

ÉTUDE DE DANGER DU PROJET ÉOLIEN CHAMPGUYON

INTERVENT
— l'élan de l'énergie renouvelable

SEPE Griottes
C/O INTERVENT
Tour de l'Europe
68100 MULHOUSE



Mai 2022





SOMMAIRE

1. Introduction.....	7
1.1. Contexte législatif et réglementaire.....	7
1.2. Nomenclature.....	8
1.3. Renseignements administratifs	9
1.4. Localisation du site	10
1.5. Définition de la zone d'étude.....	10
2. Description de l'environnement de l'installation.....	12
2.1. Environnement humain.....	12
2.1.1. Zones urbanisées	12
2.1.2. Établissements recevant du public (ERP)	12
2.1.3. Installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et installations nucléaires de base.....	12
2.2. Environnement naturel	12
2.2.1. Contexte climatique	12
2.2.2. Vents.....	14
2.3. Environnement matériel.....	15
2.3.1. Voies de communication.....	15
2.4. Risques naturels.....	15
2.4.1. Sismicité	15
2.4.2. Retrait et gonflement des argiles.....	16
2.4.3. Cavités/Carrières et Forages (BRGM)	16
2.4.4. Risque orageux, foudre	16
3. Description de l'installation.....	18
3.1. Caractéristiques de l'installation	18
3.1.1. Caractéristiques générales d'un parc éolien	18
3.1.2. Activité de l'installation.....	24
3.2. Fonctionnement de l'installation	25
3.2.1. Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur.....	25



3.2.2. Sécurité de l'installation.....	26
3.2.3. Opérations de maintenance de l'éolienne	32
3.2.4. Stockage et flux de produits dangereux	35
3.3. Fonctionnement des réseaux de l'installation.....	35
3.3.1. Raccordement électrique.....	35
3.3.2. Autres réseaux.....	37
4. Identification des potentiels de dangers de l'installation.....	40
4.1. Potentiels de dangers liés aux produits et déchets.....	40
4.2. Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation.....	41
4.3. Réduction des potentiels de dangers à la source.....	42
4.3.1. Principales actions préventives	42
4.3.2. Utilisation des meilleures techniques disponibles	43
5. Analyse des retours d'expérience	44
5.1. Inventaire des accidents et incidents en France.....	44
5.2. Inventaire des accidents et incidents à l'international	46
5.3. Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience	48
5.3.1. Analyse de l'évolution des accidents en France.....	48
5.3.2. Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents.....	49
5.4. Limites d'utilisation de l'accidentologie	49
6. Analyse préliminaire des risques	50
6.1. Objectif de l'analyse préliminaire des risques	50
6.2. Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques ...	50
6.3. Recensement des agressions externes potentielles	51
6.3.1. Agressions externes liées aux activités humaines	51
6.3.2. Agressions externes liées aux phénomènes naturels	51



6.4. Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques	52
6.5. Effets dominos	56
6.6. Mise en place des mesures de sécurité	56
6.7. Conclusion de l'analyse préliminaire des risques	65
7. Étude détaillée des risques	66
7.1. Rappel des définitions	66
7.1.1. Cinétique	66
7.1.2. Intensité	67
7.1.3. Gravité	68
7.1.4. Probabilité.....	68
7.2. Caractérisation des scénarios retenus	70
7.2.1. Effondrement de l'éolienne	71
7.2.2. Chute d'éléments de l'éolienne	75
7.2.3. Chute de glace	77
7.2.4. Projection de glace	80
7.2.5. Projection de pale ou de fragments de pale	83
7.3. Synthèse de l'étude détaillée des risques	86
7.3.1. Tableau de synthèse des paramètres de risques	86
7.3.2. Synthèse de l'acceptabilité des risques.....	86
7.4. Moyens de secours et d'intervention	89
7.4.1. Moyens internes	89
7.4.2. Moyens externes	89
7.4.3. Traitement de l'alerte	89
7.4.4. Implantation des bases de maintenance	90
8. Conclusion	91





1. Introduction

Conformément et en application de la publication de l'arrêté du 26 août 2011 relatif aux installations de production d'électricité utilisant l'énergie mécanique du vent, la Société d'Exploitation du Parc Eolien est tenue de réaliser un dossier de demande d'Autorisation d'Environnementale. Le parc éolien étant composé d'aérogénérateurs de plus de 50 mètres, cette étude comprend la réalisation d'une étude de dangers, objet du présent rapport.

La présente étude exposera d'une part les dangers que peut présenter le projet en cas d'accidents. Elle s'attachera à présenter les accidents susceptibles d'intervenir, que leur cause soit d'origine interne ou externe, en décrivant la nature et l'extension des conséquences qu'aurait un accident éventuel. Elle s'attachera également à définir et justifier les mesures adoptées par l'exploitant du parc éolien pour réduire la probabilité et les effets d'un accident.

Elle précise l'ensemble des mesures de maîtrise des risques mises en oeuvre par l'exploitant du parc éolien, qui réduisent le risque à l'intérieur et à l'extérieur des éoliennes à un niveau jugé acceptable et conforme au Code de l'Environnement.

1.1. Contexte législatif et réglementaire

Les objectifs et le contenu de l'étude de dangers sont définis dans la partie du Code de l'Environnement relative aux Installations Classées. Selon l'article L. 512-1, l'étude de dangers expose les risques que peut présenter l'installation pour les intérêts visés à l'article L. 511-1 en cas d'accident, que la cause soit interne ou externe à l'installation. L'article L. 512-1 précise également que le contenu de l'étude de dangers doit être en relation avec l'importance des risques engendrés par l'installation.

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

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



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

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

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

1.2. Nomenclature

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 projet éolien de Champguyon comprend au moins un aérogénérateur dont le mât a une hauteur supérieure 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 environnementale.



