technique explicitant la probabilité, la cinétique et les zones d'effets des accidents potentiels.

Cette étude de dangers s'appuie, en particulier, sur :

- l'examen des fiches de données de sécurité des produits,
- l'examen des installations avec la consultation des schémas de fonctionnement, et des notices techniques des équipements,
- l'analyse des retours d'expérience des accidents déjà survenus, leurs causes et conséquences et les enseignements qui en ont été tirés,
- les informations communiquées par ENERCON,

### **1.4. OBJET DE LA PRESENTE VERSION**

Ce document constitue la version initiale de l'Etude de Dangers (EDD) du parc éolien « Les Garaches ». Elle est basée sur l'EDD générique établie spécifiquement pour ENERCON par BUREAU VERITAS (document réf. 003665/101027-0114) au vu de la méthodologie proposée par l'association FEE (France Energie Eolienne) dans un guide technique (cf. réf.[9]) récemment publié.

## **1.5. DOCUMENTS DE REFERENCE (►1.2.)**

### **1.5.1. Principaux textes réglementaires applicables**

La présente étude de dangers répond aux prescriptions des textes suivants :

- Titre V du Livre V du Code de l'Environnement (Installations Classées pour la Protection de l'Environnement) : Partie Législative et Partie Réglementaire,
- Loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement
- Loi n° 2003-699 du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques technologiques et naturels et à la réparation des dommages,
- Loi n° 2004-811 du 13 août 2004 de modernisation de la sécurité civile,
- Décret n° 2005-1130 du 7 septembre 2005 relatif aux plans de prévention des risques technologiques,
- Décret n° 2005-1158 du 13 septembre 2005 relatif aux plans particuliers d'intervention concernant certains ouvrages ou installations fixes et pris en application de l'article 15 de la loi n° 2004-811 du 13 août 2004 relative à la modernisation de la sécurité civile,
- Arrêté ministériel 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 soumises à autorisation,
- 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,
- Décret n° 2011-984 du 23/08/11 modifiant la nomenclature des installations classées.

L'étude s'appuie également sur les textes non réglementaires suivants :

- Circulaire du 10 mai 2000 relative à la prévention des accidents majeurs impliquant des substances ou des préparations dangereuses présentes dans certaines catégories d'installations classées pour la protection de l'environnement soumises à autorisation
- Circulaire du 10 mai 2010 récapitulant les règles méthodologiques applicables aux études de dangers, à l'appréciation de la démarche de réduction du risque à la source et aux plans de prévention des risques technologiques (PPRT) dans les installations classées en application de la loi du 30 juillet 2003

### 1.5.2. Documents de référence relatifs au site et aux installations

Les principaux documents de référence relatifs au site et aux installations sont les suivants :

- [1] Etude d'impact
- [2] Documentation technique Enercon :
  - « Description technique E-115 E2 / 3,2 MW »
- [3] Documentation technique système « Storm Control » ; ENERCON Storm Control eng-fre.pdf, version 2.0 (mars 2003)
- [4] Fiches de données de sécurité :
  - ExxonMobil, « MOBILGEAR OGL 461 » (graisse lubrifiante) : Mobilgear OGL 461 engl..pdf (1 APRIL 2003)
  - ExxonMobil, « MOBILGEAR SHC 460 » : Mobilgear SHC 460 engl..pdf (11/11/2003)
  - ExxonMobil, « MOBILITH SHC 460 » : Mobilith SHC460 engl..pdf (21/08/2001)
  - ExxonMobil, « MOBILTAC 81 » : Mobiltac 81 engl..pdf (06/12/2001)
  - FUCHS EUROPE, « RENOLIN PG 220 » (lubrifiant) : RENOLIN PG 220 engl..pdf (16.01.2006)
  - FUCHS EUROPE, « RENOLIN UNISYN CLP 220 » (lubrifiant) : RENOLIN UNISYN CLP 220 engl..pdf (28.01.2004)
  - KLÜBER LUBRICATION, « Klüberplex BEM 41-141 » (Graisse) : sd020320\_Klueberplex\_BEM\_41\_141\_GB.pdf (15.10.2008)
  - Shell, « Diala D getr » (huile isolante) : Shell Diala D engl..pdf

### 1.5.3. Principales références bibliographiques

Les principaux ouvrages techniques (guides, normes...) qui ont été consultés pour l'élaboration de la présente étude de dangers sont listés ci-dessous :

- [5] *Handboek Risicozonering Windturbines, ECN, 2005*
- [6] *Guidelines on the Environmental Risk of Wind turbines in the Netherlands , 2004*
- [7] *Studie windturbines en veiligheid, SGS*
- [8] *Note technique accidentologie, SER – FEE, Groupe de Travail Etudes de Dangers, Avril 2011*
- [9] *Guide FEE « Trame type – Réalisation de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens », version intermédiaire (Mai 2012)*
- [10] *Wind energy production in cold climate (WECO), Finnish Meteorological Institute, JOR3-CT95-0014, Décembre 1998*
- [11] *Etude Veenker, Synthèse de l'expertise, Eoliennes à proximité d'objets protégés (2004)*
- [12] *Guide technique INERIS « Application de la classification des substances et préparations dangereuses à la nomenclature des installations classées » (Octobre 2010)*

## 1.6. PRESENTATION DE LA METHODOLOGIE

La démarche employée dans la présente étude de dangers repose sur une analyse par étapes des dangers liés à l'installation.

Après l'appréhension du fonctionnement des équipements, ainsi que du contexte de son implantation, la démarche-type d'analyse des risques effectuée par Bureau Veritas dans le cadre d'une Etude De Dangers (EDD) repose sur 3 principales étapes, décrites schématiquement ci-dessous (cf. Figure 1).

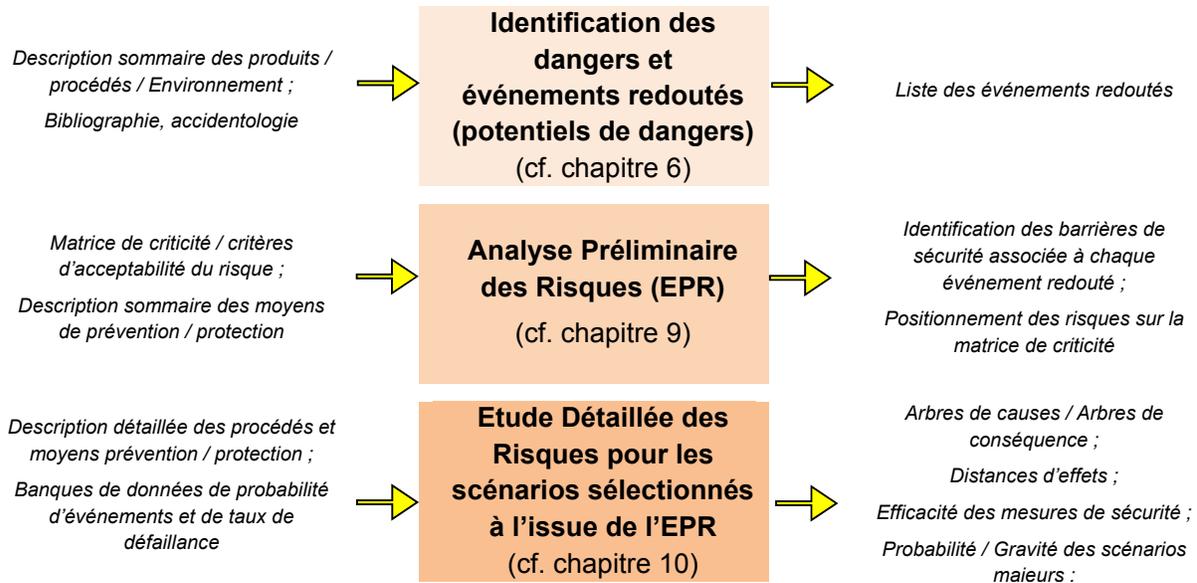


Figure 1 : Démarche d'étude type

Les paragraphes ci-après décrivent de manière succincte l'approche retenue pour chaque étape de cette analyse.

### 1.6.1. Analyse des potentiels de dangers

Les objectifs de l'identification des dangers ou potentiels de dangers (cf. chapitre 6) sont :

- recenser et caractériser les dangers d'une installation,
- localiser les éléments porteurs de dangers sur un schéma d'implantation de l'installation,
- identifier les Evénements Redoutés potentiels (ER), étudiés lors de l'Analyse Préliminaire des Risques (APR).

La méthodologie utilisée pour identifier et caractériser les potentiels de dangers repose sur une analyse aussi exhaustive que possible des 4 catégories d'éléments porteurs de dangers, à savoir :

- les produits pouvant être présents à l'intérieur de l'installation,
- les procédés,
- les utilités en cas de perte,

- les évènements externes aux procédés, d'origine naturelle et non naturelle.

Cette analyse est complétée par l'étude de la réduction de ces potentiels de dangers (cf. chapitre 7). Ceci vise à analyser les possibilités de :

- suppression des procédés et des produits dangereux, c'est-à-dire des éléments porteurs de dangers,
- ou bien de remplacement de ceux-ci par des procédés et des produits présentant un danger moindre,
- ou encore de réduction des quantités de produits dangereux mises en œuvre sur le site.

*A l'issue de cette étape, les dangers liés aux installations sont identifiés. Ils seront déclinés en scénarios d'accident lors de l'analyse préliminaire des risques, où seront également déterminés leurs causes et effets possibles.*

### **1.6.2. Analyse préliminaire des risques**

L'analyse préliminaire des risques (cf. chapitre 9) 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).

L'analyse des potentiels de dangers précédemment effectuée a permis de mettre en avant les dangers étudiés à cette étape. Ils sont passés en revue de manière systématique, de manière à identifier des évènements redoutés et d'en établir des scénarios d'accident par un développement des causes possibles à leurs conséquences envisageables.

Cette analyse permet de décliner dans un tableau de synthèse les scénarios d'accident identifiés et de les associer à des mesures de sécurité appropriées. Ces fonctions de sécurité sont également détaillées de manière à les qualifier, notamment en termes de :

- Dispositifs de sécurité :
- Indépendance vis-à-vis du procédé ou du scénario d'accident :
- Temps de réponse :
- Efficacité :

*A l'issue de cette étape, les scénarios d'accident sont identifiés, ainsi que les évènements redoutés et mesures de sécurité prévus. Les scénarios susceptibles d'impacter des personnes seront étudiés en détail lors de l'étude détaillée des risques, dont le but est de quantifier les scénarios retenus en termes d'acceptabilité du risque.*

### 1.6.3. Etude détaillée des risques

L'étude détaillée des risques (cf. chapitre 10) vise à caractériser les scénarios retenus à l'issue de l'analyse préliminaire des risques en termes de :

- Cinétique : vitesse d'enchaînement des événements constituant une séquence accidentelle ;
- Probabilité : probabilité d'occurrence de l'événement redouté central (défaillance) ;
- Intensité : traduit le degré d'exposition d'une cible, c'est-à-dire le rapport entre la surface d'effet et la surface potentiellement atteignable par les effets ;
- Gravité : traduit le nombre de personnes potentiellement atteintes par un scénario d'accident.

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. Elle conclue en positionnant les risques sur une matrice de criticité (cf. §1.6.3.5) adaptée de la circulaire du 29 septembre 2005 (et reprise dans la circulaire du 10 mai 2010).

Sa lecture se fait en termes de probabilité et de gravité d'occurrence d'un phénomène dangereux. L'évaluation de la gravité se fait notamment par l'évaluation de l'intensité des effets ainsi que le comptage des personnes potentiellement exposées.

Les paragraphes suivants synthétisent les explications données au chapitre 10 (Etude détaillée des risques) afin de mieux appréhender ces grandeurs.

#### 1.6.3.1. Cinétique (►VIII.1.1.)

*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, 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.

### 1.6.3.2. Probabilité (VIII.1.4.)

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

La probabilité d'accident ( $P_{\text{accident}}$ ) est le produit de plusieurs probabilités :

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

$P_{\text{ERC}}$  = 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) ;

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

$P_{\text{atteinte}}$  = 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 à la probabilité de l'événement redouté central ( $P_{\text{ERC}}$ ) a été retenue.

### 1.6.3.3. Intensité (VIII.1.2.)

*L'intensité traduit un degré d'exposition, qui est en fait le rapport entre la surface atteinte par les effets d'un phénomène dangereux (ex : la surface d'impact dans le cas d'une projection) et la surface potentiellement exposée à ces mêmes effets (ex : la surface comprise dans la distance maximale de projection).*

Les seuils retenus sont les suivants :

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

### 1.6.3.4. Gravité (VIII.1.3.)

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

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

Ainsi, pour chaque phénomène dangereux identifié, l'ensemble des personnes présentes dans la zone d'effet correspondante sera comptabilisé. Dans chaque zone couverte par les effets d'un phénomène dangereux issu de l'analyse de risque, les ensembles homogènes (ERP, zones habitées, zones industrielles, commerces, voies de circulation, terrains non

bâti...) seront identifiés et la surface (pour les terrains non bâtis, les zones d'habitat) et/ou la longueur (pour les voies de circulation) de cette zone d'effets sera déterminée.

La détermination du nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes) présentes dans chacune des zones d'effet est effectuée à l'aide de la méthode présentée au chapitre 10 (Etude détaillée des risques).

### 1.6.3.5. Niveau de risque

Gravité <i>(traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)</i>	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
 Désastreux 	Yellow	Red	Red	Red	Red
Catastrophique	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
Important	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
Sérieux	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
 Modéré	Green	Green	Green	Green	Yellow

Tableau 1 : Matrice de criticité adaptée de la circulaire du 10 mai 2010

Cette grille permet de placer les scénarios quantifiés en termes de probabilité et de gravité lors de l'Analyse Détaillée des Risques (ADR) et de traduire leur acceptabilité selon trois niveaux de risques :

- **Risque très faible (vert)** : niveau auquel les risques identifiés sont acceptables au regard de leur rapport intensité/probabilité ;
- **Risque faible (jaune)** : niveau auquel les risques identifiés sont acceptables par la mise en œuvre de mesures de sécurité ;
- **Risque important (rouge)** : niveau auquel les risques identifiés sont non acceptables.

*A l'issue de cette étape, les principaux risques ont été quantifiés en termes de probabilité et de gravité et évalués en termes d'acceptabilité (du point de vue réglementaire) au vu des mesures de sécurité mises en place.*

## 2. INFORMATIONS GENERALES CONCERNANT L'INSTALLATION (► II.)

### 2.1. RENSEIGNEMENTS ADMINISTRATIFS (► II.1.)

Le projet de parc éolien « les Garaches » est porté par ENERCON IPP SARL :

ZI n°2 Impasse du Pré Bernot

60 880 LE MEUX

Tel : (+33) 03 44 83 67 20 Fax : (+33) 03 44 83 67 29



L'exploitant du parc est la Société d'Exploitation du Parc Eolien Les garaches (S.E.P.E. Les Garaches), société à responsabilité limitée à associé unique, domiciliée également ZI n°2 Impasse du Pré Bernot, 60 880 LE MEUX.

### 2.2. LOCALISATION DU PARC (► II.2.)

Le projet de parc éolien « les Garaches » prévoit la mise en place de 5 éoliennes sur la commune d'Assainvillers dans le département de la Somme et la région Picardie.

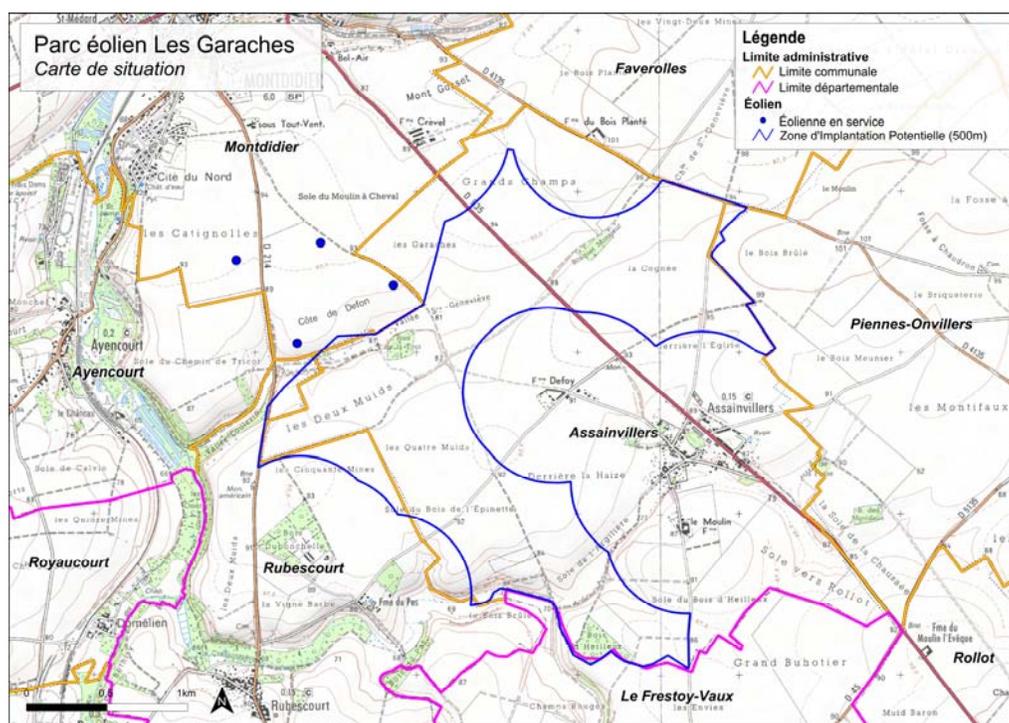


Figure 2 : Carte de situation du parc

BUREAU VERITAS – Service Risques Industriels

Ce parc éolien est composé de 2 postes de livraison. Chaque aérogénérateur a une hauteur de moyeu de 135,48 mètres et un diamètre de rotor de 115,7 mètres, soit une hauteur totale en bout de pale de 193,33 mètres.

### 2.3. AIRE D'ETUDE (► II.3.)

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 des postes de livraison, qui seront néanmoins représentés sur la carte. Les expertises réalisées dans le cadre de la présente étude ont en effet montré l'absence d'effet à l'extérieur des postes de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter.

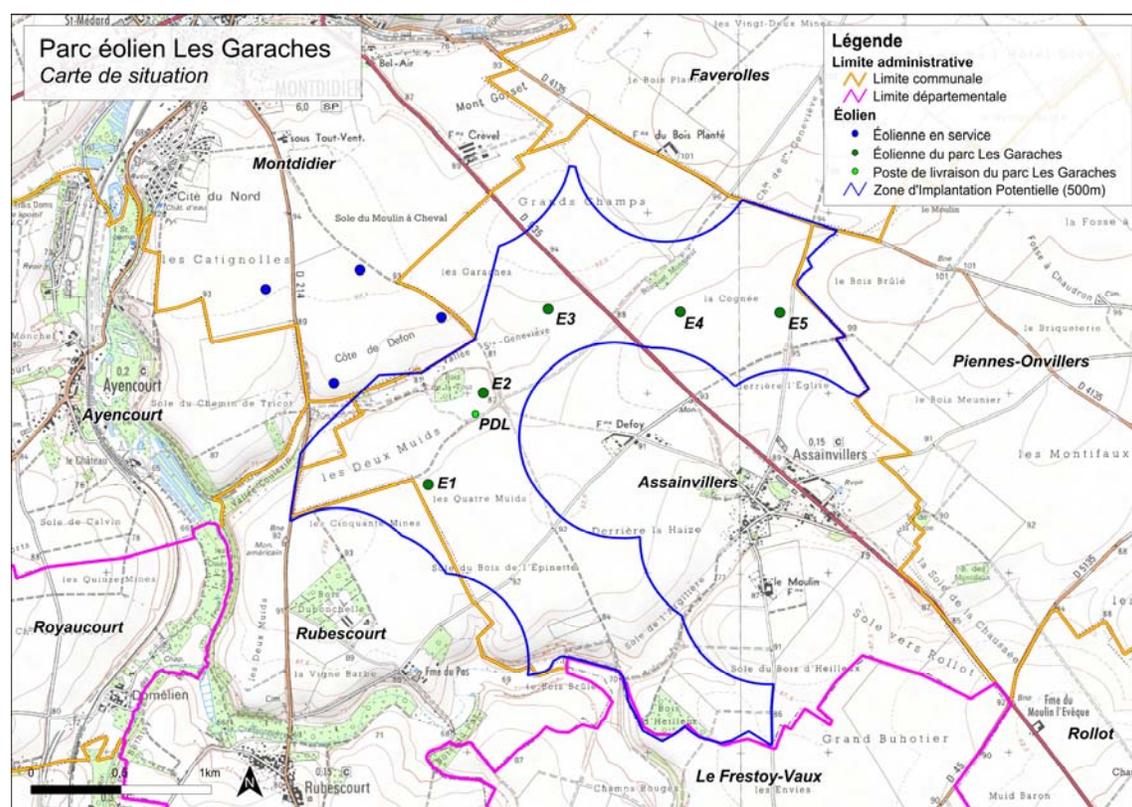


Figure 3 : Carte de situation de l'installation

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

(► III.)

*L'objet de ce chapitre est de décrire l'environnement autour des éoliennes afin d'identifier les intérêts à protéger ainsi que les agressions potentielles du milieu sur les installations. Ces informations sont en majeure partie issues des études mentionnées en référence [1].*

*Les sections décrites reprennent les points proposés par le guide de l'association FEE, comme indiqué dans la colonne « paragraphe référence FEE ».*

*Afin de compléter la description de l'environnement du site, il a été jugé pertinent de mentionner différents enjeux non considérés dans l'étude de l'association FEE (ex : section « monuments historiques »).*

#### 3.1. ENVIRONNEMENT HUMAIN (► III.1.)

Intérêts		Description à réaliser dans l'étude de dangers	Intérêts à protéger	Agresseurs potentiels	Paragraphe référence FEE
Points de concentration de personnes	Population – Zones urbanisées	La population de la commune d'Assainvillers est estimée en 2011 à 133 habitants (Insee, Recensement de la Population 2011). La densité de population estimée en 2011 à l'échelle de la commune d'Assainvillers s'établit à 18,2 hab/km <sup>2</sup> . Elle est inférieure à la densité de l'intercommunalité (58,4 hab./km <sup>2</sup> ), elle-même inférieure à celle du département (92,6 hab./km <sup>2</sup> ). La distance à la première habitation du hameau de la Ferme Defoy est de <b>715 m</b> (par rapport à E4). La distance à la première maison du bourg à <b>810 m d'E5</b> .	X		► III.1.1.
	Etablissement Recevant du Public (ERP)	Aucun ERP n'est recensé sur la commune d'Assainvillers. L'ERP le plus proche du projet est un magasin (Gedimat) et est situé à <b>1,75 km</b> de l'éolienne E3 sur la commune de Montdidier.	X		► III.1.2.

### 3.2. ENVIRONNEMENT MATERIEL (► III.3.)

	Intérêts	Description à réaliser dans l'étude de dangers	Intérêts à protéger	Agressions potentielles	Paragraphe référence FEE
Voies de communication et de transport	Infrastructures routières	<p>L'autoroute A1, aussi appelée « L'autoroute du Nord », de direction Nord/Sud, et qui relie Lille à Paris, passe à 10 km de la ZIP.</p> <p>Plusieurs routes départementales passent à proximité de la ZIP :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La RD935, plus locale, traverse l'aire d'étude rapprochée (<b>208 m de l'éolienne E3</b>). Elle supporte un trafic routier de 2830 véhicules par jour, dont environ 10% de poids-lourds ;</li> <li>- Les RD 1017 et RD 930 se situent au plus près à 1,2 km au nord de la ZIP (<b>1,8 km de l'éolienne E5</b>) ;</li> <li>- La RD 329 est localisée à 1,2 km de la ZIP (<b>2 km de l'éolienne E1</b>) ;</li> </ul> <p>La commune d'Assainvillers n'est pas concernée par le risque de transport de matières dangereuses, d'après le Dossier Départemental des Risques Majeurs de la Somme.</p>	x	x	► III.3.1.
	Infrastructures ferroviaires	<p>La gare la plus proche de la zone d'implantation du projet se situe à 2 km au nord-Ouest de la zone d'implantation. Il s'agit de la gare de Montdidier, localisée sur la ligne de TER reliant Amiens à Compiègne (<b>2,4 km de l'éolienne E3</b>).</p> <p>La ligne LGV qui relie Paris au Nord de la France (Lille principalement), Londres, et Bruxelles, passe à 9,8 km à l'Est de la zone d'implantation du projet (<b>10,4 km de l'éolienne E5</b>).</p>	x	x	► III.3.1.
	Transports aériens	<p>L'aéroport le plus proche est celui de Beauvais-Tillé, à environ 50 km au Sud-Ouest de la ZIP. L'aéroport international le plus proche est celui de Roissy-Charles-de-Gaulle, localisé à 81 km au Sud-Est de la ZIP.</p> <p>Plus localement, l'aérodrome de Montdidier, ouvert à la circulation aérienne publique, est situé</p>	x	x	► III.3.1.

Intérêts		Description à réaliser dans l'étude de dangers	Intérêts à protéger	Agresseurs potentiels	Paragraphe référence FEE
		à 4,3 km au Nord de la ZIP). Il est utilisé pour la pratique d'activités de loisirs et de tourisme. Le projet se situe dans la zone entre 10 et 15 km du VOR de Maignelay.			
	Transports fluviaux	Le canal latéral à l'Oise est situé à 25 km au Sud-Est de la zone d'implantation du projet.	X	X	► III.3.1.
Industrie	Installations industrielles	Le département de la Somme compte 5 établissements concernés par la directive « SEVESO Seuil Haut AS ». Les plus proches sont localisés dans le département de l'Oise à 15 km au Sud-Est de la zone d'implantation du projet à Ressons-sur-Matz. Il s'agit des sociétés FM Logistic et TOTAL gaz localisées à proximité de l'autoroute A1. Le département compte également 10 installations classées « Seveso Seuil Bas (SB) ». L'établissement le plus proche est celui de PROGIVEN (fabrication de produits chimiques) sur le territoire de Montdidier, localisé à 1,5 km au Nord du projet. La commune du projet, Assainvillers n'est soumise à aucun risque industriel. Le plus proche établissement ICPE, une coopérative agricole, est situé à 550m au sud de la ZIP, mais son activité est terminée.	X	X	► III.1.3.
	Réseaux publics et privés	Réseaux Electriques	Plusieurs postes sources sont situés à moins de 20km du projet et pourraient permettre le raccordement du parc projeté en 20 kV. Le poste de raccordement le plus apte à accueillir la puissance du projet éolien d'Assainvillers est le poste de Maignelay pour lequel 32,4 MW ont été réservés. Une ligne électrique 20 kV traverse la ZIP reliant Assainvillers à Ayencourt.	X	X
	Réseaux Gaz	Aucun réseau gaz n'est recensé à proximité du projet (2,7 km de l'éolienne E5).	X	X	► III.3.2.

Intérêts		Description à réaliser dans l'étude de dangers	Intérêts à protéger	Agresseurs potentiels	Paragraphe référence FEE
	Réseaux Oléoducs	Aucun oléoduc n'est recensé à proximité du projet.	X	X	► III.3.2.
	Assainissement	Aucun réseau d'assainissement n'est recensé à proximité du projet.	X	X	► III.3.2.
Points d'eau – Captages	Réseau hydrologique	<p>La zone d'implantation du projet intègre le bassin Artois-Picardie et plus particulièrement le bassin de la Somme et le sous bassin de l'Avre.</p> <p>L'existence de plusieurs documents d'aménagement et de gestion des eaux sur le territoire étudié devra être prise en compte dans les choix techniques du projet, notamment en contribuant à respecter les objectifs, orientations et mesures du SDAGE Artois-Picardie.</p> <p>Aucun cours d'eau ne se trouve sur la zone d'implantation du projet. Les cours d'eau les plus proches du site d'étude, les Trois Doms à 420 m et l'Avre à 7 km au Nord qui atteindront un bon état global en 2027 lié principalement à l'état chimique de ces derniers.</p>	X		► III.2.2.
	Point d'eau, captage	<p>L'eau potable, à l'aplomb du projet est puisée dans la nappe phréatique « Craie de la moyenne Vallée de la Somme » qui atteindra le bon état global en 2027 principalement dû à la qualité de cette dernière.</p> <p>Aucun captage d'eau n'est recensé à proximité du projet.</p>	X		► III.3.3.
Patrimoine	Monuments historiques	<p>L'aire d'étude éloignée comporte 23 monuments classés et 34 monuments faisant l'objet d'une protection particulière au titre des Monuments Historiques par arrêtés et décrets de classement et inscription.</p> <p>L'aire d'étude intermédiaire comporte 6 monuments classés et 8 monuments inscrits.</p> <p>Trois monuments classés et un inscrit se trouvent sur l'aire d'étude rapprochée.</p> <p>Le monument historique le plus proche du</p>	X		-

Intérêts		Description à réaliser dans l'étude de dangers	Intérêts à protéger	Agresseurs potentiels	Paragraphe référence FEE
		<p>site se situe à Piennes-Onvillers (1,8 km à l'Est).</p> <p>Il n'y a pas de point élevé et dégagé permettant d'avoir des vues sur un monument historique et le site éolien au loin.</p> <p>Dans l'aire d'étude rapprochée, la fenêtre de co-visibilité avec un monument historique est jugée forte ».</p>			
Servitudes	Servitudes	<p>Le territoire communal d'Assainvillers ne dispose ni d'un Plan Local d'Urbanisme (PLU) rendu public ou approuvé, ni d'un document ayant la même fonction. Il est donc soumis au Règlement National d'Urbanisme (RNU).</p> <p>La zone d'implantation du projet est compatible avec le Règlement National d'Urbanisme. De plus, cette zone est à plus de 500 m des zones urbaines déjà construites.</p>	X	X	-

A noter que le village le plus proche est Assainvillers et se situe à 810 m de l'éolienne E5. Le parc éolien de Montdidier est le plus proche du projet et est situé à 478 m de l'éolienne E2. L'Etablissement recevant du public le plus proche du projet est un magasin (Gedimat) et est situé à 1,75 km de l'éolienne E3 sur la commune de Montdidier.

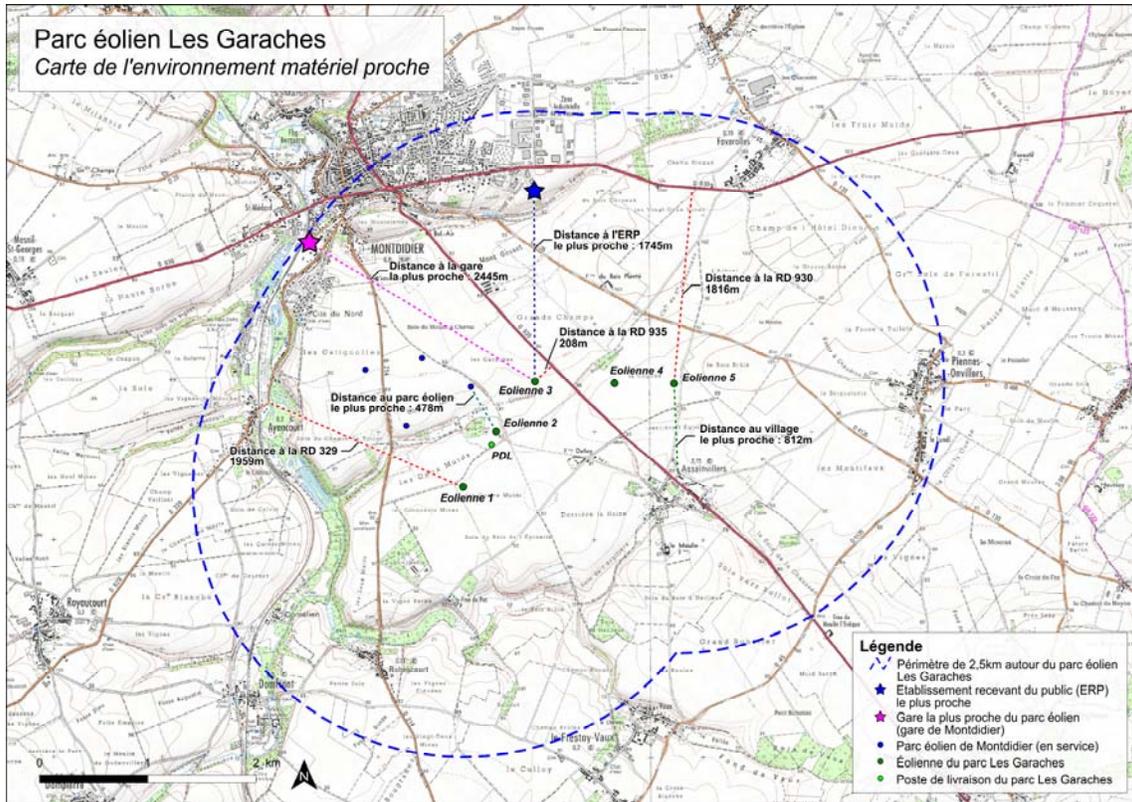


Figure 4 : Carte de l'environnement matériel proche

### 3.3. ENVIRONNEMENT NATUREL (► III.2.)

Intérêts	Description à réaliser dans l'étude de dangers	Intérêts à protéger	Agresseurs potentiels	Paragraphe référence FEE
Conditions climatiques et naturelles	<p>Climatologie</p> <p>La zone d'implantation du projet est soumise à un climat océanique de transition (pluie régulière, température douce). Ces caractéristiques climatologiques ne présentent pas de véritables inconvénients à l'implantation d'un parc éolien. L'enjeu est donc faible.</p> <p>Le climat doux se vérifie, puisqu'on compte 10,7°C de température moyenne annuelle au niveau de la station de Beauvais-Tillé et des variations saisonnières moyennes (+/- 5°C en été et en hiver).</p> <p>Les précipitations sont réparties également toute l'année, avec des maximums en hiver et printemps, le mois de février étant le plus sec. Contrastant avec l'image pluvieuse de la région, le total annuel des précipitations est relativement modeste avec</p>		X	► III.2.1.

Intérêts	Description à réaliser dans l'étude de dangers	Intérêts à protéger	Agresseurs potentiels	Paragraphe référence FEE
	669 mm à Beauvais (Beauvais-Tillé). D'après le Schéma Régional Climat-Air--Energie (SRCAE) de la Picardie, dans son volet lié à l'éolien, le site d'étude intègre une zone fortement ventée. Les vitesses de vent sont estimées, à 40 m d'altitude, à 5,5 m/s.			
Neige	La ville de Beauvais compte plus de 17 jours de neige par an contre 14 jours par an pour la moyenne nationale. Elle connaît également 66 jours de gel par an ; la moyenne nationale est comprise entre 20 et 40.		X	► III.2.1.
Foudre	Le climat global du département de l'Oise est faiblement orageux (densité de foudroiement de 15 nettement inférieure à la moyenne nationale de 20).		X	► III.2.2.
Tempêtes	La ville de Beauvais connaît 36 jours par an de vent fort (avec des rafales dépassant les 57 km/h).		X	► III.2.2.
Incendies de forêts et de cultures	Le Dossier Départemental des Risques Majeurs de la Somme ne qualifie pas le risque incendie de forêt. Il peut donc être considéré comme très faible.		X	► III.2.2.
Séisme	L'actuel zonage sismique classe le territoire d'accueil du projet en zone de sismicité 1 (très faible).		X	► III.2.2.
Mouvements de terrain	Deux cavités sont présentes sur la zone d'implantation du projet ; - La zone d'implantation est soumise majoritairement à un aléa faible pour le retrait et gonflement des argiles. Cependant, une bande traversant la zone d'implantation du projet est soumise à un aléa moyen ; - L'ensemble de ces points sera confirmé ou infirmé par la réalisation de sondages lors de la phase de travaux.		X	► III.2.2.
Inondation	D'après le DDRM de la Somme, le territoire d'accueil du projet n'est pas concerné par le débordement des cours d'eau ou par la remontée de nappe phréatique. De plus, aucun Atlas de		X	► III.2.2.

Intérêts		Description à réaliser dans l'étude de dangers	Intérêts à protéger	Agresseurs potentiels	Paragraphe référence FEE
		Zone inondable, ni aucun Plan de Prévention des Risques Inondations n'est recensé sur la commune d'accueil.			
	Zonage réglementaire du patrimoine naturel	Deux ZSC se trouvent dans l'aire d'étude éloignée. Conformément au décret n°2010-365 du 9 avril 2010 relatif à l'évaluation des incidences Natura 2000 et aux articles R. 414-19 à R. 414-26 du code l'Environnement, les effets du projet seront analysés afin d'établir les éventuelles atteintes aux éléments d'intérêt européen ayant justifié la mise en place de ces zonages.	X		-
Géologie	Nature du sol	Ainsi, le site d'étude est localisé vers la périphérie du Bassin Parisien, présentant des roches (ou faciès) datant du Crétacé supérieur. La zone d'implantation du projet repose essentiellement sur des formations superficielles (limons loessiques) et sur des dépôts crayeux	X		-



## 4. DESCRIPTION DE L'INSTALLATION (►IV.)

*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 (cf. chapitre 6), au regard notamment de la sensibilité de l'environnement décrit précédemment.*

*Les descriptions techniques faites dans les paragraphes suivants ont été rédigées en concertation avec ENERCON ainsi que sur la base des documents techniques ENERCON mentionnés en réf. [2] et [3].*

### 4.1. CARACTERISTIQUES GENERALES D'UN PARC EOLIEN (►IV.1.)

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.chapitre 5- approbation du projet d'ouvrage) :

- Plusieurs éoliennes (cf. §4.2) fixées sur une fondation adaptée, accompagnée d'une aire stabilisée appelée « plateforme » ou « aire de grutage » ;
- Un réseau de câbles électriques enterrés permettant d'évacuer l'électricité produite par chaque éolienne vers le ou les poste(s) de livraison électrique (appelé « réseau inter-éolien ») ;
- Un ou plusieurs poste(s) de livraison électrique, concentrant l'électricité des éoliennes et organisant son évacuation vers le réseau public d'électricité au travers du poste source local (point d'injection de l'électricité sur le réseau public) ;
- Un réseau de câbles enterrés permettant d'évacuer l'électricité regroupée au(x) poste(s) de livraison vers le poste source (appelé « réseau externe » et appartenant le plus souvent au gestionnaire du réseau de distribution d'électricité) ;
- Un réseau de chemins d'accès.

Éventuellement des éléments annexes type mât de mesure de vent, aire d'accueil du public, aire de stationnement, etc.

## 4.2. DESCRIPTION D'UNE EOLIENNE (► IV.1.1.)

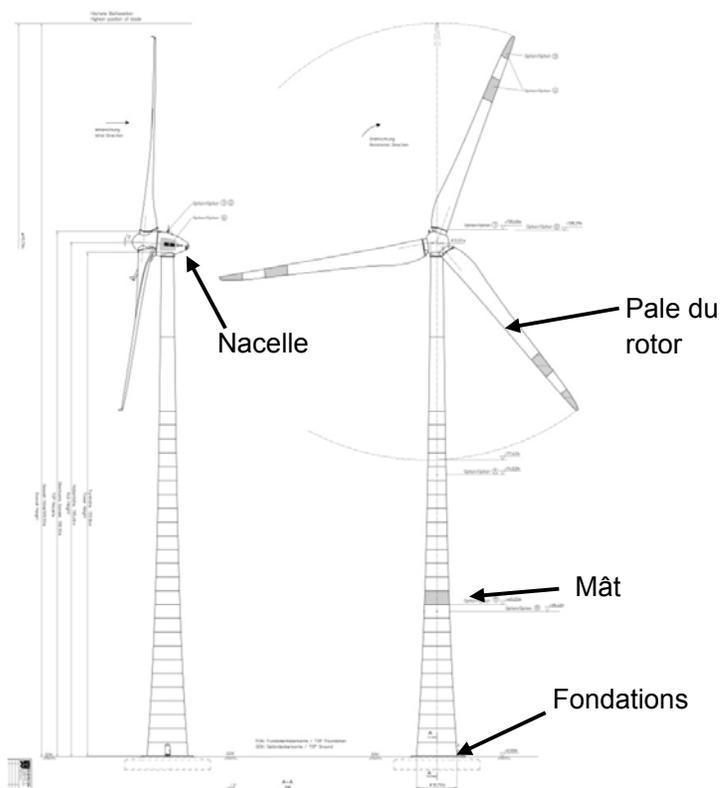


Figure 5 : Schéma type d'une éolienne ENERCON (source : ENERCON)

Les éoliennes sont des machines utilisant la force motrice du vent pour produire de l'électricité. On parle de parc éolien ou de ferme éolienne pour décrire les unités de productions groupées.