1.3. Renseignements administratifs

Exploitant de l'installation

Nom: **Société d'Exploitation du Parc Éolien Griottes (SEPE Griottes)**
Adresse du siège social: 3, Bd de l'Europe - Tour de l'Europe 183 - 68100 MULHOUSE

Adresse du site: Commune de Champguyon

Demandeur: INTERVENT, Président
Forme juridique: Société par actions simplifiée
Capital: 40.000 euros
Numéro d'immatriculation: 838 866 002

Rédacteurs de l'étude

Nom: **INTERVENT, SAS**
Adresse du siège social: 3, Bd de l'Europe
Tour de l'Europe 183
68100 MULHOUSE

Contact: Sabine Leroux, *Ingénieur développement projets*

Téléphone: 03.89.66.37.51
Forme juridique: SAS
Capital: 1.546.230 euros
Numéro d'immatriculation: 441 890 076



1.4. Localisation du site

Le projet de parc éolien de Champguyon prévoit la mise en place de 6 éoliennes et de 2 postes de livraison sur la commune de Champguyon, dans le département de la Marne en région Grand-Est.

Le projet consiste en l'implantation d'éoliennes, destinées à la production d'électricité. Les éoliennes auront une puissance unitaire comprise entre 2 et 3,5 MW, une hauteur totale d'environ 150 mètres maximum en bout de pale.

Plusieurs modèles d'éoliennes sont compatibles avec le site, le diamètre du rotor peut aller de 103 mètres à 138 mètres avec des hauteurs de tours différentes afin de conserver la hauteur totale en bout de pale à 150 mètres maximum. Il a été décidé de concevoir la présente demande de manière à ce qu'elle permette de choisir le modèle précis d'éoliennes au moment de la construction.

Pour réaliser les calculs de l'étude de dangers, il a été décidé de choisir le modèle E-138 avec une hauteur totale maximale de 150 mètres, la plus contraignante car la plus importante en terme de dimension.

1.5. Définition de la zone d'étude

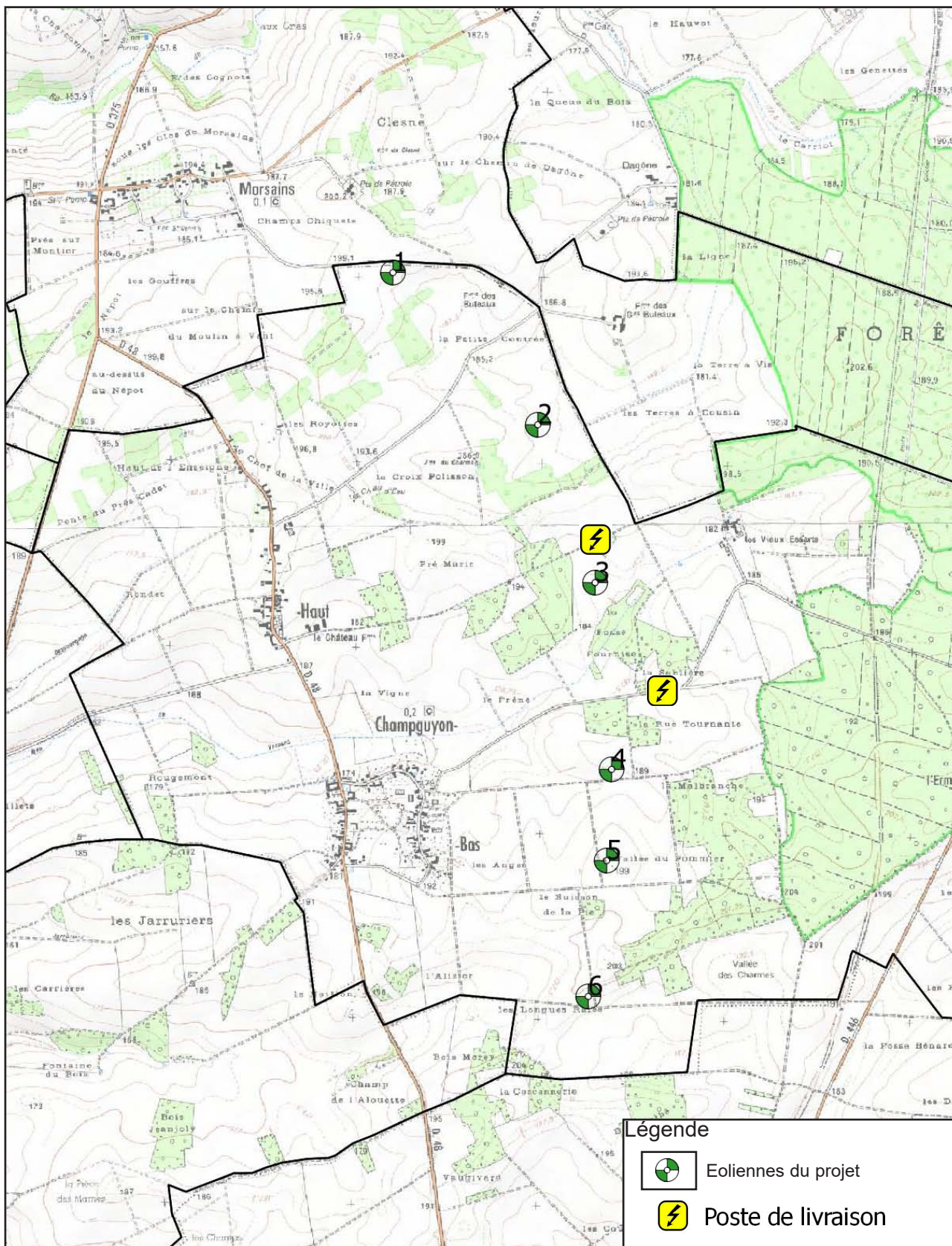
Chaque zone d'étude correspond à l'ensemble des points situés à une distance inférieure ou égale à 500 m à partir de l'emprise du mât de l'aérogénérateur. Les expertises réalisées dans le cadre de la présente étude ont en effet montré l'absence d'effet à l'extérieur du poste de livraison pour chacun des phénomènes dangereux potentiels pouvant l'affecter.

Les coordonnées WGS 84 des installations sont données à titre indicatif :

	Coordonnées WGS 84		Hauteur NGF (en m)	Cote sommitale en extrémité de pale (en m)
	Latitude (Nord)	Longitude (Est)		
EOL 1	48°47'32"	003°33'01"	202	352
EOL 2	48°47'05"	003°33'39"	189	339
EOL 3	48°46'38"	003°33'53"	187	337
EOL 4	48°46'05"	003°33'57"	195	345
EOL 5	48°45'49"	003°33'57"	203	353
EOL 6	48°45'26"	003°33'51"	205	355
PDL	48°46'44"	003°33'55"	188	191
PDL 2	48°46'19"	003°34'12"	190	193

La zone d'étude représentée par un rayon de 500 mètres autour de chaque éolienne comprend des champs cultivés et des boisements. Un puit de pétrole en activité est situé au Nord de l'éolienne 1.

Des chemins et des dessertes agricoles permettant l'accès à la zone d'implantation des aérogénérateurs sont présents sur le site.



Carte de localisation générale du site



2. Description de l'environnement de l'installation

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

2.1. Environnement humain

2.1.1. Zones urbanisées

Le site du projet concerne la commune de Champguyon qui comprend 269 habitants (population en 2015) pour une densité de 16 habitants / km². Le bâti de cette commune est principalement regroupé au sein des bourgs et des hameaux, il existe quelques fermes isolées.

La commune voisine la plus proche est Morsains qui compte 129 habitants (population en 2015) pour une densité de 9 habitants / km².

2.1.2. Établissements recevant du public (ERP)

L'ERP le plus proche est la mairie de Morsains à 1200 mètres de l'éolienne 1 puis la mairie de Champguyon à plus de 1500 mètres.

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

Aucun établissement SEVESO, ni installation nucléaire de base et installation industrielle, n'est présent dans les limites de la zone d'étude.

2.2. Environnement naturel

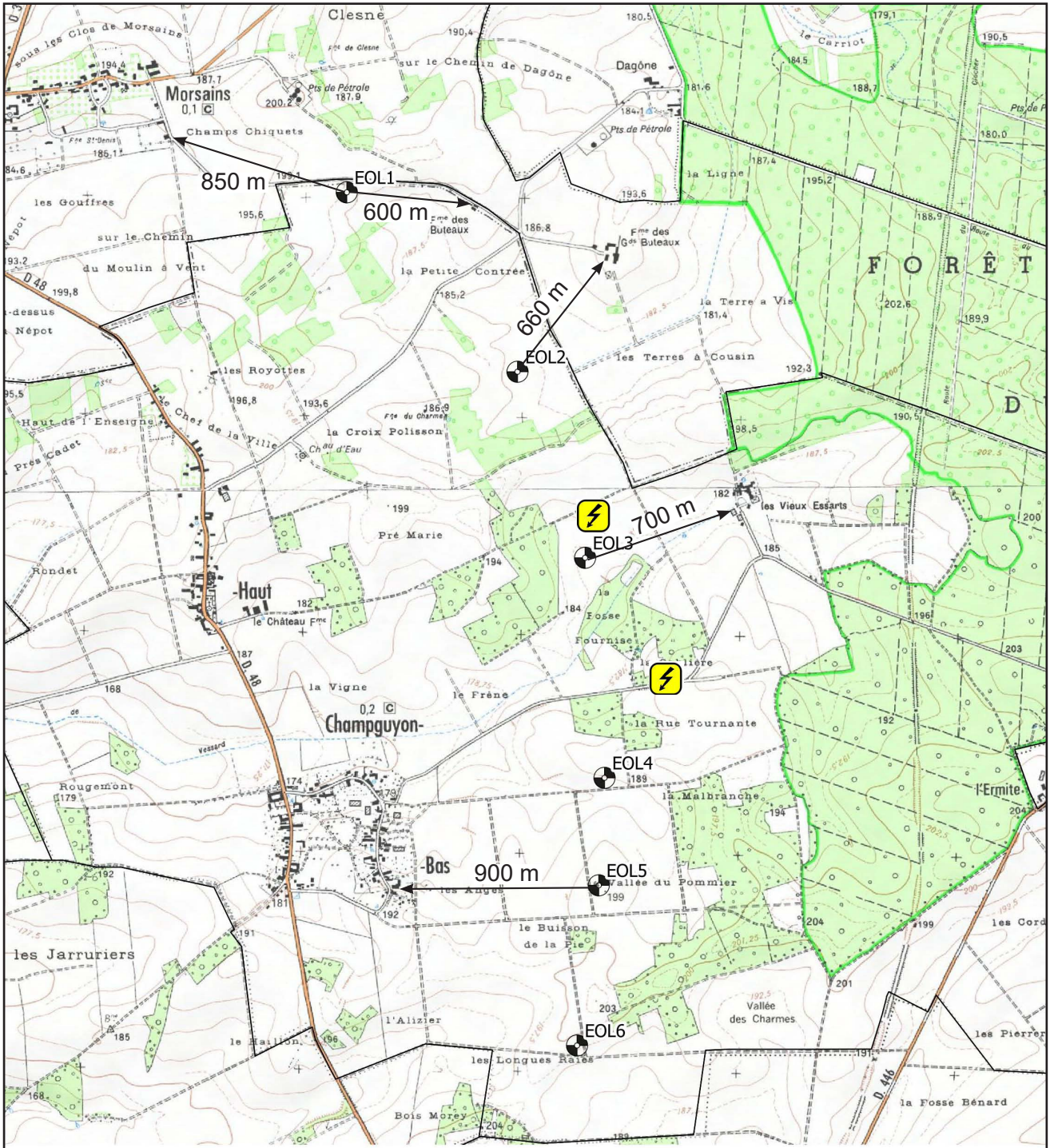
2.2.1. Contexte climatique

Le climat de la Marne est un climat océanique de transition. La légère continentalisation se caractérise par des pluies convectives estivales et une amplitude thermique annuelle dépassant 15°C.