Une éolienne comprend les principaux éléments suivants :

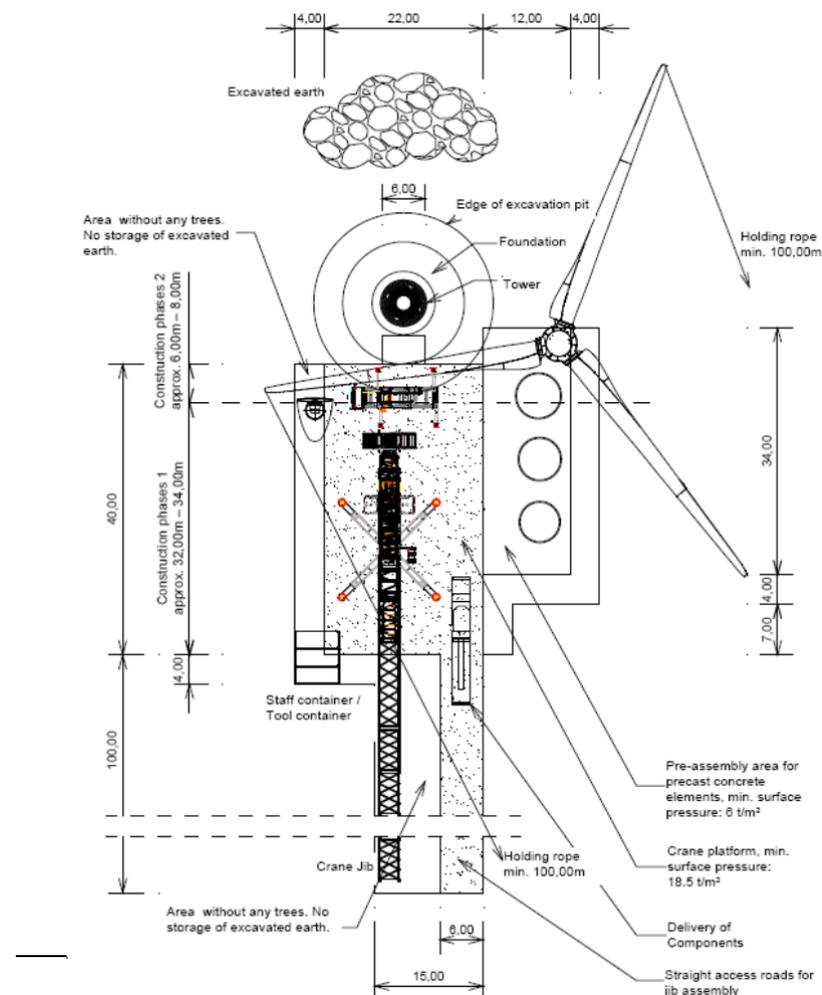
- Le mât, reposant sur des fondations (cf. §4.2.1) ;
- Le rotor (cf. §4.2.3), qui est composé de trois pales construites en matériaux composites et réunies au niveau du moyeu ;
- La nacelle (cf. §4.2.4) qui abrite plusieurs éléments fonctionnels, dont notamment le générateur (cf. §4.2.5).

#### 4.2.1. Les fondations – Emprises au sol (►IV.1.1. & IV.2.1.)

*ENERCON propose 3 types de fondation standard (deux superficielles et une profonde), choisis selon les caractéristiques du terrain. Il est également possible de modifier le sol. Cette opération est parfois nécessaire, lorsque les caractéristiques ne permettent pas de garantir une fondation stable pendant 20 ans. Pour cela plusieurs techniques sont fréquemment utilisées : la substitution par apport de matériaux, les colonnes ballastées, les inclusions rigides ou encore les colonnes à modules mixtes.*

En résumé, plusieurs emprises au sol sont définies 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 en partie 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.



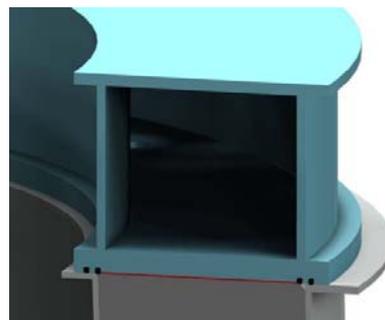
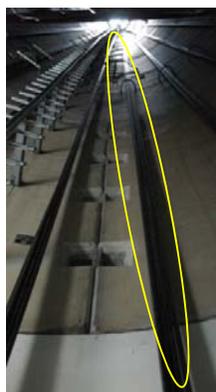
**Figure 6 :**  
**Aire de grutage type ENERCON**

els

#### 4.2.2. Le mât (►IV.1.1. & IV.2.1.)

ENERCON commercialise des mâts en acier jusqu'à une hauteur de moyeu de 85m. A partir de cette hauteur les mâts sont composés de sections en béton et d'une ou de deux sections en acier (dépend de la hauteur). Les sections en béton préfabriqué ENERCON sont exécutées selon une méthode appelée « technique de l'acier de précontrainte » qui consiste à faire passer les câbles de précontrainte dans des gaines à l'intérieur même de la paroi en béton du mât. Ce faisant, les différentes sections du mât et la fondation sont réunies en une seule unité indissociable.

Les mâts en béton dits « nouvelle génération », dont les sections sont fabriquées dans l'usine ENERCON de Longueuil-Sainte-Marie, utilisent la même technique à ceci près que les câbles de précontraintes ne sont plus dans mais sur la paroi du mât et visibles depuis l'intérieur de celui-ci. Sur ces mâts, les sections en deux parties sont assemblées par boulonnage, ce qui facilite le démontage. La coplanarité et l'étanchéité ne sont plus assurées par des cales en acier et un joint de colle en résine, mais par un joint directement fabriqué en usine. Les photographies ci-dessous illustrent ces évolutions.



### 4.2.3. Rotor (► IV.1.1. & IV.2.1.)

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.

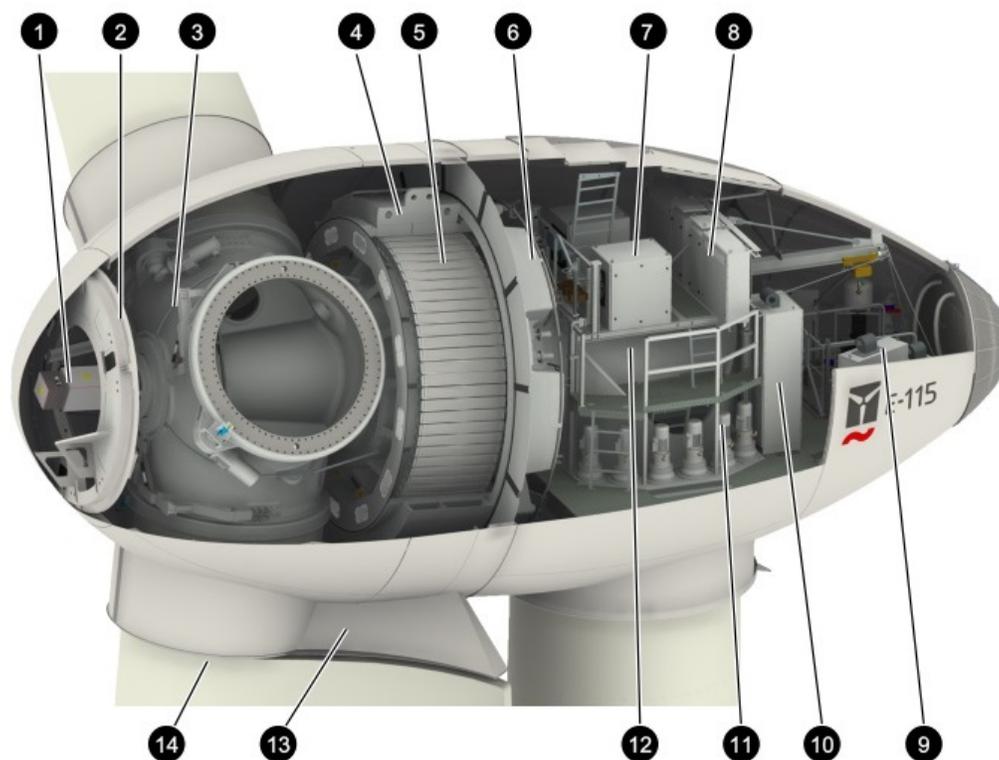
Les pales de l'éolienne sont conçues pour fonctionner à angle et à vitesse variables. Le réglage d'angle individuel de chaque pale du rotor est assuré par trois systèmes indépendants et commandés par microprocesseurs. L'angle de chaque pale est surveillé en continu par une mesure d'angle des pales, et 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 7 : Assemblage et montage d'un rotor ENERCON

#### 4.2.4. Nacelle (►IV.1.1. & IV.2.1.)



1	Collecteur	8	Armoire de filtres du générateur
2	Module d'orientation des pales	9	Armoire du régulateur d'excitation
3	Moyeu du rotor	10	Armoire du convertisseur de la nacelle
4	Stator du générateur	11	Entraînements d'orientation
5	Rotor du générateur	12	Support principal
6	Recouvrement du générateur	13	Élément d'extension de pale
7	Armoire du redresseur	14	Pale du rotor

**Figure 8 : Dessin schématique de la nacelle**

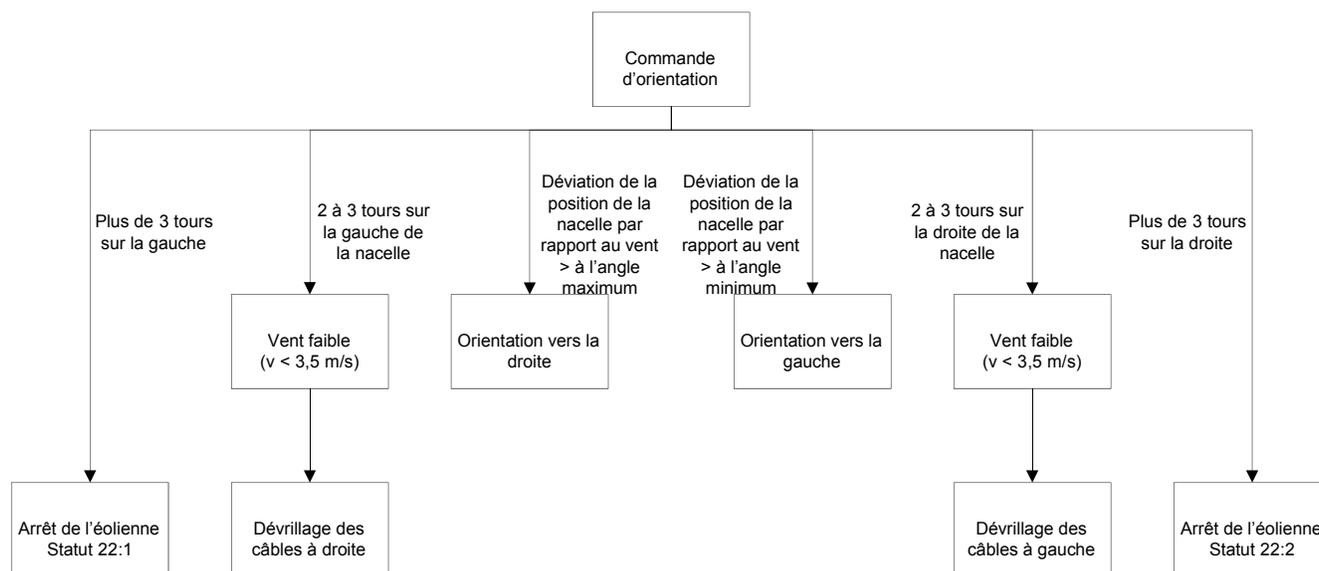
L'éolienne possède un dispositif de mesure mixte installé sur le dessus de la nacelle. Ce dispositif est composé :

- d'une girouette qui relève la direction du vent,
- et d'un anémomètre qui mesure la vitesse.

Le palier d'orientation de la nacelle, muni d'une couronne, est monté directement sur la connexion supérieure de la tour. Il permet la rotation de l'éolienne et ainsi de l'orienter face au vent. Les moteurs équipés de roues dentées (« moteurs d'orientation ») s'engagent dans la couronne pour faire tourner la nacelle et l'orienter en fonction de la direction du vent.

Le poids de la nacelle est supporté par le mât et par les fondations, par l'intermédiaire du palier d'orientation. Le support principal est fixé directement sur le palier d'orientation.

La commande d'orientation de l'éolienne commence à fonctionner même lorsque la vitesse du vent est faible. Même à l'arrêt, en raison, par exemple, d'une trop grande vitesse du vent, l'éolienne est tournée face au vent.



**Figure 9 : Orientation de l'éolienne (source : ENERCON)**

Le processus d'orientation est déterminé par le décompte des rotations du moteur d'inclinaison. Si le système de commande détecte des anomalies dans la commande d'orientation ou le vrillage des câbles, il déclenche une procédure d'arrêt.

#### **4.2.5. Générateur (►IV.1.1. & IV.2.1.)**

La nacelle est le cœur de l'éolienne. Sous l'habillage aérodynamique, elle contient :

- Une plateforme de travail et de montage ;
- Un générateur ;
- Un moyeu.

Le générateur annulaire de l'éolienne est directement entraîné par le rotor (donc par les pales du rotor). Le générateur ENERCON multipolaire repose sur le principe d'une machine synchrone.

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.

L'énergie produite par le générateur est acheminée dans le réseau de l'exploitant par le système ENERCON de connexion au réseau.

Ce concept de raccordement au réseau par le biais d'un transformateur permet d'exploiter le rotor de l'éolienne à une vitesse de rotation variable. Le rotor tourne lentement en présence de vents lents, et à grande vitesse si les vents sont forts.

#### 4.2.6. Unité d'alimentation au réseau (► IV.1.1. & IV.2.1.)

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.

La mission centrale du système d'intégration au réseau ENERCON est d'injecter la puissance produite conformément aux exigences posées. En présence de réseaux avec de fortes fluctuations de tension ou de fréquence, le système d'alimentation du réseau ENERCON assure un fonctionnement fiable et pérenne.

En fonction du type de réseau, le système peut être paramétré de manière flexible pour une fréquence nominale de 50 ou 60 Hz. Les plages de fréquence et de tension d'une éolienne ENERCON satisfont aux standards internationaux qui spécifient une large plage de fonctionnement en régime permanent.

Le système de commande intelligent du système d'onduleurs ENERCON permet aux éoliennes de contribuer au maintien et à l'amélioration de la stabilité du réseau et à satisfaire aux exigences particulières des règles internationales en la matière (notamment le mode de fonctionnement lors de conditions dégradées du réseau). Les éoliennes ENERCON peuvent par conséquent être intégrées dans des réseaux aux structures les plus variées.

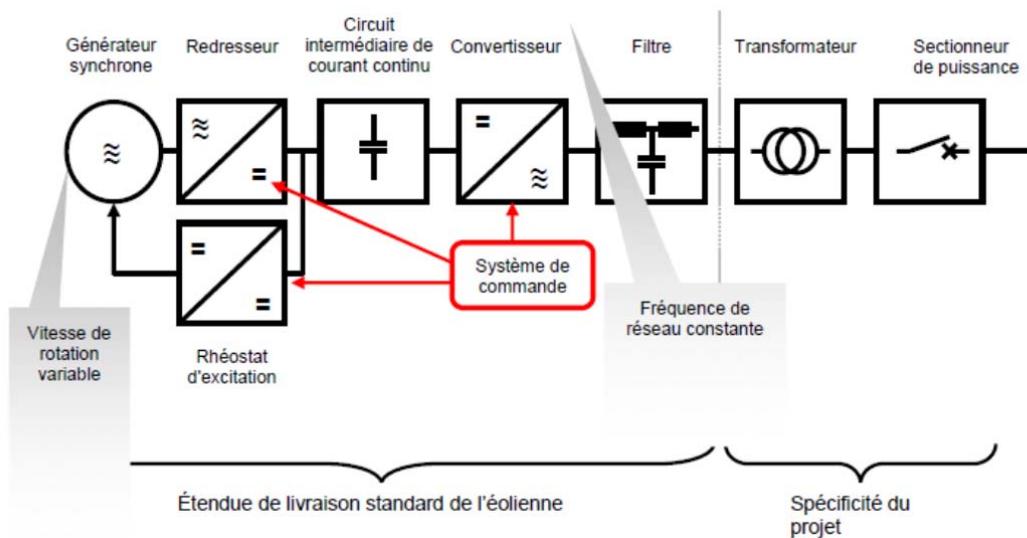


Figure 10 : Unité d'alimentation au réseau (source : ENERCON)

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-circuits 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 en longeant les chemins agricoles existants. Les tranchées nécessaires seront de 1 m de profondeur. En parallèle avec 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.

#### 4.2.7. Caractéristiques techniques des éoliennes (►IV.2.1.)

Les différentes configurations d'éoliennes ENERCON disponibles en France sont les suivantes :

ENERCON ENERGIE POUR LE MONDE		Eoliennes ENERCON : Configurations disponibles en France et en Suisse							Page 1/1	
Plateforme ENERCON	Type WEC	P nominale	Classe de vent	Type mât	H moyen	H totale	D base	Durée de vie	TES <sup>(1)</sup>	SPL <sup>(2)</sup>
EP1	E-44	900 kW	IA	acier	45.00 m	67.00 m	3.30 m	20 ans	Non	103 dB(A)
					55.00 m	77.00 m	3.30 m			
	E-48	800 kW	IIA	acier	50.00 m	74.00 m	3.50 m	20 ans	Non	102.5 dB(A)
					60.00 m	84.00 m	3.30 m			
					64.60 m	88.60 m	3.52 m			
	E-53	800 kW	S Vw: 6.6 m/s Vwt 55 m/s	acier	50.00 m	76.45 m	3.50 m	20 ans	Non	102.5 dB(A)
					60.00 m	86.45 m	3.30 m			
					73.25 m	99.70 m	4.08 m			
	E-70 E4	2 300 kW	S Vw: 7.72 m/s Vwt 59.5 m/s	acier	57.00 m	92.50 m	4.10 m	20 ans	Non	104.5 dB(A)
					64.00 m	99.50 m	4.10 m			
					63.85 m	99.35 m	4.15 m			
					74.50 m	110.00 m	4.60 m			
					85.00 m	120.50 m	4.30 m			
					84.50 m	120.00 m	6.37 m			
IIA/S Vw: 8.5 m/s Vwt 65 m/s					98.20 m	133.70 m	7.50 m			
113.50 m	149.00 m	9.33 m								
EP2	E-82 E2	2 300 kW	IIA	acier	78.33 m	119.33 m	4.45 m	20 ans	Option	104 dB(A) TES : 102 dB(A)
					84.58 m	125.58 m	4.90 m			
					84.00 m	125.00 m	6.06 m			
					98.38 m	139.38 m	6.80 m			
	E-82 E4	2 350 kW	IIA	acier	58.91 m	99.91 m	4.45 m	25 ans	Option	104 dB(A) TES : 102 dB(A)
					68.91 m	109.91 m	4.45 m			
		3 000 kW	IA	béton	78.33 m	119.33 m	4.60 m	25 ans	Non	106 dB(A)
					83.97 m	124.97 m	6.06 m			
	E-92	2 350 kW	IIA	acier	68.91 m	109.91 m	4.45 m	25 ans	Standard	105 dB(A) TES : 105 dB(A)
					78.33 m	124.33 m	4.45 m			
					84.58 m	130.58 m	4.60 m			
					84.00 m	130.00 m	6.06 m			
	E-103	2 350 kW	IIA/S Vw: 8.6 m/s Vwt 53.2 m/s	acier	98.38 m	149.38 m	6.80 m	25 ans	Standard	105 dB(A) TES : 105 dB(A)
					108.38 m	159.38 m	7.71 m			
138.38 m					184.38 m	10.73 m				
138.48 m*					189.98 m*	10.73 m*				
EP3	E-101	3 050 kW	IIA	béton	84.58 m*	136.08 m*	---	20 ans	Non	105.5 dB(A)
					98.10 m*	149.60 m*	---			
	E-101 E2	3 500 kW	IA	acier	98.38 m*	149.88 m*	---	25 ans	Standard	104.3 dB(A) TES : 104.3 dB(A)
					108.38 m*	159.88 m*	---			
	E-115	3 000 kW	IIA	béton	138.48 m*	189.98 m*	10.73 m*	25 ans	Standard	105.5 dB(A) TES : 105.5 dB(A)
					99.00 m	149.50 m	6.80 m			
					92.05 m	149.93 m	6.80 m			
	E-115 E2	3 200 kW	IIA	béton	122.05 m	179.90 m	10.73 m	25 ans	Standard	105.5 dB(A) TES : 105.5 dB(A)
135.48 m*					193.33 m*	10.73 m*				
149.10 m*					206.95 m*	13.21 m*				
EP4	E-126	4 200 kW	IIA	acier	122.05 m*	179.90 m*	10.73 m*	30 ans	Standard	105.5 dB(A) TES : 105.5 dB(A)
					135.48 m*	193.33 m*	10.73 m*			
	E-141	4 200 kW	IIIA	béton	149.10 m*	206.95 m*	13.21 m*	30 ans	Standard	108.5 dB(A) TES : 108.5 dB(A)
EP8	E-126	7 580 kW	IA	béton	99.15 m*	162.65 m*	6.93 m*	30 ans	Standard	105.5 dB(A) TES : 105.5 dB(A)
					135.00 m	198.50 m	13.22 m	30 ans	Standard	108.5 dB(A) TES : 108.5 dB(A)
					159.00 m*	222.50 m*	---	30 ans	Standard	108.5 dB(A) TES : 108.5 dB(A)
					129.05 m*	199.55 m*	13.22 m*	30 ans	Standard	108.5 dB(A) TES : 108.5 dB(A)
					159.00 m*	229.50 m*	---	30 ans	Standard	108.5 dB(A) TES : 108.5 dB(A)
					134.95 m	198.45 m	14.50 m	20 ans	Non	108.5 dB(A)

Figure 11 : Configurations d'éoliennes ENERCON disponibles en France

Les principales caractéristiques des éoliennes étudiées sont synthétisées dans les tableaux suivants.

<b>Eolienne ENERCON type E-115 E2 3,2 MW</b>	
<b>Caractéristiques générales</b>	
Puissance nominale	<b>3,2 MW</b>
Diamètre du rotor	<b>115,71 m</b>
Hauteur du moyeu	<b>135,48 m</b>
Concept de l'installation	<b>Sans boîte de vitesse, régime variable, ajustage individuel des pales</b>
<b>Mât</b>	
<i>fonction : Supporter la nacelle et le rotor</i>	
Constitution	<b>mât en béton préfabriqué avec section en acier</b>
<b>Nacelle</b>	
<i>fonction : Supporter le rotor et abriter le générateur d'énergie ainsi que les équipements et dispositifs embarqués de l'éolienne</i>	
<b>Rotor</b>	
<i>fonction : Capturer l'énergie mécanique du vent et la transmettre à la génératrice</i>	
Type	<b>Rotor face au vent avec système actif de réglage des pales</b>
Sens de rotation	<b>Sens horaire</b>
Nombre de pales	<b>3</b>
Largeur à la base	<b>5 m</b>
Surface balayée	<b>10 515 m<sup>2</sup></b>
Matériau des pales	<b>Fibre de verre (résine époxy), protection parafoudre intégrée</b>
Vitesse de rotation	<b>Variable, 4,4 à 12,8 tours / minute</b>
<b>Transmission et Générateur</b>	
<i>fonction : Convertir l'énergie mécanique du rotor en énergie électrique</i>	
Moyeu	<b>fixe</b>
Palier principal	<b>Roulement à 2 rangées de rouleaux coniques + 1 roulement à rouleaux cylindriques</b>
Générateur	<b>Générateur annulaire à entraînement direct</b>
<b>Alimentation</b>	
<i>fonction : Alimenter les systèmes électriques de l'éolienne</i>	
Réseau électrique	
Onduleur	<b>3 condensateurs de secours situés dans le rotor</b>
<b>Système de freinage</b>	
<i>fonction : Freiner et arrêter l'éolienne</i>	
Réglage des pales	<b>3 systèmes de réglage indépendants avec alimentation de secours</b>
Frein d'arrêt du rotor	<b>Frein aérodynamique, frein mécanique d'urgence</b>
Blocage du rotor	<b>Rotor libre à l'arrêt, frein mécanique pour les opérations de maintenance, crans tous les 10°</b>
<b>Contrôle d'orientation</b>	
<i>fonction : Orienter l'éolienne de manière optimale par rapport au vent</i>	
<b>Par mécanisme de réglage, atténuation en fonction des charges</b>	
<b>Surveillance à distance</b>	
<i>fonction : Communiquer en continu les données mesurées sur l'éolienne</i>	
<b>ENERCON SCADA</b>	

### **4.3. CERTIFICATION DES EOLIENNES (►IV.2.2.)**

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 l'arrêté du 26 Août 2011.

### **4.4. FONCTIONNEMENT DE L'EOLIEUNE (►IV.2.1.)**

Les données telles que la direction et la vitesse du vent sont mesurées en continu pour adapter le mode de fonctionnement de l'éolienne en conséquence.

La commande d'orientation de l'éolienne commence à fonctionner même en dessous de la vitesse de démarrage.

La direction du vent est mesurée en continu par la girouette. Si la déviation entre l'axe du rotor et la direction mesurée du vent est trop grande, la position de la nacelle est corrigée par la commande d'orientation.

L'ampleur de la rotation et le temps imparti avant que la nacelle ne soit mise dans la bonne position dépendent de la vitesse du vent.

Si l'éolienne a été arrêtée manuellement ou par son système de commande, les pales sont mises progressivement en position drapeau, réduisant la surface utile des pales exposée au vent. L'éolienne continue de tourner et passe progressivement en fonctionnement au ralenti.

#### **4.4.1. Démarrage de l'éolienne (►IV.2.1.)**

90 secondes après le démarrage de l'éolienne, les pales du rotor sont sorties de la position drapeau et sont mises en mode de « fonctionnement au ralenti ». L'éolienne tourne alors à faible vitesse.

La procédure de démarrage automatique est lancée lorsque la vitesse moyenne du vent mesurée pendant 3 minutes consécutives est supérieure à la vitesse de vent requise pour le démarrage.

L'énergie produite est injectée sur le réseau de distribution dès que la limite inférieure de la plage de vitesse est atteinte. La connexion au réseau par le biais d'un circuit intermédiaire de courant continu et de convertisseurs évite les courants de démarrage élevés pendant la procédure de démarrage.

#### **4.4.2. Fonctionnement normal (►IV.2.1.)**

Dès que la phase de démarrage de l'éolienne est terminée, l'éolienne est en fonctionnement normal. Les conditions de vent sont relevées en permanence pendant ce temps. La vitesse de rotation, le débit de puissance et l'angle des pales sont constamment adaptés aux changements du régime des vents, la position de la nacelle est ajustée en fonction de la direction du vent et l'état de tous les capteurs est enregistré. La puissance électrique est contrôlée par l'excitation du générateur. Au-dessus de la vitesse nominale du vent, la vitesse de rotation est également maintenue à une valeur nominale par le réglage de l'angle des pales.

En cas de températures extérieures et de vitesses de vent élevées, le système de refroidissement se met en route.

#### **4.4.3. Fonctionnement en charge partielle (►IV.2.1.)**

En fonctionnement en charge partielle, la vitesse et la puissance sont adaptées en permanence aux changements du régime des vents. Dans la plage supérieure de charge partielle, l'angle des pales du rotor est modifié de quelques degrés pour éviter une distorsion de l'écoulement (effet de décrochage).

Le régime de rotation et la puissance augmentent au fur et à mesure de l'augmentation de la vitesse du vent.

#### **4.4.4. Fonctionnement de régulation (►IV.2.1.)**

Au-dessus de la vitesse nominale du vent, la vitesse de rotation est maintenue à peu près à sa valeur nominale grâce au réglage de l'angle des pales, et la puissance prélevée dans le vent est limitée (« mode de commande automatique »).

Le changement requis de l'angle des pales est déterminé après analyse du régime de rotation et de l'accélération, puis transmis à l'entraînement d'inclinaison des pales. La puissance conserve ainsi sa valeur nominale.

L'éolienne s'arrête si la vitesse du vent atteint 25 m/s (cf. « Arrêt automatique », §4.4.6.1).

#### **4.4.5. Mode de fonctionnement au ralenti (►IV.2.1.)**

Si l'éolienne est arrêtée (par exemple en raison de l'absence de vent ou suite à un dérangement), les pales se mettent généralement dans une position de 60° par rapport à leur position opérationnelle. L'éolienne tourne alors à faible vitesse. Si la vitesse de ralenti est dépassée (environ 3 tr/mn), les pales de rotor s'inclinent pour se mettre en position drapeau. Ces conditions portent le nom de « fonctionnement au ralenti ». Le fonctionnement au ralenti réduit les charges et permet à l'éolienne de redémarrer dans de brefs délais. Un message d'état indique la raison pour laquelle l'éolienne a été arrêtée, passant donc en fonctionnement au ralenti.

#### 4.4.6. Arrêt de l'éolienne (►IV.2.1.)

L'éolienne peut être arrêtée manuellement (interrupteur Marche/Arrêt) ou en actionnant le bouton d'arrêt d'urgence.

Le système de commande arrête l'éolienne en cas de dérangement, ou encore si les conditions de vent sont défavorables (voir Figure 12).

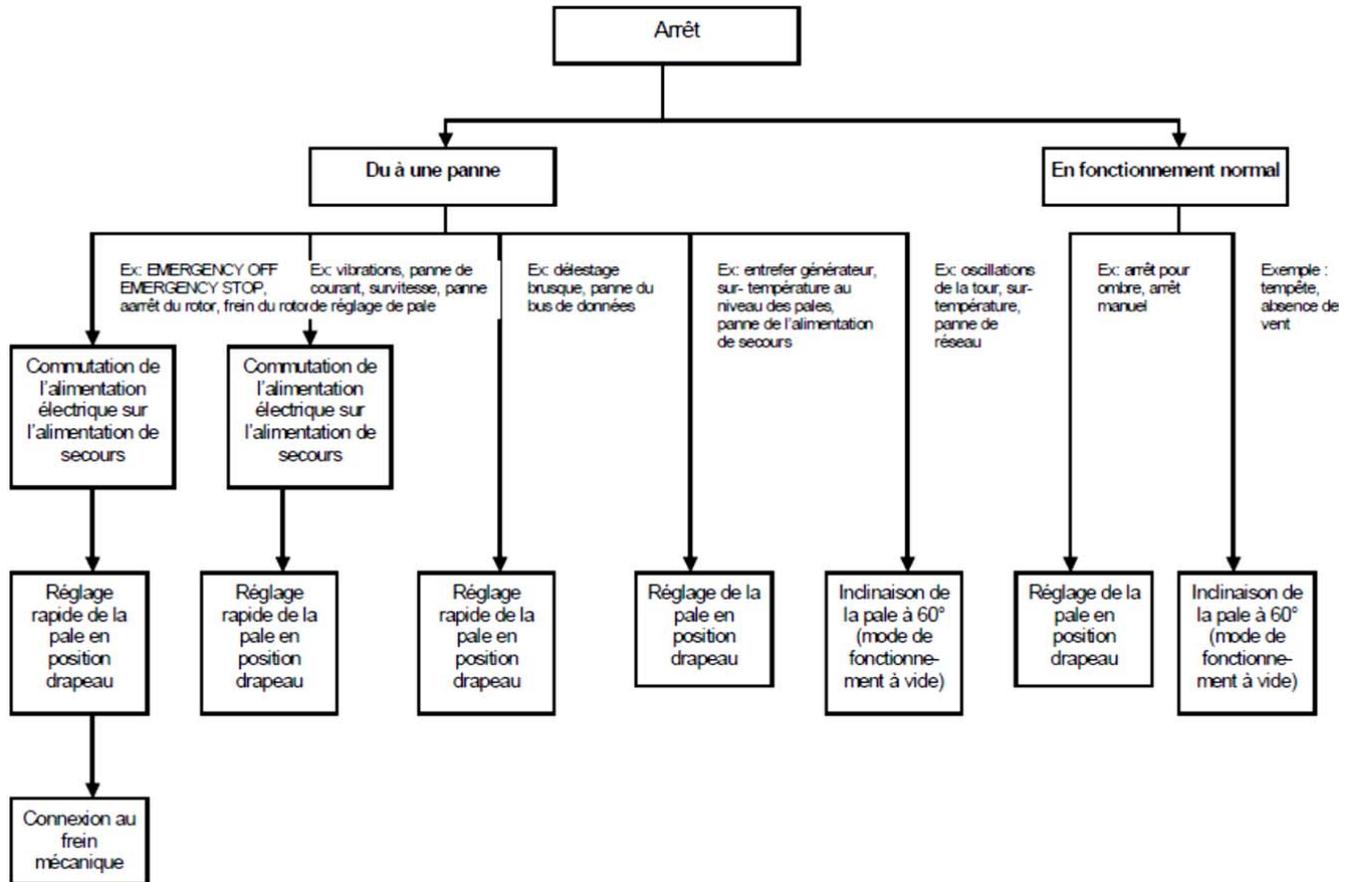


Figure 12 : Arrêt de l'éolienne (source : ENERCON)

##### 4.4.6.1. Arrêt automatique

En mode automatique, les éoliennes sont freinées de façon aérodynamique par la seule inclinaison des pales. Les pales du rotor inclinées réduisent les forces aérodynamiques, freinant ainsi ce dernier. Les dispositifs d'inclinaison des pales (Pitch) peuvent décrocher les pales du vent en l'espace de quelques secondes seulement en les mettant en position drapeau.

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 15 secondes. 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.

L'éolienne s'arrête également automatiquement en cas de défaillance, et lors de certains événements. Certaines défaillances entraînent une coupure rapide par les alimentations de secours des pales, d'autres pannes conduisent à un arrêt normal de l'éolienne.

Selon le type de défaillance, l'éolienne peut redémarrer automatiquement. Dans tous les cas, les convertisseurs sont découplés galvaniquement du réseau pendant la procédure d'arrêt.

Lorsqu'un capteur de sécurité signale un défaut ou qu'un interrupteur correspondant se déclenche, l'éolienne est immédiatement stoppée (cf. §4.6.1). Les armoires de commande des pales dissocient chaque moteur de réglage des pales. Ces armoires permettent également de commuter les contacteurs présents dans chaque boîtier du rotor via des armoires de condensateurs. Les pales se mettent alors en drapeau indépendamment les unes des autres.

Lors d'un freinage d'urgence du rotor, en cas d'incendie par exemple, un frein rotor électromécanique est utilisé en plus. Un arrêt du rotor depuis sa puissance nominale s'effectue en 10 à 15 secondes.

#### **4.4.6.2. Arrêt manuel**

L'éolienne peut être arrêtée à l'aide de l'interrupteur Marche/Arrêt (armoire de commande). Le système de commande tourne alors les pales du rotor pour les décrocher du vent et l'éolienne ralentit puis s'arrête. Le frein d'arrêt n'est pas activé et la commande des yaw (moteur d'orientation) reste active. L'éolienne peut donc continuer à s'adapter avec précision au vent.

#### **4.4.6.3. Arrêt manuel d'urgence**

Si nécessaire, l'éolienne peut être stoppée immédiatement, en appuyant sur le bouton d'arrêt d'urgence (armoire de commande). Ce bouton déclenche un freinage d'urgence sur le rotor, avec une inclinaison rapide par l'intermédiaire des unités de réglage des pales et de freinage d'urgence. Le frein d'arrêt mécanique est actionné simultanément. L'alimentation électrique de tous les composants reste assurée.

Une fois l'urgence passée, le bouton d'arrêt d'urgence doit être réarmé pour permettre le redémarrage l'éolienne.

Si l'interrupteur principal de l'armoire de commande est mis en position d'arrêt, tous les composants de l'éolienne, à l'exception de l'éclairage du mât et de l'armoire électrique, ainsi que les différents interrupteurs d'éclairage et les connecteurs mobiles, sont déconnectés. L'éolienne déclenche l'inclinaison rapide des pales par l'intermédiaire des dispositifs d'inclinaison d'urgence. Le frein d'arrêt mécanique n'est pas activé lorsque l'interrupteur principal est actionné.

#### **4.4.7. Absence de vent (►IV.2.1.)**

Si l'éolienne est en service, mais que l'absence de vent fait trop ralentir le rotor, l'éolienne passe en mode de fonctionnement au ralenti par l'inclinaison lente des pales du rotor dans une direction de 60°. L'éolienne reprend automatiquement son fonctionnement une fois que la vitesse de vent de démarrage est de nouveau atteinte.

Si l'anémomètre risque de geler par des températures basses ( $< 3^{\circ}\text{C}$ ), l'éolienne tente de redémarrer toutes les heures pour vérifier si la vitesse du vent est suffisante, à condition que la girouette fonctionne. Lorsque l'éolienne redémarre et produit de l'électricité, elle repasse en mode de fonctionnement normal. Dans ce cas, les vitesses du vent ne sont toutefois pas correctement saisies, le capteur gelé ne pouvant transmettre des données exactes.

A partir de 2012 ENERCON utilise sur l'ensemble de sa gamme des anémomètres à ultrasons, supprimant ainsi les difficultés liées au gel de l'anémomètre.

#### 4.4.8. Tempête / Système « Storm Control » (► IV.2.1. & IV.2.2)

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.

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 secondes. 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).

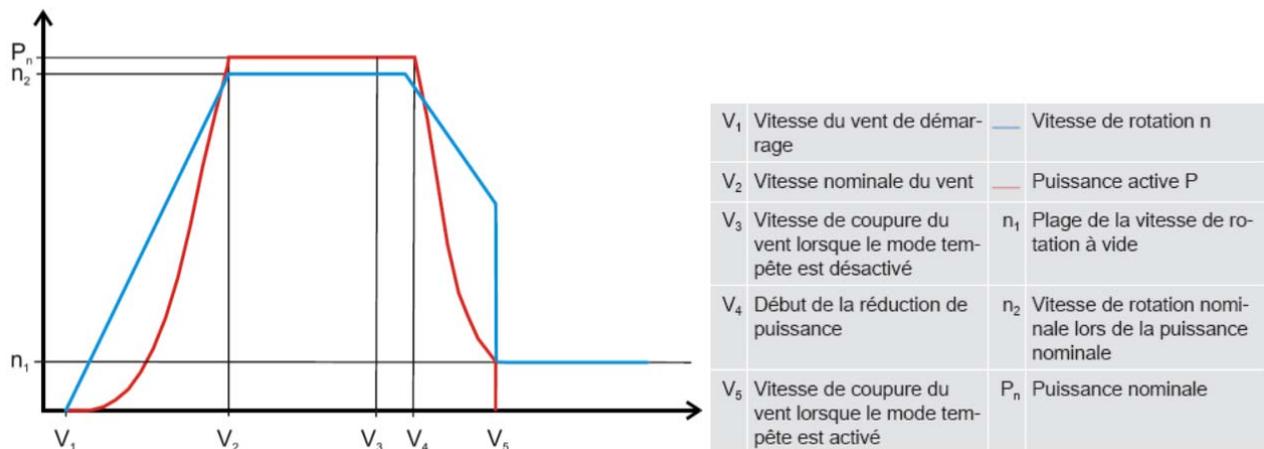


Figure 13 : Modes de fonctionnement : courbes de puissance en fonction de la vitesse du vent

#### **4.4.9. Dévrillage des câbles (►IV.2.1.)**

Les câbles de puissance et de commande de l'éolienne se trouvant dans le mât sont passés depuis la nacelle sur un dispositif de guidage et fixés aux parois du mât.

Les câbles ont suffisamment de liberté de mouvement pour permettre à la nacelle de tourner plusieurs fois dans la même direction autour de son axe, ce qui entraîne toutefois progressivement une torsion des câbles. Le système de commande de l'éolienne fait en sorte que les câbles vrillés soient automatiquement dévrillés.

Lorsque les câbles ont tourné deux ou trois fois autour d'eux-mêmes, le système de commande utilise la prochaine période de vent faible pour les dévriller. Si le régime des vents rend cette opération impossible, et si les câbles se sont tournés plus de trois fois autour d'eux-mêmes, l'éolienne s'arrête et les câbles sont dévrillés indépendamment de la vitesse du vent. Le dévrillage des câbles prend environ une demi-heure. L'éolienne redémarre automatiquement une fois les câbles dévrillés.

Les capteurs chargés de surveiller la torsion des câbles se trouvent dans l'unité de contrôle de la torsion des câbles. Le capteur est connecté à la couronne d'orientation par une roue de transmission et une boîte de vitesse. Toute variation de la position de la nacelle est transmise au système de commande.

En outre, deux interrupteurs de fin de course, un de chaque côté, gauche et droit, signalent tout dépassement de la plage opérationnelle autorisée dans une direction ou dans l'autre. Cela évite que les câbles du mât vrillent encore davantage.

L'éolienne s'arrête et ne peut être redémarré automatiquement.

#### 4.5. OPERATIONS DE MAINTENANCE DE L'EOLIENNE (► IV.2.3.)

*L'objectif de ce paragraphe est de décrire les opérations de maintenance prévues par l'exploitant, qu'il s'agisse de maintenance préventive ou curative.*

L'ensemble des procédures de maintenance et des contrôles d'efficacité des systèmes est 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.

Maintenance et inspections périodiques sur les éoliennes :

- **Inspection visuelle** : Une fois par an
- **Graissage d'entretien** : Une fois par an
- **Maintenance électrique** : Une fois par an
- **Maintenance mécanique** : Une fois par an

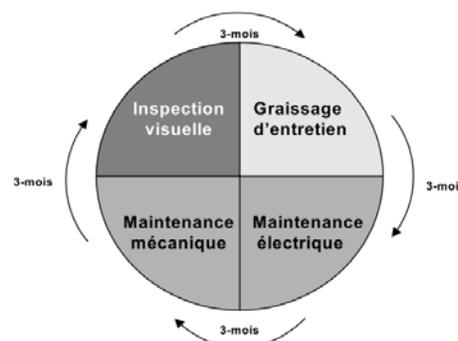


Figure 14 : phases de maintenance ENERCON

- **Tests de commissioning** : Les tests réalisés lors du commissioning prévoient notamment un essai de survitesse ainsi que des tests électriques.
- **Maintenance des 300 heures** : La première maintenance après la mise en service a lieu après 300 heures. Au cours de cette opération, l'intégralité des opérations de maintenance précédemment mentionnées est effectuée.

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

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

Nacelle d'éolienne ENERCON neuve

Nacelle d'éolienne ENERCON en service depuis 15 ans



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 :



#### **4.5.1. Inspection visuelle (►IV.2.3.)**

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

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

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

#### **4.5.2. Graissage d'entretien (►IV.2.3.)**

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.

#### **4.5.3. Maintenance électrique (►IV.2.3.)**

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

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

#### **4.5.4. Maintenance mécanique (►IV.2.3.)**

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

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

#### **4.5.5. Stockage et flux de produits dangereux (► IV.2.4.)**

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.

#### **4.6. PRINCIPAUX SYSTEMES DE SECURITE DE L'EOLIENNE (► IV.2.2.)**

*L'objectif de ce paragraphe est de montrer que l'installation respecte la réglementation en vigueur en matière de sécurité et en particulier qu'elle est conforme aux prescriptions de l'arrêté ministériel relatif aux installations soumises à autorisation au titre de la rubrique 2980 des installations classées relatives à la sécurité de l'installation.*

*La description technique des différents systèmes de sécurité de l'installation est effectuée au stade de l'analyse préliminaire des risques (cf. chapitre 9)*

##### **4.6.1. Système de freinage (► IV.2.2.)**

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

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

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

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

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

##### **4.6.2. Système de détection de survitesse (► IV.2.2.)**

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

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

Ce système intervient en plus des systèmes de sécurité prévenant un fonctionnement avec une défaillance (cf. §4.6.6) sur la génératrice (plus de forces contre électromotrices) ainsi que du système « storm control » (cf. § 4.4.8).

#### **4.6.3. Protection foudre (►IV.2.2.)**

L'éolienne est équipée d'un système parafoudre fiable afin d'éviter que l'éolienne ne subisse de dégâts.

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 que l'armoire de contrôle et la génératrice sont protégés par des parasurtenseurs. Toutes les autres platines possédant leur propre alimentation sont équipées de filtres à hautes absorptions. Aussi, la partie telecom 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.

#### **4.6.4. Protection incendie (►IV.2.2.)**

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.

Les composants dédiés à la protection contre l'incendie dans l'éolienne sont les suivants :

Détection	Extinction
- Système de capteurs de température des équipements	- un extincteur manuel CO <sub>2</sub> dans la nacelle, - un extincteur manuel CO <sub>2</sub> au pied du mât

Les agents d'extinction sont appropriés aux risques à combattre.

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 immédiatement stoppée (cf. § 4.4.6.1 :

Arrêt automatique).

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. Ces derniers décident sur place des actions à entreprendre. Le centre de service ENERCON est occupé 24h/24, 7j/7 et par conséquent joignable à tout moment.

Conformément à l'article 23 de l'Arrêté du 26 août 2011, l'exploitant mettra en œuvre les procédures d'arrêt d'urgence mentionnées à l'article 22 dans un délai de soixante minutes.

#### **4.6.5. Système de détection de givre / glace (►IV.2.2.)**

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.

Les dépôts de glace et de givre peuvent réduire le rendement et accroître la sollicitation du matériel (déséquilibre du rotor) et la nuisance sonore. La glace formée peut également présenter un danger pour les personnes et les biens en cas de chute ou de projection.

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

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

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

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

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

Les paramètres analysés par le système de sécurité sont :

- La vitesse de vent pour une puissance donnée<sup>1</sup>. La détection, l'alerte et l'arrêt se font dès la sortie de la machine de ces tolérances (Comme expliqué ci-dessus) ;
- La puissance produite, lorsque la machine fonctionne à sa puissance nominale<sup>2</sup>.

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

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

La documentation relative à ce système est fournie en Annexe 1.

#### **4.6.6. Surveillance des principaux paramètres (►IV.2.2.)**

Un système de surveillance complet garantit la sécurité de l'éolienne. Toutes les fonctions pertinentes pour la sécurité (par exemple : vitesse du rotor, températures, charges, vibrations) sont surveillées par un système électronique et, en plus, là où cela est requis, par l'intervention à un niveau hiérarchique supérieur de capteurs mécaniques. L'éolienne est immédiatement arrêtée si l'un des capteurs détecte une anomalie sérieuse.

Les alertes relatives au fonctionnement de la machine sont remontées automatiquement par le système SCADA des éoliennes (cf. Annexe 1). Un sms et un courrier électronique est envoyé au personnel de la Société d'Exploitation du Parc Eolien les Garaches (S.E.P.E. Les Garaches) et Enercon en cas d'alerte, 7j/7 et 24h/24. De même, ENERCON est informé de toute alerte via les informations remontant par le système SCADA des éoliennes.

Le cas échéant, le personnel ENERCON habilité intervient alors sur site.

---

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

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

Conformément à l'article 23 de l'arrêté du 26 août 2011, l'exploitant sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'éolienne.

Les nombreux capteurs de température implantés dans les équipements de la nacelle permettent également la mise à l'arrêt de l'éolienne sur détection d'une température anormalement haute, ce qui permet la mise en sécurité (freinage aérodynamique de l'éolienne) de l'éolienne en cas d'échauffement matériel ou en cas de départ d'incendie (compte tenu de la répartition des équipements dans le volume de la nacelle, un éventuel départ d'incendie est susceptible d'être détecté en tout point).

Il suffit qu'une seule pale soit mise en drapeau pour freiner l'éolienne.

La réponse est efficace en quelques dizaines de secondes selon les conditions, ce qui est une réponse adaptée à la cinétique des phénomènes envisagés.

#### **4.6.7 Accès aux éoliennes et aux postes de livraison**

Conformément à l'article 13 de l'arrêté du 26 août 2011, l'exploitant s'engage à ce que :  
« Les personnes étrangères à l'installation n'ont pas d'accès libre à l'intérieur des aérogénérateurs.

Les accès à l'intérieur de chaque aérogénérateur, du poste de transformation, de raccordement ou de livraison sont maintenus fermés à clef afin d'empêcher les personnes non autorisées d'accéder aux équipements. »

#### **4.6.8 Consignes de sécurité**

Conformément à l'article 22 de l'arrêté du 26 août 2011 :

« Des consignes de sécurité sont établies et portées à la connaissance du personnel en charge de l'exploitation et de la maintenance. Ces consignes indiquent :

- les procédures d'arrêt d'urgence et de mise en sécurité de l'installation ;
- les limites de sécurité de fonctionnement et d'arrêt ;
- les précautions à prendre avec l'emploi et le stockage de produits incompatibles ;
- les procédures d'alertes avec les numéros de téléphone du responsable d'intervention de l'établissement, des services d'incendie et de secours.

Les consignes de sécurité indiquent également les mesures à mettre en œuvre afin de maintenir les installations en sécurité dans les situations suivantes : survitesse, conditions de gel, orages, tremblements de terre, haubans rompus ou relâchés, défaillance des freins, balourd du rotor, fixations détendues, défauts de lubrification, tempêtes de sable, incendie ou inondation. »



## 4.7. EQUIPEMENTS ET AMENAGEMENTS ANNEXES (► IV.1.3.)

Les principales caractéristiques des éoliennes étudiées sont synthétisées ci-dessous :

### 4.7.1. Chemins d'accès (► IV.1.1.)

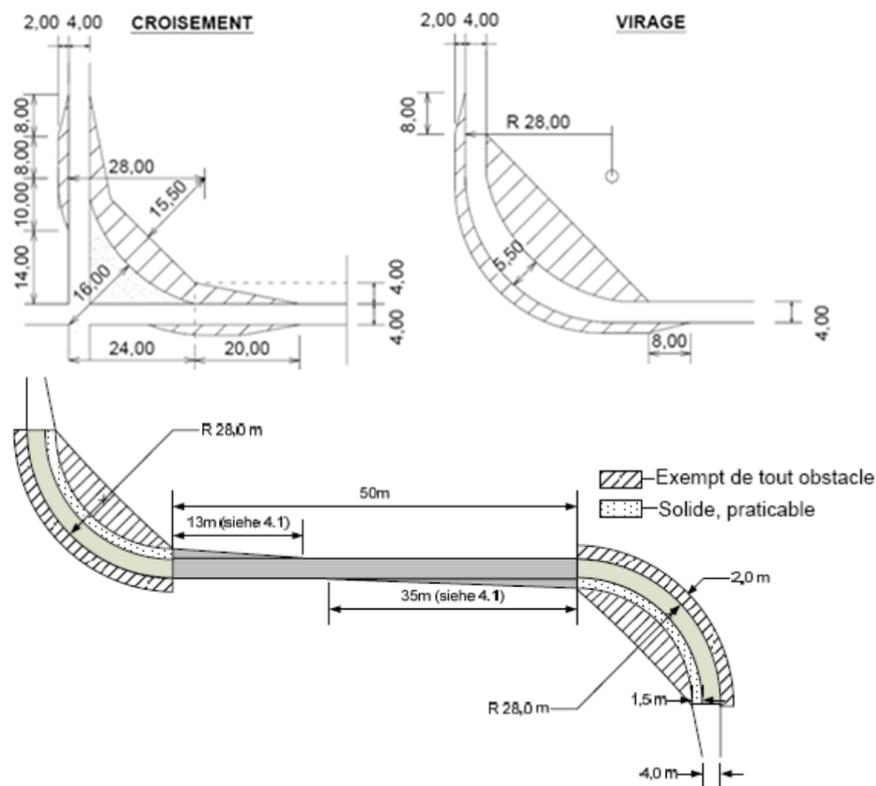
Pour accéder à chaque aérogénérateur, des pistes d'accès sont aménagées pour permettre aux véhicules d'accéder aux éoliennes aussi bien pour les opérations de constructions du parc éolien que pour les opérations de maintenance liées à l'exploitation du parc éolien :

- 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).

Les schémas ci-dessous illustrent des spécifications définissant des contraintes sur les voies d'accès.



➤ Croisements

En cas de croisements, il convient de suivre la méthode de construction pour croisements, représentée ci-dessus. La zone pointillée doit être stable ou il convient alors de la renforcer.

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).

➤ Virages

Lors de la construction d'un nouveau chemin d'accès au niveau des virages, le type de construction spécifique aux virages doit être respecté.

Les zones rayées doivent être exemptes d'obstacles, car elles seront franchies par les composants transportés.

Pour les virages, il n'est pas nécessaire d'avoir un renforcement aussi important que pour les croisements.

➤ Aires de grutage

L'aire de grutage garantit l'effectivité du déroulement de la phase de construction,

**Figure 15 : Exemple de spécifications d'aménagement**

au gel.

Le schéma suivant (Figure 16) représente une disposition standard, adaptée aux spécificités du site.

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 200mm maximum.

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

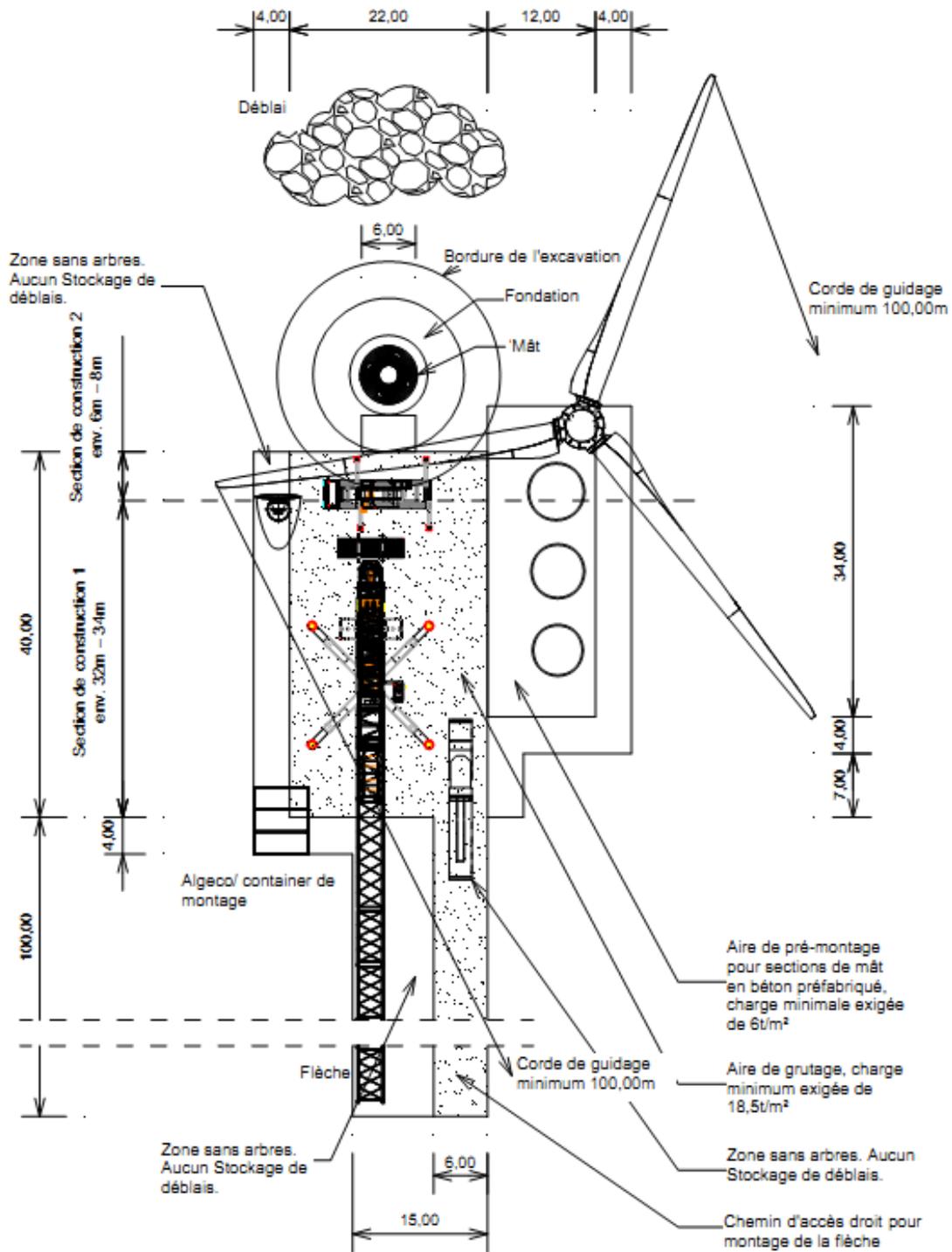


Figure 16 : exemple d'organisation d'une aire de grutage

## 5. APPROBATION DU PROJET D'OUVRAGE

En application de l'Article 6 du II du Décret n°2014-450 du 2 mai 2014, ce chapitre présente les éléments nécessaires à la constitution d'une demande d'Approbation d'un Projet d'Ouvrage au titre de l'article L. 323-11 du Code de l'énergie (Art. 24 du décret n°2011-1697 du 1er décembre 2011).

### 5.1. PRESENTATION GENERALE DU PROJET

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

Pour le projet éolien « les Garaches » sur la commune d'Assainvillers dans la Somme (80), le raccordement interne reliera les 5 éoliennes Enercon E-115 E2 aux deux postes de livraison.

Eolienne	Commune	Parcelle cadastrale	Coordonnées géographiques		Coordonnées géographiques	
			Lambert 93		WGS 84	
			x	y	Latitude	Longitude
E1	Assainvillers	W 2	669827	6946948	N 49°37'15,5"	E 002°34'57,4"
E2	Assainvillers	W 27	670137	6947459	N 49°37'32,1"	E 002°35'12,7"
E3	Assainvillers	W21	670500	6947921	N 49°37'47,1"	E 002°35'30,7"
E4	Assainvillers	Z 33	671234	6947899	N 49°37'46,5"	E 002°36'07,2'
E5	Assainvillers	Z 31	671785	6947892	N 49°37'46,3"	E 002°36'34,7"
Poste de Livraison 1	Assainvillers	ZE 88	670080	6947324	N49°37'27,7"	E 002°35'09,9"
Poste de Livraison 2	Assainvillers	ZE 89	670084	6947326	N49°37'27,8"	E 002°35'10,1"

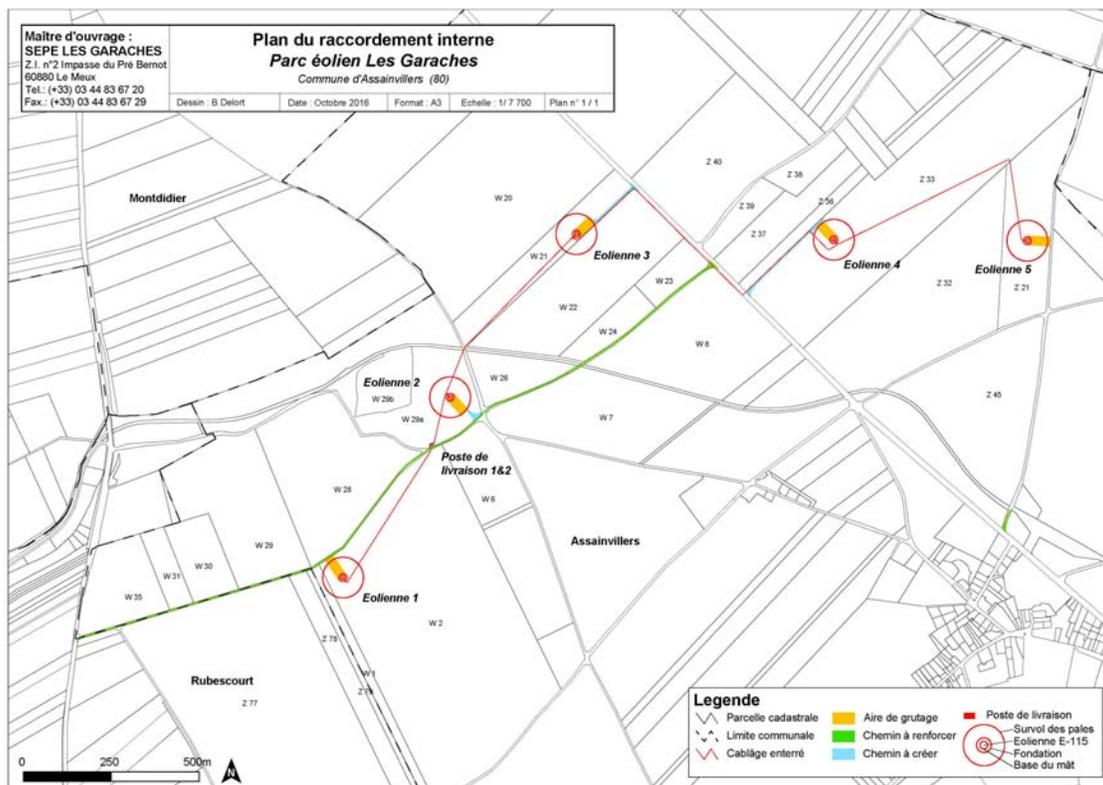


Figure 17 : Carte du raccordement interne du projet éolien « les Garaches »

### 5.1.1. Réseau électrique externe

Dans le cas d'un parc éolien raccordé sur un réseau de distribution, le gestionnaire du réseau de distribution crée lui-même et à la charge financière du producteur, un réseau de distribution haute tension pour relier le producteur directement au poste source le plus proche (ou disponible).

Il est très rare que le gestionnaire de réseau de transport crée de longues distances de réseau pour raccorder l'installation du producteur.

A ce stade de développement du projet éolien, la décision du tracé de raccordement externe par le gestionnaire de réseau n'est pas connue. Les propositions de raccordement réalisées par le porteur de projet, sur les postes sources d'Hargicourt, de Maignelay-Montigny ou d'Hanguest-en-Santerre, ne sont donc pas définitives.

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

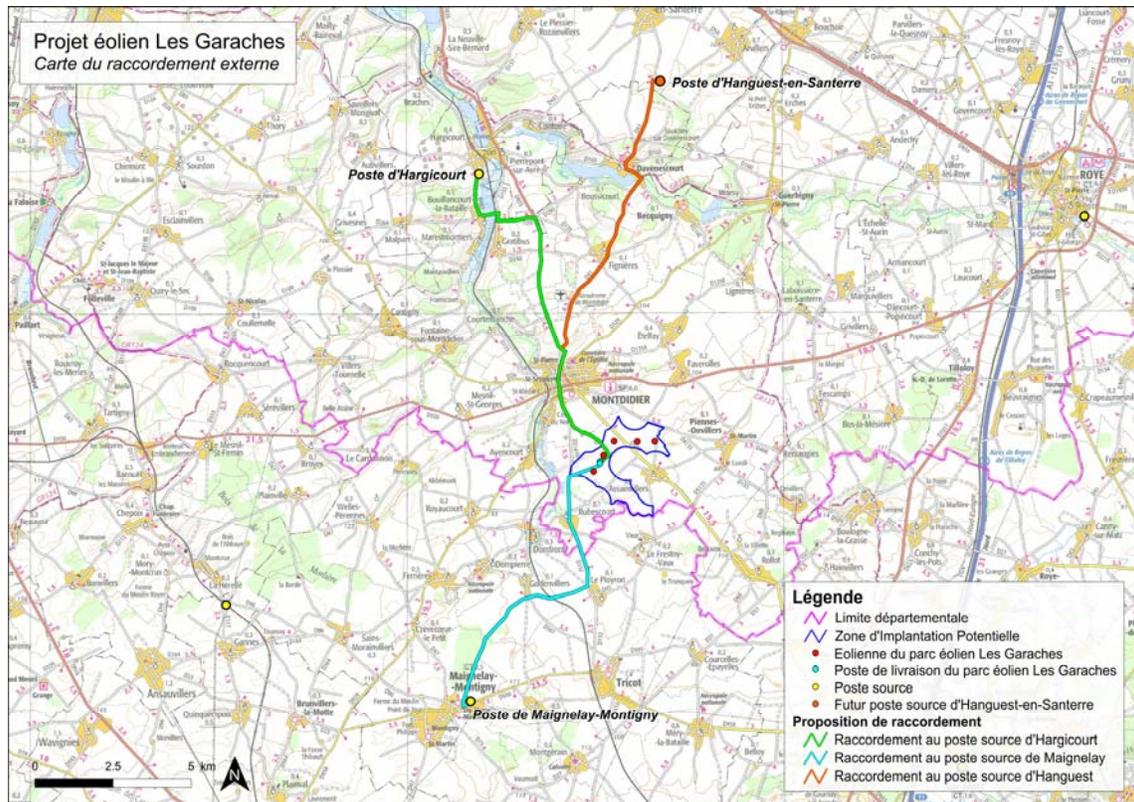


Figure 18 : Raccordement externe du projet éolien des Garaches

### 5.1.2. Réseau de communication

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

## 5.2. RAPPEL DES RENSEIGNEMENTS GENERAUX LIES A L'INSTRUCTION

Maître d'ouvrage : S.E.P.E des Garaches

Puissance : 16 MW

Région : Picardie

Département : Somme (80)

Communes concernées par l'ouvrage électrique (câble et poste) : Assainvillers, Montdidier

## 5.3. ENVIRONNEMENT DE L'INSTALLATION

L'ensemble des éléments descriptifs de l'environnement humain et naturel est disponible dans le présent document des pages 28 à 34.

## 5.4. DESCRIPTION TECHNIQUE DES OUVRAGES ELECTRIQUES ET DES POSTES DE LIVRAISON (OUVRAGES PRIVES)

### 5.4.1. Généralités

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

Câble	Sous voies publiques (m)	Sous voies privées (m)	En domaine privé (autre que voie) (m)	Total (m)
Longueur électrique	-	-	3296	3296
Longueur géographique	-	-	3128	3128

- Description du système de distribution :

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

- Renseignements sur la distribution :

Tronçon	Longueur (*) du tronçon	Commune	Voies publiques empruntées (Désignation de la voie)	Voies privées empruntées (section et numéros)	Domaines privés empruntés (section et numéros)	Observations
E1-PDL1	483 m (géographique) en 95 mm <sup>2</sup> AL	Assainvillers	-	-	W2	En plein champ
		Assainvillers	Voie communale n°3 de Pas à Sainte- Geneviève	-	-	En traversée
		Assainvillers	-	-	W27	En plein champ
PDL2-E2	167m (géographique) en 2x240 mm <sup>2</sup> AL	Assainvillers	-	-	W27	En plein champ
E2-E3	611 m (géographique) en 240 mm <sup>2</sup> AL	Assainvillers	-	-	W27	En plein champ
		Assainvillers	Voie communale n°1 de Montdidier à Vaux	-	-	En traversée
		Assainvillers	-	-	W21	En plein champ
E3-E4	1072 m (géographique) en 150 mm <sup>2</sup> AL	Assainvillers	-	-	W21	En plein champ
		Assainvillers	RD935 d'Amiens à Compiègne	-	-	En accotement puis en traversée de la RD
		Assainvillers	-	-	Z33	En plein champ
E4-E5	795 m (géographique) en 95 mm <sup>2</sup> AL	Assainvillers	-	-	Z33	En plein champ
		Assainvillers	-	-	Z31	En plein champ

## 5.4.2. Le câble / les câbles

### 5.4.2.1. Détails techniques

Conducteur souterrains	
1 – Type de câble	HTA NF 33-226
2 – Nature de l'âme des conducteurs	Aluminium
3 – Nombre, disposition et section des conducteurs	3 conducteurs par câble, disposés en trèfle, section moyenne de 95 mm <sup>2</sup> et 240 mm <sup>2</sup>
4 – Nature des couches isolantes	Polyéthylène
5 – Caractéristique du câble	Caractéristique UTE
6 – Profondeur et pose du câble <ul style="list-style-type: none"> <li>• Sous accotement</li> <li>• En plein champ</li> </ul>	80 cm 120 cm
7 – Profondeur et pose du câble sous chaussée	Non concerné
8 – Protection	Grillage avertisseur placé de 25 à 30 cm au-dessus du câble
9 – Tranchées	Un faisceau de fibres optiques est posé avec les câbles sous fourreau (cf. coupe schématique ci-après)

### 5.4.2.2. Description du câble

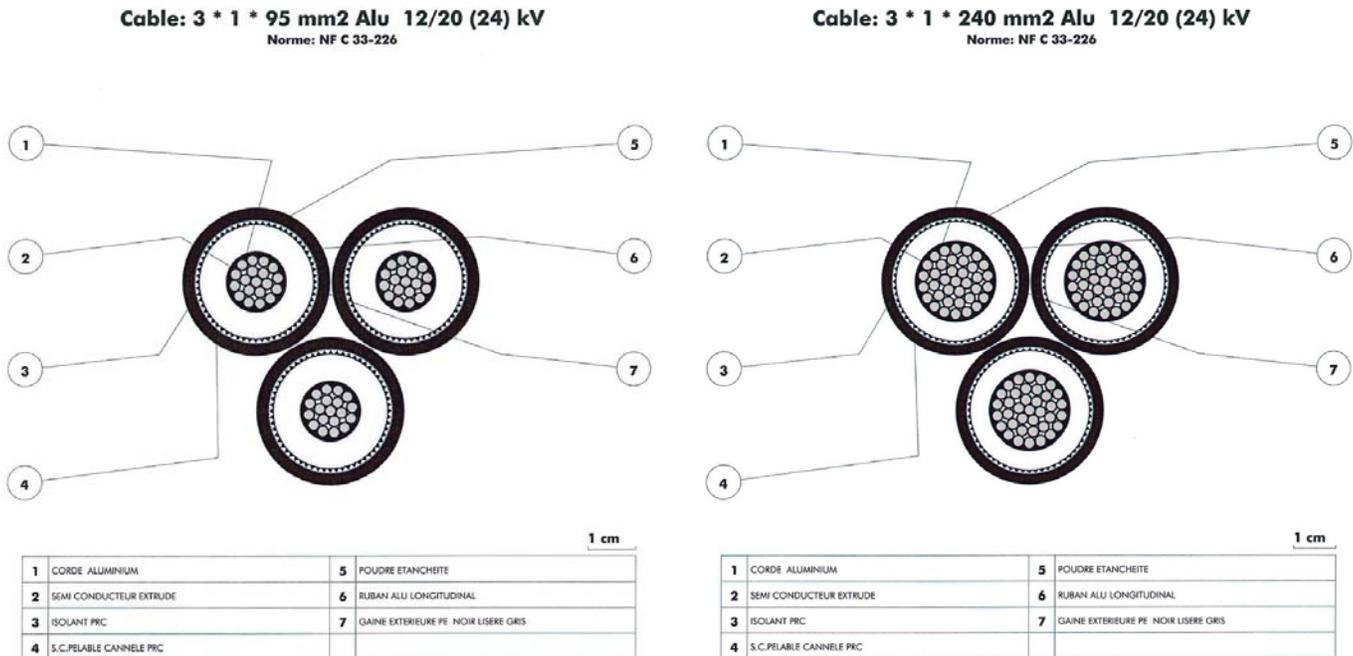


Figure 19 : Plan en coupe des câbles

### 5.4.2.3. Mise en place du câble inter-éoliennes

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

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

Les différentes sections de câblage du projet éolien des Garaches se font majoritairement en accotement des futurs chemins d'accès et plateformes d'exploitation. Celui-ci traversera par 3 fois les futurs chemins d'accès aux éoliennes (PDL et E3) par tranchée ouverte. Le calendrier du chantier de réalisation des chemins et câblage seront harmonisés pour tenir compte de cet aménagement.



Figure 20 : Passage de câbles

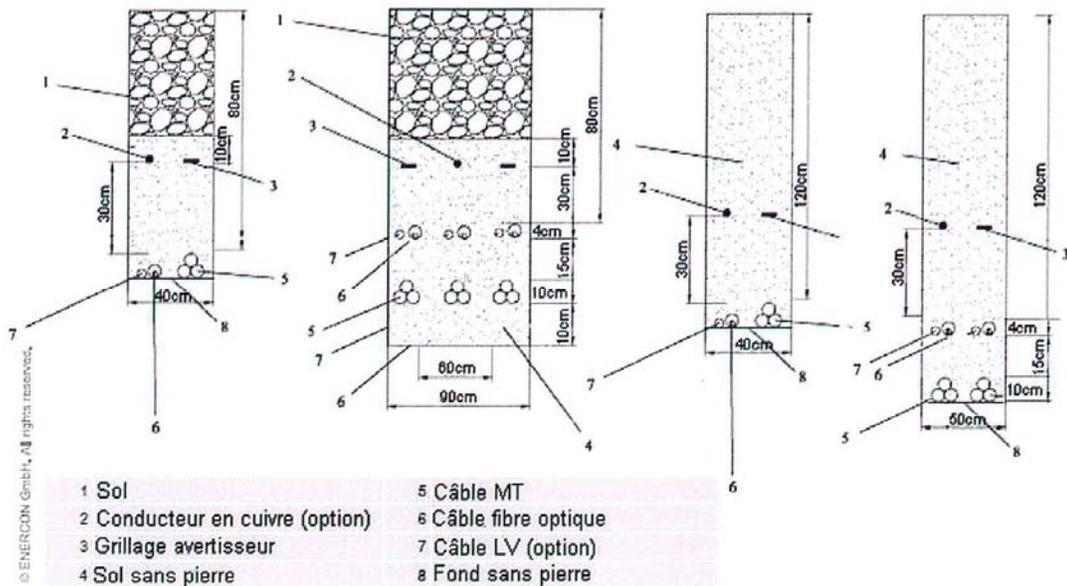


Figure 21 : Coupes des tranchées du raccordement électrique interne

#### 5.4.2.4. Les postes de livraison

Les postes de livraison constituent l'interface du réseau inter-éolien privé avec le réseau public d'électricité.

Les trois grandes fonctionnalités réalisées à cette interface sont la séparation, la protection et le comptage.

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

Ces postes de livraison sont d'une dimension de 6.5 x 2.5 x 2.3 m, avec un local contenant les organes haute tension (HTA, 20 kV) mentionnés ci-dessus, et un local basse tension contenant généralement le système de supervision ainsi que tous les automatismes et systèmes de communication permettant une exploitation optimale de l'ensemble du parc éolien (Système SCADA, cf. Annexe 1).

Les postes de livraison sont des postes préfabriqués en béton armé respectant les normes NF C 15-100 et NF C 13-100, de couleur « Vert sapin » RAL6009 pour une meilleure intégration paysagère. Les postes de livraison respectent la norme de protection contre l'incendie NF C 13-100 (§742) - Classe F0/F1.



**Figure 22 : Poste de livraison type ENERCON**

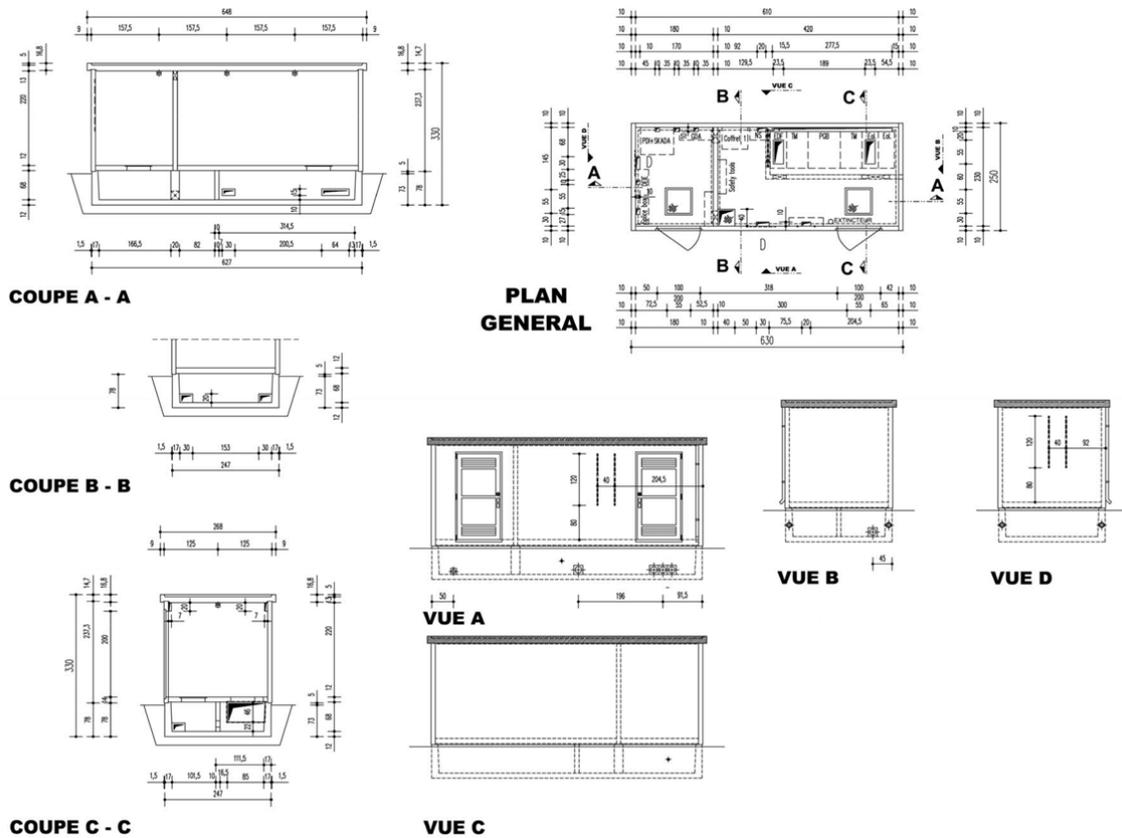


Figure 23 : Plan de façade et de toiture du poste de livraison

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

#### 5.4.2.5. Voisinage avec d'autres réseaux enterrés

Aucun autre réseau souterrain n'est présent dans un rayon de 600 m autour des éoliennes et des postes de livraison.

### 5.5. ENGAGEMENT DU PORTEUR DE PROJET

#### 5.5.1. Respect des règles de l'art

Les installations seront exécutées conformément aux dispositions de la loi du 15 juin 1906 et selon les règles de l'Art et répondront aux prescriptions du dernier Arrêté Interministériel connu déterminant les conditions techniques auxquelles doivent satisfaire les lignes

d'énergie électrique. (Arrêté du 17 mai 2001 modifié par l'arrêté du 26 avril 2002 et celui du 10 mai 2006).

### **5.5.2. Contrôle technique des travaux**

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

### **5.5.3. Information du gestionnaire du réseau public**

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

### **5.5.4. Information auprès de l'INERIS**

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

## 5.6. CERTIFICAT DE MAITRISE FONCIERE DES PROPRIETES

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

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

<b>CERTIFICAT DE MAITRISE DES PROPRIETES</b>
--

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

- des lignes électriques souterraines 3x1x240 mm<sup>2</sup> Alu et 3x1x95 mm<sup>2</sup> Alu ;
- du terrain des postes de livraison.
- 

Communes de : Assainvillers et Montdidier

**Construction des liaisons HTA souterraines de catégorie A (20 KV) d'une longueur d'environ 3128 mètres permettant de relier les 5 éoliennes de type Enercon E-115 E2 3,2 MW du projet éolien des Garaches aux Postes de Livraison raccordés par ERDF au réseau électrique de Distribution Public.**

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

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

Christof Buttner  
Gérant de la S.E.P.E les Garaches

## 6. IDENTIFICATION ET CARACTERISATION DES POTENTIELS DE DANGERS (►V.)

Les objectifs de l'identification des dangers ou potentiels de dangers sont :

- recenser et caractériser les dangers d'une installation ;
- localiser les éléments porteurs de dangers sur un schéma d'implantation de l'installation ;
- identifier les Evénements Redoutés potentiels (ER), étudiés lors de l'Evaluation Préliminaire des Risques (EPR).