La répartition moyenne des précipitations en cours d'année est assez homogène. La quantité de pluie moyenne annuelle varie de 500 mm dans la plaine de Reims à Châlons en Champagne, à près de 1000 mm sur la Montagne de Reims et la façade Est du département.



La température moyenne annuelle est voisine de 10°C sur l'ensemble du département. En hiver, le nombre moyen de jours avec une température inférieure à 0°C est de 60. L'été est relativement contrasté avec une moyenne de 43 jours où la température dépasse 25°C sous abri.

Nombre de jours avec précipitations (>1mm)	110 à 150
Hauteur de précipitations annuelles (mm)	604
Durée d'insolation annuelle (heures)	1 705
Nombre de jours avec brouillard	66
Nombre de jours avec neige	21



Carte de distance aux habitations

Légende

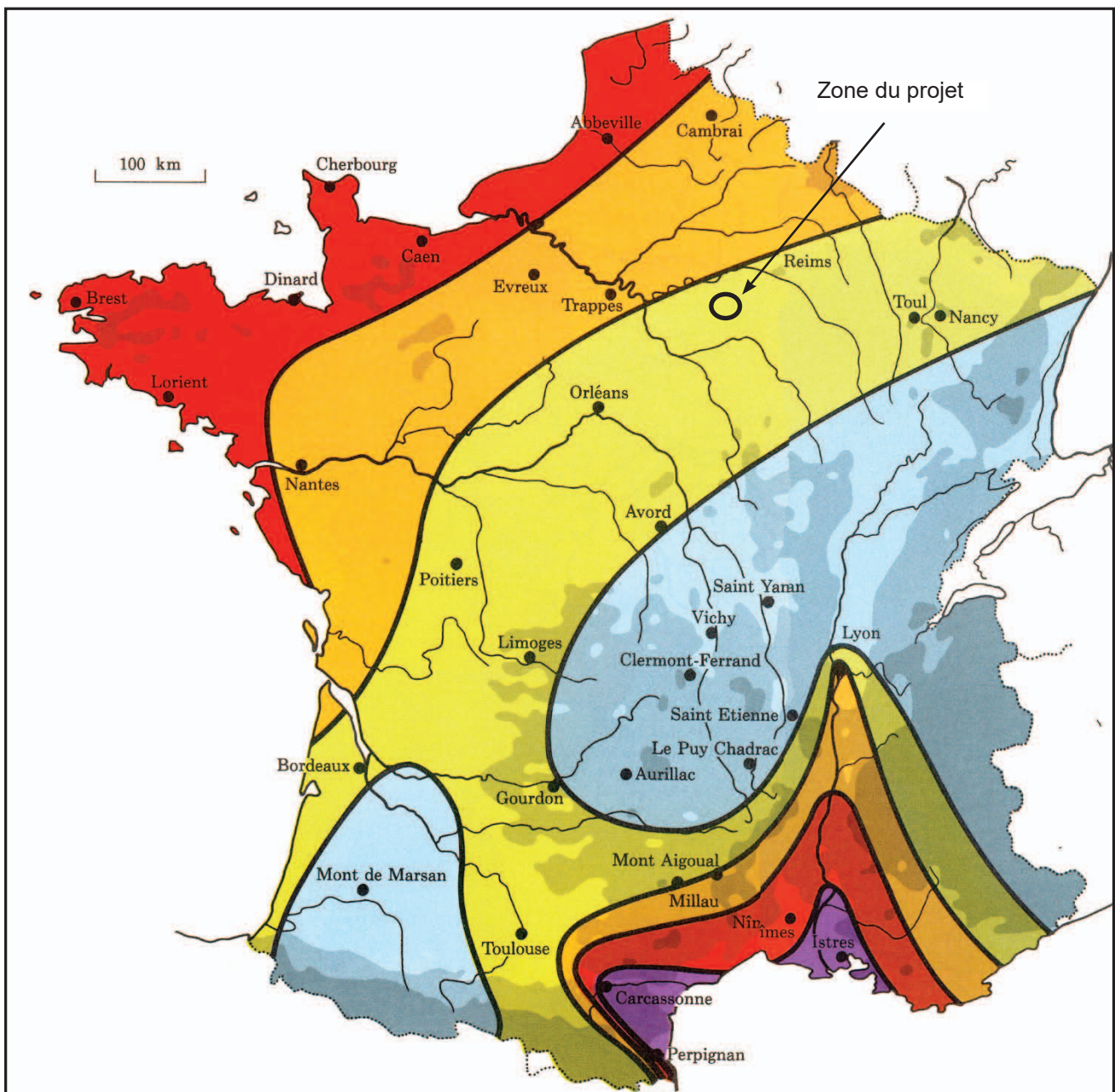
-  Eoliennes du projet
-  Poste de livraison



2.2.2. Vents

Le potentiel éolien de la région, et plus particulièrement celui du département de la Marne est relativement élevé. Le projet de parc éolien est situé sur un plateau cultivé avec une rugosité modérée. Les vents dominants sont de secteur Sud-Ouest, et de manière secondaire, de secteur Nord-Est.

Le gisement éolien sur la zone du projet à une hauteur de 100 m oscille entre 5,5 et 6,8 m/s, ce qui constitue un potentiel éolien suffisant pour l'exploitation d'un parc éolien.



Vitesse moyenne des vents en France



2.3. Environnement matériel

2.3.1. Voies de communication

A. Route Départementale RD 48

Une voie de communication non structurante (c'est-à-dire dont le trafic journalier est inférieur à 2000 véhicules/jour) longe le site du Nord au Sud, à plus de 1300 m de l'éolienne la plus proche. Il s'agit de la RD 48 qui relie Esternay à Champguyon avant de rejoindre la RD 375 qui mène à Morsains.