*La méthodologie utilisée pour identifier et caractériser les potentiels de dangers repose sur une analyse aussi exhaustive que possible des 4 catégories d'éléments porteurs de dangers, à savoir :*

- *les produits pouvant être présents à l'intérieur de l'installation,*
- *les procédés,*
- *les utilités en cas de perte,*
- *les évènements externes aux procédés, d'origine naturelle et non naturelle.*

*A l'issue de cette étape, les dangers liés aux installations sont identifiés. Ils seront déclinés en scénarios d'accident lors de l'analyse préliminaire des risques (chapitre 9), où seront également déterminés leurs causes et effets possibles.*

### 6.1. POTENTIELS DE DANGERS LIES AUX PRODUITS (►V.1.)

Le tableau ci-après synthétise les dangers liés aux produits présents sur site. Aucun produit dangereux n'est stocké dans les aérogénérateurs et dans les postes de livraison. Ces dangers dépendent de 3 facteurs :

- la nature du produit lui-même et ses caractéristiques dangereuses, traduites par sa classification au sens de l'arrêté du 20 avril 1994 modifié ;
- la quantité de produit mise en œuvre<sup>3</sup> ;
- les conditions de stockage ou de mise en œuvre.

---

<sup>3</sup> Conformément à l'arrêté du 26 Août 2011 (cf. §1.5.1), aucun produit inflammable ou combustible n'est stocké dans les aérogénérateurs ou dans le poste de livraison.

### 6.1.1. Identification des potentiels de dangers liés aux produits (► IV.2.4. & V.1)

Sont récapitulées dans le tableau suivant les substances mises en œuvre dans les machines. Compte tenu des quantités et de l'impact potentiel très limité de fuites éventuelles (contenues dans les équipements), **seuls les produits dont la mention de danger est explicitement mentionnée dans la fiche de données de sécurité sont présentés dans le tableau ci-dessous.**

Produits	Conditions de stockage / d'utilisation / de formation  Quantités maximales stockées / utilisées	Classification													Etiquetage			Commentaires		
		Explosible (E)	Comburant (O)	Extrêmement inflammable (F+)	Facilement inflammable (F)	Inflammable (R10)	Très toxique (T+)	Toxique (T)	Nocif (Xn)	Corrosif (C)	Irritant (Xi)	Sensibilisant (R42, R43)	Cancérogène (CCx) <sup>4</sup>	Mutagène (MCx) <sup>5</sup>	Toxique pour la reproduction (RCx) <sup>6</sup>	Dangereux pour l'environnement (N)	Symboles de danger		Phrases R	Phrases S
MOBILGEAR OGL 461 (graisse lubrifiante)	Graissage des roues dentées																	R38, R41		Irritant pour la peau, Risque de lésions oculaires graves  Incompatibilités : éviter le contact avec les oxydants forts comme le chlore liquide et l'oxygène concentré  Point éclair > 204°C

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

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

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

Produits	Conditions de stockage / d'utilisation / de formation  Quantités maximales stockées / utilisées	Classification														Etiquetage			Commentaires				
		Explosible (E)	Comburant (O)	Extrêmement inflammable (F+)	Facilement inflammable (F)	Inflammable (R10)	Très toxique (T+)	Toxique (T)	Nocif (Xn)	Corrosif (C)	Irritant (Xi)	Sensibilisant (R42, R43)	Cancérogène (CCx) <sup>4</sup>	Mutagène (MCx) <sup>5</sup>	Toxique pour la reproduction (RCx) <sup>6</sup>	Dangereux pour l'environnement (N)	Symboles de danger	Phrases R		Phrases S			
RENOLIN PG 220 (lubrifiant) RENOLIN PG 46	Frein hydraulique : 5 litres																						Nocif pour les organismes aquatiques, peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique. Point éclair : 240°C
RENOLIN UNISYN CLP 220 (lubrifiant)	Huile d'engrenage, Transmissions d'orientation : 7 litres Arbre de renvoi : 4 à 6 litres																						Peut entraîner des effets néfastes à long terme pour l'environnement aquatique. Point éclair : 260°C

(Source : Fiches de données de sécurité, réf. [4])

Les substances mises en œuvre dans les équipements des éoliennes ont toutes un point éclair (PE) supérieur à 200°C :

- Graissage des roues dentées : MOBILGEAR OGL 461 ; PE>204°C
- Graissage de la transmission d'orientation et du palier d'orientation : MOBILGEAR SHC 460 ; PE>240°C
- Graissage du palier à roulements : MOBILTAC 81 ; PE>204°C
- Frein Hydraulique : RENOLIN PG 220 (lubrifiant), RENOLIN PG 46 ; PE>240°C
- Huile d'engrenage / de transmissions / d'orientation / de l'arbre de renvoi : RENOLIN UNISYN CLP 220 ; PE>260°C

- Graisse des roues dentées / du palier d'orientation / du palier à roulements : Klüberplex BEM 41-141 ; PE > 250°C

La substance mise en œuvre dans le transformateur (Shell Diala D get, huile isolante) a un point éclair de 145°C.

Selon le guide réf.[12], « Les classifications R52, R53 prises isolément ou/et R52/R53 ne sont pas susceptibles de donner lieu à un classement dans la nomenclature » les phrases R38 et R41 non donnent pas non plus lieu à un classement. **L'ensemble de ces substances n'est pas classé comme dangereux** au regard de la nomenclature ICPE.

## 6.1.2. Phénomènes dangereux associés au caractère inflammable des huiles et des graisses

### ⇒ Feux de flaque / Feu de nappe

Lorsque de l'huile se répand sur le sol ou sur une surface, il forme une nappe qui s'évapore plus ou moins vite selon les caractéristiques du milieu sur lequel elle s'étend.

Etant donné le point éclair élevé de ces huiles, elles s'enflammeront difficilement. Cependant, un feu de nappe ou un feu de flaque ne peut être écarté.

*Ce danger identifié sera étudié plus spécifiquement dans la partie d'Analyse Préliminaire des Risques (chapitre 9).*

## 6.2. POTENTIELS DE DANGERS LIES AUX PROCEDES

### 6.2.1. Potentiels dangers liés aux déchets (►V.1.)

L'activité de production d'électricité par les éoliennes ne génère pas de déchets, ni d'émissions atmosphériques, ni d'effluents. Les produits sortants concernent donc les opérations de maintenance régulières des installations, sous la forme de déchets.

Seuls deux types de déchets seront produits pendant l'exploitation du parc éolien :

- Déchets industriels banals : ces déchets concernent les pièces usagées non souillées, carton usagers d'emballage (quantités < 1100 litres par an), etc.
- Déchets industriels spéciaux : ces déchets concernent les huiles usagées (transmission), graisses, bombes à graisse usagées vides, etc.

Pour chaque catégorie de déchet, les dangers potentiels (explosif, comburant, carburant, extrêmement inflammable...) sont mentionnés sur les fiches de données sécurité qui les concernent en tant que produit.

Le retour d'expérience ENERCON montre par ailleurs que les quantités de déchets générés sont très faibles. En effet, pour un modèle de type E-126 (plus gros modèle), les déchets annuels sont de l'ordre des quantités suivantes<sup>7</sup> :

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

### 6.2.2. Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation (►V.2.)

---

<sup>7</sup> D'après le document ENERCON « ESC\_Waste\_Amount\_E-126\_after\_commissioning\_2012-02-13\_rev000\_gereng.docx »

Les tableaux ci-après synthétisent les dangers liés au fonctionnement du parc éolien « les Garaches » en conditions nominales que pendant les phases transitoires (mise en service, maintenance...).

Pour rappel, l'étude porte sur les installations durant leur phase d'exploitation normale (excluant les phases de construction, transport, maintenance lourde...).

Equipement / Installation	Phase opératoire	Principaux phénomènes dangereux associés
Mât : - tour - équipements électriques situés dans le mât	Eolienne en fonctionnement Eolienne en phase d'arrêt Eolienne à l'arrêt	Chute du mât Pliage du mât Incendie en pied de mât
Nacelle : - Présence d'huiles et graisses - Equipements électriques et mécaniques	Eolienne en fonctionnement Eolienne en phase d'arrêt Eolienne à l'arrêt	Chute de la nacelle Incendie de la nacelle
Pales / rotor	Eolienne à l'arrêt	Chute de pales / fragments de pale Chute de blocs de glace Incendie au niveau des pales
Pales / rotor	Eolienne en fonctionnement Eolienne en phase d'arrêt	Projection de pales / fragments de pale Projection de blocs de glace Incendie au niveau des pales / projection de débris enflammés
Fondations	Eolienne en fonctionnement Eolienne en phase d'arrêt Eolienne à l'arrêt	Chute du mât
Câbles enterrés	Eolienne en fonctionnement Eolienne en phase d'arrêt Eolienne à l'arrêt	Electrocution

Equipement / Installation	Phase opératoire	Principaux phénomènes dangereux associés
Poste de livraison	Eolienne en fonctionnement Eolienne en phase d'arrêt Eolienne à l'arrêt	Incendie du poste

### 6.3. POTENTIELS DE DANGERS LIES AUX PERTES D'UTILITES

Les répercussions sur le site des défaillances de servitudes communes sont examinées dans le tableau page suivante.

Les scénarios d'accidents associés aux pertes d'utilités sont ensuite décrits au niveau de l'Evaluation Préliminaire des Risques au chapitre 9.

Utilité	Fonction	Type de défaillance	Événement redouté	Commentaires
Electricité	Alimentation des équipements d'exploitation	Perte totale de l'alimentation électrique	Perte d'exploitation	Les scénarios d'accident associés sont décrits dans l'EPR.
	Alimentation des équipements de sécurité	Perte totale de l'alimentation électrique	Perte des fonctions de sécurité	Les scénarios d'accident associés sont décrits dans l'EPR.
Systèmes informatiques		Perte des systèmes informatiques	Non-fonctionnement d'équipements d'exploitation Dysfonctionnements latents d'équipements de sécurité	Les scénarios d'accident associés sont décrits dans l'EPR.
		Perte du système SCADA	Perte du transfert des informations et défauts	Les scénarios d'accident associés sont décrits dans l'EPR.

## 6.4. POTENTIELS DE DANGERS LIES AUX EVENEMENTS EXTERNES AUX PROCEDES (►VII.3.)

### 6.4.1. Potentiels dangers liés aux activités humaines (►VII.3.1.)

Potentiel de dangers		Description des dangers
Dangers externes d'origine non naturelle	<b>Activités industrielles voisines</b>	<p>Un accident sur les installations industrielles voisines (incendie, explosion, projection de « missiles ») pourrait être à l'origine de dégradations des éoliennes :</p> <p>Des projections de « missiles » ou des surpressions peuvent impacter une éolienne et causer des dégradations majeures (chute du mât, rupture de pales ou de fragments de pales).</p> <p>Des effets thermiques peuvent également endommager significativement les installations.</p>
	<b>Activités humaines</b>	Parachute, parapente, ... Un choc sur les pales des éoliennes pourrait causer un endommagement de ces dernières.
	<b>Réseau de canalisations de gaz / autres produits</b>	<p>Un accident sur les canalisations de transport de fluides inflammables peut conduire à des phénomènes dangereux de type explosion, incendie (feu torche, feu de nappe).</p> <p>Par effet domino, les éoliennes peuvent être significativement endommagées.</p>
	<b>Voies de communication</b>	<p>Un accident routier / ferroviaire peut agresser les installations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Impact/choc d'un véhicule sur le mât d'une éolienne,</li> <li>- accident sur des camions / wagons de matières dangereuses (incendie, explosion, ...)</li> </ul> <p><i>Transport aérien</i> : Sous réserve que les éoliennes soient implantées à une distance supérieure à 2 km des aérodromes, le site n'est pas considéré comme se trouvant dans la zone de proximité d'un aérodrome, selon la lettre au Préfet de la Sarthe du 5 février 2007 (relative à la prise en compte de l'événement initiateur « chute d'avion » dans les Etudes de Dangers et dans la Maîtrise de l'Urbanisation et définition de la zone de proximité d'un aéroport).</p> <p>Par conséquent, selon l'annexe IV de l'arrêté du 10 mai 2000 relatif à la prévention des accidents majeurs, l'événement initiateur « chute d'aéronef » n'a pas à être pris en compte dans l'analyse des risques.</p>
	<b>Réseau électrique</b>	Une perte du réseau électrique est étudiée au chapitre 9.
	<b>Malveillance</b>	<p>Les installations peuvent faire l'objet de tentatives éventuelles d'intrusions ou d'actes de malveillance (vols (cuivre), sabotage, etc..) pouvant provoquer des incidents mineurs sur les installations (porte dégradée, ...) et des risques d'électrocution.</p> <p>Conformément à l'annexe IV de l'arrêté du 10 mai 2000 relatif à la prévention des accidents majeurs, les actes de malveillance ne seront pas considérés comme événements initiateurs potentiels dans l'analyse des risques présentée au chapitre 9. Les risques d'intrusion seront cependant étudiés.</p>

Potentiel de dangers		Description des dangers
Maintenance du parc éolien		Les activités de maintenance lourde peuvent être à l'origine de dommages sur les installations existantes en raison notamment de la présence de grues et de véhicules de maintenance. Ces activités sont considérées comme des événements initiateurs potentiels dans l'analyse des risques présentée au chapitre 9.

#### 6.4.2. Potentiels dangers liés aux phénomènes naturels (►VII.3.2.)

Potentiel de dangers		Description des dangers
Conditions climatiques exceptionnelles	<b>Température</b>	<p>Les températures peuvent altérer, de façon temporaire ou définitive, le fonctionnement du matériel en modifiant les propriétés physiques ou les dimensions des matériaux qui le composent.</p> <p>L'environnement est généralement soumis à des cycles de température. Ils accroissent souvent les effets des variations de température et peuvent conduire à une fatigue mécanique précoce. L'application rapide de contraintes, de chocs thermiques, risque de rendre cassants certains matériaux et de provoquer une rupture pour une contrainte de fatigue nettement inférieure à celle qui serait nécessaire dans les conditions stables.</p> <p>Les défauts de fonctionnement, le plus fréquemment, rencontrés sur les installations sont les dysfonctionnements de composants électroniques dus à des décompositions et des ruptures de diélectriques, provoquées par de trop hautes températures.</p> <p>La combinaison de températures froides avec un taux d'humidité élevé peut conduire à la formation de glaces sur les pales des éoliennes. Dans ces conditions climatiques extrêmes (« cinq conditions »), des gouttes d'eau surfondues heurtent les pales froides et gèlent. Des blocs de glace peuvent alors se former sur les pales de l'éolienne et être projetés sous l'effet du vent ou de la rotation des pales.</p> <p>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 s'exerçant sur les matériaux</p>
	<b>Pluie</b>	<p>Les précipitations sont l'une des sources d'humidité qui constituent un facteur essentiel dans la plupart des types de corrosion. L'impact des gouttes de pluie risque d'engendrer une érosion de nombreux matériaux et de revêtements de protection.</p> <p>À l'extérieur, les pales du rotor sont protégées des intempéries par un revêtement de surface. Ce revêtement à base de polyuréthane est robuste et très résistant.</p> <p>De fortes précipitations peuvent conduire à une inondation ayant pour conséquence la dégradation des installations et une éventuelle chute du mât des éoliennes.</p>

Potentiel de dangers		Description des dangers
	<b>Neige et glace</b>	<p>La neige est une précipitation de cristaux de glace. Son accumulation sur des surfaces horizontales occasionne des charges importantes. Les défauts les plus souvent rencontrés sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ rupture des structures, due à une charge trop importante,</li> <li>▪ courts-circuits par dépôts de neige,</li> <li>▪ perte de visibilité.</li> </ul> <p>Par les surcharges qu'il apporte aux toitures, l'enneigement peut provoquer leur effondrement si elles ne sont pas suffisamment dimensionnées.</p> <p>En raison de la forme aérodynamique de la nacelle, le risque d'accumulation de neige est limité.</p> <p>Risque d'accumulation de neige sur les pales. Ce cas de charge n'est pas dimensionnant pour l'éolienne.</p>
	<b>Vents violents</b>	<p>Les vents violents peuvent être la cause de détériorations de structures, de chute/pliage de mât, de survitesse des pales et de projection de pales.</p> <p>Les vents violents sont pris en compte dans le dimensionnement des éoliennes. Les cas de charge sont décrits dans la norme IEC 61400.</p>

Potentiel de dangers		Description des dangers
	<b>Foudre</b>	<p>La foudre est un phénomène électrique de très courte durée, véhiculant des courants de forte intensité, 20 kA en moyenne avec des maxima de l'ordre de 100 kA, se propageant avec des fronts de montée extrêmement raides entre deux masses nuageuses ou entre une masse nuageuse et le sol.</p> <p>Les dangers liés à la foudre sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ les effets thermiques pouvant être à l'origine : <ul style="list-style-type: none"> <li>– d'un incendie ou d'une explosion, soit au point d'impact, soit par l'énergie véhiculée par les courants de circulation conduits ou induits,</li> <li>– de dommages aux structures et construction,</li> </ul> </li> <li>▪ les perturbations électromagnétiques qui entraînent la formation de courants induits pouvant endommager les équipements électroniques, en particulier les équipements de contrôle commande et/ou de sécurité,</li> <li>▪ les effets électriques pouvant induire des différences de potentiel.</li> </ul> <p>De par leur taille, les éoliennes sont particulièrement vulnérables au risque foudre.</p> <p>L'éolienne est équipée d'un système parafoudre fiable afin d'éviter que l'éolienne ne subisse de dégâts (cf. §4.6.3).</p> <p>Les éoliennes doivent également répondre aux exigences de l'arrêté du 15 janvier 2008 relatif à la protection contre la foudre de certaines installations classées :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Article 1, deuxième alinéa : « En outre, les dispositions du présent arrêté peuvent être rendues applicables par le préfet aux installations classées soumises à autorisation non visées par l'annexe du présent arrêté dès lors qu'une agression par la foudre sur certaines installations classées pourrait être à l'origine d'événements susceptibles de porter atteinte, directement ou indirectement, aux intérêts visés à l'article L. 511-1 du code de l'environnement. »</li> <li>- L'article 3 de cet arrêté précise que la définition des mesures de prévention et des dispositifs de protection doit être réalisée dans une étude technique, distincte de l'Analyse du Risque Foudre, qui définira également les modalités de leur vérification et de leur maintenance.</li> </ul>
Mouvements de terrain	<b>Séisme</b>	<p>Les séismes sont caractérisés par deux grandeurs : la magnitude et l'intensité.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ La magnitude est une mesure logarithmique de la puissance du séisme (énergie dégagée sous forme d'ondes élastiques au sol). Cette notion a été définie par Richter en 1935. C'est une grandeur continue. L'énergie est multipliée par 30 quand la magnitude croît de 1.</li> </ul> <p>La magnitude seule ne permet pas de caractériser les dégâts causés à la surface du séisme. En effet, ceux-ci dépendent aussi de la nature et des mouvements du sol, du contenu fréquentiel et de la durée du phénomène.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ L'intensité macrosismique permet de caractériser les effets</li> </ul>

Potentiel de dangers		Description des dangers
		<p>destructeurs observés des séismes. C'est une quantité empirique, basée sur des observations.</p> <p>C'est la seule quantité qui puisse être utilisée pour décrire l'importance des séismes historiques qui ont eu lieu avant l'ère instrumentale, c'est-à-dire avant les premiers réseaux d'observation sismologique du début du siècle.</p> <p>La prévention du risque sismique est notamment régie par :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Le Code de l'Environnement, au travers des articles R563-1 à R563-8 relatifs à la prévention du risque sismique,</li> <li>▪ l'arrêté du 22 octobre 2010 relatif à la classification et aux règles de construction parasismique applicables aux bâtiments de la classe dite « à risque normal »</li> <li>▪ Décret n° 2010-1255 du 22/10/10 portant délimitation des zones de sismicité du territoire français</li> <li>▪ Décret n° 2010-1254 du 22/10/10 relatif à la prévention du risque sismique</li> <li>▪ Circulaire n° 2000-77 du 31/10/00 relative au contrôle technique des constructions pour la prévention du risque sismique</li> <li>▪ Arrêté du 10 mai 1993 fixant les règles parasismiques applicables aux installations soumises à la législation sur les installations classées</li> <li>▪ Circulaire DPPR/SEI du 27 mai 1994 relative à l'arrêté du 10 mai 1993 fixant les règles parasismiques applicables aux installations classées pour la protection de l'environnement.</li> </ul> <p>Les articles R563-1 à D563-8-1 du Code de l'Environnement définissent (à partir du 1<sup>er</sup> mai 2011):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ le risque « normal »,</li> <li>▪ le risque « spécial »,</li> <li>▪ les Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles,</li> <li>▪ Pour l'application des mesures de prévention du risque sismique aux bâtiments, équipements et installations de la classe dite "à risque normal", le territoire national est divisé en cinq zones de sismicité croissante : <ul style="list-style-type: none"> <li>– Zone de sismicité 1 (très faible) ;</li> <li>– <b>Zone de sismicité 2 (faible) ;</b></li> <li>– Zone de sismicité 3 (modérée) ;</li> <li>– Zone de sismicité 4 (moyenne) ;</li> <li>– Zone de sismicité 5 (forte).</li> </ul> </li> </ul> <p>La présence d'une grande partie de la masse en haut de la tour rend les éoliennes particulièrement vulnérables aux séismes. Un séisme pourrait conduire à la chute du mât. Les éoliennes sont dimensionnées conformément à la réglementation française en vigueur.</p>

Potentiel de dangers		Description des dangers
	<b>Mouvement de terrain hors séisme</b>	<p>Un mouvement de terrain pourrait être à l'origine d'une chute d'éolienne.</p> <p>Le risque de mouvement de terrain hors séisme doit faire l'objet d'une étude géotechnique. Son but est de garantir un bon dimensionnement des installations au vu de la géologie du site d'implantation, ceci afin d'écartier le risque de mouvement de terrain hors séisme.</p>
Incendie de végétation		Un incendie de la végétation présente dans le site et aux alentours serait susceptible de se propager aux installations.

## **6.5. POTENTIELS DE DANGERS LIES AUX PHASES DE TRAVAUX (►VII.3.1.)**

Les phases de travaux engendrent des risques particuliers, liés aux équipements mis en œuvre pour les opérations de montage et de démontage des éoliennes.

### **6.5.1. Montage**

Les voies et chemins d'accès doivent permettre une arrivée aisée sur la zone d'installation de manière à acheminer dans de bonnes conditions l'ensemble des pièces techniques utilisées lors de l'assemblage. Une opération de travaux de voirie sera réalisée sur les voies nécessitant un aménagement.

Elles seront balisées de façon visible et permanente jusqu'à la fin du chantier et seront utilisées ensuite pour les opérations liées à la maintenance et à l'entretien.

Une aire de levage sera également créée afin de permettre le stationnement des grues de levage permettant l'assemblage des différents composants de l'éolienne, ainsi que des engins de chantier. De plus, une zone d'assemblage (supprimée à la fin du chantier) sera également créée.

### **6.5.2. Démontage**

La description des phases de démontage n'est pas encore définitive à ce stade du projet. Cependant, différentes options sont d'ores et déjà identifiées et bénéficient d'un retour d'expérience du fait de leur mise en œuvre sur d'autres installations.

Le document en Annexe 2 précise les conditions de démontage envisagées pour les éoliennes.

Selon l'article L553-3 du Code l'environnement, « l'exploitant d'une installation produisant de l'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent est responsable de son démantèlement et de la remise en état du site à la fin de l'exploitation. Au cours de celle-ci, il constitue les garanties financières nécessaires dans les conditions définies par décret en Conseil d'Etat. ».

Ainsi, en fin de vie, le démantèlement de l'ensemble du parc éolien générera des déchets inertes en majorité recyclables (ferraille, ciment, plastiques ...) et des déchets spéciaux (principalement des huiles), en faible quantité. Les éoliennes seront démantelées, et les fondations détruites conformément aux préconisations de l'article 1 de l'*arrêté du 26 août 2011 relatif à la remise en état et à la constitution des garanties financières pour les installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent*. Les matériaux constituant ces installations seront majoritairement recyclés (cimenterie, sidérurgie, plasturgie).

### 6.5.3. Synthèse des risques

Le tableau ci-dessous récapitule les risques identifiés comme spécifiques à ces phases de travaux :

Potentiel de dangers	Description des dangers
- Grue	Chute de la grue Chute d'éléments
Equipement / Engins de chantier : - Générateurs électriques - Postes mobiles (ex : soudure)	Accident avec des personnes (écrasement / choc) Electrocution Accident d'origine mécanique lié au chantier

Les phases de montage et de démontage impliquent la mise en œuvre de moyens externes dans des conditions relativement similaires. Elles se distinguent par :

- la construction des fondations et des voies d'accès pour la phase de construction ;
- la possibilité de différentes variantes dans le cadre du démontage des éoliennes.

## 7. REDUCTION DES POTENTIELS DE DANGERS (►V.3.)

*L'étude de la réduction des potentiels de dangers vise à analyser les possibilités de :*

- suppression des procédés et des produits dangereux, c'est-à-dire des éléments porteurs de dangers,*
- ou bien de remplacement de ceux-ci par des procédés et des produits présentant un danger moindre,*
- ou encore de réduction des quantités de produits dangereux mises en œuvre sur le site.*

### 7.1. SUPPRESSION DES POTENTIELS DE DANGERS (►V.3.1.)

Les produits dangereux présents sur l'éolienne ne peuvent pas être supprimés car ils sont nécessaires au bon fonctionnement du procédé (lubrification).

### 7.2. REDUCTION DES QUANTITES DE PRODUITS DANGEREUX (►V.3.1.)

Les éoliennes ENERCON sont conçues sans multiplicateur. Ce design 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 12 transmissions d'orientation (pour contrôler l'orientation de la nacelle). Chacune de ces transmissions sont remplies d'environ 7 litres d'huiles (soit moins de 100 litres au maximum). 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 (environ 2 litres). 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 celui-ci.
- **Graissage du palier à roulement** : Les profils de dents et le palier de l'éolienne sont lubrifiés à l'aide 2,7 litres de graisses spéciales. L'excédent de graisse ou les fuites éventuelles sont contenues 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 au cours de la maintenance.

- **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 (environ 600 litres). 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.

### **7.3. GESTION DES PHASES DE TRAVAUX (►V.3.1.)**

#### **7.3.1. Communication – sensibilisation du public**

L'installation locale du bureau de chantier et des équipements annexes est organisée avant le début des travaux. L'adresse du bureau de chantier, ainsi que les noms des responsables et leurs numéros de téléphone sont communiqués aux représentants agricoles départementaux et aux maires des communes concernées.

#### **7.3.2. Gestion du chantier**

La pression d'appui des grues est répartie sur l'aire de grutage grâce à des plaques de répartition des charges. L'aire de grutage est donc dimensionnée de telle sorte que tous les travaux requis pour le montage de l'éolienne, mât inclus, puissent être exécutés de manière optimale et qu'elle supporte les pressions exercées.

Les voies d'accès et chemins sont balisés de façon visible et permanente jusqu'à la fin du chantier.

Un périmètre est également défini autour du chantier, accompagné d'un panneau d'avertissement des dangers liés au chantier et restreignant l'accès à la zone de travaux.

### **7.4. UTILISATION DES MEILLEURES TECHNIQUES DISPONIBLES (►V.3.2.)**

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.**

## 8. ANALYSE DE L'ACCIDENTOLOGIE (►VI.)

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

Rappelons que l'objectif de l'analyse de l'accidentologie n'est pas de dresser une liste exhaustive de tous les accidents ou incidents survenus, ni d'en tirer des données statistiques. Il s'agit, avant tout, de rechercher les types de sinistres les plus fréquents, leurs causes et leurs effets, ainsi que les mesures prises pour limiter leur occurrence ou leurs conséquences.

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

L'analyse des retours d'expérience vise donc ici à faire émerger des typologies d'accident rencontrés tant au niveau national qu'international. Ces typologies apportent un éclairage sur les scénarios les plus rencontrés.

### 8.1. INVENTAIRE ET DESCRIPTION DES ACCIDENTS RECENCES EN FRANCE (►VI.1.)

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 Garaches. Cet inventaire se base sur le retour d'expérience de la filière éolienne tel que présenté dans le guide technique FEE (réf. [9]). L'inventaire des accidents survenus recense les incidents les plus fréquents. Celui-ci concerne l'ensemble des différents modèles d'éolienne y compris les éoliennes ENERCON. Cette base de données est jugée suffisante dans le guide INERIS pour rendre compte de l'accidentologie de la filière éolienne.

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 de 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.

L'accidentologie relatée ci-après a été tenue à jour sur les événements postérieurs à la parution du guide de l'association FEE (réf. [9]) par la consultation de :

- La base ARIA (Analyse, Recherche et Information sur les Accidents) du BARPI (Bureau d'Analyse des Risques et Pollutions Industrielles – Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire) qui recense et analyse les accidents et incidents, survenus en France ou à l'étranger, depuis le 1er janvier 1992 (date de création du BARPI). Les événements les plus graves qui ont pu se produire avant 1992 sont également répertoriés (6% des accidents français ou étrangers recensés dans ARIA sont antérieurs à 1988).
- La note technique accidentologie du SER – FEE (réf. [8]) recense des incidents liés aux parcs éoliens en France, sur la base des informations suivantes :
  - rapport du Conseil Général des Mines (juillet 2004),
  - base de données ARIA,
  - communiqués de presse du SER – FEE et/ou des exploitants éoliens,
  - site Internet de l'association « Vent de Colère » (anti-éolien),
  - site Internet de l'association « Fédération Environnement Durable » (anti-éolien),
  - articles de presse divers,
  - données diverses fournies par les exploitants de parcs éoliens en France.

Cette note fournit également, dans sa deuxième partie des indications qualitatives sur les typologies d'accidents ayant affecté des parcs éoliens dans le reste du monde. La note précise qu'il apparaît impossible aujourd'hui d'effectuer un recensement exhaustif à l'échelle internationale, en raison notamment du grands nombre de parcs installés et du manque de retours d'expérience dans certains pays.

① ***Dans ce paragraphe sont recensés et analysés les accidents survenus en France sur des installations similaires à l'installation concernée par 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 Mesures prises
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	Evolution des normes de conception ; tests de survitesse à 150rpm
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 et technologie peu comparable
Effondrement	01/02/2002	Wormhout	Nord	0,4	1997	Non	Bris d'hélice et mât plié	Tempête	Rapport du CGM Site Vent du Bocage	Evolution des normes de conception ; tests de survitesse à 150rpm
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) Formation et habilitation du personnel : procédure de signalement des visites sur site. Consignation des postes.
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)	Evolution des technologies de commande. Chaîne de commandes de sécurité indépendante. Pitch hydraulique mettant les pales en drapeaux sur décharge des vérins.

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 Mesures prises
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 et technologie peu comparable
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)	Information peu précise et technologie peu comparable
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)	Entretien des machines assuré par le constructeur, Enercon. Contrôles selon exigences réglementaires.
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)	Contrôle des fondations par la maîtrise d'œuvre.
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)	Systèmes de sécurité survitesse.
Rupture de pale	08/07/2004	Pleyber-Christ - Site du Télégraphe	Finistère	0,3	2001	Non	Survitesse puis éjection de bouts de pales de 1,5 et 2,5 m à 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)	Incident identique à celui s'étant produit 15 jours auparavant

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 Mesures prises
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	Evolution des technologies de commande. Chaîne de commandes de sécurité indépendante. Pitch hydraulique mettant les pales en drapeaux sur décharge des vérins.  Extincteurs mobiles ; Nombreux capteurs de température ; moyens d'évacuation de la nacelle (treuil)
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	Système de bridage automatisé.
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 Mesures prises
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)	Double anémomètre ; procédure d'arrêt automatique de l'éolienne.
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) Sensibilisation du personnel et procédures cadrant les opérations de maintenance ; Consignation de l'éolienne lors des interventions.
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)	Observation de l'état des installations lors des visites régulières.

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 Mesures prises
Emballement	03/2008	Dinéault	Finistère	0,3	2002	Non	Emballement de l'éolienne mais pas de bris de pale	Tempête + système de freinage hors service (boulon manquant)	Base de données ARIA	Non utilisable directement dans l'étude de dangers (événement unique et sans répercussion potentielle sur les personnes) Système de bridage automatisé.
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) Balisage réglementaire et communication avec la DGAC (Avis favorable de la DGAC)
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)	Protection foudre.
Incendie	28/08/2008	Vauvillers	Somme	2	2006	Oui	Incendie de la nacelle	Problème au niveau d'éléments électroniques	Dépêche AFP 28/08/2008	Extincteurs mobiles ; Nombreux capteurs de température ; moyens d'évacuation de la nacelle (treuil).
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)	-

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 Mesures prises
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) Habilitation électrique du personnel et consignes de sécurité, Consignation des clés et procédures d'intervention.
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) Protection foudre.
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	Extincteurs mobiles ; Nombreux capteurs de température ; moyens d'évacuation de la nacelle (treuil)
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)	Extincteurs mobiles ; Nombreux capteurs de température ; moyens d'évacuation de la nacelle (treuil)
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)

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 Mesures prises
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	Evolution des technologies de commande. Chaîne de commandes de sécurité indépendante. Pitch hydraulique mettant les pales en drapeaux sur décharge des vérins.
Incendie	19/09/2010	Montjoyer-Rochefort	Drôme	0,75	2004	Non	Emballement de deux éoliennes et incendie des nacelles.	Maintenance en cours, problème de régulation, freinage impossible, évacuation du personnel, survitesse de +/- 60 tr/min	Articles de presse Communiqué de presse SER-FEE	Régulation des éoliennes par système pitch ; Extincteurs mobiles ; Nombreux capteurs de température ; moyens d'évacuation de la nacelle (treuil).
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) Plan de prévention.
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)

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 Mesures prises
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. Protection foudre.
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 [XXX -> cf. ARIA]	Base de données ARIA Article de presse (La Voix du Nord 06/01/2012) Vidéo DailyMotion Interne exploitant	Systèmes de sécurité survitesse. Principes de conception différents (frein aérodynamique)
Maintenance	06/02/2012	Lehaucourt	Aisne	2,5	2007	Oui	Grave électrisation avec brûlures de deux techniciens		Base de données ARIA	Ne concerne pas directement l'étude de dangers (accident sur le personnel de maintenance) Formation et habilitation du personnel : procédure de signalement des visites sur site. Consignation des postes.

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 Mesures prises
Chute de pale	11/04/2012	Sigean	Aude	0,66	2000	Non	Impact sur le mat et projection à 20 m d'un débris de pale long de 15 m.	Impact de foudre sur l'éolienne, défaut de vibration.	Base de données ARIA	
Chute de pale	18/05/2012	Fresnay-L'évêque	Eure-et-Loir	2	2008	Oui	Chute d'une pale (9t, 46 m) au pied de l'installation, rupture du roulement qui raccordait la pale au hub	Corrosion dans les trous d'alésages traversant une des bagues du roulement reliant pale au hub.	Base de données ARIA	
Chute d'éolienne	30/05/2012	Port-La-Nouvelle	Aude	0,2	1991	Non	Effondrement de la tour en treillis de 30m de haut	Rafales de vent à 130 km/h	Base de données ARIA	
Incendie	05/11/2012	Sigean	Aude	0,66			Incendie dans l'armoire électrique en pied d'éolienne, qui se propage à l'ensemble de l'éolienne, projections incandescentes qui enflamment 80m <sup>2</sup> de garrigue environnante.	Dysfonctionnement de disjoncteur situé sur l'éolienne (propagation de courants de court-circuit faisant fondre les câbles et entraînant un départ d'incendie dans la nacelle, dysfonctionnement du frein de l'éolienne	Base de données ARIA	Dispositifs de protection électrique, possibilités de suraccident Pistes d'amélioration dans la détection et la localisation des incendies d'éoliennes, réduction des délais d'intervention.
Rupture de pale	06/03/2013	Conilhac-de-la-Montagne	Aude	0,85	2001	Non	Décrochement d'une pale, impact sur le mât	Défaut de vibration	Base de données ARIA	

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers Mesures prises
Incendie	17/03/2013	Euvy	Marne				Incendie dans la nacelle de l'éolienne, chute d'une pale, écoulement de 450 l d'huile de boîte de vitesse	Défaut électrique, absence de détecteurs de fumées	Base de données ARIA	Etude de la possibilité d'installer des détecteurs de fumée dans les éoliennes.
Rupture de pale	20/06/2013	Labastide-sur-Besorgues	Ardèche	0,8	-	-	Pale déchirée sur 6m de longueur, boîtier basse tension et parafoudre en tête d'installation au poste de livraison détruits	Impact de foudre	Base de données ARIA	
Maintenance	01/07/2013	Cambon-et-Salvergues	Hérault	-	-	-	Décompression rapide de l'azote contenu dans l'accumulateur, projection de la vanne d'isolement au visage de l'opérateur, qui lui brise le nez et plusieurs dents. Hospitalisation de l'opérateur	Erreurs/omissions pendant la procédure de maintenance	Base de données ARIA	Modification des procédures de maintenance de l'exploitant, renforcement de la formation des techniciens sur les aspects risques.
Maintenance	03/08/2013	Moreac	Morbihan	-	-	-	Une nacelle utilisée pour une intervention de maintenance perd 270 l d'huile hydraulique		Base de données ARIA	
Incendie	09/01/2014	Antheyy	Ardennes	2,5			Incendie au niveau de la partie moteur, nacelle détruite		Base de données ARIA	

Type d'accident	Date	Nom du parc	Département	Puissance (en MW)	Année de mise en service	Technologie récente	Description sommaire de l'accident et dégâts	Cause probable de l'accident	Source(s) de l'information	Commentaire par rapport à l'utilisation dans l'étude de dangers Mesures prises
Chute de pale	20/01/2014	Sigean	Aude	0,66	2000	Non	Chute de pale	Fissures sur la pièce en aluminium « alu ring » à la base de la pale.	Base de données ARIA	Remplacement des pales des éoliennes à l'arrêt par des pièces faisant l'objet d'un nouveau design. Mise en place sur les autres, d'un contrôle périodique permettant de suivre l'évolution des fissures.
Chute de pale	14/11/2014	Saint-Cirgues-en-Montagne	Ardèche	-	-	-	Chute de pale, projection de débris	Orage, vent violent	Base de données ARIA	
Chute d'élément	05/12/2014	Fitou	Aude	1,3	2002	Non	Chute de l'extrémité d'une pale : une des 2 parties de l'aérofrein de la pale	Défaillance matérielle ou décollage sur les plaques en fibre de verre	Base de données ARIA	
Incendie	29/01/2015	Remigny	Aisne	2,3	2012	Oui	Incendie	Défaut d'isolation au niveau des connexions des connecteurs de puissance	Base de données ARIA	
Incendie – Maintenance	06/02/2015	Lusseray	Deux-Sèvres	-	-	-	Incendie au niveau d'une armoire électrique où interviennent deux techniciens		Base de données ARIA	
Incendie	24/08/2015	Santilly	Eure-et-Loir	2,5	2007	Oui	Incendie contenu dans la nacelle		Base de données ARIA	

## 8.2. ANALYSE DES ACCIDENTS RECENSES

L'accidentologie montre que les accidents recensés survenus sur des parcs éoliens sont dus en majeure partie à des causes extérieures, dont notamment à des tempêtes. On observe que le dysfonctionnement du système de freinage est également une mention récurrente de ce retour d'expérience qui, couplé à des conditions de vent fort, mène généralement à l'accident.

Ce point, et en l'occurrence la désactivation des systèmes de sécurité ou de tout système lié au bon fonctionnement des systèmes de freinage, sont donc particulièrement sensible.

Les évènements identifiés sont également en grande partie survenus suite à une intervention sur l'éolienne. La rigueur des opérations de maintenance est donc un paramètre clé de la réduction des risques sur les éoliennes.