En tout état de cause, la proximité des éoliennes avec une voie de circulation ne suffit pas, à elle seule, à caractériser un risque d'atteinte à la sécurité publique sur le fondement de l'article R. 111-2 du Code de l'urbanisme, dès lors que le passage sur une voie de circulation n'implique pas d'exposition permanente à un tel risque.

B. Autres

Des chemins et des dessertes agricoles permettant l'accès à la zone d'implantation des aérogénérateurs sont également présents sur le site.

Il n'y a pas d'autre voie de communication sur ou à proximité immédiate du site :

- Aucune voie ferroviaire ne passe dans l'aire d'étude.
- Aucun cours d'eau navigable n'est présent dans l'aire d'étude.

2.4. Risques naturels

2.4.1. Sismicité

Le nouveau zonage sismique de la France, en vigueur depuis le 1^{er} mai 2011, est défini par le décret n°2010-1255 du 22 octobre 2010. Il découpe la France en 5 zones de sismicité croissante :

- zone 1 : sismicité très faible
- zone 2 : sismicité faible
- zone 3 : sismicité modérée
- zone 4 : sismicité moyenne
- zone 5 : sismicité forte

La zone d'étude est située en zone 1, correspondant à un risque sismique très faible.



2.4.2. Retrait et gonflement des argiles

Le matériau argileux présente la particularité de voir sa consistance se modifier en fonction de sa teneur en eau. Dur et cassant lorsqu'il est asséché, un certain degré d'humidité le fait se transformer en un matériau plastique et malléable. Ces modifications de consistance peuvent s'accompagner, en fonction de la structure particulière de certains minéraux argileux, de variations de volume plus ou moins conséquentes. Ce phénomène de retrait-gonflement des argiles engendre chaque année sur le territoire français des dégâts considérables aux bâtiments.

Les éoliennes sont localisées au niveau de zone où le risque de retrait-gonflement des argiles est :

- Eol 1 : à priori nul
- Eol 2 - 4 - 5 - 6 : moyen
- Eol 3 : fort

2.4.3. Cavités/Carrières et Forages (BRGM)

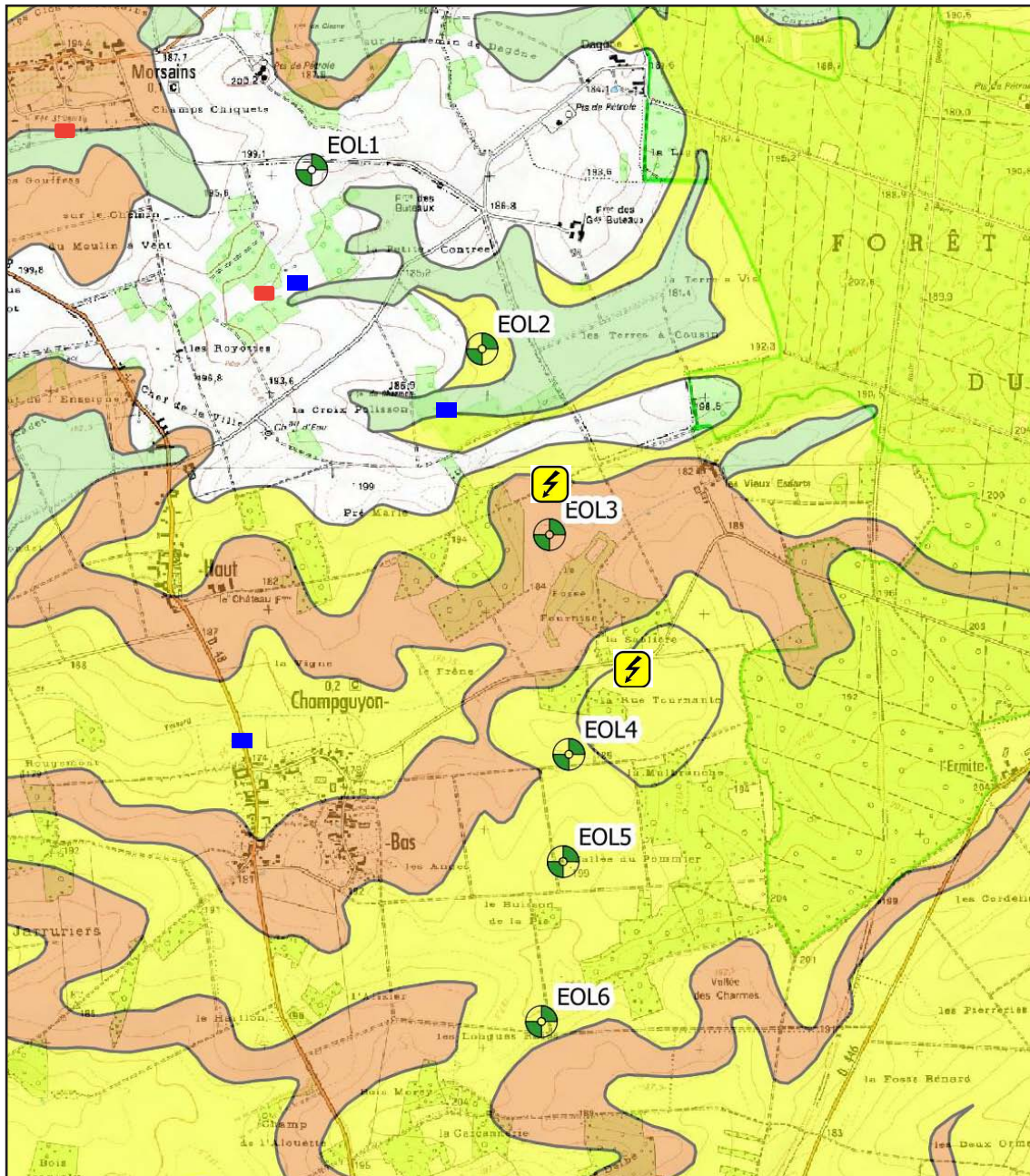
Il existe 3 cavités souterraines naturelles sur la commune de Champguyon et 1 mouvement de terrain (effondrement) sur la commune de Champguyon et 1 sur la commune de Morsains.

Des puits de pétrole en activité sont présents aux alentours. Le plus proche est situé à plus de 500 mètres au Nord de l'éolienne 1.

2.4.4. Risque orageux, foudre



Compte tenu de leur taille et de leur implantation sur des points hauts du relief, les éoliennes sont très exposées au risque de foudroiement.

Le site d'étude est soumis à une exposition faible par rapport au foudroiement, puisque dans le département de la Marne la densité de foudroiement (nombre de coups de foudre par km² et par an) est de 1,8 contre une moyenne nationale de 2.



Carte de l'aléa retrait-gonflement des argiles et cavité (source géorisques)

Légende

-  Eoliennes du projet
-  Poste de livraison
- Argiles**
-  Aléa faible
-  Aléa moyen
-  Aléa fort
-  Cavité souterraine naturelle
-  Effondrement



3. Description de l'installation

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

3.1. Caractéristiques de l'installation

3.1.1. Caractéristiques générales d'un parc éolien

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

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

◆ Eléments constitutifs d'un aérogénérateur

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

Les aérogénérateurs se composent de trois principaux éléments :



- Le rotor

Le rotor de l'éolienne est équipé de trois pales en matière composite (résine époxy) renforcée de fibres de verre. La forme des pales est déterminante pour le rendement de l'éolienne et 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.



Levage du rotor



- Le mât

Cas d'une éolienne avec un mât acier (E-103 et E-138)

Le mât est généralement composé de 3 à 4 tronçons en acier. Dans la plupart des éoliennes, il abrite le transformateur qui permet d'élever la tension électrique de l'éolienne au niveau de celle du réseau électrique.

Cas d'une éolienne avec un mât hybride (E-103)

Les mâts hybrides sont constitués jusqu'à une trentaine de segments béton et surmontés de 1 à 4 segments acier, pour faire la jonction avec la nacelle.

Pour des hauteurs de mât dépassant 85m, ENERCON a fait le choix du mât béton qui offre une plus grande raideur et une meilleure résistance aux contraintes physiques que l'acier.

Les sections pouvant être divisées en deux ou trois parties (demi/tiers-sections), le transport est facilité. Chaque section a une hauteur d'environ 3,8 m. Entre deux sections, un mortier spécial est appliqué pour assurer la coplanarité.

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



Installation des segments béton d'un mât d'une éolienne Enercon



- La nacelle

Elle abrite plusieurs éléments fonctionnels :

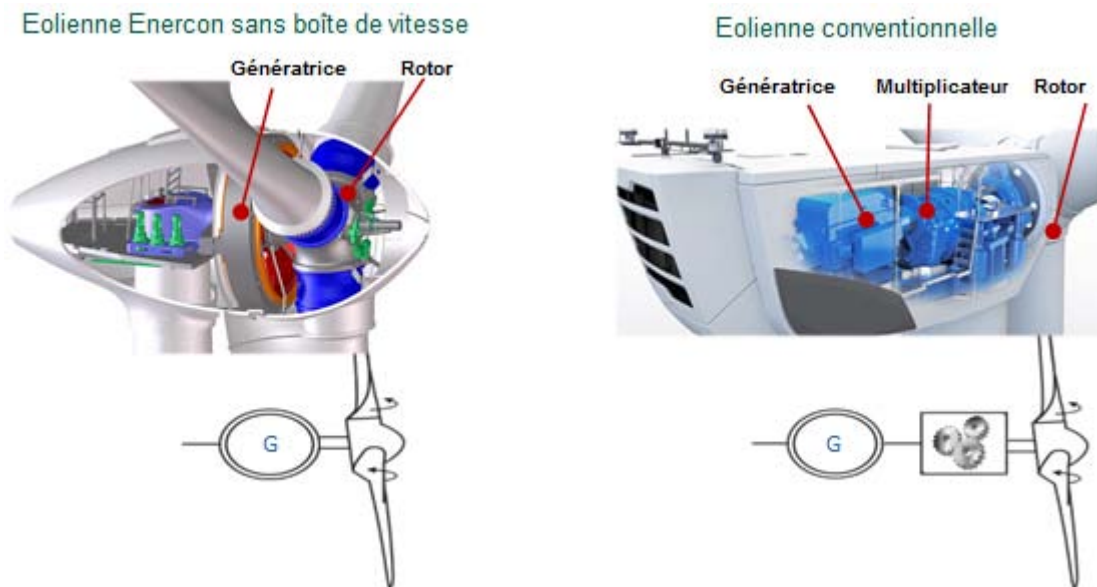
o le générateur transforme l'énergie de rotation du rotor en énergie électrique. La partie rotative du générateur annulaire ENERCON et le rotor forment une unité. Ces pièces sont fixées directement sur le moyeu, de sorte qu'elles tournent à la même vitesse de rotation (vitesse lente). Grâce à l'absence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

o le système de freinage mécanique ;

o le système d'orientation de la nacelle qui place le rotor face au vent ;

o les outils de mesure du vent (anémomètre, girouette) ;

o le balisage diurne et nocturne nécessaire à la sécurité aéronautique.