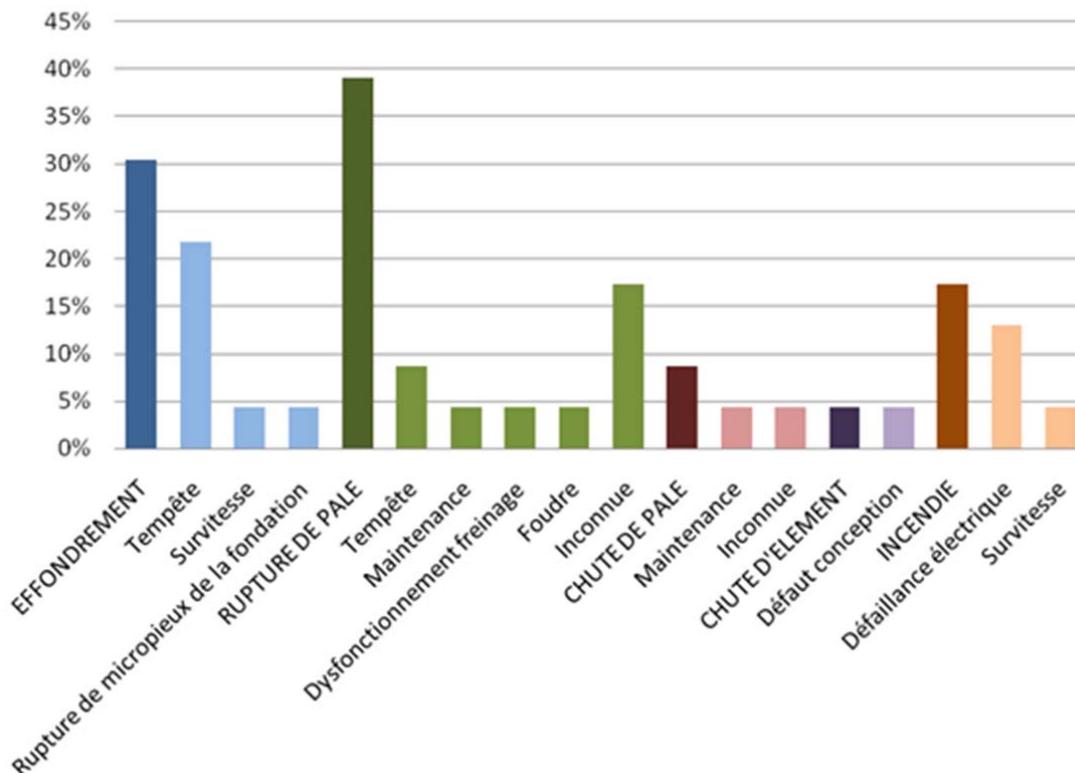
On observe cependant que les technologies ont beaucoup évoluées et que ces accidents sont survenus sur des modèles généralement anciens. Les nouvelles normes de conception et de sécurité permettent désormais de réduire significativement le risque de rencontrer ces mêmes évènements.

Il apparaît dans le recensement effectué 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 présentées :

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

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



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

### 8.2.1. Inventaire des accidents et incidents à l'international (► VI.2.)

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).

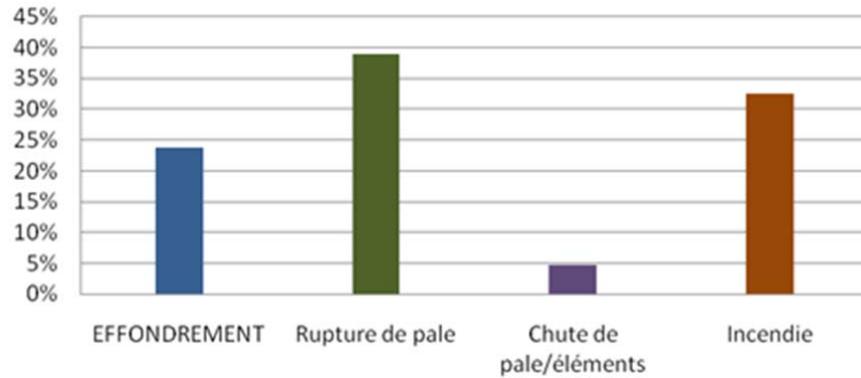


Figure 24 : Répartition des évènements accidentels (éolien) dans le monde entre 2000 et 2011

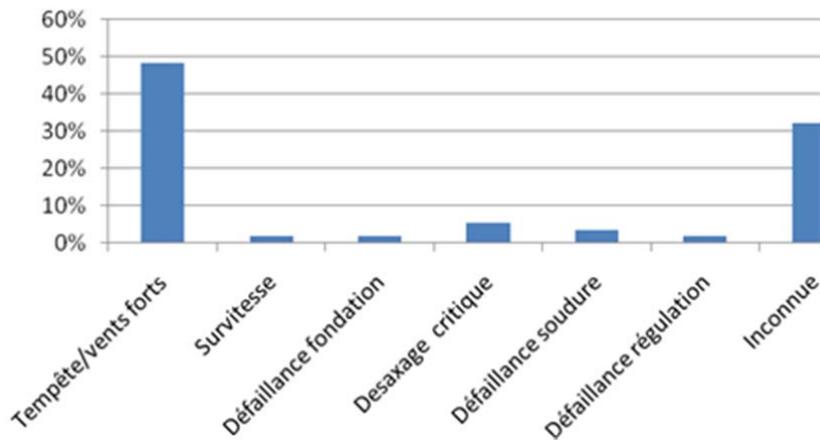


Figure 25 : Répartition des causes premières d'effondrement d'éolienne

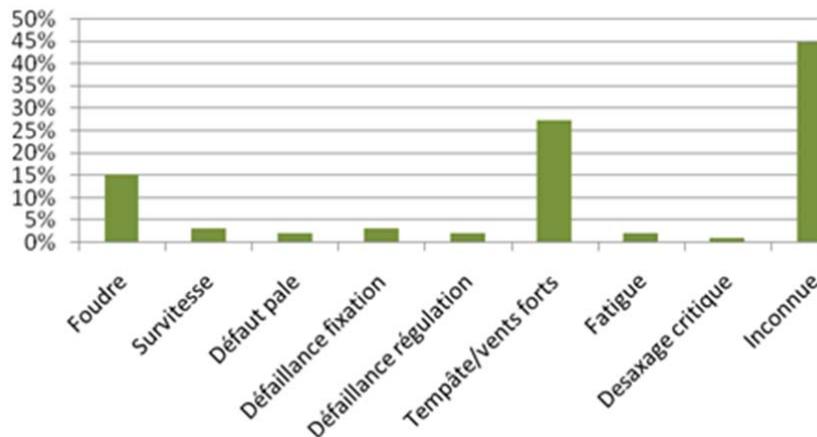


Figure 26 : Répartition des causes premières de rupture de pale d'éolienne

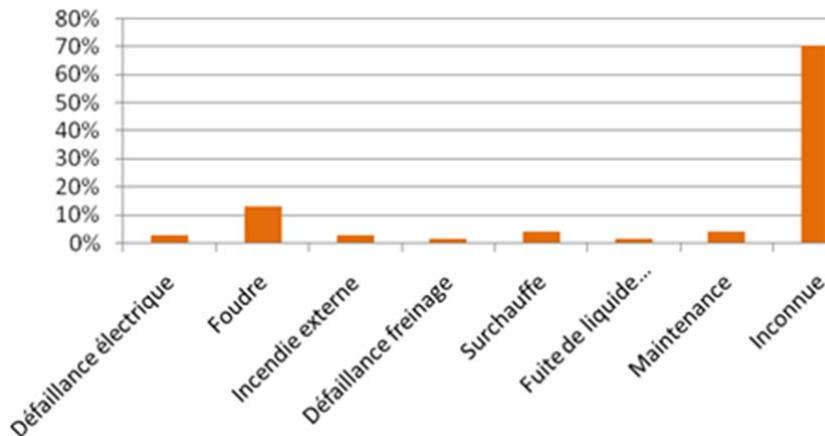


Figure 27 : Répartition des causes premières d'incendie

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

## 8.2.2. Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience (►VI.4.)

### 8.2.2.1. Analyse de l'évolution des accidents en France (►V.4.1.)

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

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

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

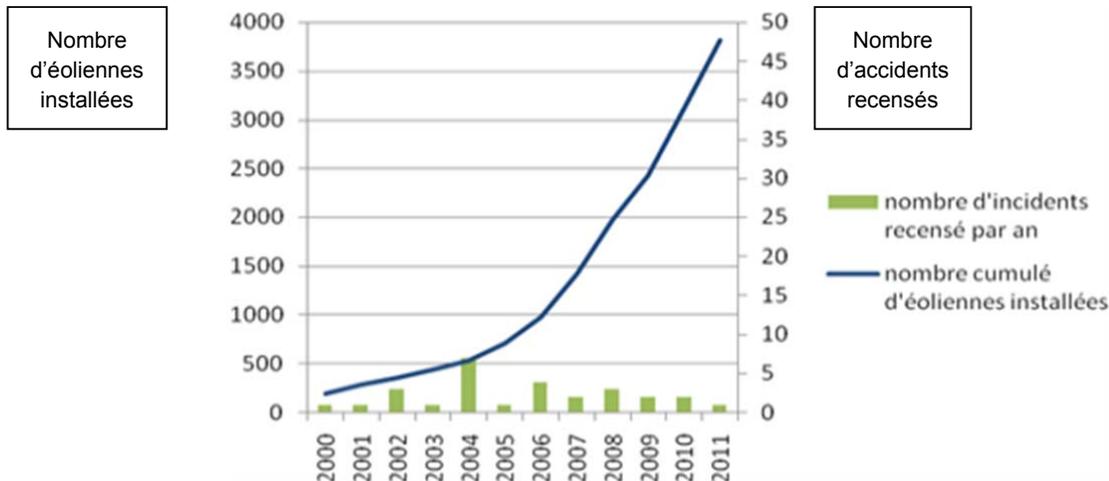


Figure 28 : Evolution du nombre d'incidents annuels en France et nombre d'éoliennes installées

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

### 8.2.2.2. Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents (► VI.4.2.)

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

### 8.3. LIMITES D'UTILISATION DE L'ACCIDENTOLOGIE (► VI.5.)

① *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.

## 9. ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES (►VII.)

L'évaluation préliminaire des risques a pour objet d'identifier les causes et les conséquences potentielles découlant de situations dangereuses provoquées par des dysfonctionnements des installations étudiées.

Elle permet de caractériser le niveau de risque de ces événements redoutés, selon une méthodologie décrite ci-dessous, et d'identifier les accidents majeurs, qui seront étudiés de manière détaillée au chapitre « Analyse Détaillée des Risques ».

*Après avoir recensé, dans un premier temps, les potentiels de danger des installations, qu'ils soient constitués par des substances dangereuses ou des équipements dangereux (cf. chapitre 6), l'APR doit identifier l'ensemble des séquences accidentelles et phénomènes dangereux associés pouvant déclencher la libération du danger. Ils seront étudiés en détail lors de l'analyse détaillée des risques.*

### 9.1. METHODOLOGIE (►VII.2.)

#### 9.1.1. Définitions préliminaires

Dans sa troisième partie, 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 présente un glossaire technique des risques technologique et précise les définitions de termes utilisés dans cette étude de dangers.

*Ainsi seront distingués :*

- *les phénomènes dangereux, qui correspondent à une libération de tout ou partie d'un potentiel de danger,*
- *les accidents, à savoir la réalisation d'un phénomène dangereux, combinée à la présence de cibles vulnérables exposées aux effets de ce phénomène,*
- *les scénarios d'accidents : enchaînement d'événements conduisant d'un événement initiateur à un accident (majeur). Plusieurs scénarios peuvent mener à un même phénomène dangereux pouvant conduire à un accident (majeur).*

*(Cf. Glossaire)*

Selon cette terminologie, l'analyse de risque présentée dans l'étude de dangers s'intéresse à la possibilité de survenance d'un dommage résultant d'une exposition aux effets d'un phénomène dangereux.

De manière plus précise, dans la phase d'évaluation préliminaire des risques, cette analyse passe par l'identification des événements redoutés centraux, à savoir les événements situés « au centre de l'enchaînement accidentel », comme le définit la circulaire du 10 mai 2010. Ces événements redoutés centraux sont nommés situations dangereuses dans cette étude de dangers.

Une combinaison (cause – situation dangereuse – phénomène dangereux) forme un scénario d'accident selon la définition présentée précédemment.

## 9.2. DEMARCHE D'ANALYSE (►VII.4.)

- ① *Les outils d'analyse des risques sont nombreux (ex : AMDEC, APR, HAZOP, etc.). La présente étude reprend les conclusions du guide de l'association FEE (réf. [9]), qui s'appuie sur l'utilisation de la méthode APR qui est une méthode souple, adaptée et plus facile à mettre en œuvre et à instruire dans le contexte des parcs éoliens.*

Cette analyse intègre ainsi des situations anormales ou exceptionnelles telles que les défaillances mécaniques des équipements, les erreurs humaines, les erreurs de produits, etc.

La synthèse des analyses des risques effectuées est présentée sous forme de tableaux récapitulatifs à 7 colonnes :

- Colonne 1* **N°** : ce repère permet d'identifier une situation dangereuse potentielle
- Colonne 2* **Evènement initiateur** : conditions, évènement indésirables, erreurs, pannes ou défaillances qui, seuls ou combinés entre eux, sont à l'origine de la situation dangereuse.
- Colonne 3* **Evènement intermédiaire** : décrivent la dégradation d'une situation anormale pouvant mener à une situation dangereuse.
- Colonne 4* **Evènement redouté central** : différentes situations susceptibles d'engendrer des risques majeurs. Celles-ci sont recensées en particulier au moyen de l'identification des dangers liés aux produits et aux procédés.
- Colonne 5* **Fonction de sécurité** : dans cette colonne sont recensées les fonctions de sécurité qui permettent de réduire la probabilité d'apparition de l'évènement indésirable, et de détection de l'évènement indésirable ainsi que les fonctions de sécurité qui permettent de limiter les effets des phénomènes physiques consécutifs à l'évènement indésirable ou de protéger les personnes exposées à ces effets. Ces fonctions de sécurité sont détaillées au §0.
- Colonne 6* **Phénomène dangereux** : ce sont les principaux phénomènes dangereux majeurs que la situation dangereuse peut entraîner si celle-ci survient (les mesures de maîtrises des risques constituées par les mesures de prévention ayant été inopérantes ou insuffisantes) = risque potentiel.
- Colonne 7* **Qualification de la zone d'effet** : distance sur laquelle les effets sont susceptibles d'être ressentis. On distingue les effets se limitant au surplomb de l'éolienne ou à son périmètre immédiat et les effets pouvant atteindre des cibles plus distantes.

### Note sur le niveau de détail de l'analyse des risques :

L'analyse des risques réalisée dans le cadre de cette étude de dangers est orientée vers les situations dangereuses qui pourraient avoir des conséquences majeures pour les personnes tierces et l'environnement.

Elle complète le travail effectué pour l'élaboration du document unique d'évaluation des risques professionnels (sécurité du personnel – décret n°2001-1016 du 5 novembre 2001 portant création d'un document relatif à l'évaluation des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs), mais ne le recoupe pas totalement. Ainsi, les scénarios d'accidents possibles relevant du risque professionnel et non du risque majeur ne sont pas analysés dans cette étude.

Un tableau de synthèse des situations dangereuses retenues au cours de l'analyse préliminaire des risques est présenté au §9.3.

### 9.3. TABLEAUX D'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES (►VII.4.)

Les résultats suivants sont issus des conclusions du guide de l'association FEE (réf. [9]). Pour chaque situation dangereuse identifiée, les scénarios ont été revus et analysés spécifiquement par rapport aux machines ENERCON, par groupe de travail pluridisciplinaire composé de :

- Benjamin Content, ENERCON
- Joris Robillard, ENERCON
- Yann Guillygomarc'h, BUREAU VERITAS.

Le groupe de travail était encadré par un intervenant de Bureau Veritas, spécialisé en analyses des risques industriels, chargé d'animer les sessions, de veiller au respect de la méthode et de rédiger les tableaux des analyses ainsi effectuées.

Par ailleurs, une seconde partie de l'étude a consisté à mettre à jour et compléter cette évaluation par rapport aux spécificités du site d'implantation. L'étude a été réalisée d'après les informations transmises par ENERCON.

Les résultats de ces travaux sont présentés dans les tableaux présentés aux pages suivantes.

*Les scénarios identifiés sont regroupés par thématique, en fonction des typologies d'événement redoutés centraux identifiés dans le guide de l'association FEE et validés par ENERCON et Bureau Veritas lors de la réunion d'analyse des risques (« 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	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
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	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

N°	Evénement initiateur	Evénement intermédiaire	Evénement redouté central	Fonction de sécurité	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
	transformateur					
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 les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	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

N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
E05	Crash d'aéronef	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E07	Effondrement engin de levage travaux	Agression externe et fragilisation structure	Effondrement éolienne	Actions de prévention mises en œuvre dans le cadre du plan de prévention (N°13)	Chute fragments et chute mât	2
E08	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E09	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11) Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N° 9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E10	Désaxage critique du rotor	Impact pale – mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction – exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10) Détecter les vibrations (N°14)	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.

## 9.4. PRECISIONS SUR LES SCENARIOS IDENTIFIES (► Annexe 3)

*Les paragraphes suivants ont pour objectif d'apporter un certain nombre de précisions par rapport à chacun des scénarios proposés précédemment dans le cadre de l'analyse préliminaire des risques.*

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

#### 9.4.1.1. Scénario G01

En cas de formation de glace, les systèmes intégrés de prévention 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 ou systèmes permettront de détecter ou de prévenir 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 ;

#### 9.4.1.2. Scénario G02

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

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

### 9.4.2. 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.

*La méthodologie suivante a été appliquée de manière à déterminer l'ensemble des scénarios devant être regardé : découpage l'installation en plusieurs parties (rotor, nacelle, mât, fondation et poste de livraison) et détermination à l'aide de mots clé les différentes causes d'incendie possibles.*

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

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

fonction des caractéristiques du site.

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

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

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

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

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

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

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

### **9.4.3. Scénarios relatifs aux risques de fuites de liquides (F01 à F02)**

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

#### **9.4.3.1. Scénario F01**

En cas de rupture de flexible ou de perçage d'un contenant, il peut y avoir une fuite de lubrifiant 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 lors des opérations de maintenance
- Détection des fuites potentielles par les opérateurs lors des maintenances
- Procédure de gestion des situations d'urgence

Deux événements peuvent être aggravants :

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

#### **9.4.3.2. Scénario F02**

Lors d'une maintenance, les opérateurs peuvent accidentellement renverser 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

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

#### **9.4.4. 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.

#### **9.4.5. Scénarios relatifs aux risques de projection de pales ou de fragments de pales (P01 à P06)**

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

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

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

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

##### **9.4.5.1. 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.

#### **9.4.5.2. 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, emballement de l'éolienne

#### **9.4.5.3. 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.

#### **9.4.6. Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E01 à E10)**

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

- Erreur de dimensionnement de la fondation : Contrôle qualité, respect des spécifications techniques du constructeur de l'éolienne, étude de sol, contrôle technique de construction ;
- Non-respect des instructions de montage et/ou de maintenance : Formation du personnel intervenant
- Causes externes dues à l'environnement : séisme, ...

## 9.5. DESCRIPTION DES MESURES DE SECURITE (►VII.6.)

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

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

temps. Pour rappel, la réglementation demande qu'à minima : un contrôle tous les ans soit réalisé sur la performance des mesures de sécurité permettant de mettre à l'arrêt, à l'arrêt d'urgence et à l'arrêt à partir d'une situation de survitesse et sur tous les systèmes instrumentés de sécurité.

- ① ***Note 1 : Pour certaines mesures de maîtrise des risques, certains de ces critères peuvent ne pas être applicables. L'acronyme « NA » (Non Applicable) est alors utilisé.***
- ① ***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 sont néanmoins décrites dans le tableau ci-dessous dans la mesure où elles concourent à une meilleure sécurité sur le site d'exploitation.***

<b>Fonction de sécurité</b>	<b>Prévenir la mise en mouvement de l'éolienne lors de la formation de glace</b>	<b>N° de la fonction de sécurité</b>	<b>1</b>
<b>Mesures de sécurité</b>	<p>Système de détection par déduction de la formation de glace sur les pales de l'aérogénérateur (analyse des paramètres de puissance). Temps de redémarrage automatique échelonné en fonction de la température extérieure.</p>		
<b>Description</b>	<p>Système de détection de la formation de givre permettant, en cas de détection de glace, une mise à l'arrêt rapide de l'aérogénérateur. Le redémarrage peut ensuite se faire soit automatiquement après disparition des conditions de givre, soit manuellement après inspection visuelle sur site. (cf. §4.6.5 : Système de détection de givre / glace)</p>		
<b>Indépendance</b>	<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>		
<b>Temps de réponse</b>	<p>Quelques minutes (&lt;60 min.) conformément à l'article 25 de l'arrêté du 26 août 2011</p>		
<b>Efficacité</b>	<p>100 %</p>		
<b>Tests</b>	<p>Tests confiés par ENERCON à un bureau d'études indépendant</p>		
<b>Maintenance</b>	<p>Vérification du système (opérations de maintenance sur les systèmes de contrôle) au bout de 300 heures de fonctionnement puis maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement. (Cf. §4.5 : Opérations de maintenance de l'éolienne)</p>		

<b>Fonction de sécurité</b>	<b>Prévenir l'atteinte des personnes par la chute de glace</b>	<b>N° de la fonction de sécurité</b>	<b>2</b>
<b>Mesures de sécurité</b>	Panneautage en pied de machine, sur les postes de livraison, ainsi que sur les voies d'accès au parc. Eloignement des zones habitées et fréquentées.		
<b>Description</b>	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).		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	NA		
<b>Efficacité</b>	100 %. Nous considérerons que compte tenu de l'implantation des panneaux et de l'entretien prévu, l'information des promeneurs sera systématique.		
<b>Tests</b>	NA		
<b>Maintenance</b>	Vérification de l'état général du panneau, de l'absence de détérioration, entretien de la végétation afin que le panneau reste visible. (Cf. §4.5 : Opérations de maintenance de l'éolienne)		

Fonction de sécurité	Prévenir l'échauffement significatif des pièces mécaniques	N° de la fonction de sécurité	3
<b>Mesures de sécurité</b>	Capteurs de température des pièces mécaniques Définition de seuils critiques de température pour chaque type de composant avec alarmes Communication continue des paramètres de fonctionnement ainsi que des alarmes au centre de contrôle ENERCON via le système SCADA Mise à l'arrêt jusqu'à refroidissement et intervention sur site pour contrôles et redémarrage.		
<b>Description</b>	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.		
<b>Indépendance</b>	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.		
<b>Temps de réponse</b>	NA		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	Pas de test. Cependant si le capteur est défectueux, il est systématiquement remis en cause et changé		
<b>Maintenance</b>	Vérification du système au bout de 3 mois (notamment contrôle des bacs de graissage et écoute de la machine) de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011. Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement. (Cf. §4.5 : Opérations de maintenance de l'éolienne)		

Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité	4
<b>Mesures de sécurité</b>	Détection de survitesse et système de freinage.		
<b>Description</b>	<p>Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande.</p> <p>NB : Le système de freinage est constitué d'un frein aérodynamique principal (mise en drapeau des pales) et/ou d'un frein mécanique auxiliaire.</p> <p>(cf. §4.6.2 : Système de détection de survitesse)</p>		
<b>Indépendance</b>	<p>Ces systèmes s'appuient sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc (régulation d'angle des pales).</p> <p>Le système de détection de survitesse est cependant un système mécanique indépendant dont la fonction est dédiée à la sécurité.</p> <p>Le système coupe l'alimentation électrique des pitch. Les condensateurs électriques du système de sécurité des pitches se déchargent alors, activant la mise en drapeau des pales.</p>		
<b>Temps de réponse</b>	<p>Temps de détection &lt; 1 minute</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 conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011.</p>		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	<p>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.</p> <p>Un test de survitesse est également effectué lors du commissioning de l'installation.</p>		
<b>Maintenance</b>	<p>Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011.</p> <p>Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.</p> <p>(Cf. §4.5 : Opérations de maintenance de l'éolienne)</p>		

Fonction de sécurité	Prévenir les courts-circuits	N° de la fonction de sécurité	5
<b>Mesures de sécurité</b>	Coupure de la transmission électrique en cas de fonctionnement anormal d'un composant électrique.		
<b>Description</b>	<p>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.</p> <p>Les systèmes électriques sont équipés de disjoncteurs à tous les niveaux.</p>		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	De l'ordre de la seconde		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	/		
<b>Maintenance</b>	<p>Des vérifications de tous les composants électriques ainsi que des mesures d'isolement et de serrage des câbles sont intégrées dans la plupart des mesures de maintenance préventive mises en œuvre.</p> <p>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.</p> <p>(Cf. §4.5 : Opérations de maintenance de l'éolienne)</p>		

Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité	6
<b>Mesures de sécurité</b>	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur.		
<b>Description</b>	<p>Système de protection foudre de l'éolienne dimensionné pour prévenir toute dégradation des pales de l'éolienne conformément à la norme IEC 61400-24.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>De même, l'anémomètre est protégé et entouré d'un arceau.</p> <p>(cf. §4.6.3 : Protection foudre)</p>		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	Immédiat dispositif passif		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	/		
<b>Maintenance</b>	<p>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.</p> <p>(Cf. §4.5 : Opérations de maintenance de l'éolienne)</p>		

Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité	7
<b>Mesures de sécurité</b>	<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 la Société d'Exploitation du Parc Eolien Les Garaches (S.E.P.E. Les Garaches) par SMS.</p> <p>Intervention des services de secours</p>		
<b>Description</b>	<p>Détecteurs de fumée qui lors de leur déclenchement conduisent à la mise en arrêt de la machine et au découplage du réseau électrique. De manière concomitante, un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance ENERCON ainsi qu'à la Société d'Exploitation du Parc Eolien Les Garaches (S.E.P.E. Les Garaches) 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> <p>(cf. chapitre 12 : Moyens de secours et d'intervention)</p>		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	<p>&lt; 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>		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	/		
<b>Maintenance</b>	<p>Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011.</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> <p>(Cf. §4.5 : Opérations de maintenance de l'éolienne)</p>		

Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité	8
<b>Mesures de sécurité</b>	Quantité très faible d'huile mise en œuvre (pas de boîte de vitesses) Rétentions pouvant contenir 100% des fuites.		
<b>Description</b>	De nombreux détecteurs de niveau de lubrifiant permettant de détecter les éventuelles fuites et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. Les opérations de remplacement des bacs de graisse vides font l'objet de procédures spécifiques. Dans tous les cas, le transfert des huiles s'effectue de manière sécurisée et encadrée par les procédures de maintenance. La propreté des rétentions est vérifiée lors de chaque inspection de la nacelle. (cf. §4.5 : Opérations de maintenance de l'éolienne)		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	Instantané		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	/		
<b>Maintenance</b>	Inspection des niveaux d'huile et de l'état des rétentions plusieurs fois par an (Cf. §4.5 : Opérations de maintenance de l'éolienne)		

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
<b>Mesures de sécurité</b>	Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.) Procédures qualités Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)		
<b>Description</b>	La norme IEC 61 400-1 « Exigence pour la conception des aérogénérateurs » fixe les prescriptions propres à fournir « un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie » de l'éolienne. Ainsi la nacelle, le moyeu, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223. (cf. §4.2.1 : Les fondations – Emprises au sol)		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	NA		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	NA		
<b>Maintenance</b>	Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du pitch system, couronne du Yaw Gear (moteurs d'orientation de la nacelle), 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. (Cf. §4.5 : Opérations de maintenance de l'éolienne)		

<b>Fonction de sécurité</b>	<b>Consignes de maintenance</b>	<b>N° de la fonction de sécurité</b>	<b>10</b>
<b>Mesures de sécurité</b>	Procédure maintenance		
<b>Description</b>	Préconisations du manuel de maintenance Formation du personnel de manière à prévenir les erreurs de maintenance (cf. §4.5 : Opérations de maintenance de l'éolienne)		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	NA		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	Opérations de maintenance divisées en quatre types : Inspection visuelle : Une fois par an Graissage d'entretien : Une fois par an Maintenance électrique : Une fois par an Maintenance mécanique : Une fois par an Chaque opération de maintenance dispose de procédures spécifiques. Cf. Opérations de maintenance de l'éolienne §4.5		
<b>Maintenance</b>	NA		

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité	11
<b>Mesures de sécurité</b>	Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents. Détection et prévention des vents forts et tempêtes Arrêt automatique et diminution de la prise au vent de l'éolienne (mise en drapeau progressive des pâles) par le système de conduite		
<b>Description</b>	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. L'éolienne est mise à l'arrêt progressivement si la vitesse de vent mesurée dépasse la vitesse maximale pour laquelle elle a été conçue (cf. §4.4.8 : Tempête / Système « Storm Control »).		
<b>Indépendance</b>	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.		
<b>Temps de réponse</b>	< 1 min		
<b>Efficacité</b>	100 %. NB : En fonction de l'intensité attendue des vents, d'autres dispositifs de diminution de la prise au vent de l'éolienne peuvent être envisagés. Si le site est trop turbulent ou les machines trop rapprochées entre elle il est possible de mettre en place des arrêts sectoriels pour limiter l'impact de la turbulence sur les machines.		
<b>Tests</b>	Procédure de « Site Verification » (contrôle de l'adéquation par rapport à des mesures de fonctionnement)		
<b>Maintenance</b>	(Cf. §4.5 : Opérations de maintenance de l'éolienne) Les paramètres d'entrée en cas d'arrêt sectoriel sont régulièrement mis à jour et contrôlés lors des modifications d'hardware ou de software. Sinon aucune autre maintenance spécifique n'est identifiée notamment sur le « storm control » (cf. §4.4.8) un module intrinsèque à la machine. Ce système est directement lié aux courbes opérationnelles des machines. En cas de défaut sur cette courbe la machine se met à l'arrêt.		

Fonction de sécurité	Détecter les dysfonctionnements et mettre en sécurité l'éolienne	N° de la fonction de sécurité	12
<b>Mesures de sécurité</b>	Mise en sécurité (arrêt) de l'éolienne en cas de dysfonctionnement des systèmes.		
<b>Description</b>	<p>Les courbes de puissance de l'éolienne sont analysées et évaluées par rapport à des valeurs de référence. En cas d'anomalie, l'éolienne est arrêtée.</p> <p>Les signaux des différents capteurs (cf. §4.6.6) sont traités par microprocesseur au sein des armoires de commande situées dans la nacelle. Dès qu'une erreur est relevée sur le système de communication lié à ce microprocesseur, la machine s'arrête.</p> <p>La défaillance d'un élément de sécurité entraîne donc la mise à l'arrêt de l'éolienne (freinage aérodynamique de l'éolienne). Il suffit qu'une seule pale soit mise en drapeau pour freiner l'éolienne.</p> <p>Le système SCADA de l'éolienne envoie un message dès la détection de l'anomalie (cf. §4.6.6).</p> <p>De plus, les 3 systèmes de régulation des angles des pales sont indépendants.</p>		
<b>Indépendance</b>	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.		
<b>Temps de réponse</b>	Quelques secondes (< 2 min)		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	/		
<b>Maintenance</b>	Contrôle et entretien des équipements (Cf. §4.5 : Opérations de maintenance de l'éolienne)		

<b>Fonction de sécurité</b>	<b>Prévenir les risques liés aux opérations de chantier</b>	<b>N° de la fonction de sécurité</b>	<b>13</b>
<b>Mesures de sécurité</b>	Mise en place d'une procédure de sécurité / rédaction d'un plan de prévention / Plan particulier de sécurité et de protection de la santé (PPSPS) Mise en place d'une restriction d'accès au chantier		
<b>Description</b>	-		
<b>Indépendance</b>	Oui		
<b>Temps de réponse</b>	NA		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	-		
<b>Maintenance</b>	NA		

<b>Fonction de sécurité</b>	<b>Détecter des vibrations anormales de l'éolienne et stopper l'éolienne</b>	<b>N° de la fonction de sécurité</b>	<b>14</b>
<b>Mesures de sécurité</b>	Capteurs de vibrations entraînant un arrêt de l'éolienne		
<b>Description</b>	Le capteur de vibration, en cas de détection, entraîne une mise en position drapeau des pales, ce qui se traduit par un arrêt de la rotation du rotor de l'éolienne (freinage aérodynamique de l'éolienne). Il suffit qu'une seule pale soit mise en drapeau pour freiner l'éolienne.		
<b>Indépendance</b>	Le capteur de vibration est un capteur dédié à la sécurité. Le signal du capteur est traité par l'automate de sécurité embarqué sur chaque éolienne, dont le rôle est dédié à la sécurité de l'installation. De plus, les 3 systèmes de régulation des angles des pales sont indépendants.		
<b>Temps de réponse</b>	Quelques secondes (< 2 min)		
<b>Efficacité</b>	100 %		
<b>Tests</b>	Vérification en marche de la détection de vibration (opération annuelle).		
<b>Maintenance</b>	NA		

L'ensemble des procédures de maintenance et des contrôles d'efficacité des systèmes est 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).

## 9.6. CONCLUSIONS DE L'ANALYSE PRELIMINAIRE DES RISQUES (►VII.7.)

*La suite de l'analyse consiste en une analyse détaillée des risques identifiés comme pouvant impacter des personnes (cf. chapitre 10). Ce paragraphe vise à récapituler les scénarios retenus dans cette approche.*

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)	<p>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<sup>2</sup> 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.</p> <p>Néanmoins il peut être redouté que des chutes d'éléments (ou des projections) interviennent lors d'un incendie. Ces effets sont étudiés avec les projections et les chutes d'éléments.</p> <p>La tenue au feu 2h du poste de livraison ainsi que l'alerte rapide des pompiers permet de maîtriser les effets.</p>
Incendie du poste de livraison ou du transformateur	<p>En cas d'incendie de ces éléments, les effets ressentis à l'extérieur des bâtiments (poste de livraison) seront mineurs ou inexistant du fait notamment de la structure en béton. De plus, la réglementation encadre déjà largement la sécurité de ces installations (l'arrêté du 26 août 2011 [9] et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200)</p>
Infiltration d'huile dans le sol	<p>En cas de fuite, les volumes de substances potentiellement libérés restent mineurs compte tenu de la technologie mise en œuvre ne nécessitant pas d'huile et utilisant de faibles volumes de graisses et lubrifiants dans les machines.</p> <p>Ce scénario ne sera pas détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques.</p>

Les cinq catégories de scénarios étudiées par la suite 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.

## 10. ETUDE DETAILLEE DES RISQUES (►VIII.)

### 10.1. METHODOLOGIE DE L'ETUDE DETAILLEE DES RISQUES (►VIII.1.)

#### 10.1.1. Objectifs de l'Analyse Détaillée des Risques et sélection des scénarios

*L'Analyse Détaillée des Risques poursuit et complète l'Evaluation Préliminaire des Risques pour les accidents considérés comme étant potentiellement les plus importants.*

*Les objectifs de l'Analyse Détaillée des Risques sont les suivants :*

- Identifier et étudier les combinaisons de cause conduisant aux situations dangereuses ;*
- Identifier les mesures de maîtrise des risques pouvant intervenir dans le déroulement des scénarios d'accident ;*
- Evaluer de manière quantitative la probabilité d'occurrence des différents événements, de la situation dangereuse et des différents phénomènes dangereux dont elle peut être à l'origine, en tenant compte de la fiabilité des mesures de maîtrise des risques ;*
- Modéliser les effets des différents phénomènes physiques causés par la situation dangereuse et analyser l'exposition des éléments vulnérables présents dans les zones d'aléa ;*
- Evaluer la probabilité d'occurrence des différents dommages possibles ;*
- Proposer des mesures d'amélioration complémentaires si besoin est, afin de réduire le risque résiduel ;*
- Identifier et caractériser les mesures de maîtrise des risques qui seront retenues comme barrières.*

#### 10.1.2. Rappel des définitions (►VIII.1.)

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.

- ① *Afin de pouvoir présenter des éléments au sein de cette étude de dangers, il est proposé de recourir à la méthode ad hoc préconisée par le guide technique national relatif à l'étude de dangers dans le cadre d'un parc éolien dans sa version de mai 2012. Cette méthode est inspirée des méthodes utilisées pour les autres phénomènes dangereux des installations classées, dans l'esprit de la loi du 30 juillet 2003.*

*Cette analyse vise donc à caractériser les scénarios retenus à l'issue de l'analyse préliminaire des risques en termes de :*

- Cinétique : vitesse d'enchaînement des événements constituant une séquence accidentelle ;*
- Probabilité : probabilité d'occurrence de l'événement redouté central (défaillance) ;*
- Intensité : traduit le degré d'exposition d'une cible, c'est-à-dire le rapport entre la surface d'effet et la surface potentiellement atteignable par les effets ;*
- Gravité : traduit le nombre de personnes potentiellement atteintes par un scénario d'accident.*

Les paragraphes suivants détaillent les différents paramètres évalués.

#### **10.1.2.1. Cinétique (► VIII.1.1.)**

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, 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.

### 10.1.2.2. Probabilité (►VIII.1.4.)

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

La probabilité d'accident ( $P_{\text{accident}}$ ) est le produit de plusieurs probabilités :

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

$P_{\text{ERC}}$  = 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) ;

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

$P_{\text{atteinte}}$  = 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 à la probabilité de l'événement redouté central ( $P_{\text{ERC}}$ ) a été retenue.

### 10.1.2.3. Intensité et zone d'effet (► VIII.1.2.)

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

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

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

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

C'est pourquoi, pour chacun des événements accidentels retenus (chute d'éléments, chute de glace, effondrement et projection), trois niveaux d'intensité ont été retenus :

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

***Le degré d'exposition est défini comme le rapport entre la surface atteinte par les effets d'un phénomène dangereux (ex : la surface d'impact dans le cas d'une projection) et la surface potentiellement exposée à ces mêmes effets (ex : la surface comprise dans la distance maximale de projection).***

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

#### 10.1.2.4. Gravité (►VIII.1.3.)

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

*La gravité est définie selon la mise en relation de l'intensité (cf. paragraphe précédent) et du nombre de personnes potentiellement impactées par un phénomène dangereux.*

<b>Intensité</b> <b>Gravité</b>	<b>Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition très forte</b>	<b>Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte</b>	<b>Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée</b>
<b>« Désastreux »</b>	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées
<b>« Catastrophique »</b>	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées
<b>« Important »</b>	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
<b>« Sérieux »</b>	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
<b>« Modéré »</b>	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 »

Ainsi, pour chaque phénomène dangereux identifié, l'ensemble des personnes présentes dans la zone d'effet correspondante sera comptabilisé. Dans chaque zone couverte par les effets d'un phénomène dangereux issu de l'analyse de risque, les ensembles homogènes (ERP, zones habitées, zones industrielles, commerces, voies de circulation, terrains non bâtis...) seront identifiés et la surface (pour les terrains non bâtis, les zones d'habitat) et/ou la longueur (pour les voies de circulation) de cette zone d'effets sera déterminée.

① *Un calcul précis du nombre de personnes exposées en fonction des caractéristiques propres de l'environnement sera effectué pour déterminer le niveau de gravité.*

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.

➤ **Terrains non bâtis**

- Terrains non aménagés et très peu fréquentés

(ex : champs, prairies, forêts, friches, marais...) compter 1 personne par tranche de 100 hectares.

- Terrains aménagés mais peu fréquentés

(ex : 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

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

➤ **Voies de circulation**

① *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 (< 2 000 véhicule/jour) sont déjà comptées dans la catégorie des terrains aménagés mais peu fréquentés.*

- Voies de circulation automobiles

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

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

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

- Voies ferroviaires

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

- Voies navigables

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

○ Chemins et voies piétonnes

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

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

**Logements**

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

➤ **Etablissements recevant du public (ERP)**

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

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

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

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

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

➤ **Zones d'activité**

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

### 10.1.2.5. Niveau de risque

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

Gravité <i>(traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)</i>	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux	Yellow	Red	Red	Red	Red
Catastrophique	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
Important	Yellow	Yellow	Yellow	Red	Red
Sérieux	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
Modéré	Green	Green	Green	Green	Yellow

Ceci permet de traduire le niveau de risques selon trois catégories :

- **Risque très faible (vert)** : niveau auquel les risques identifiés sont acceptables au regard de leur rapport intensité/probabilité ;
- **Risque faible (jaune)** : niveau auquel les risques identifiés sont acceptables par la mise en œuvre de mesures de sécurité ;
- **Risque important (rouge)** : niveau auquel les risques identifiés sont non acceptables.

*A l'issue de cette étape, les principaux risques ont été quantifiés en termes de probabilité et de gravité et évalués en termes d'acceptabilité (d'un point de vue réglementaire) au vu des mesures de sécurité mises en place.*

## 10.2. SCENARIO D'EFFONDREMENT D'EOLIENNE (► VIII.2.1.)

### 10.2.1. Description de l'événement redouté

L'évènement redouté est un effondrement de l'éolienne. Comme précédemment décrit, 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, ...

Les notations utilisées dans ce scénario sont les suivantes :

- R est la distance à l'axe en bout de pale ( $R = D/2 = 57,5$  m) ;
- H la hauteur du mât ( $H = 135,48$  m) ;
- L la largeur du mât ( $L = 10,7$  m) ;
- LB est la largeur maximale d'une pale (largeur à la base) ( $LB = 5$  m).