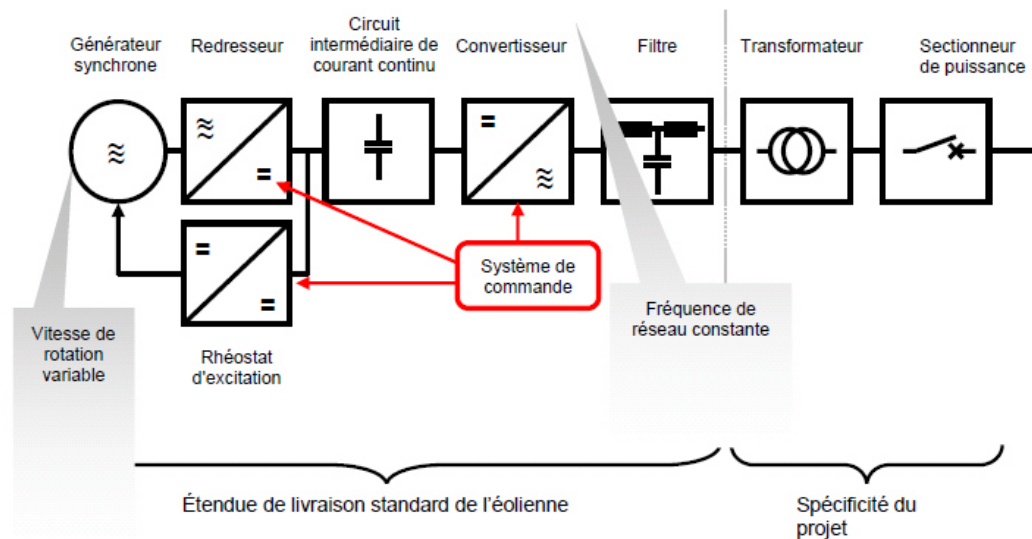
Comparaison des génératrices d'une éolienne Enercon et d'une éolienne concurrente



◆ Unité d'alimentation au réseau

Les éoliennes ENERCON disposent d'une technologie d'intégration intelligente au réseau. Elles répondent de manière exemplaire aux critères internationaux relatifs au raccordement en garantissant une injection fiable de la puissance produite, y compris dans des situations de fortes fluctuations de tension ou de fréquence.

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 basse tension en amont du transformateur de puissance.



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 l'autre, les défauts ou court-circuit réseau ne créent que très peu de stress mécanique sur les parties tournantes de la machine.

L'énergie produite par les éoliennes est redirigée vers un poste de livraison qui est le noeud de raccordement de toutes les éoliennes avant que l'électricité ne soit injectée dans le réseau public. Le câblage des éoliennes jusqu'au poste de livraison correspond au réseau électrique interne. Il se fera en souterrain. Les tranchées nécessaires seront de 1 mètre de profondeur environ. En parallèle avec la pose des cables, il sera mis en place un réseau de fibre optique afin de permettre la surveillance et le contrôle du parc éolien.



◆ Fondations

ENERCON propose 3 types de fondation standard (deux superficielles et une profonde), choisie 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. Des études géotechniques sont effectuées à l'emplacement de l'éolienne préalablement afin de déterminer la fondation adéquate.

◆ Emprise au sol

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

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

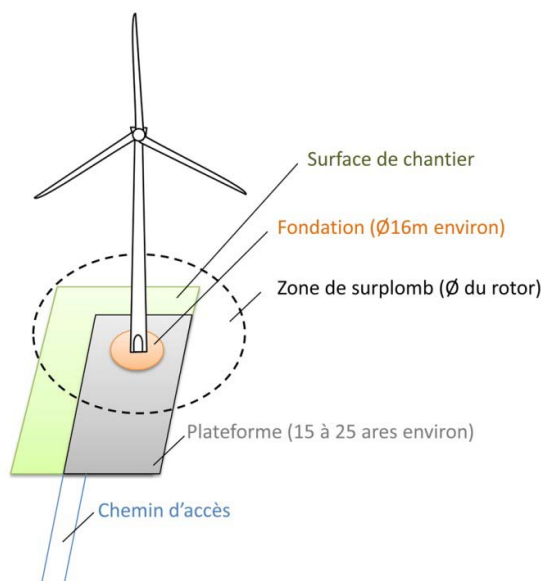


Illustration des emprises au sol d'une éolienne
(Les dimensions sont données à titre d'illustration pour une éolienne d'environ 150m de hauteur totale)



◆ Chemins d'accès

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

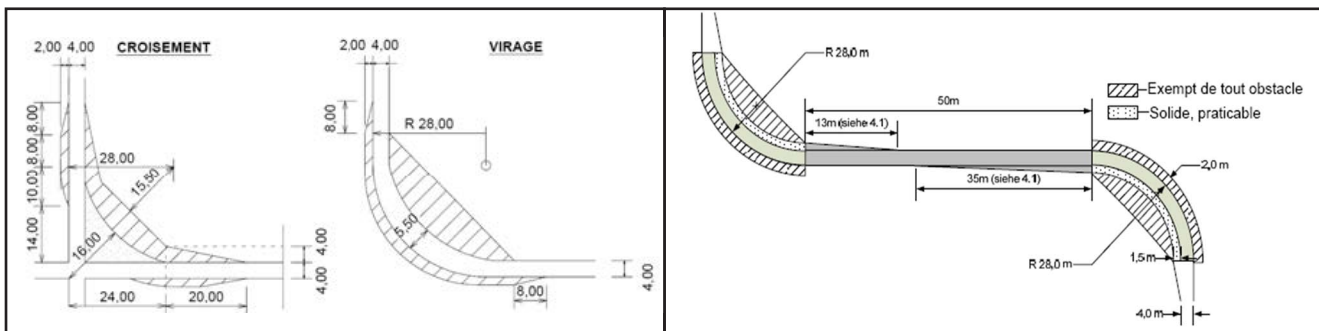
- l'aménagement de ces accès concerne principalement les chemins agricoles existants ;
- si nécessaire, de nouveaux chemins sont créés sur les parcelles agricoles.

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

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

◆ Croisements et virages

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



◆ Aires de grutage

L'aire de grutage garantit l'effectivité du déroulement de la phase de construction, conformément aux prescriptions de sécurité. De ce fait, l'aire de grutage doit également être construite de manière durable et insensible au gel. La construction de l'aire de grutage est réalisée en concertation avec un expert géotechnique afin de prouver sa capacité portante. Une surface parfaitement plane est établie, avec un revêtement de mélange de minéraux. Le niveau altimétrique de l'aire de grutage doit être supérieur à celui du sol afin de garantir l'évacuation des eaux superficielles. Le niveau de l'aire de grutage peut être inférieur au niveau des fondations jusqu'à 200 mm maximum.