### 10.2.2. 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'expérience<sup>8</sup>, soit une probabilité de  $4,47 \times 10^{-4}$  par éolienne et par an.

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

<sup>8</sup> 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.

Une probabilité de classe « C » serait 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 des scénarios liés à un effondrement d'éolienne est « de classe D », à savoir : « S'est produit mais a fait l'objet de mesures correctives réduisant significativement la probabilité ».**

### 10.2.3. Zone d'effet

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale (H+R), soit 193,3 m dans le cas des éoliennes du parc « Les Garaches ».

Cette méthodologie est issue de celles utilisées dans les études de la bibliographie de référence du guide de l'association FEE. 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.

$$\text{Zone d'effet : } Z_E = \pi \times (H+R)^2 = 117\,264 \text{ m}^2$$

#### 10.2.4. Zone d'impact

La zone d'impact de l'effondrement d'une éolienne correspond à la surface totale balayée par le rotor et la surface du mât non balayée par le rotor.

$$\text{Zone d'impact} : Z_I = (H) \times L + 3 \times R \times LB/2 = 1\,882 \text{ m}^2$$

#### 10.2.5. 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 Garaches ». R est la distance à l'axe en bout de pale (R= 57,8 m), H la hauteur du mât (H= 135,48 m) et L la largeur du mât (L= 10,7 m).

<b>Effondrement de l'éolienne</b> <b>(dans un rayon inférieur ou égal à 193,3 m (hauteur totale de l'éolienne en bout de pale))</b>			
<i>Zone d'impact en m<sup>2</sup></i>	<i>Zone d'effet du phénomène étudié en m<sup>2</sup></i>	<i>Degré d'exposition du phénomène étudié en %</i>	<i>Intensité</i>
$Z_I = (H) \times L + 3 \times R \times LB/2$	$Z_E = \pi \times (H+R)^2$	$Z_I / Z_E =$	<i>exposition forte</i>
1 882	117 264	1,61 %	

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

### 10.2.6. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions données au §10.1.2.3, il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène d'effondrement d'une éolienne, dans le rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne :

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 »

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 193,3 m (hauteur totale de l'éolienne en bout de pale))		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1 à E5	<1	Sérieux

### 10.2.7. Niveau de risque

Pour conclure sur l'acceptabilité du risque d'effondrement d'une éolienne, les scénarios relatifs aux différentes éoliennes du parc sont placés dans la matrice de criticité ci-dessous.

Gravité <i>(traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)</i>	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		E1 à E5			
Modéré					

Le scénario d'accident lié à un effondrement de l'éolienne résulte sur un niveau de risques acceptable.

## 10.3. SCENARIO DE CHUTE D'ELEMENT D'UNE EOLIENNE (► VIII.2.3.)

### 10.3.1. Description de l'événement redouté

L'évènement redouté est une chute d'un élément d'assemblage des aérogénérateurs. Comme précédemment décrit, ces évènements sont déclenchés 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.

Les notations utilisées dans ce scénario sont les suivantes :

- R est la longueur d'un demi-diamètre de rotor ( $R = D/2 = 57,8 \text{ m}$ ) ;
- LB est la largeur maximale d'une pale (largeur à la base) ( $LB = 5 \text{ m}$ ).

### 10.3.2. Probabilité

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

Le retour d'expérience connu en France montre que ces évènements ont une classe de probabilité « C » (2 chutes et 5 incendies pour 15 667 années d'expérience, soit  $4,47 \times 10^{-4}$  événement par éolienne et par an).

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

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

### 10.3.3. Zone d'effet

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

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

$$\text{Zone d'effet : } Z_E = \pi \times R^2 = 10\,496 \text{ m}^2$$

### 10.3.4. Zone d'impact

La zone d'impact considérée correspond à la surface d'un élément (cas majorant d'une pale entière).

$$\text{Zone d'impact} : Z_I = R \cdot LB / 2 = 145 \text{ m}^2$$

### 10.3.5. 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 Garaches ».  $d$  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.

<b>Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à 57,8 m (zone de survol))</b>			
<i>Zone d'impact en m<sup>2</sup></i>	<i>Zone d'effet du phénomène étudié en m<sup>2</sup></i>	<i>Degré d'exposition du phénomène étudié en %</i>	<i>Intensité</i>
$Z_I = R \cdot LB / 2$	$Z_E = \pi \times R^2$	$d = Z_I / Z_E$	<i>exposition forte</i>
145	10 496	1,38 %	

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

### 10.3.6. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions données au §10.1.2.3, 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 :

<b>Gravité \ Intensité</b>	<b>Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition très forte</b>	<b>Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte</b>	<b>Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée</b>
<b>« Désastreux »</b>	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées
<b>« Catastrophique »</b>	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées
<b>« Important »</b>	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
<b>« Sérieux »</b>	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
<b>« Modéré »</b>	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 »

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 :

<b>Chute d'éléments de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à 57,8 m (zone de survol))</b>		
<i>Eolienne</i>	<i>Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)</i>	<i>Gravité</i>
E1 à E5	<1	Sérieux

### 10.3.7. Niveau de risque

Pour conclure sur l'acceptabilité du risque de chute d'élément d'une éolienne, les scénarios relatifs aux différentes éoliennes du parc sont placés dans la matrice de criticité ci-dessous.

Gravité <i>(traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)</i>	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux			E1 à E5		
Modéré					

Le scénario d'accident lié à une chute d'élément de l'éolienne résulte sur un niveau de risques maîtrisés. Les actions mises en place visent à prévenir les défauts, par des contraintes de construction et par la mise en place de procédures d'inspection et de maintenance des équipements.

Nous soulignons également le fait que ce scénario propose une approche très conservative compte tenu du fait qu'il assimile toute chute potentielle d'élément à une chute de pale entière.

## 10.4. SCENARIO DE CHUTE DE GLACE (►VIII.2.2.)

### 10.4.1. Description de l'événement redouté

L'évènement redouté est une chute de glace des aérogénérateurs.

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 (réf. [10]), la zone d'étude est concernée par moins d'un jour de formation de glace par an. Certains secteurs du territoire comme les zones côtières affichent des moyennes variant entre 2 et 7 jours de formation de glace par an.

Lors des périodes de dégel qui suivent les périodes de grand froid, des chutes de glace peuvent se produire depuis la structure de l'éolienne (nacelle, pales). Normalement, le givre qui se forme en une 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

Comme précédemment décrit, en cas de formation de glace, les systèmes intégrés de prévention 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 ou systèmes permettront de détecter ou de prévenir 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 ;

Les notations utilisées dans ce scénario sont les suivantes :

- R est la longueur d'un demi-diamètre du rotor ( $R = D/2 = 57,8 \text{ m}$ ) ;
- LB est la largeur maximale d'une pale (largeur à la base) ( $LB = 5 \text{ m}$ ).

### 10.4.2. Probabilité

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

### 10.4.3. Zone d'effet

Le risque de chute de glace est cantonné à la zone de survol des pales, soit un disque de rayon égal à un demi diamètre de rotor autour du mât de l'éolienne. Pour le parc éolien de nom de l'installation, la zone d'effet à donc un rayon de X 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.

$$\text{Zone d'effet} : Z_E = \pi \times R^2 = 10\,496 \text{ m}^2$$

### 10.4.4. Zone d'impact

La zone d'impact considérée correspond à la surface d'un morceau de glace, prise selon une hypothèse conservatrice égale à 1m<sup>2</sup>.

$$\text{Zone d'impact} : Z_I = 1 \text{ m}^2$$

### 10.4.5. 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 de nom de l'installation.  $Z_I$  est la zone d'impact,  $Z_E$  est la zone d'effet, R est la longueur de pale.

<b>Chute de glace</b> <b>(dans un rayon inférieur ou égal à 57,8 m (zone de survol))</b>			
<i>Zone d'impact en m<sup>2</sup></i>	<i>Zone d'effet du phénomène étudié en m<sup>2</sup></i>	<i>Degré d'exposition du phénomène étudié en %</i>	<i>Intensité</i>
$Z_I = SG$	$Z_E = \pi \times R^2$	$d = Z_I / Z_E$	<i>exposition modérée</i>
1	10 496	0,01 %	

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

### 10.4.6. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions données au §10.1.2.3, il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute de glace, dans la zone de survol de l'éolienne:

<b>Intensité</b> <b>Gravité</b>	<b>Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition très forte</b>	<b>Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte</b>	<b>Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée</b>
<b>« Désastreux »</b>	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées
<b>« Catastrophique »</b>	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées
<b>« Important »</b>	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
<b>« Sérieux »</b>	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
<b>« Modéré »</b>	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 »

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 :

<b>Chute de glace</b> <b>(dans un rayon inférieur ou égal à 57,8 m (zone de survol))</b>		
<i>Eolienne</i>	<i>Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)</i>	<i>Gravité</i>
E1 à E5	<1	Modéré

#### 10.4.7. Niveau de risque

Pour conclure sur l'acceptabilité du risque de chute de glace, les scénarios relatifs aux différentes éoliennes du parc sont placés dans la matrice de criticité ci-dessous.

Gravité <i>(traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)</i>	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux					
Modéré					E1 à E5

Le scénario d'accident lié à une chute de glace résulte sur un niveau de risques maîtrisés. Les actions mises en place visent à prévenir les défauts, par des contraintes de construction et par la mise en place de procédures d'inspection et de maintenance des équipements.

## 10.5. SCENARIO DE PROJECTION DE GLACE (► VIII.2.5.)

### 10.5.1. Description de l'événement redouté

L'évènement redouté est une projection d'un fragment ou bloc glace depuis un aérogénérateur.

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.

Les notations utilisées dans ce scénario sont les suivantes :

- R est la longueur d'un demi-diamètre de rotor ( $R = D/2 = 57,8$  m) ;
- H la hauteur du mât ( $H = 135,48$  m) ;
- LB est la largeur maximale d'une pale (largeur à la base) ( $LB = 5$  m).

### 10.5.2. Probabilité

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

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

**Une probabilité forfaitaire « de classe B » (événement probable) est proposée pour cet événement.**

### 10.5.3. Zone d'effet

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

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

$$\text{Distance d'effet} = R_{PG} = 1,5 \times (\text{hauteur de moyeu} + \text{diamètre de rotor}) = 376,5 \text{ m}$$

Cette distance de projection est jugée conservatrice dans les études ayant servi de base de travail pour le guide de l'association FEE. 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.

$$\text{Zone d'effet} : Z_E = \pi \times R_{PG}^2 = \pi \times (1,5 \times (H + 2 \times R))^2 = 445\,328 \text{ m}^2$$

Cette distance de projection est jugée conservatrice dans les études ayant servi de base de travail pour le guide de l'association FEE. 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.

### 10.5.4. Zone d'impact

La zone d'impact considérée correspond la surface d'un morceau de glace, prise selon une hypothèse conservatrice égale à 1m<sup>2</sup>.

$$\text{Zone d'impact} : Z_I = 1 \text{ m}^2$$

### 10.5.5. 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.

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène de chute de glace dans le cas du parc éolien de nom de l'installation. Z<sub>I</sub> est la zone d'impact, Z<sub>E</sub> est la zone d'effet, R est la longueur de pale.

<b>Projection de morceaux de glace</b> <b>(dans un rayon de RPG = 376,5 m autour de l'éolienne)</b>			
<i>Zone d'impact en m<sup>2</sup></i>	<i>Zone d'effet du phénomène étudié</i>	<i>Degré d'exposition du phénomène</i>	<i>Intensité</i>

	<i>en m<sup>2</sup></i>	<i>étudié en %</i>	
$Z_I = SG$	$Z_E = \pi \times 1,5 \times (H + 2 \times R)^2$	$d = Z_I / Z_E$	<i>Exposition modérée</i>
1	445 328	$2 \times 10^{-3}$	

### 10.5.6. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions données au §10.1.2.3, 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 :

<b>Intensité</b> <b>Gravité</b>	<b>Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition très forte</b>	<b>Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition forte</b>	<b>Zone d'effet d'un événement accidentel engendrant une exposition modérée</b>
<b>« Désastreux »</b>	Plus de 10 personnes exposées	Plus de 100 personnes exposées	Plus de 1000 personnes exposées
<b>« Catastrophique »</b>	Moins de 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées	Entre 100 et 1000 personnes exposées
<b>« Important »</b>	Au plus 1 personne exposée	Entre 1 et 10 personnes exposées	Entre 10 et 100 personnes exposées
<b>« Sérieux »</b>	Aucune personne exposée	Au plus 1 personne exposée	Moins de 10 personnes exposées
<b>« Modéré »</b>	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 »

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

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

Projection de morceaux de glace (dans un rayon de $R_{PG} = 376,5$ m autour de l'éolienne)		
<i>Eolienne</i>	<i>Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)</i>	<i>Gravité</i>
E1 à E5	<1	Modéré

### 10.5.7. Niveau de risque

Pour conclure sur l'acceptabilité du risque de projection de glace, les scénarios relatifs aux différentes éoliennes du parc sont placés dans la matrice de criticité ci-dessous.

Gravité <i>(traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)</i>	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux					
Modéré				E1 à E5	

Le scénario d'accident lié à la projection de morceaux de glace résulte sur un niveau de risques acceptable pour les éoliennes E1 à E5.

## 10.6. SCENARIO DE PROJECTION DE PALE OU DE FRAGMENTS DE PALE

(► VIII.2.4.)

### 10.6.1. Description de l'événement redouté

L'évènement redouté est une projection de pale ou de fragments de pale.

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 (cf. chute d'éléments d'une éolienne §10.3).

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

Les notations utilisées dans ce scénario sont les suivantes :

- R est la longueur de pale (R= 56 m) ;
- H la hauteur du mât (H= 135,48 m) ;
- LB est la largeur maximale d'une pale (largeur à la base) (LB= 5 m).

### 10.6.2. Probabilité

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

Source	Fréquence	Justification
Site specific hazard assesment for a wind farm project [4]	$1 \times 10^{-6}$	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 des scénarios de projection de pale ou de fragments de pale sont « de classe D » : « *S'est produit mais a fait l'objet de mesures correctrices réduisant significativement la probabilité* ».**

### **10.6.3. Zone d'effet**

Dans l'accidentologie française, la distance maximale relevée et vérifiée par le groupe de travail de l'association FEE 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.

Pour autant, des études de risques déjà réalisées dans le monde ont utilisé une distance de 500 mètres.

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.

$$\text{Zone d'effet} : Z_E = \pi \times 500^2 = 785\,400 \text{ m}^2$$

#### 10.6.4. Zone d'impact

La zone d'impact considérée correspond la surface d'un élément (cas majorant d'une pale entière).

$$\text{Zone d'impact} : Z_I = R \cdot LB / 2 = 145 \text{ m}^2$$

#### 10.6.5. 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 Garaches ».  $d$  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.

<b>Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)</b>			
<i>Zone d'impact en m<sup>2</sup></i>	<i>Zone d'effet du phénomène étudié en m<sup>2</sup></i>	<i>Degré d'exposition du phénomène étudié en %</i>	<i>Intensité</i>
$Z_I = R \cdot LB / 2$	$Z_E = \pi \times R^2$	$= Z_I / Z_E$	<i>Exposition modérée</i>
145	785 398	0,02 %	

### 10.6.6. Gravité

En fonction de cette intensité et des définitions données au §10.1.2.3, 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 :

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 »

Le tableau ci-dessous indique, pour chaque aérogénérateur, le nombre de personnes exposées dans la zone d'effet du phénomène de projection et la gravité associée. Ce nombre varie, en fonction des éoliennes du projet, en raison de la proximité de celles-ci avec la route départementale 935.

Projection de pale ou de fragment de pale (zone de 500 m autour de chaque éolienne)		
Eolienne	Nombre de personnes permanentes (ou équivalent personnes permanentes)	Gravité
E1, E2, E5	<1	Modéré
E4	<10	Sérieux
E3	Entre 10 et 100	Important

### 10.6.7. Niveau de risque

Pour conclure sur l'acceptabilité du risque de projection de pale ou de fragment de pale, les scénarios relatifs aux différentes éoliennes du parc sont placés dans la matrice de criticité ci-dessous.

Gravité <i>(traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)</i>	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important		E3			
Sérieux		E4			
Modéré		E1, E2, E5			

Le scénario d'accident lié à la projection de pale ou de morceaux de pale résulte sur un niveau de risques acceptable pour les éoliennes E1, E2, E4 et E5. En raison de la présence de la route départementale 935 à proximité du projet et du nombre de personnes exposées engendré, ce scénario résulte sur un niveau de risques plus important pour l'éolienne E3. Ce risque est toutefois maîtrisé par la mise en place d'actions visant à prévenir les défauts, par des contraintes de construction et par la mise en place de procédures d'inspection et de maintenance des équipements.

## 10.7. SYNTHÈSE DE L'ÉTUDE DÉTAILLÉE DES RISQUES (► VIII.3.)

### 10.7.1. Tableaux de synthèse des scénarios étudiés (► VIII.3.1.)

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

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 (193,3m)	Rapide	Exposition forte	D	Sérieux Pour les éoliennes E1 à E5
Chute d'élément de l'éolienne	Zone de survol (57,8m autour de l'éolienne)	Rapide	Exposition forte	C	Sérieux Pour les éoliennes E1 à E5
Chute de glace	Zone de survol (57,8m autour de l'éolienne)	Rapide	Exposition modérée	A	Modéré Pour les éoliennes E1 à E5
Projection de glace	376,5 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	B	Modéré Pour les éoliennes E1 à E5
Projection de pale ou de morceaux de pale	500 m autour de l'éolienne	Rapide	Exposition modérée	D	Modéré Pour les éoliennes E1, E2 et E5
					Sérieux Pour l'éolienne E4
					Important pour l'éolienne E3

### 10.7.2. Synthèse de l'acceptabilité des risques (► VIII.3.2.)

Pour plus de lisibilité de la matrice de criticité, les scénarios similaires pour chaque éolienne (même niveau de probabilité/gravité pour un même scénario, tel que récapitulés au §10.7.1) seront regroupés selon les notations S1 à S5 pour les scénarios respectifs d'effondrement, de chute d'éléments, de chute de glace, de projection de glace et de projection de pale.

Gravité <i>(traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)</i>	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important		S5 (E3)			
Sérieux		S1 S5 (E4)	S2		
Modéré		S5 (E1, E2, E5)		S4	S3

Ceci permet de traduire le niveau de risques selon trois catégories :

- **Risque très faible (vert)** : niveau auquel les risques identifiés sont acceptables au regard de leur rapport intensité/probabilité ;
- **Risque faibles (jaune)** : niveau auquel les risques identifiés sont acceptables par la mise en œuvre de mesures de sécurité ;
- **Risque important (rouge)** : niveau auquel les risques identifiés sont non acceptables.

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 au §9.5 sont mises en place.



## 11. ANALYSE DES EFFETS DOMINO POSSIBLES (►VII.5.)

### 11.1. OBJECTIF – NOTION D’EFFETS DOMINO

On entend par effets domino la possibilité pour un phénomène dangereux donné de générer, par effet de proximité, d’autres phénomènes dangereux à l’intérieur de l’installation étudiée ou bien sur les établissements voisins, conduisant à une aggravation des effets du premier phénomène (cf. glossaire technique des risques technologiques de la circulaire du 10 mai 2010).

L’objectif de ce chapitre est donc d’étudier les effets domino internes et externes spécifiques au champ d’éolienne étudié.

La méthodologie d’étude consiste à :

- reporter, pour chaque phénomène dangereux modélisé, les distances correspondant aux seuils des effets domino retenus ou la distance maximale de projection,
- faire l’inventaire des systèmes inscrits dans les rayons des effets domino possibles,
- évaluer les nouveaux phénomènes dangereux induits (possibilité de « sur-accidents »).

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 §11.2.

De même, une éolienne peut potentiellement agresser les installations industrielles voisines ou les canalisations de transport de fluides dangereux situées à proximité. Les conséquences d’une telle agression (chute de mât, projection de pale ou de fragments de pale) devront être étudiées dans l’étude de dangers de l’installation voisine ou l’étude de sécurité de la canalisation.

## 11.2. ANALYSE DES EFFETS DOMINO INTERNES

Effets dominos internes			
Phénomène dangereux	Cible impactée	Effet sur la cible impacté	Phénomène(s) dangereux engendré(s)
Projection d'une pale de l'éolienne A	Eolienne B du champ	Dégradation d'une pale de l'éolienne B	Projection d'une pale de l'éolienne B Projection d'un fragment de pale de l'éolienne B
Projection d'un fragment de pale de l'éolienne A	Eolienne B du champ	Dégradation d'une pale de l'éolienne B	Projection d'un fragment de pale de l'éolienne B
Projection de débris enflammés	Poste de livraison		Incendie du poste de livraison

Les conséquences issues des d'effets domino des scénarios de projection de pale d'une éolienne sur une autre sont de gravité et de probabilité similaires aux scénarios initiaux. Il n'y a donc pas lieu de développer plus précisément ces aspects.

De même, le scénario de projection d'un fragment enflammé sur le poste de livraison est quant à lui moins probable que la projection d'un fragment sur une autre éolienne étant donné le nombre et la dimension de ce(s) poste(s). La gravité de l'incendie de ce poste étant par ailleurs moins importante que celle de l'éolienne, nous ne retiendrons pas non plus le développement de cet effet domino.

### 11.3. ANALYSE DES EFFETS DOMINO EXTERNES

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 de ces effets domino dans le cadre de la présente étude.

Effets dominos externes			
Phénomène dangereux	Cible impactée	Effet sur la cible impacté	Phénomène(s) dangereux engendré(s)
Effets de surpression (200 mbar) depuis une installation industrielle ou une canalisation voisine	Eolienne(s) du champ	Arrachement d'une ou plusieurs pales, de fragments de pale, pliage de pale, pliage du mât	Projection d'une pale d'éolienne Projection d'un fragment de pale d'éolienne Chute du mât d'une éolienne
	Poste de livraison	Endommagement sérieux du poste de livraison	Incendie du poste de livraison Fuite d'huile et pollution du sol
Effets thermiques (8 kW/m <sup>2</sup> ) depuis une installation industrielle ou une canalisation voisine	Eolienne(s) du champ	Dégradation, pliage des pales d'éolienne	Projection d'un fragment de pale d'éolienne
	Nacelle	Départ d'incendie dans la nacelle	Incendie dans la nacelle
	Poste de livraison	Départ d'incendie dans le poste de livraison	Incendie du poste de livraison

Ne disposant pas d'informations sur les analyses de risques et potentielles distances d'effet des installations éoliennes voisines, il ne nous est pas possible d'évaluer de manière quantitative les effets domino. Nous pouvons cependant faire l'hypothèse que, de même que pour les effets internes au parc, les distances d'effets domino des scénarios de projection de pale d'une éolienne sur une autre sont de gravité et de probabilité similaires aux scénarios initiaux. Ils ne génèrent donc pas de nouveaux scénarios à intégrer à la matrice.

## **12. MOYENS DE SECOURS ET D'INTERVENTION**

### **12.1. 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 (mats des éoliennes et postes 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'aux postes de livraison.

Le personnel est formé à l'utilisation des extincteurs.

### **12.2. MOYENS EXTERNES**

La caserne de pompiers la plus proche est le centre de secours situé rue colonel Sorlin à Mondidier, à environ 2,5 km du projet.

### **12.3. 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 incompatibleI	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	221	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

Figure 30 : Liste des messages d'état principal ENERCON

Les messages d'état sont construits sous la forme de codes « état principal : sous état » (cf. liste Figure 30). Par exemple, le message d'état « 20 :52 » signifie « défaut de mesure du vent : pas de signal de l'anémomètre ».

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.

## 12.4. 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 Garaches se trouve à Saint-Just-en-Chaussée, à environ 30 minutes de route.

Chaque base de maintenance contient un stock minimum de pièces de rechange et de produits d'entretien.

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

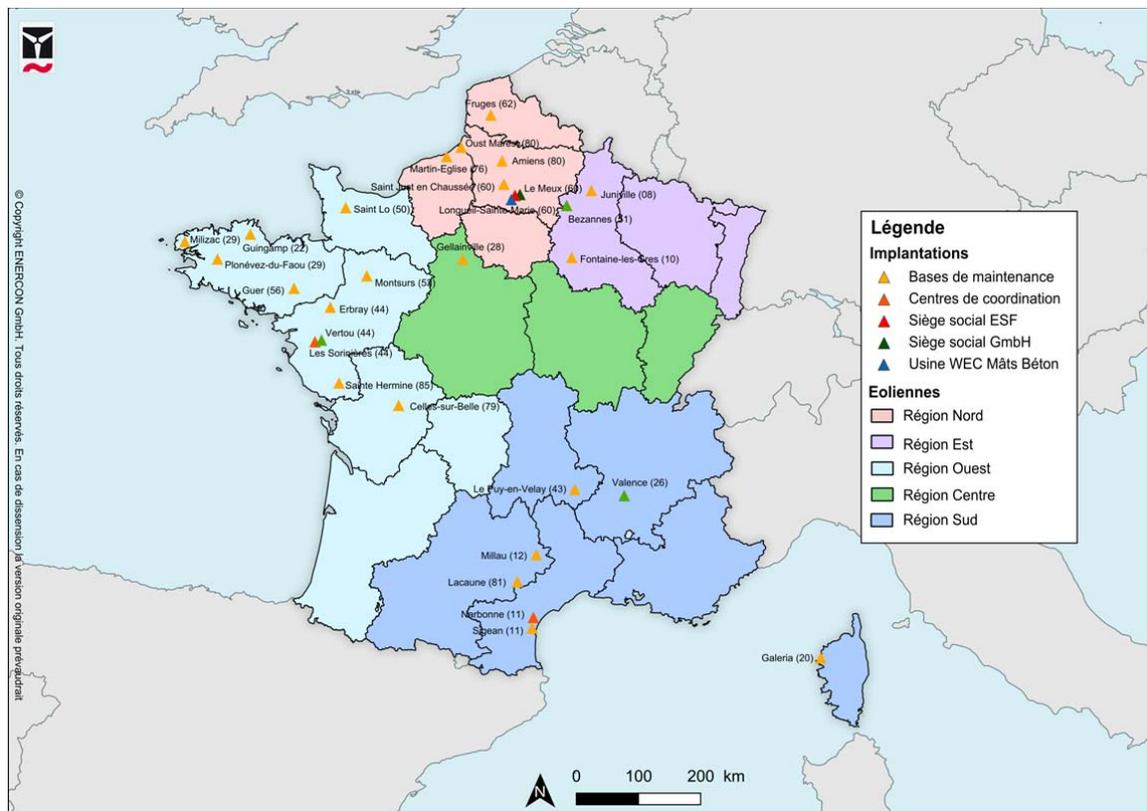


Figure 31 : Implantations ENERCON

### 13. CONCLUSION (► IX.)

Le projet de parc éolien Les Garaches est situé à proximité de la commune d'Assainvillers, sur un site peu fréquenté, et sujet à des conditions météorologiques clémentes.

La matrice ci-dessous récapitule la criticité des scénarios d'accident étudiés (cf.§10.7.2), en considérant les barrières de sécurité en place :

Gravité <i>(traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées)</i>	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important		S5 (E4)			
Sérieux		S1 S5 (E3)	S2		
Modéré		S5 (E1, E2, E5)		S4	S3

Les différents scénarios identifiés ont au plus une gravité « sérieuse », signifiant l'atteinte d'au plus une personne par des effets létaux (seuls effets considérés dans le cadre de cette étude).

Pour le scénario noté S3 (chute de glace), la fréquence est élevée car on considère que toute période de gel entraîne la formation, puis la chute, de morceaux de glace. Des panneaux signalent ce risque sur le site. Par ailleurs, ce risque (spécifiquement étudié dans le cadre de cette étude) est à relativiser, car comparable au risque de chute de glace de bâtiments élevés, de câbles Haute Tension, ou similaires. De plus les risques de chute de glace sont maîtrisés par la mise en œuvre de mesures de sécurité. ENERCON a ainsi mis en place sur ses éoliennes des moyens permettant de mieux maîtriser les phases de gel. Les éoliennes sont notamment arrêtées pendant les épisodes de formation de glace et ne peuvent redémarrer qu'après une période minimale de séjour à une température ambiante supérieure à 2°C (cette durée varie en fonction de la température).

De même le scénario S2 de chute d'éléments de l'éolienne se situe dans la zone « jaune » de la matrice, signifiant un risque maîtrisé par la mise en œuvre de mesures de sécurité. La gravité retenue traduit l'approche conservatrice choisie, consistant à considérer pour tous les cas de chute et projection le plus gros élément envisageable, c'est à dire une pale.

En raison de la présence de la route départementale 935 à proximité du projet, le scénario de projection de pale ou de morceaux de pale se situe dans la zone « jaune » pour l'éolienne E4. Ce risque est toutefois maîtrisé par la mise en place d'actions visant à prévenir les

défauts, par des contraintes de construction et par la mise en place de procédures d'inspection et de maintenance des équipements.

Pour ces scénarios, compte tenu de la mise en place de nombreuses mesures de prévention des risques (systèmes de sécurité de l'éolienne, cf. §4.6) les niveaux de risques sont donc aussi bas que possibles, dits « ALARP » (As Low As Reasonably Practicable).

Les autres scénarios identifiés se situent dans des zones de risque « très faible ».

Aucun risque important (non acceptable), n'a donc été identifié au travers de cette étude.

## **ANNEXE 1. CARACTERISTIQUES DU SYSTEME SCADA**

*Document ENERCON réf. WRD-E-04-SCADA\_SYSTEM\_060621\_Rev2.0\_ger-fre.doc*

# Description technique

## Système ENERCON SCADA

## Mentions légales

<b>Éditeur</b>	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
<b>Remarque sur les droits de propriété intellectuelle</b>	<p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p> <p>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.</p>
<b>Marques déposées</b>	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.
<b>Réserve de modification</b>	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

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

## Sommaire

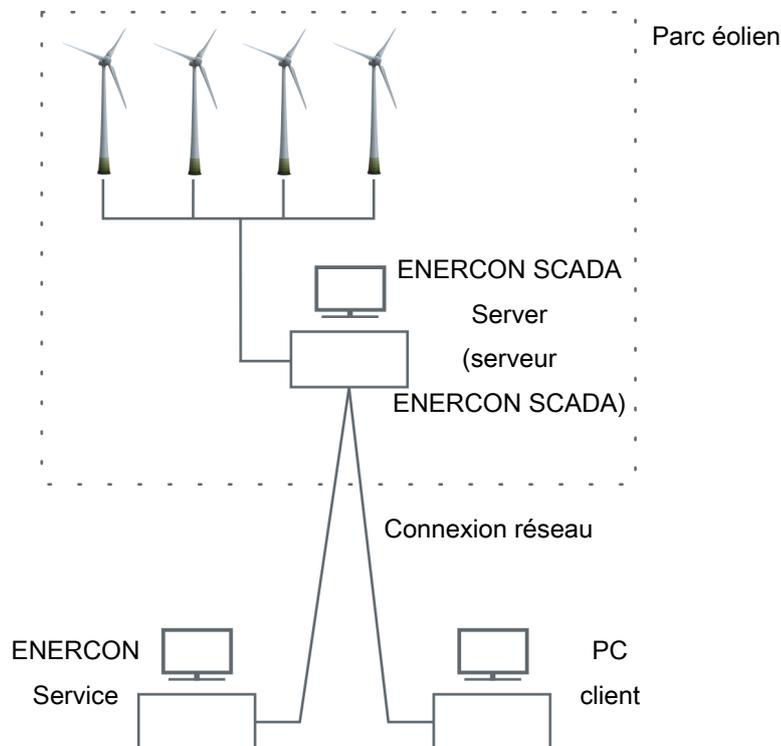
<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Composants et fonctionnalités standard .....</b>	<b>2</b>
2.1	<b>ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA) .....</b>	<b>2</b>
2.1.1	Fonctionnalité .....	2
2.1.2	Types de données .....	2
2.1.3	Transmission des données à distance sur la centrale de service ENERCON .....	3
2.2	<b>Bus de données ENERCON dans un parc éolien .....</b>	<b>3</b>
2.3	<b>ENERCON SCADA Remote .....</b>	<b>4</b>
2.3.1	Fonctionnalité .....	4
2.3.2	Echange de données .....	5
2.4	<b>Messages d'état et informations .....</b>	<b>6</b>
2.5	<b>Mise à disposition de données lors d'un défaut de communication .....</b>	<b>7</b>
<b>3</b>	<b>Composants et fonctionnalités secondaires .....</b>	<b>8</b>
3.1	<b>Interfaces de données vers les systèmes externes .....</b>	<b>8</b>
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	<b>Composants pour la saisie des valeurs de mesure .....</b>	<b>13</b>
3.2.1	Aperçu .....	13
3.2.2	ENERCON SCADA RTU-C .....	13
3.2.3	ENERCON METEO .....	15
3.3	<b>Commande et régulation avec le système ENERCON SCADA.....</b>	<b>16</b>
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](mailto: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 chargé à 90 %, le ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA) envoie un message d'avertissement à ENERCON Service.

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

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

Si 24 heures se sont écoulées après la dernière communication avec la centrale de Service ENERCON, alors un message test est envoyé par le système ENERCON SCADA. 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

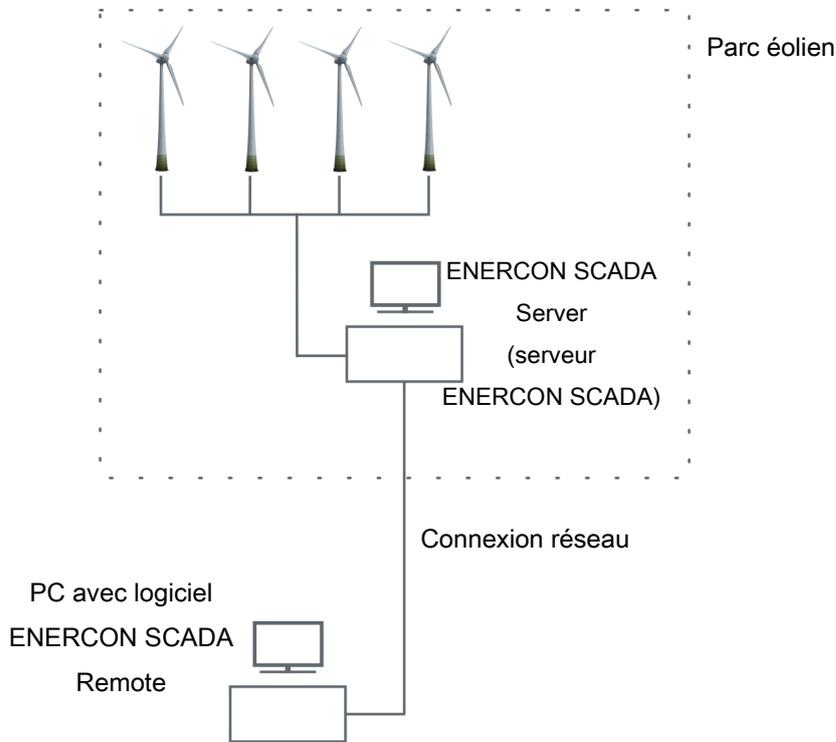


Fig. 2: ENERCON SCADA Remote

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

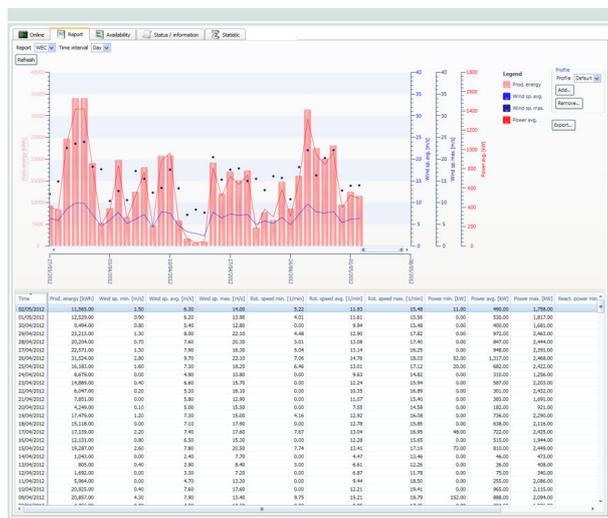


Fig. 3: ENERCON SCADA Remote: Affichage des données quotidiennes

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

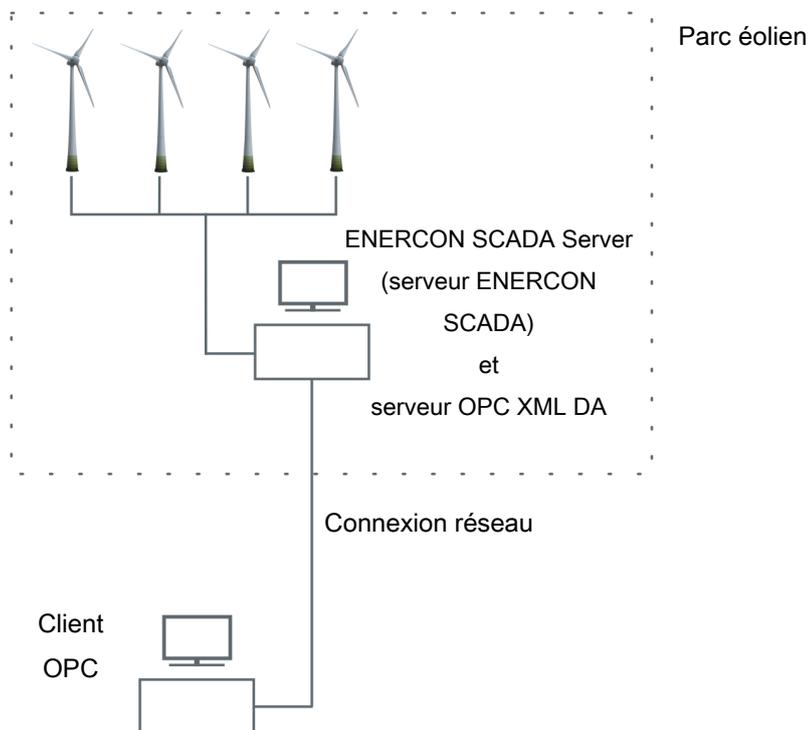


Fig. 4: ENERCON SCADA PDI-OPC dans le système ENERCON SCADA

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 actuelle, mais aussi des valeurs d'intervalles passés et permet par conséquent de préserver la concordance entre les données sur les PC du client et du parc éolien.

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

#### Indications de valeur de consigne

A l'aide des données de commande, les paramètres du parc éolien ou de l'éolienne peuvent être modifiés par le client. Cela concerne notamment les commandes ou ordres Marche/arrêt des différentes éoliennes ainsi que la modification des valeurs de consigne pour les régulations du parc éolien.

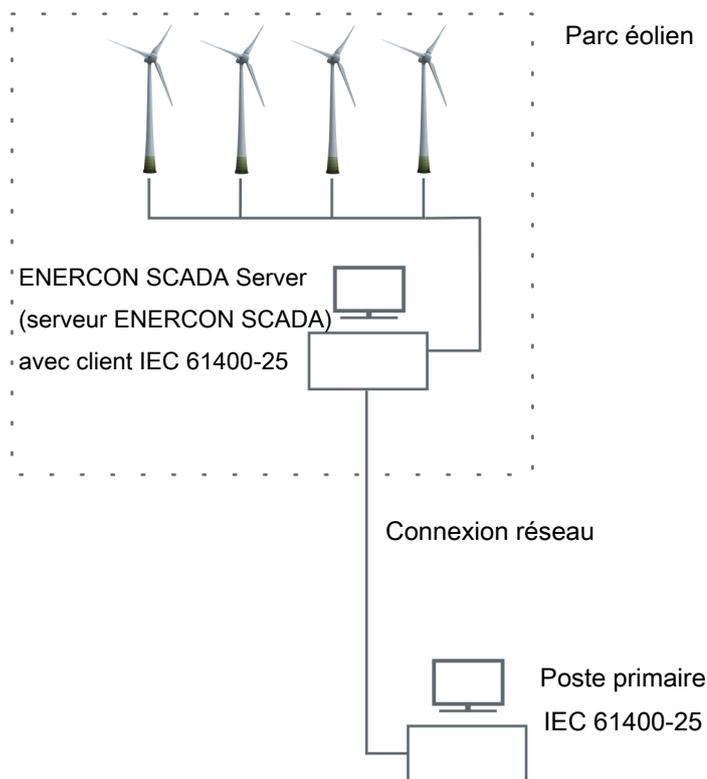
### 3.1.2.3 Analyses externes

Les données du serveur OPC XML DA dans le parc éolien peuvent être exportées et pour terminer peuvent continuer à être traitées.

Le système IT du client nécessite un logiciel dimensionné pour l'échange de données grâce au rapport OPC XML DA. Une large sélection d'applications logicielles est disponible sur le marché. Le client peut décider lui-même quelles sont les données qu'il sélectionne, affiche et enregistre sur son système.

Le serveur OPC XML DA dans le parc éolien est dimensionné de sorte que le client puisse enregistrer localement les données présentes dans le parc éolien, également en cas de communication en ligne défectueuse. Cela permet de garantir que, parallèlement aux valeurs en ligne et moyennes actuelles, l'évolution complète soit également mise à disposition. Le client a ainsi la possibilité de compléter ultérieurement les données manquantes en cas d'interruption de la transmission des données. Cela doit cependant être initié par OPC Client (=client) car le serveur ne peut pas déterminer les manques au niveau des données du client.

### 3.1.3 ENERCON SCADA PDI-61400



**Fig. 5: ENERCON SCADA PDI-61400**

Avec ENERCON SCADA PDI-61400, l'opérateur dispose d'une interface qui permet d'accéder en ligne aux données des éoliennes indépendamment du logiciel ENERCON SCADA Remote.

Pour l'ENERCON SCADA PDI-61400, il s'agit d'une interface qui utilise le modèle de données de la norme IEC 61400-25 et qui transmet les données via le rapport de la norme IEC 60870-5-104 (2006).

Il s'agit exclusivement d'un poste secondaire avec « Monitor Direction ». « Reverse Direction » et « Both Direction » ne sont pas pris en charge.

Le principe de communication dans le parc éolien ENERCON est schématisé à la Fig. 5, p. 11. Un poste primaire se relie via le réseau de communication au serveur ENERCON SCADA et peut ainsi accéder aux données des éoliennes.

Les fonctions de l'ENERCON SCADA PDI-61400, ainsi que les interfaces et signaux techniques afférents et disponibles sont décrits dans la documentation correspondante. Le réglage approprié de valeur de consigne doit être choisi en fonction des caractéristiques du projet.

### 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

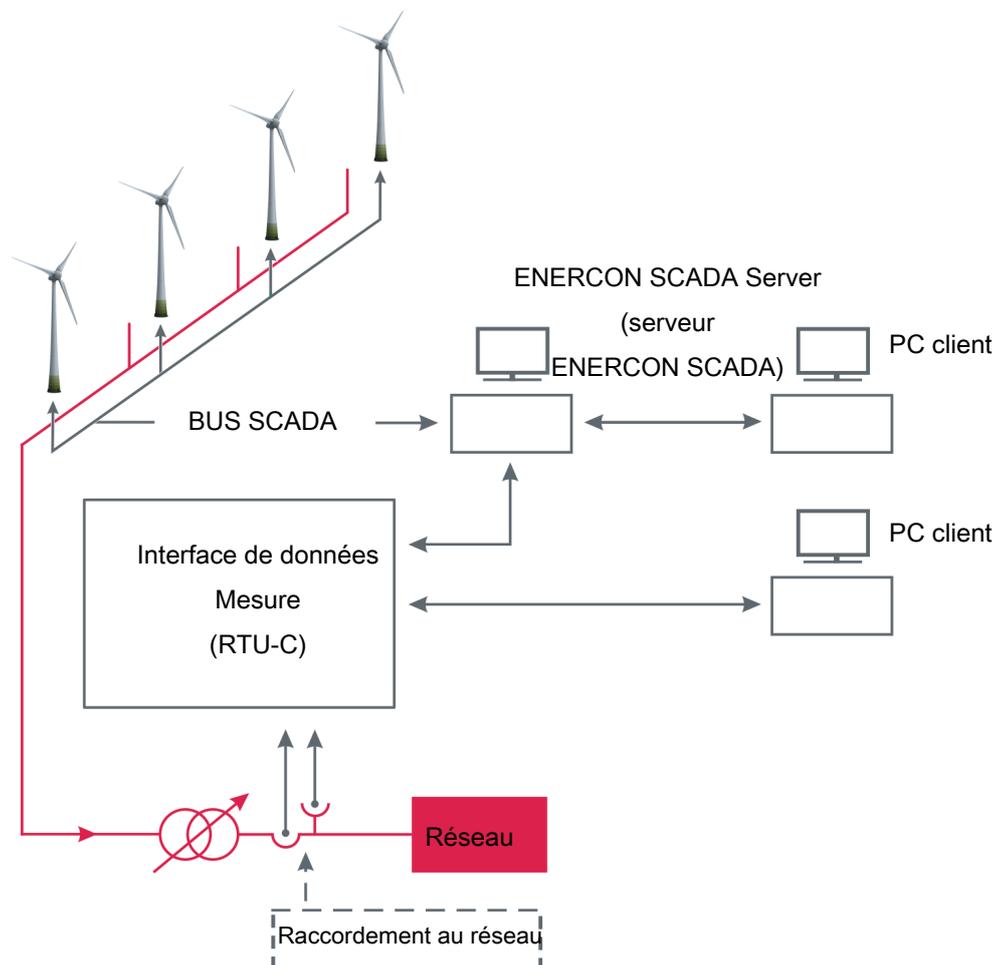


Fig. 6: Aperçu RTU-C

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

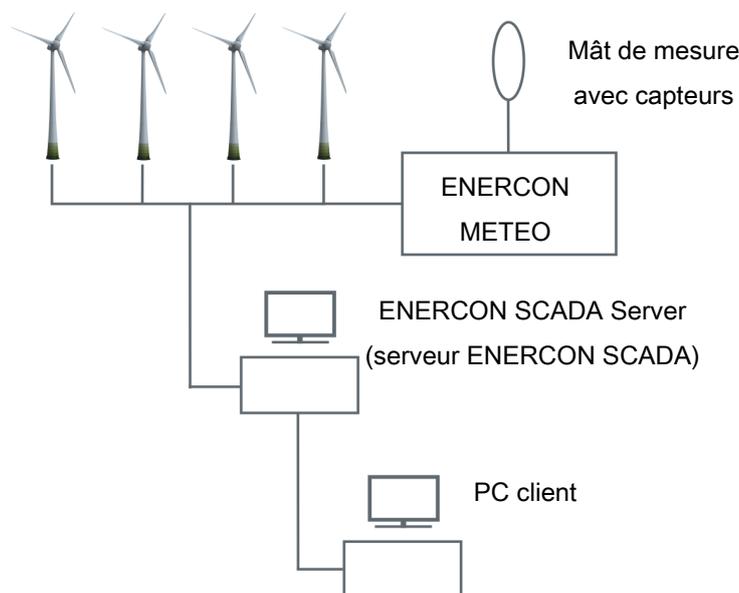


Fig. 7: ENERCON METEO

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.

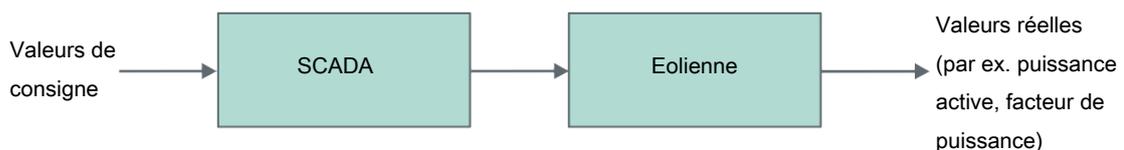


Fig. 8: Structure d'un système de commande de dimensions électriques à l'aide de l'ENERCON SCADA

#### 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 fermée 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.

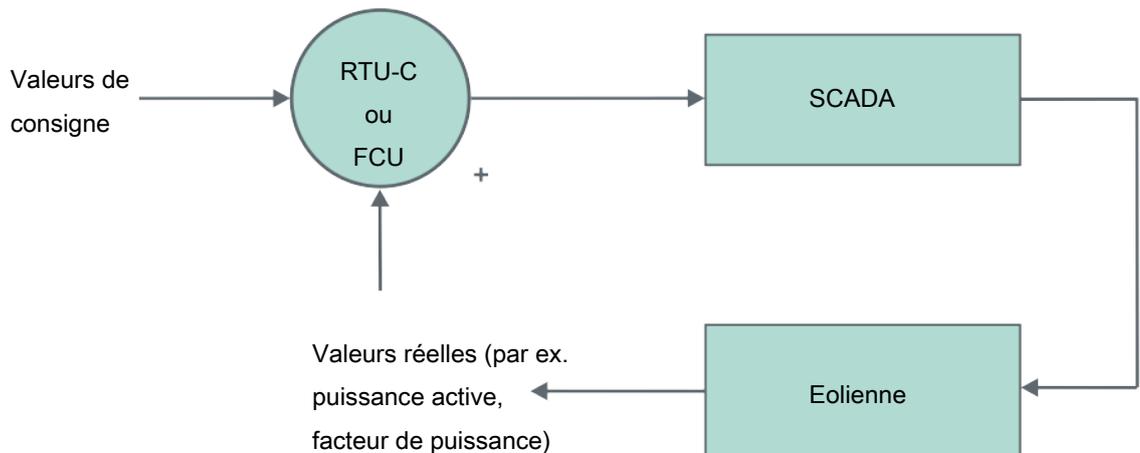


Fig. 9: Structure d'une régulation avec réinjection caractéristique du signal de sortie

### 3.3.4 ENERCON SCADA RTU-C

#### 3.3.4.1 Aperçu du produit

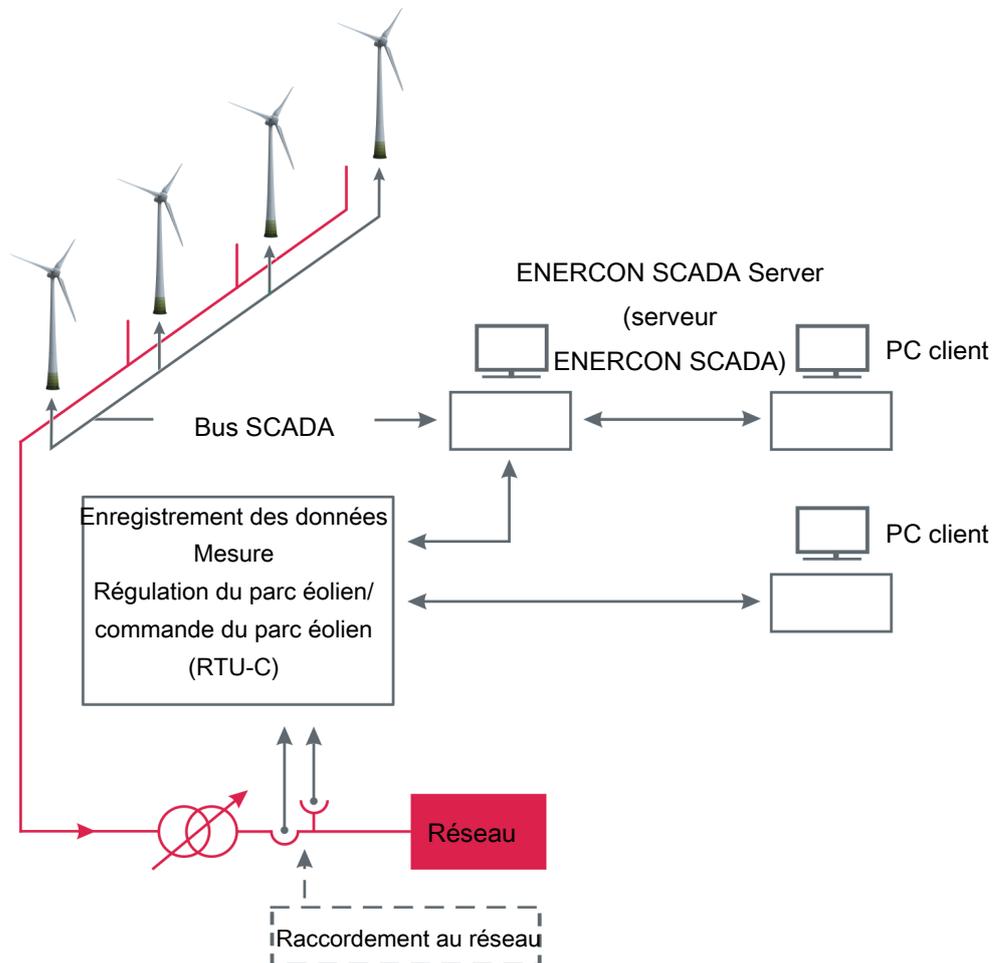


Fig. 10: Aperçu RTU-C

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 ( $I_1, I_2, I_3$ ) et de tension ( $U_1, U_2, U_3, N$ ) 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  $\varphi$  Open Loop Control (système de commande)
- Q Open Loop Control (système de commande)
- Cos  $\varphi$  Closed Loop Control (régulation)
- Q Closed Loop Control (régulation)
- Cos  $\varphi$ (P) Closed Loop Control (régulation, courbe)
- Q(U) Closed Loop Control (régulation, courbe)
- Cos  $\varphi$ (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

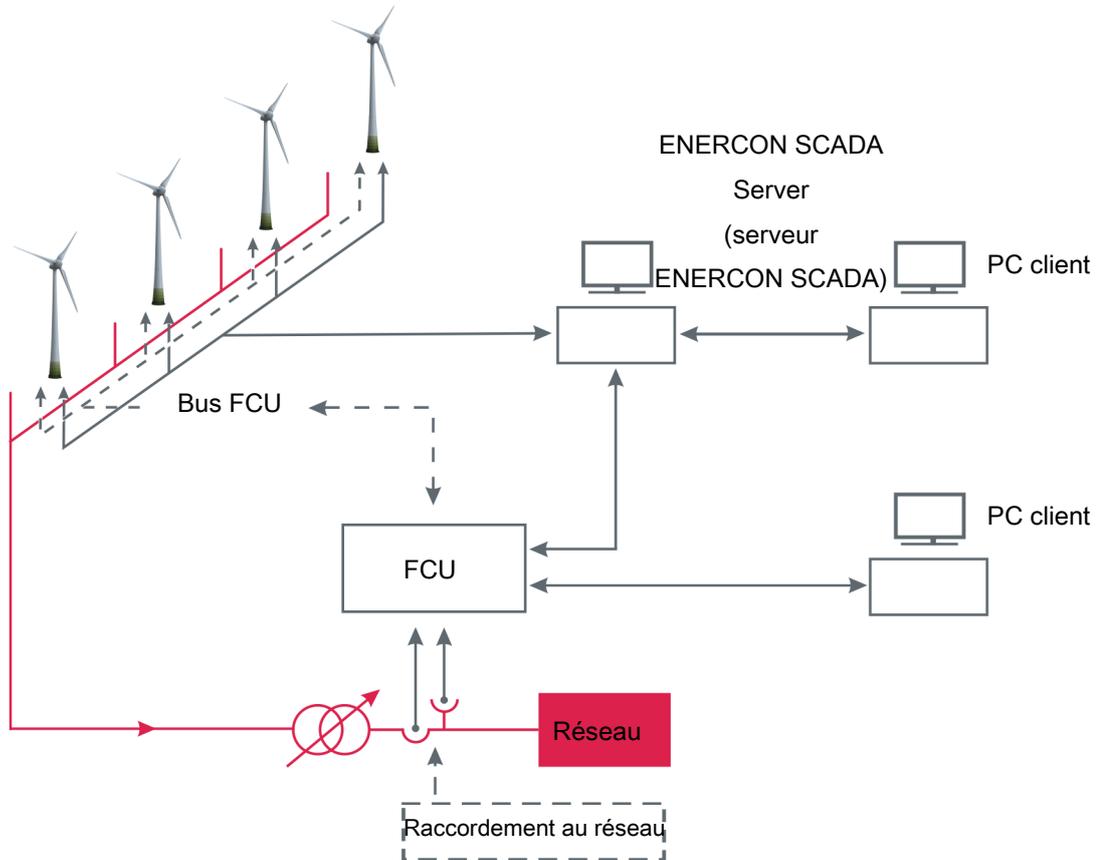


Fig. 11: Aperçu FCU

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.

#### **Régulation 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.

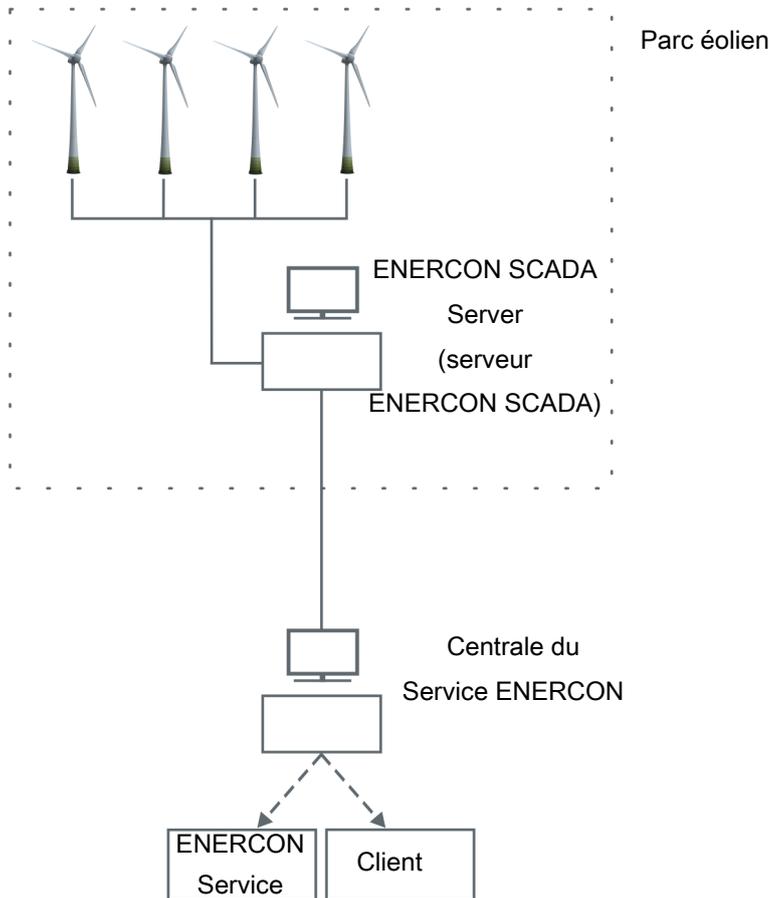
#### **Régulation de puissance réactive en fonction de la tension**

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](mailto: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

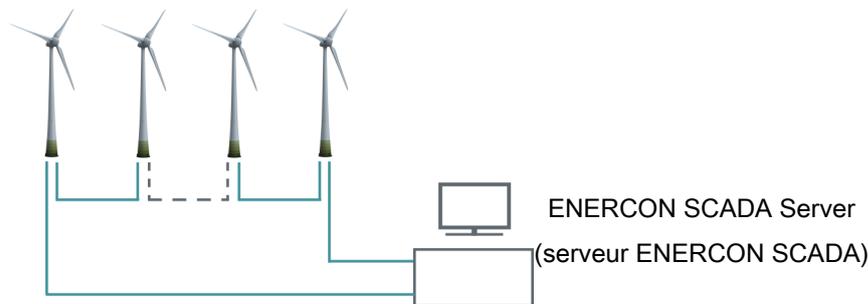


Fig. 14: Interruption d'une partie du bus de données avec management annulaire

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

<b>ASI (UPS)</b>	Alimentation sans interruption (ASI) : système technique assurant pratiquement sans délai l'alimentation des consommateurs de courant en cas de panne du réseau électrique
<b>Bus de données</b>	Câble de données qui relie par ex. chaque éolienne avec le ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA).
<b>Client</b>	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.
<b>dBASE</b>	Système de banque de données
<b>Dongle</b>	Clé pour la protection de copie du matériel
<b>EPK</b>	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.
<b>Etat principal</b>	est dans le système ENERCON SCADA un état de l'éolienne et de ses composants, et s'affiche comme code numérique avec des explications.
<b>Informations</b>	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.
<b>Message de défaut</b>	Un message de défaut est généré lors d'un état de fonctionnement inhabituel. L'éolienne est arrêtée.
<b>Messages d'avertissement</b>	Les messages d'avertissement correspondent aux informations de priorité élevée. L'éolienne est encore en service.
<b>OPC XML DA</b>	Open Process Connectivity, voir <a href="http://www.opcfoundation.org">www.opcfoundation.org</a> . 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).
<b>Sous-état</b>	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.

## **ANNEXE 2. CONDITIONS DE DEMONTAGE DES EOLIENNES**

*Document ENERCON réf. D0206034-0*



# 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

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

<b>1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Démontage .....</b>	<b>2</b>
<b>2.1</b>	<b>Les composants de montage, nacelle et rotor .....</b>	<b>2</b>
2.1.1	Câbles et ascenseur de service .....	2
2.1.2	Pièces de montage .....	3
2.1.3	Rotor, nacelle et générateur .....	3
<b>2.2</b>	<b>Mât .....</b>	<b>5</b>
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
<b>2.3</b>	<b>Fondation .....</b>	<b>17</b>
2.3.1	Réutilisation des fondations .....	17
2.3.2	Démolition des fondations .....	17
<b>3</b>	<b>Estimation des efforts et temps requis .....</b>	<b>18</b>



# 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 son 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 stockage 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 installé, cela nous apporte un gain de temps (>deux jours).
  - Démontage de câbles et d'accessoires au sol
- À l'intérieur de l'éolienne**
- 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 aplanie avec de la résine époxy et les sections sont placées les unes au-dessus des autres sans être collées

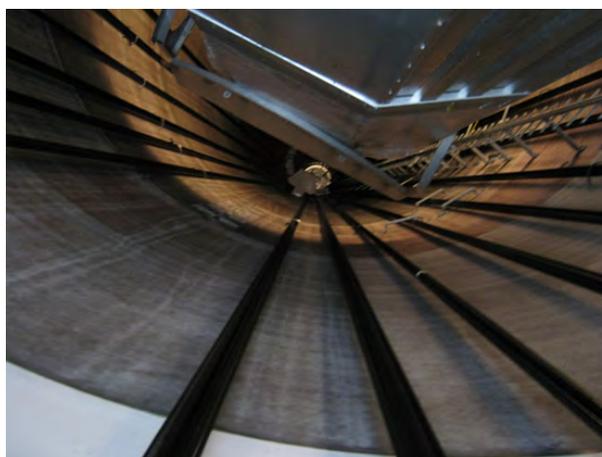


Figure 5: Câbles de précontrainte à l'intérieur du mât

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 prêts 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 section 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

## **ANNEXE 3. SYSTEME “ICE DETECTION” (DETECTION GLACE)**

*Document ENERCON réf. D0157529-2*



---

## Description technique

Système de détection de givre/glace ENERCON

Procédé de la courbe de puissance

---

# **Description technique**

**Systeme de detection 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 profils 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 profils 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/glace est très élevée avec le procédé de la courbe de puissance. Une défaillance éventuelle au niveau du point de mesure de la température sera relevée par le deuxième point de mesure situé au pied du mât. Toutes les autres valeurs sujettes à tolérances, telles que la vitesse du vent, la puissance et l'angle de pale, ne sont pas considérées par le système de commande comme étant des valeurs absolues. Le système ne fait que prendre en compte les variations se produisant sur ces valeurs pour mettre en évidence la formation de glace.

La plausibilité de toutes les mesures liées à l'éolienne est contrôlée en permanence par la commande. Une modification non plausible d'une valeur de mesure qui ne tient pas à un dépôt de glace est interprétée comme un dépôt de glace par la commande et l'éolienne est stoppée. Ceci exclut toute défaillance du système de détection de givre/glace soit-il pour cause de tolérances inadmissibles dans les signaux de mesure ou soit-il pour cause de l'absence d'un signal.

Le procédé des courbes peut même détecter un dépôt de glace en fonction du système quand les capteurs de glace sur la nacelle, utilisés par d'autres systèmes, ne peuvent pas détecter de givre en raison de stratification climatique.

## 5 Limites

Comme le rotor doit tourner pour le procédé de la courbe de puissance, ce procédé ne peut fonctionner à l'arrêt. En cas de vitesses de vent faibles (inférieures à 3 m/s), la sensibilité du système de détection de givre/glace est réduite. Dans ces cas, une chute de glace ne peut pas être totalement exclue.

En cas d'absence totale de vent et de vitesses faibles de vent, des morceaux de glace épais ne se forment pas. Par ailleurs, le rotor ne tourne pas ou qu'à vitesse faible. Un dépôt de glace/givre éventuel n'est par conséquent pas projeté sur une grande distance, mais tombe des pales à proximité de l'éolienne. Le risque de projection de glace lié est comparable au risque de projection de glace pour des bâtiments plus élevés, des câbles HT ou similaires.

## 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 Vérifié/Date: Autorisation/Date: Révision:	Traduit/Date: Vérifié/Date: Autorisation/Date: Révision:
Nom du fichier : Annexe 5 - Procédure de redémarrage après détection de glace 2012-01-09.docx	Version Modèle:

## **ANNEXE 4. SYSTÈME “STORM CONTROL” (MODE TEMPETE)**

*Document ENERCON réf. D0191612-0b*

# **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

<b>Document</b>	D0191612-0b	
<b>Note</b>	Ce document est une traduction du document original portant le numéro D0178786-0a (ger).	
<b>Date</b>	<b>Langue</b>	<b>Usine / Département</b>
2012-01-11	fre	WRD GmbH / Validierung
<b>Index</b>	<b>Date</b>	<b>Modification</b>
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).

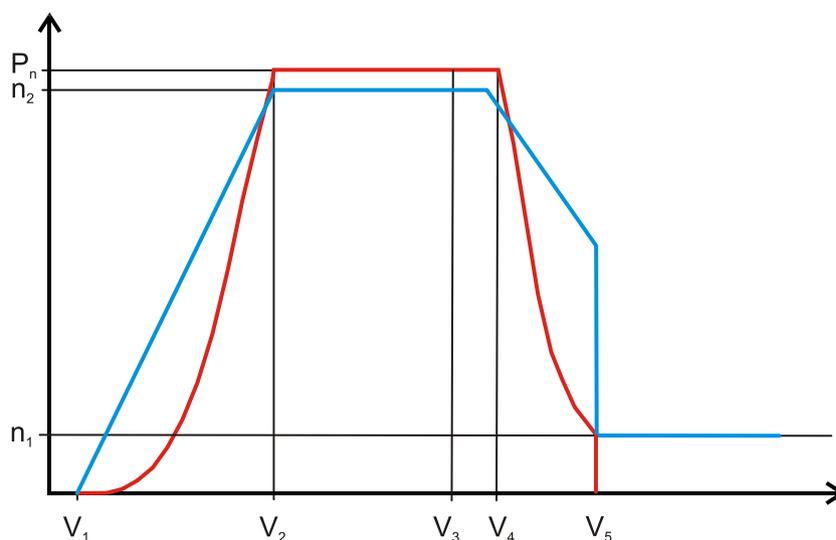


Figure 1: Vitesse du vent/vitesse de rotation/courbe de puissance lorsque le mode tempête est activé (exemple)

$V_1$	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  $< 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

## 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

## **ANNEXE 5. DESCRIPTION TECHNIQUE DE L'ÉOLIENNE**

*Document ENERCON réf. D0290330-1*

# Description technique

Éolienne ENERCON  
E-115 E2

<b>Editeur</b>	<p>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</p>
<b>Remarque sur les droits de propriété intellectuelle</b>	<p>Le contenu de ce document est protégé par le droit d'auteur, par les lois sur la propriété intellectuelle ainsi que par les lois nationales et internationales applicables. Sauf mention explicite à l'effet contraire, les droits sur le contenu de ce document appartiennent à ENERCON GmbH.</p> <p>ENERCON GmbH accorde à l'utilisateur le droit de dupliquer et de copier ce document uniquement pour usage informatif interne dans la mesure où l'utilisateur consent à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété intellectuelle compris dans le contenu du document et que la source dudit contenu soit citée. Aucun autre droit n'est accordé à l'utilisateur par la mise à disposition de ce document. À moins d'une disposition législative obligatoire à l'effet contraire, toute autre duplication, reproduction, copie, modification, diffusion, publication, transmission, distribution, création de produits dérivés du document, mise à disposition à des tiers et/ou exploitation, totale ou partielle, du contenu de ce document est interdite sans avoir préalablement obtenu le consentement écrit d'ENERCON GmbH.</p> <p>Les droits d'ENERCON GmbH ne peuvent être utilisés d'aucune façon et à quelque fin sans le consentement préalable écrit exprès d'ENERCON GmbH. L'utilisateur ne peut enregistrer de droits de quelque type que ce soit relativement au contenu du document, incluant sans s'y limiter, au savoir-faire.</p> <p>Tous les droits sur le contenu apparaissant dans le document sont la propriété de leurs détenteurs respectifs. L'utilisateur s'engage à respecter tous les droits d'auteur et autres droits de propriété compris dans ledit contenu.</p>
<b>Marques déposées</b>	<p>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.</p>
<b>Réserve de modification</b>	<p>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.</p>

#### Informations sur le document

<b>ID du document</b>	D0440337-1		
<b>Note</b>	Document original. Document source pour cette traduction D0438267-1/2016-04-11		
<b>Date</b>	<b>Langue</b>	<b>DCC</b>	<b>Usine/Département</b>
2016-04-14	fr	DA	WRD Management Support GmbH / Documentation Department

## Sommaire

1	Vue d'ensemble de l'éolienne ENERCON E-115 E2.....	1
2	Le concept d'éoliennes ENERCON.....	2
3	Composants de l'éolienne E-115 E2 .....	3
3.1	Nacelle .....	3
3.2	Pales du rotor .....	4
3.3	Mât.....	4
4	Système d'alimentation du réseau.....	6
5	Système de sécurité .....	9
5.1	Dispositifs de protection .....	9
5.2	Le système de capteurs.....	9
6	Système de contrôle.....	12
6.1	Contrôle d'orientation.....	12
6.2	Réglage des pales du rotor.....	12
6.3	Démarrer l'éolienne .....	13
6.3.1	Préparation du démarrage .....	13
6.3.2	Mesure du vent et orientation de la nacelle .....	13
6.3.3	Excitation de la génératrice .....	14
6.3.4	Injection de puissance.....	14
6.4	Modes de fonctionnement .....	15
6.4.1	Mode charge pleine.....	15
6.4.2	Mode charge partielle.....	16
6.4.3	Fonctionnement à vide.....	16
6.5	Arrêt sécuritaire de l'éolienne .....	17
7	Système de surveillance à distance .....	18
8	Maintenance .....	19
9	Données techniques E-115 EP2 3,2 MW .....	20



## 1 Vue d'ensemble de l'éolienne ENERCON E-115 E2

L'éolienne E-115 E2 ENERCON est une éolienne à entraînement direct d'une puissance nominale de 3200 kW, dotée d'un rotor à trois pales, d'un système actif de réglage des pales et fonctionnant à vitesse variable. Elle a un diamètre du rotor de 115,71 m et peut être livrée avec les hauteurs du moyeu de 92 m, 122 m, 135 m et 149 m.



Fig. 1: Vue d'ensemble de l'éolienne ENERCON E-115 E2

## 2 Le concept d'éoliennes ENERCON

Les éoliennes ENERCON présentent, entre autres, les caractéristiques suivantes :

### **Sans boîte de vitesse**

Le système d'entraînement de l'E-115 E2 ne comporte que peu de pièces tournantes. Accouplés l'un à l'autre directement sans boîte de vitesse intercalée, le moyeu du rotor et le rotor du générateur annulaire forment une unité solidaire. Les sollicitations mécaniques sont ainsi réduites et la durée de vie technique accrue. Le nombre et l'étendue des opérations de maintenance et de service s'en trouvent réduits (entre autre moins de pièces d'usure, pas de vidange d'huile de la boîte de vitesse), ce qui se traduit par une baisse des coûts d'exploitation. Étant donné que l'éolienne ne possède pas de boîte de vitesse et de pièces à grande vitesse de rotation, les pertes d'énergie entre le rotor et le générateur et les émissions sonores sont considérablement réduites.

### **Réglage actif des pales**

Chacune des trois pales du rotor est équipée d'un système de réglage des pales. Chaque système de réglage des pales comporte un entraînement électrique, une commande et une alimentation de secours. Deux moteurs à excitation compound en courant continu avec un engrenage installé par pale sont utilisés comme entraînement du système de réglage des pales. Les systèmes de réglage des pales limitent la vitesse de rotation du rotor et par conséquent la puissance provenant du vent. La puissance maximale fournie par l'E-115 E2 est ainsi limitée exactement à la puissance nominal même à court terme. Lorsque les pales du rotor sont mises en drapeau, le rotor s'arrête, sans que le train d'entraînement soit soumis à une charge quelconque par l'utilisation d'un frein mécanique.

### **Raccordement indirect au réseau**

L'énergie produite par le générateur annulaire est acheminée dans le réseau de distribution ou de transport par le système d'alimentation du réseau ENERCON. Le système d'alimentation du réseau ENERCON, qui se compose d'un redresseur, d'un circuit intermédiaire et d'un système modulaire d'onduleurs, offre une production maximale d'énergie et une compatibilité élevée avec le réseau. Les caractéristiques électriques du générateur annulaire sont par conséquent insignifiantes pour la conduite de l'éolienne sur le réseau de distribution ou de transport. En fonction de la vitesse du vent, la vitesse de rotation, l'excitation, la tension de sortie et la fréquence de sortie du générateur annulaire peuvent varier. L'énergie du vent peut être ainsi également être utilisée de manière optimale dans la plage de charge partielle.

### 3 Composants de l'éolienne E-115 E2

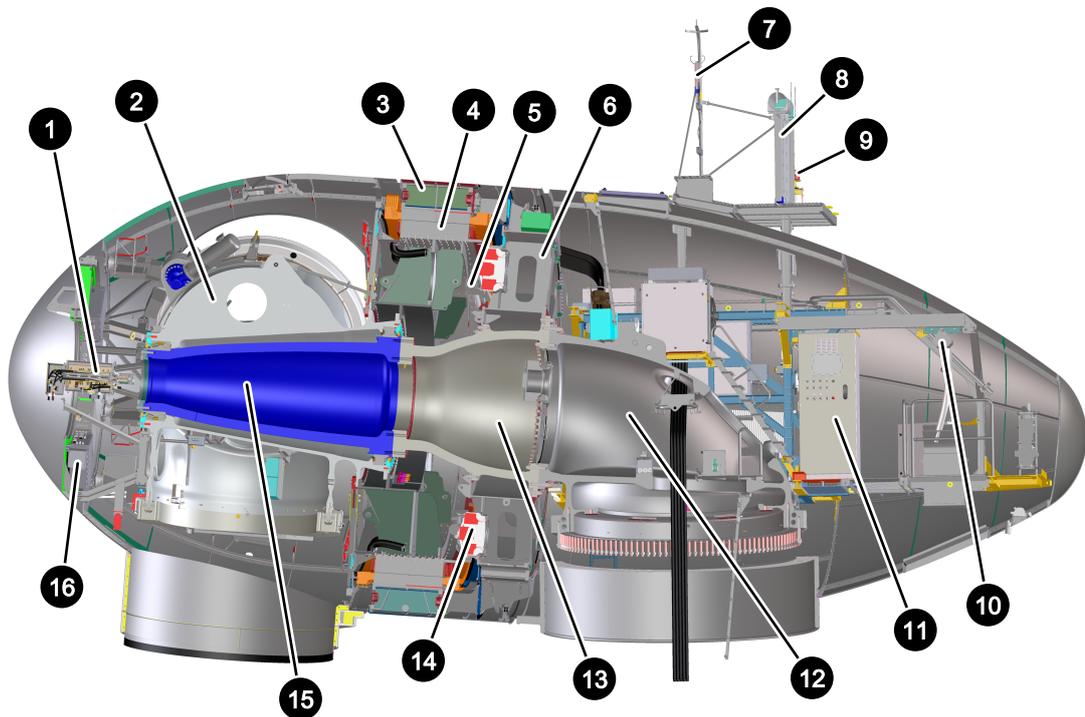


Fig. 2: Coupe transversale de la nacelle E-115 E2

1 Collecteur (slip ring unit)	9 Système de feux de balisage (en option)
2 Moyeu du rotor	10 Palan à chaîne
3 Stator du générateur	11 Armoire de commande de la nacelle
4 Rotor du générateur	12 Support principal (main carrier)
5 Frein du rotor	13 Goujon de centrage
6 Support du stator	14 Ventilateur du générateur (6x)
7 Dispositif de mesure du vent avec paratonnerres	15 Arbre de moyeu
8 Condensateur stator du générateur	16 Module BV (module de réglage des pales)

#### 3.1 Nacelle

Le moyeu du rotor tourne sur 2 paliers du moyeu autour de l'arbre de moyeu. Les pales et le rotor du générateur ou d'autres composants sont fixés sur le moyeu du rotor. L'élément porteur du stator du générateur est un support du stator avec 6 bras de support. Le collecteur se trouve à la pointe de l'arbre de moyeu. Il transmet l'énergie électrique et les données par l'intermédiaire de contacts glissants entre la partie fixe et la partie rotative de la nacelle.

Le support du stator est fixé solidement au support principal (main carrier) au-dessus du bâti central du générateur. A l'extrémité du bras de support se trouve l'anneau de support

du stator double avec les bobinages en cuivre dans lesquels le courant est induit. Le support principal est l'élément porteur central de la construction de la nacelle. Toutes les pièces du rotor et du générateur sont directement ou indirectement fixé à lui. Le support principal (main carrier) pivote sur la tête du mât par l'intermédiaire du palier d'orientation. Toute la nacelle peut être tournée à l'aide des entraînements d'orientation pour que le rotor soit en permanence de manière optimale dans le vent. L'habillage de la nacelle est composé d'aluminium. Il se compose de plusieurs éléments et est fixé au stator du générateur, au cadre (dans la salle des machines) et au moyeu (dans la zone du rotor) au moyen de profilé extrudés.

## 3.2 Pales du rotor

Les pales divisées en matière synthétique renforcée de fibres de verre (fibre de verre et résine époxy), bois de balsa et mousse jouent un rôle important dans le rendement de l'éolienne et dans son comportement par rapport à l'émission sonore. La pale intérieure est entièrement fabriquée en plastique renforcé de fibres de verre par enroulement filamentaire. La pale extérieure est fabriquée en coques et par infusion sous vide. La forme et le profil des pales du rotor de l'E-115 E2 ont été conçus en fonction des critères suivants :

- coefficient de puissance élevé
- longue durée de vie
- faibles émissions sonores
- faibles contraintes mécaniques
- utilisation optimale de matériaux

Une des particularités des pales du rotor est le profilage qui s'étend jusqu'à la nacelle. Les pertes internes liées à l'écoulement de l'air sur les pales du rotor traditionnelles sont ainsi évitées. L'énergie du vent peut être exploitée de manière optimale grâce à la géométrie de la nacelle, favorisant l'écoulement de l'air.

Les pales de l'E-115 E2 sont tout spécialement conçues pour un fonctionnement à angle et à vitesse variables. Le revêtement de la surface sur base de polyuréthane protège les pales des influences environnementales comme p. ex. les rayons UV et l'érosion. Le revêtement est très résistant à l'abrasion.

Le réglage d'angle des 3 pales du rotor est assuré par trois systèmes de réglage des pales indépendants commandés par microprocesseurs. L'angle de pale réglé est surveillé en permanence par 2 mesures d'angle des pales, et les 3 angles de pale sont synchronisés entre eux. Ce principe permet d'ajuster rapidement et avec précision l'angle des pales aux régimes de vent dominants.

## 3.3 Mât

Le mât de l'éolienne E-115 E2 est un mât hybride de sections préfabriquées en béton avec une section en acier.

Pour des raisons techniques et économiques, la partie supérieure plus étroite du mât hybride de l'E-115 E2 est composée d'acier. Il n'est p. ex. pas possible de monter le palier d'orientation directement sur les éléments en béton et l'épaisseur beaucoup plus fine de la paroi offre plus d'espace dans le mât.

La couche de peinture ou la protection contre les intempéries et la corrosion sont appliquées sur le mât en usine, de sorte que, après le montage, les seuls travaux nécessaires dans ce domaine sont la correction des défauts et des éventuels dommages occasionnés lors du transport. La partie inférieure du mât est recouverte d'une peinture extérieure aux nuances de vert (ce dégradé de vert peut être supprimé en option).

Le mât en béton préfabriqué se compose des sections préfabriquées en béton, assemblées sur le lieu d'installation. Les sections sont généralement placées à sec les unes sur les autres, mais une couche de compensation de mortier peut aussi être appliquée. Les joints verticaux sont reliés entre eux au moyen de raccords vissés. Ensuite, la section en acier supérieure est posée et vissée.

Le mât est précontraint dans le sens vertical par des câbles de précontrainte. Les câbles de précontrainte sont installés verticalement à travers des passages dans les éléments de béton ou à l'extérieur sur la paroi intérieure du mât. Ils sont ancrés dans la fondation.

## 4 Système d'alimentation du réseau

### Générateur annulaire et flux énergétique

Dans l'E-115 E2 on utilise un générateur synchrone multipolaire à excitation indépendante (générateur annulaire). L'éolienne fonctionne avec une vitesse de rotation variable pour permettre l'exploitation optimale de l'énergie éolienne potentielle quelle que soit la vitesse du vent. Un courant alternatif avec une tension, une fréquence et une amplitude variables est induit dans le stator du générateur par le champ magnétique produit par le courant d'excitation dans le rotor du générateur.

Les bobinages du stator forment 4 systèmes de courant triphasé indépendants à 3 phases. Ces 4 systèmes de courant triphasé sont redressés séparément dans la nacelle. Les systèmes de tension continue sont guidés par l'intermédiaire des câbles du mât aux armoires de puissance. Après la conversion en courant triphasé avec une tension, une fréquence et une relation de phase conformes au réseau, le courant triphasé est conduit par l'intermédiaire d'un système de plaques en cuivre au transformateur HTA et est adapté au niveau de tension (p. ex. 20 kV) du réseau d'alimentation du distributeur d'électricité. Ainsi le générateur annulaire n'est pas raccordé directement au réseau absorbant du distributeur d'électricité, mais il est découplé du réseau via le système d'alimentation du réseau d'ENERCON.

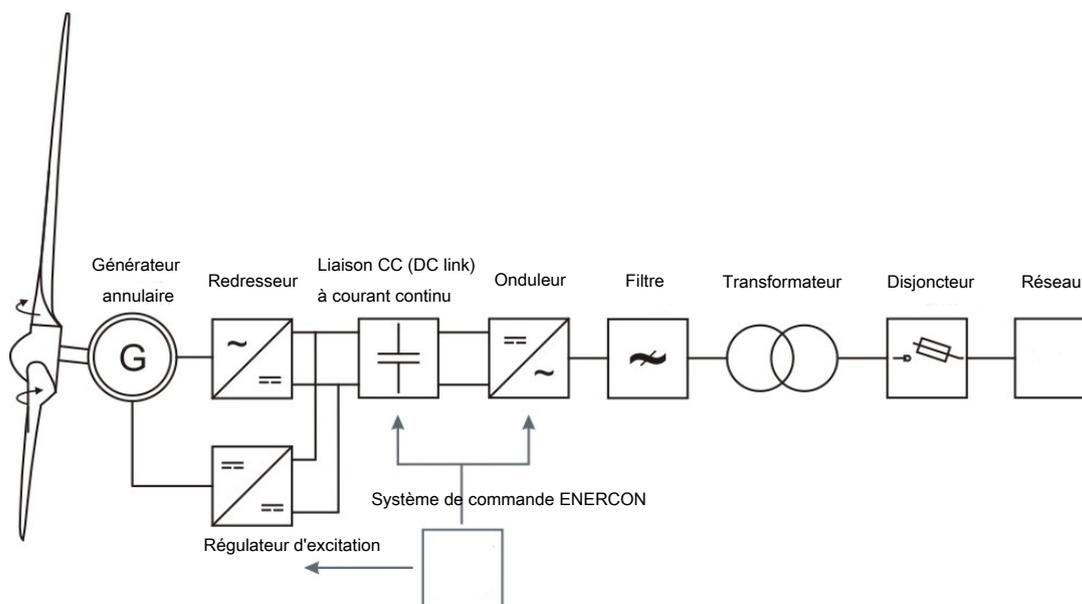


Fig. 3: Schéma électrique simplifié d'une éolienne ENERCON

Le découplage du générateur annulaire et du réseau permet de transmettre de façon optimale la puissance produite. Les modifications soudaines de la vitesse du vent occasionnent une réponse contrôlée pour assurer la stabilité de l'alimentation du réseau. De la même façon, les éventuelles pannes du réseau électrique n'ont pratiquement aucune répercussion du côté mécanique de l'éolienne. La puissance électrique injectée sur le réseau par l'éolienne E-115 E2 peut être réglée avec précision de 0 kW à 3200 kW.

En général, les caractéristiques que doit indiquer une certaine éolienne ou un certain parc éolien en matière de raccordement au réseau absorbant de courant, sont déterminées par l'exploitant du réseau électrique. Pour pouvoir satisfaire aux différentes exigences, les éoliennes ENERCON peuvent être fournies dans différentes configurations.

La structure du système d'onduleurs dans le pied du mât dépend de la configuration de l'éolienne. En règle générale, un transformateur convertit la basse tension directement dans ou sur l'éolienne de 400 V à la tension HTA souhaitée.

## FACTS

L'éolienne E-115 E2 peut au moyen de la commande FACTS standard (Flexible AC Transmission System) fournir au besoin de la puissance réactive et ainsi contribuer au bilan de la puissance réactive et au maintien de la tension dans le réseau. Déjà à partir de 10 % de la puissance active nominale, toute la plage de réglage de puissance réactive est disponible. La plage de réglage maximale pour la puissance réactive dépend de la configuration de l'éolienne.

### Configuration FT

#### FACTS Transmission (FRT)

L'éolienne E-115 E2 est équipée de manière standard de la technologie FACTS qui remplit les exigences élevées des codes de réseau spécifiques. Elle peut surmonter des états de système en panne dans le réseau (sous-tension, surtension, réenclenchements automatiques etc.) pendant une durée d'erreur allant jusqu'à 5 secondes (FT = FACTS + capacité de maintien de l'alimentation en creux de tension par défaut (= FRT= Fault Ride Through) et par conséquent, elle peut rester raccordée au réseau pendant un cas d'erreur.

Si la tension mesurée sur le point de référence dépasse une valeur limite définie, l'éolienne ENERCON passe du fonctionnement normal au mode défaut.

Une fois la panne résolue, l'éolienne se remet en mode de fonctionnement normal et fournit la puissance disponible au réseau. Si la tension ne revient pas dans un délai réglable (max. 5 s) dans la plage de fonctionnement admissible pour le mode de fonctionnement normal, l'éolienne est coupée du réseau.

Lors du passage de la panne réseau, il existe de différents modes de défaut avec de différentes stratégies de l'injection de courant réactif supplémentaire pendant la panne de réseau. Les stratégies de commande contiennent en revanche des possibilités de réglage différentes pour les types de pannes ou d'erreurs.

La stratégie de commande appropriée doit être choisie en s'appuyant sur les règles de projet et de raccordement au réseau spécifiques, qui doivent être confirmées par l'exploitant du réseau concerné.

### Configuration FTS

#### FACTS Transmission (FRT) avec l'option STATCOM

Comme la configuration FT, l'option STATCOM (**Static Compensator**) permet à l'éolienne de fournir de la puissance réactive et de l'injecter, indépendamment du fait qu'elle produit elle-même de la puissance active et l'injecte dans le réseau. Tout comme le fait une centrale électrique, elle peut ainsi soutenir à tout moment le réseau électrique de manière active. STATCOM compte une armoire électrique spéciale qui est installée la plupart du temps à proximité du transformateur. Il faut vérifier sur le projet correspondant si la configuration peut être utilisée.

### **Configuration FTQ**

#### **FACTS transmission (FRT) avec option Q+**

La configuration FTQ possède toutes les caractéristiques de la configuration FT. Elle possède en outre une plage de réglage de puissance réactive étendue.

### **Configuration FTQS**

#### **FACTS transmission (FRT) avec des options Q+ et STATCOM**

La configuration FTQS possède toutes les caractéristiques des configurations FTQ et FTS.

### **Protection de fréquence**

Les éoliennes ENERCON peuvent être utilisées sur des réseaux de fréquence nominale de 50Hz et 60Hz.

La plage opérationnelle de fonctionnement de l'E-115 E2 est définie par une limite minimale et maximale de fréquence. Les événements de sur-fréquence et de sous-fréquence au point de référence de l'éolienne entraînent un déclenchement de la protection de fréquence et un arrêt de l'éolienne après le délai de temporisation maximum de 60 s.

### **Régulation puissance-fréquence**

Si à cause d'une panne de réseau il y a une hyperfréquence de courte durée, les éoliennes ENERCON peuvent dynamiquement réduire leur injection de puissance afin de contribuer au rétablissement de l'équilibre entre le réseau de production et de transmission.

La puissance active injectée des éoliennes ENERCON, peut dans un mode de fonctionnement normal être limité de manière préventive. Dans le cas d'une sous-fréquence, la puissance fournie par cette limitation est mise à disposition pour stabiliser la fréquence. La caractéristique de cette régulation peut être adaptée de manière très flexible aux exigences les plus variées.

## 5 Système de sécurité

L'E-115 E2 dispose d'une multitude d'installations relevant de la sécurité, qui servent à maintenir l'éolienne de façon permanente dans une plage de fonctionnement sécuritaire. À part les composants qui offrent un arrêt sécuritaire des éoliennes, il y a aussi un système de capteurs très complexe. Ce système enregistre en permanence tous les états de fonctionnement de l'éolienne et met à disposition les informations correspondantes par le biais du système de surveillance à distance ENERCON SCADA.

Si les paramètres de service relevant de la sécurité se situent à l'extérieur d'une plage autorisée, l'éolienne reste en service avec une puissance limitée ou elle est arrêtée.

### 5.1 Dispositifs de protection

#### Bouton d'arrêt d'urgence

Des boutons d'arrêt d'urgence se trouvent dans l'éolienne ENERCON, à côté de la porte du mât, sur l'armoire de commande dans le pied du mât, sur l'armoire de commande de la nacelle et, si nécessaire, sur d'autres niveaux de l'E-module. Lors de l'actionnement d'un bouton d'arrêt d'urgence dans le pied du mât, les pales de rotor subissent un réglage d'urgence. Le rotor est par conséquent freiné de manière aérodynamique. Lors de l'actionnement d'un bouton d'arrêt d'urgence dans la nacelle, en plus du réglage d'urgence, le frein du rotor est également activé. Le rotor est par conséquent arrêté le plus rapidement possible.

Restent alimentés :

- le frein du rotor
- les feux de balisage lumineux
- l'éclairage
- les prises

#### Interrupteur principal

Des interrupteurs principaux sont installés dans l'éolienne ENERCON au niveau de l'armoire de commande et sur l'armoire de commande de la nacelle. Lors de leur activation, ils mettent presque toute l'éolienne hors tension.

Restent alimentés :

- les feux de balisage lumineux
- l'ascenseur de service
- les prises
- l'éclairage
- les locaux HTA

### 5.2 Le système de capteurs

De nombreux capteurs enregistrent continuellement l'état actuel de l'éolienne ainsi que les paramètres ambiants significatifs (p. ex. vitesse du rotor, température, vitesse du vent, charge de pale, etc.). Le système de contrôle analyse les signaux et commande l'éolienne en règle générale de sorte que l'énergie éolienne actuellement disponible soit utilisée de manière optimale tout en garantissant la sécurité de fonctionnement.

### Capteurs redondants

Afin de garantir un contrôle de plausibilité par comparaison des valeurs signalées, le nombre de capteurs montés est supérieur au nombre effectivement nécessaire (p. ex. pour la mesure de la température dans le générateur), pour certains états de fonctionnement. Tout capteur défectueux est détecté et peut être remplacé par l'activation d'un capteur de réserve. En règle générale, l'éolienne peut ainsi continuer à fonctionner en toute sécurité sans que des grands composants soient remplacés.

### Contrôle des capteurs

Le bon fonctionnement des capteurs est contrôlé régulièrement en cours de service par le système de contrôle ou, si cela n'est pas possible, dans le cadre de la maintenance.

### Contrôle de la vitesse de rotation

Le système de contrôle de l'éolienne ENERCON règle la vitesse du rotor en modifiant l'angle de pale, de sorte que la vitesse nominale ne soit pas trop fortement dépassée par vent fort. Le réglage des pales n'est cependant pas en mesure de réagir suffisamment vite en présence d'événements soudains, comme par exemple une forte rafale ou une diminution brutale de la charge du générateur. Si la vitesse nominale est dépassée de plus de 15 %, le système de contrôle de l'éolienne arrête le rotor. L'éolienne tente de redémarrer automatiquement au bout de 3 minutes. Si ce défaut se produit plus de cinq fois en 24 heures, la présence d'un dysfonctionnement est suspectée. Plus aucune tentative de démarrage n'a lieu.

Parallèlement à la surveillance électronique, le rotor du générateur est équipé de 3 capteurs de survitesse électromécanique (capteur de force centrifuge). Ils sont répartis de façon homogène tout autour du rotor. Chacun de ces capteurs peut stopper l'éolienne grâce à un réglage d'urgence. Ils réagissent lorsque la vitesse nominale du rotor est dépassée de plus de 25 %. Les capteurs de survitesse doivent être réinitialisés manuellement après avoir recherché et éliminé la cause de la survitesse pour permettre le redémarrage de l'éolienne.

### Surveillance des vibrations

Le capteur de vibrations détecte les fortes vibrations et secousses excessives qui peuvent par exemple se produire lors d'une panne du redresseur. Il est monté sur le bord inférieur du support principal de l'éolienne et se compose d'un détecteur muni d'une tige à ressorts à l'extrémité de laquelle se trouve une boule retenue par une chaîne. La boule est posée sur l'extrémité d'un tube vertical court. En cas de fortes vibrations, la boule tombe de son support, actionne le capteur par l'intermédiaire de la chaîne, déclenchant ainsi un réglage d'urgence des pales du rotor qui stoppe le rotor.

### Système de surveillance de l'entrefer

La largeur de l'entrefer entre le rotor et le stator du générateur annulaire est surveillée à l'aide de microrupteurs répartis sur la circonférence du rotor. En cas de déclenchement de l'un des microrupteurs dû au sous-dépassement de la distance minimale, l'éolienne est stoppée et redémarrée rapidement.

Si ce défaut se produit à nouveau en 24 heures, l'éolienne reste à l'arrêt jusqu'à ce que la cause ait été supprimée.

### **Surveillance des oscillations**

La surveillance des oscillations détecte les oscillations ou les déflexions de forte ampleur de la pointe du mât de l'éolienne.

2 capteurs d'accélération enregistrent les accélérations de la nacelle dans la direction de l'axe du moyeu (oscillations longitudinales) et dans la direction transversale (oscillations transversales). À partir de ces données, le système de contrôle calcule continuellement les mouvements du mât par rapport à sa position de repos. Si les oscillations dépassent la valeur autorisée, l'éolienne s'arrête. Elle redémarre automatiquement après quelques instants. Les capteurs d'accélération sont montés sur le même dispositif de fixation que le capteur de vibrations. Si, pendant 24 heures, le mât présente à plusieurs reprises des oscillations dépassant les limites admissibles, l'éolienne ne tente plus de redémarrer.

### **Système de surveillance de la température**

Certains composants de l'éolienne ENERCON sont refroidis. Des capteurs de température mesurent continuellement la température des composants de l'éolienne qui doivent être protégés des températures élevées.

Lorsque la température est trop élevée, le système de contrôle réduit la puissance de l'éolienne ou arrête cette dernière, si nécessaire. L'éolienne refroidit et redémarre en général automatiquement dès que la température retombe sous la valeur limite prescrite.

Certains points de mesure sont également équipés de capteurs de surchauffe. Ceux-ci provoquent également un arrêt de l'éolienne, dans certains cas, sans redémarrage automatique après refroidissement, lorsque la température dépasse une certaine valeur seuil.

Certains modules, tels que l'accumulateur d'énergie du balisage de danger et le générateur p. ex., sont réchauffés lorsque la température est trop basse afin de les maintenir dans un état opérationnel.

### **Système de surveillance du bruit interne à la nacelle**

La tête du rotor contient des capteurs qui réagissent aux bruits de chocs élevés pouvant provenir de composants desserrés ou défectueux. L'éolienne est stoppée lorsqu'un des capteurs signale des bruits et en l'absence d'un message indiquant une autre cause.

Les messages de toutes les éoliennes d'un parc sont comparés les uns aux autres pour exclure toute cause extérieure de bruits (grêle lors d'un orage notamment). Les éoliennes individuelles sont en outre équipées d'un capteur de bruits placé dans la salle des machines. Lorsque les capteurs de plusieurs éoliennes ou le capteur de bruits de la salle des machines signalent des bruits simultanément, on peut alors supposer que les causes sont extérieures. Les capteurs de bruit sont désactivés pendant un court instant de sorte qu'aucune des éoliennes ne soit stoppée dans le parc éolien.

### **Surveillance anti-torsion des câbles**

Si la nacelle de l'éolienne tourne jusqu'à trois fois sur son axe, vrillant ainsi les câbles descendus dans le mât, le système de contrôle de l'éolienne les dévrille automatiquement dès que possible.

La surveillance anti-torsion des câbles dispose de capteurs qui coupent l'alimentation en courant des moteurs d'orientation lorsque la plage de réglage autorisée est dépassée.

## 6 Système de contrôle

Le système de contrôle de l'E-115 E2 repose sur un système de microprocesseurs développé en interne par la société ENERCON qui interroge tous les composants de l'éolienne au moyen de capteurs et recueille des données, telles que la direction et la vitesse du vent, et adapte ainsi en fonction le mode de fonctionnement de l'E-115 E2. L'état actuel de l'éolienne et les éventuelles pannes sont affichés sur l'écran de l'éolienne de l'armoire de commande située dans le pied du mât.

### 6.1 Contrôle d'orientation

Le palier d'orientation muni d'une couronne extérieure se situe sur la connexion supérieure du mât. Il permet la rotation de la nacelle et ainsi le contrôle d'orientation (yaw control).

Si l'écart entre la direction du vent et la direction de l'axe du rotor est supérieur à la valeur maximale autorisée, les entraînements d'orientation sont activés et permettent alors à la nacelle de suivre le vent. La commande des moteurs d'orientation garantit un démarrage et un freinage en douceur. Le système de contrôle surveille le processus d'orientation. En cas de détection d'irrégularités, le processus d'orientation est désactivé et l'éolienne est stoppée.

### 6.2 Réglage des pales du rotor

#### Principe de fonctionnement

Le système de réglage des pales modifie l'angle d'attaque avec lequel l'air arrive sur le profil des pales. La modification de l'angle de pale induit également une modification de la force ascensionnelle de pale, et donc également de la force avec laquelle la pale fait tourner le rotor.

Lors du fonctionnement normal (mode automatique), l'angle de pale est réglé de sorte que, d'une part, l'énergie du vent soit utilisée de manière optimale et que, d'autre part, l'éolienne ne soit soumise à aucune surcharge ; pour ce faire les conditions cadre comme l'optimisation acoustique sont respectées. Le réglage de pales permet également le freinage aérodynamique du rotor.

Lorsque l'éolienne atteint sa puissance nominale et que la vitesse du vent continue d'accélérer, le système de réglage des pales tourne légèrement les pales du rotor hors du vent de manière à ce que la vitesse du rotor et la puissance absorbée du vent et transformée par le générateur n'excèdent pas ou seulement accessoirement les valeurs nominales.

#### Structure

Chaque pale est équipée de son propre système de réglage des pales. Le système de réglage des pales se compose d'une armoire de réglage des pales (pitch box), d'une boîte relais des pales, de deux moteurs de réglage des pales (pitch) et d'une unité condensateur. L'armoire de réglage des pales (pitch box) et la boîte relais des pales commandent les moteurs de réglage des pales (pitch). L'unité condensateur emmagasine l'énergie nécessaire pour un réglage d'urgence, est maintenue en état chargé pendant le fonctionnement de l'éolienne et est testée en permanence.

### Angle de pale

Positions particulières des pales du rotor (angle de pale) dans le cas de l'E-115 E2 :

- A : 1°** Position normale en mode charge partielle : exploitation maximale du vent.
- B : 60°** Fonctionnement à vide (l'éolienne n'injecte aucune puissance dans le réseau en raison de la faible vitesse de vent) : En fonction de la vitesse de vent, le rotor tourne à une vitesse minimale ou s'arrête en cas d'absence complète de vent.
- C : 92°** Mise en drapeau (le rotor a été stoppé manuellement ou automatiquement) : Même lorsque le vent souffle, les pales du rotor ne créent aucune force ascensionnelle, le rotor est immobile ou tourne très lentement.

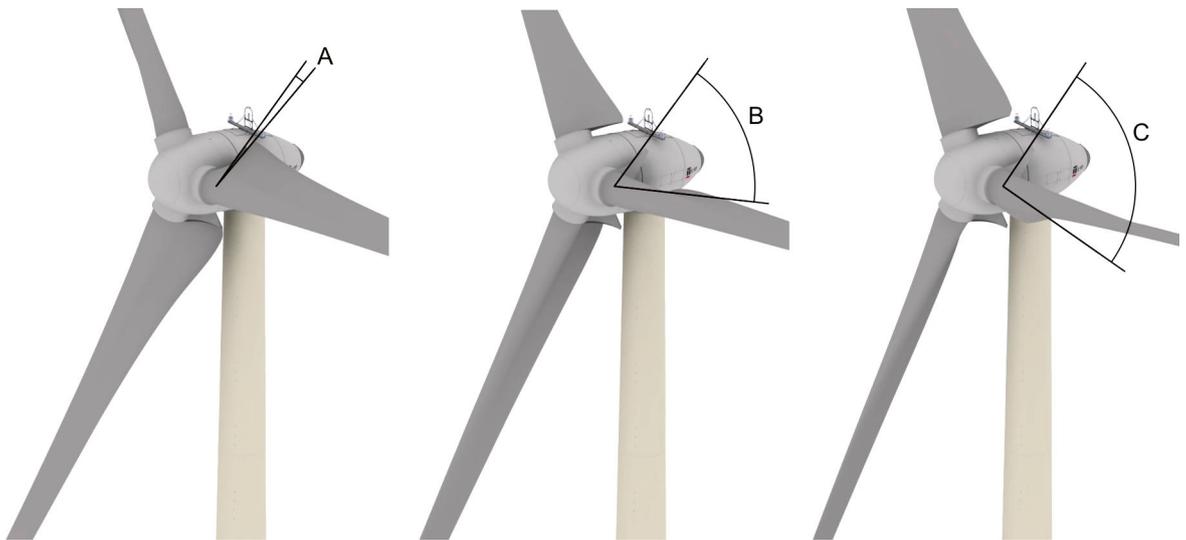


Fig. 4: Positions particulières de la pale

## 6.3 Démarrer l'éolienne

### 6.3.1 Préparation du démarrage

L'éolienne est arrêtée aussi longtemps que l'état principal > 0 persiste. Dès que l'état principal est 0, l'éolienne est prête et le processus de démarrage est entamé. Si certaines conditions limites pour un démarrage ne sont pas encore complétées, comme par ex. la charge du condensateur de réglage d'urgence, l'état 0:3 - Start lead-up (préparation de démarrage) est affiché.

Pendant la préparation de démarrage, débute une phase de mesure du vent et d'orientation de 150 secondes de l'éolienne.

### 6.3.2 Mesure du vent et orientation de la nacelle

Une fois la préparation de démarrage terminée, l'état 0:2 - Turbine operational (éolienne prête) apparaît à l'écran.

Si le système de commande est en fonctionnement automatique, que la vitesse moyenne du vent est supérieure à 1,8 m/s et que la déviation de la direction du vent est suffisante pour un processus de contrôle d'orientation (yaw control), l'éolienne commence à s'orien-

ter vers le vent. 60 secondes après la fin de la préparation de démarrage, l'éolienne se met en fonctionnement à vide. Les pales du rotor avancent lentement, ceci pendant que les condensateurs du système de réglage d'urgence de pale sont contrôlés.

Si l'éolienne est équipée de jauges de contrainte, les pales s'arrêtent à un angle de 70° et procèdent à la vérification des points de mesure de charge, qui peut prendre plusieurs minutes selon les circonstances. Pendant ce temps, l'état 0:5 - Calibration of load control (réglage du Load Control) est affiché.

Le processus de démarrage (état 0:1) débute lorsque la vitesse moyenne du vent est supérieure à la vitesse actuelle de démarrage (env. 2,0 m/s) pendant la phase de mesure du vent et d'orientation de 150 secondes. Si ce n'est pas le cas, l'éolienne reste en mode de fonctionnement à vide (état 2:1 - Lack of wind: Wind speed too low (vitesse du vent trop faible)).

### Besoins propres de l'éolienne

Étant donné que pendant ce temps l'éolienne ne fournit aucune puissance active, l'énergie électrique nécessaire pour les besoins propres de l'éolienne est prélevée du réseau.

### 6.3.3 Excitation de la génératrice

L'excitation du générateur commence, dès que le rotor atteint une vitesse de rotation dépendant du type d'éolienne (par ex. pour l'E-82 env. 3 tr/min). Le courant nécessaire est tiré du réseau pour une courte durée. Si le générateur atteint une vitesse de rotation suffisante, alors l'éolienne s'alimente elle-même en courant. Le courant pour l'excitation propre est prélevé de la liaison CC (DC link) du redresseur et l'énergie prélevée du réseau est réduite à zéro.

### 6.3.4 Injection de puissance

Le processus d'injection est initié dès qu'une tension de liaison CC suffisante est disponible et que l'accouplement du régulateur d'excitation vers le réseau n'existe plus. Après l'augmentation de la vitesse de rotation par la présence suffisante de vent et d'une valeur de puissance nominale de  $P_{\text{sol}} > 0$ , les contacteurs de ligne (côté basse tension) sont fermés et l'E-115 E2 commence l'injection de puissance dans le réseau à partir d'environ 4,4 tours par minute.

Pour cela, le nombre d'onduleurs est mis en circuit au fur et à mesure du besoin pour la conversion de la puissance générée par le générateur. Le contrôle de la puissance règle le courant d'excitation de sorte à ce que l'injection se déroule selon la courbe de puissance.

Le gradient pour l'augmentation de la puissance (dP/dt) après une panne de réseau ou après un démarrage normal, peut être déterminé dans le système de contrôle à l'intérieur d'une plage spécifique. Des précisions concernant ce sujet se trouvent dans la fiche de données *caractéristiques techniques relatives au réseau* pour le type d'éolienne ENERCON concerné.

## 6.4 Modes de fonctionnement

Dès que la phase de démarrage de l'E-115 E2 est terminée, l'éolienne est en fonctionnement automatique (fonctionnement normal). Lorsque l'éolienne fonctionne, les régimes de vent sont constamment déterminés ; la vitesse du rotor, l'excitation et la puissance du générateur sont optimisées, la position de la nacelle est adaptée en fonction de la direction du vent et l'état de tous les capteurs est enregistré.

Afin d'optimiser la génération de courant en présence de conditions de vent diverses, l'éolienne commute entre 3 modes de fonctionnement dans le cadre du fonctionnement automatique en fonction de la vitesse du vent. Sous certaines conditions, l'éolienne s'arrête aussi lorsque la configuration de l'éolienne le prévoit (p. ex. en raison d'arrêt pour cause de zone d'ombre). De plus, l'opérateur du réseau auquel l'énergie produite est injectée, a la possibilité d'influencer directement le comportement de l'éolienne par commande à distance, p. ex. pour réduire temporairement l'alimentation réseau.

L'E-115 E2 commute entre les modes de fonctionnement suivants :

- Mode charge pleine
- Mode charge partielle
- Fonctionnement à vide

### 6.4.1 Mode charge pleine

#### Vitesse du vent

$v \geq 12,3 \text{ m/s}$

Lorsque la vitesse de vent est égale ou supérieure à la vitesse de vent nominale, l'éolienne maintient la vitesse de rotation du rotor sur la valeur de consigne (env. 13,1 tr/min) grâce au réglage des pales et limite ainsi la puissance à sa valeur nominale de 3200 kW.

#### Mode tempête activé (cas normal)

Le mode tempête permet le fonctionnement de l'éolienne même en cas de vitesses de vent élevées, mais à une vitesse de rotor et de puissance réduites.

Au-dessus d'env. 28 m/s (sur une moyenne de 12 s) et lorsque la vitesse du vent continue à augmenter, la vitesse de rotation est réduite linéairement de 13,1 tr/min jusqu'à la plage de la vitesse de rotation à vide pour une vitesse de vent de 34 m/s env., grâce au positionnement des pales de rotor hors du vent. La puissance injectée diminue pour ce faire, conformément à la courbe de puissance/de vitesse de rotation.

En présence de vitesses du vent supérieures à 34 m/s (sur une moyenne de 10 min.), les pales du rotor sont pratiquement mises en drapeau. L'éolienne continue de fonctionner en fonctionnement à vide sans fournir de puissance, mais reste connectée au réseau absorbant. Si la vitesse du vent chute en-dessous de 34 m/s, l'éolienne reprend automatiquement l'injection de courant.

Le mode tempête est activé normalement et peut être uniquement désactivé par maintenance à distance ou sur site par le Service ENERCON.

#### Système de mode tempête non actif

Si le mode tempête est exceptionnellement désactivé, l'éolienne est arrêtée pour des raisons de sécurité, lorsque la vitesse du vent dépasse 25 m/s (moyenne sur 3 minutes) ou 30 m/s (moyenne sur 15 s). L'éolienne démarre automatiquement si à l'intérieur de 10 minutes après l'arrêt, aucun des deux événements ne survient.

## 6.4.2 Mode charge partielle

### Vitesse du vent

$$2,5 \text{ m/s} \leq v < 12,3 \text{ m/s}$$

Pendant le mode charge partielle (la vitesse du vent se situe entre la vitesse de démarrage et la vitesse nominale) la puissance maximale possible est soutirée du vent. La vitesse du rotor et la puissance fournie dépendent de la vitesse du vent actuelle. Pour cela le réglage des pales débute dès la plage limite du mode charge pleine afin de garantir une transition continue.

## 6.4.3 Fonctionnement à vide

### Vitesse du vent

$$v < 2,5 \text{ m/s}$$

Lors de vitesses de vent en dessous de 2,5 m/s le courant ne peut être injecté dans le réseau. L'éolienne fonctionne en mode de fonctionnement à vide, ce qui signifie que les pales du rotor sont largement tournées hors du vent (angle de pale 60°) et le rotor tourne lentement ou reste immobile en l'absence totale de vent.

Grâce à ce déplacement lent (fonctionnement à vide), les paliers du moyeu sont moins sollicités qu'en cas d'immobilisation prolongée et une reprise de la production et de l'injection de courant est plus rapide lorsque le vent se lève.

## 6.5 Arrêt securitaire de l'éolienne

L'éolienne ENERCON peut être arrêtée par une manipulation manuelle ou automatiquement par le système de commande.

Les raisons sont divisées en groupe selon le risques.

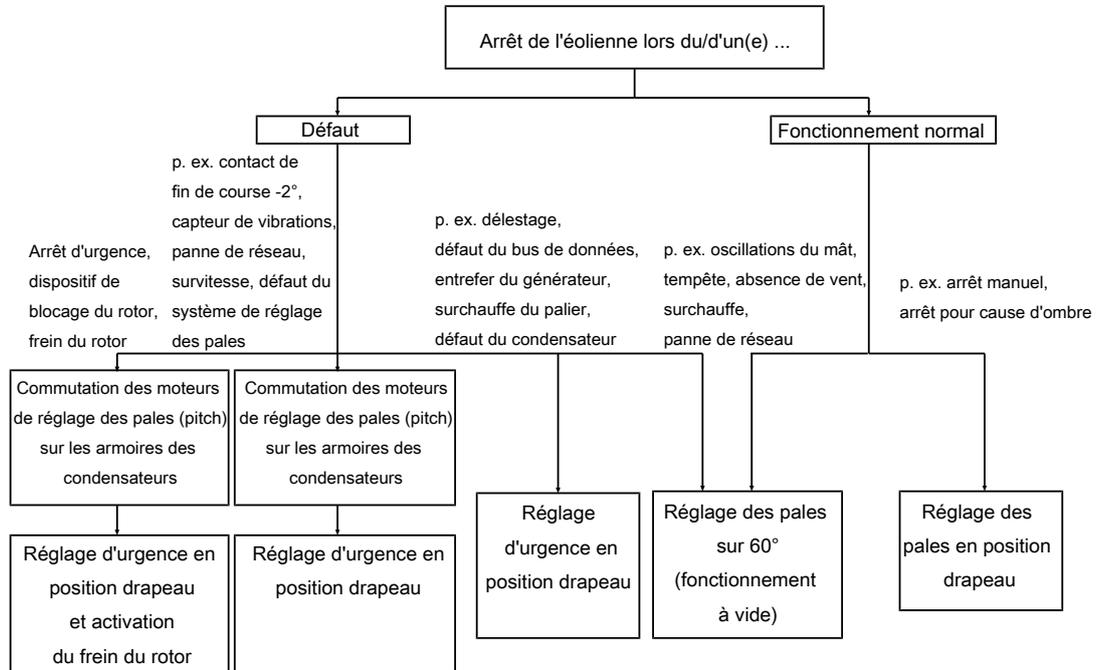


Fig. 5: Aperçu des opérations d'arrêt

### Arrêt de l'éolienne par le système de réglage des pales

Lors d'une panne ne relevant pas de la sécurité, la commande fait sortir du vent les pales du rotor et ainsi ces dernières ne produisent plus de force ascensionnelle et l'éolienne s'arrête.

### Réglage d'urgence

L'accumulateur d'énergie des systèmes de réglage des pales emmagasine l'énergie nécessaire à un réglage d'urgence, reste en état de charge pendant le fonctionnement de l'éolienne et est testée en continu. Lors d'un réglage d'urgence, les systèmes d'entraînement de l'accumulateur d'énergie correspondant sont alimentés en énergie. Les pales du rotor se mettent dans une position dans laquelle elles ne produisent aucune force ascensionnelle (mise en drapeau) de manière incontrôlée et indépendamment les unes des autres.

Étant donné que les 3 systèmes de réglage des pales se contrôlent mutuellement, tout en fonctionnant individuellement, les systèmes de réglage des pales peuvent continuer à fonctionner et arrêter le rotor même si l'un d'eux est défaillant.

### Freinage d'urgence

Lorsqu'un bouton d'arrêt d'urgence est actionné ou que le dispositif de blocage du rotor est activé pendant que le rotor tourne, la commande de l'éolienne déclenche un freinage d'urgence.

En outre au réglage d'urgence des pales du rotor le frein du rotor est activé. Le rotor est freiné pendant 10 à 15 secondes de la vitesse nominale jusqu'à l'arrêt.

## 7 Système de surveillance à distance

Toutes les éoliennes sont raccordées en série à la succursale de Service régionale via le système ENERCON SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). Celle-ci peut consulter à tout moment les données de fonctionnement de chaque éolienne et réagir immédiatement en cas de défauts ou de dysfonctionnements, si nécessaire.

Tous les messages d'état sont transmis via le système ENERCON SCADA à la succursale de Service régionale où ils sont enregistrés de manière permanente. C'est là la seule manière de mettre à profit toutes les expériences acquises lors de l'exploitation à long terme dans la stratégie de développement future des éoliennes.

Le raccordement des éoliennes passe par un ordinateur spécialement prévu à cet effet (ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA)), qui est installé habituellement dans le poste de livraison ou dans le poste source du parc éolien. Chaque parc est équipé d'un ENERCON SCADA Server (serveur ENERCON SCADA).

Le système ENERCON SCADA, ses caractéristiques et son utilisation sont décrits dans des documents séparés.

Si l'exploitant le souhaite, la surveillance des éoliennes peut être assurée par un autre organisme.

## 8 Maintenance

Pour garantir le fonctionnement sûr et optimal de l'éolienne, il est nécessaire d'effectuer régulièrement des opérations de maintenance.

L' E-115 E2 est régulièrement entretenue en fonction des exigences, au moins deux fois par an (maintenance principale et graissage d'entretien).

Lors de la maintenance principale, tous les composants et fonctions relatifs à la sécurité sont contrôlés comme par exemple le réglage des pales, le système de contrôle d'orientation (yaw), les systèmes de sécurité, le système de protection parafoudre, les points d'attache et l'échelle. Les raccords vissés des raccords portants (composants principaux) sont contrôlés. Tous les autres composants font l'objet d'une inspection visuelle pendant laquelle des anomalies et des dommages sont constatés. Les lubrifiants consommés sont remplis.

Lors du graissage d'entretien, le cadre de la maintenance se limite sur une inspection visuelle et un remplissage de lubrifiants consommés.

Les fréquences de maintenance et les cadres de maintenance peuvent varier en fonction des directives et des normes régionales.

## 9 Données techniques E-115 EP2 3,2 MW

Généralités	
Fabricant	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Allemagne
Désignation de type	E-115 E2
Puissance nominale	3200 kW
Hauteurs des moyeux	92,05 m, 122,05 m, 135,48 m, 149,1 m
Diamètre du rotor	115,71 m
Classe de vent IEC (éd. 3)	IIA
Vitesse de vent extrême à hauteur du moyeu (valeur moyenne sur 10 min)	42,5 m/s Correspond à un équivalent de charge d'env. 59,5 m/s (rafale 3 s)
Moyenne annuelle de la vitesse du vent à hauteur du moyeu	8,5 m/s

Rotor avec réglage des pales	
Type	Rotor face au vent à réglage actif des pales
Sens de rotation	Dans les sens des aiguilles d'une montre (sous le vent)
Quantité de pales du rotor	3
Longueur de la pale du rotor	55,96 m (pale divisée)
Surface balayée	10515,5 m <sup>2</sup>
Matériau de la pale du rotor	Plastique renforcé de verre / résine époxy / bois de balsa/mousse
Vitesse de rotation inférieure d'injection de puissance jusqu'à vitesse nominale	4,4 - 12,8 tr/min
Vitesse en bout de pale	Jusqu'à 79,37 m/s
Vitesse de vent de régulation	28 - 34 m/s (avec système de mode tempête ENERCON en option)
Angle de cône	0°
Angle d'axe du rotor	5°
Réglage des pales du rotor	Système de réglage électrique indépendant pour chaque pale avec système d'alimentation électrique de secours dédié

<b>Système d'entraînement avec générateur</b>	
Particularités techniques	Sans boîte de vitesse, vitesse de rotation variable, convertisseur intégral
Moyeu	Fixe
Disposition des paliers	Palier à deux rangées de rouleaux coniques/palier à rouleaux cylindriques
Générateur	Générateur annulaire ENERCON, à entraînement direct
Alimentation réseau	Onduleurs ENERCON à fréquence d'horloge élevée et courant de forme sinusoïdale
Degré de protection/classe d'isolation	IP 23/F
<b>Système de freinage</b>	
Frein aérodynamique	Trois systèmes de réglage des pales indépendants avec alimentation électrique de secours
Frein du rotor	Électromécanique
Dispositif de blocage du rotor	Par crans de 10°
<b>Contrôle d'orientation (yaw control)</b>	
Type	Électrique avec moteurs d'orientation (yaw)
Commande	Active par transmissions d'orientation
<b>Système de contrôle</b>	
Type	Micro-processeur
Alimentation réseau	Onduleurs ENERCON
Système de surveillance à distance	ENERCON SCADA
Alimentation sans interruption (ASI)	Intégrée

Types de mât			
Hauteur du moyeu	Hauteur totale	Modèle	Classe de vent
92,05 m	149,93 m	Mât hybride	DIBt WZ4 GK I DIBt WZ4 GK II IEC IIA
122,05 m	179,9 m	Mât hybride	DIBt WZ4 GK I DIBt WZ4 GK II IEC IIA
135,48 m	193,33 m	Mât hybride	DIBt WZ4 GK I DIBt WZ4 GK II IEC IIA
149,1 m	206,93 m	Mât hybride	DIBt WZ4 GK I DIBt WZ4 GK II IEC IIA