3.1.2. Activité de l'installation

L'activité principale du parc éolien est la production d'électricité à partir de l'énergie mécanique du vent avec une hauteur de mât supérieure à 50 mètres. Cette installation est donc soumise à la rubrique 2980 des installations classées pour la protection de l'environnement.



3.2. Fonctionnement de l'installation

3.2.1. Principe de fonctionnement d'un aérogénérateur

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

Les pales se mettent en mouvement lorsque l'anémomètre (positionné sur la nacelle) indique une vitesse de vent d'environ 7,2 km/h (2 m/s) et que l'éolienne peut être couplée au réseau électrique.

La puissance électrique produite varie en fonction de la vitesse de rotation du rotor, l'éolienne fournit sa puissance maximale quand une certaine vitesse de vent est atteinte. Cette puissance est dite « nominale ».

Les éoliennes ENERCON disposent d'un système de contrôle spécial « Mode tempête » leur permettant de fonctionner par vents violents. Sans ce mode tempête, les éoliennes s'arrêteraient quand la vitesse de vent atteint environ 25 m/s. Avec l'activation de ce mode, elles peuvent continuer à produire en mode bridé jusqu'à environ 40 m/s (en moyenne sur 12 s) selon le type de machine. Cela signifie que le système de contrôle de l'éolienne va réduire la puissance de l'éolienne progressivement jusqu'à atteindre une puissance nulle lorsque la vitesse de rotation à vide est atteinte (Cf. tableau ci-dessous).

Ce système offre deux avantages : un gain de productible et une influence positive sur la stabilité du réseau électrique grâce à la réduction graduelle de la puissance injectée, évitant ainsi les passages brusques de pleine puissance à puissance nulle. Par ailleurs, pour des vitesses de vent au-delà de 34 m/s moyennées sur 10 min, les éoliennes ENERCON s'arrêtent (mise en drapeau).

type éolienne	E-103	E-138
vitesse en m/s		
V démarrage	2	2
V puissance nominale	12	13
V réduction de puissance	28,5	24
V rotation à vide (moyenne sur 12 secondes)	40,4	30
V arrêt (moyenne sur 10 minutes)	34	28



3.2.2. Sécurité de l'installation

◆ Système de fermeture de la porte

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

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

L'ouverture de la porte de l'éolienne enclenche l'allumage automatique des éclairages de l'éolienne.

◆ Protection incendie

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

Le choix des matériaux est également un aspect clé de la protection incendie. Certains composants sont fabriqués en matériaux ignifugés, difficilement inflammables, ou non inflammables. En outre, la technologie Enercon sans boîte de vitesse permet également de réduire le risque d'incendie provoqué par frottement mécanique.

Toutes les éoliennes Enercon sont équipées de système de détection incendie et d'extincteurs. Leur nombre et emplacement varient selon le modèle d'éolienne (cf. tableau ci-dessous). Les extincteurs sont positionnés de façon bien visible et facilement accessibles. Les agents d'extinction sont appropriés aux risques à combattre. Ils font l'objet d'un contrôle régulier par un organisme agréé.

Modèle	Détection	Extinction
E-103	- 2 capteurs optiques de fumée dans le mât - 2 capteurs optiques de fumée dans la nacelle	- 2 extincteurs 2 kg dans la nacelle - Mât acier : 2x2 kg, Mât hybride : 1x2 kg
E-138	- 1 capteur optique de fumée dans le mât - 2 capteurs optiques de fumée dans la nacelle	- 2 extincteurs 1*2 kg + 1*5 kg dans la nacelle - 1 extincteur de 2 kg dans le mât

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

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

L'exploitant est en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai



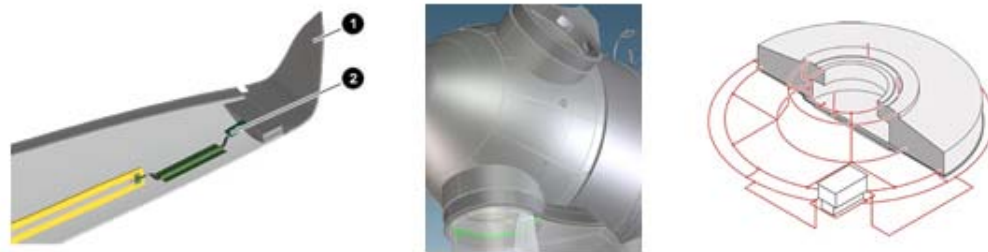
de 15 minutes suivant la détection de l'incendie. Il sera capable également de mettre en oeuvre les procédures d'urgence dans un délai de 60 minutes.

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

◆ Protection foudre

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

• Le système de protection externe est conçu pour gérer un coup de foudre direct sur l'éolienne. La pointe de la pale est en aluminium moulé, et un profilé conducteur est relié 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.



Système de protection foudre sur les éoliennes Enercon

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

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

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



◆ Système de freinage

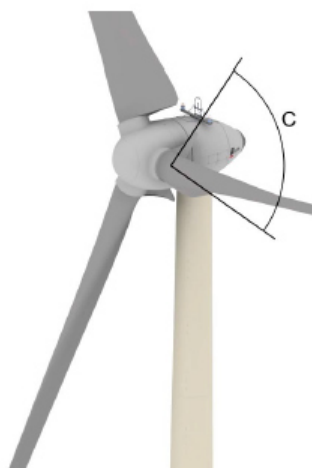
Il existe plusieurs types de freinage :

• Arrêt automatique

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



Position normale des pales pour une récupération maximale de l'énergie cinétique du vent.



Position en drapeau, les forces exercées sur les pales dans cette positions sont réduites au minimum. Le rotor ne tourne pas ou extrêmement lentement.

Positionnement en drapeau des pales d'éoliennes Enercon

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

• Arrêt manuel

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

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



◆ Surveillance des principaux paramètres

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

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

• Survitesse

La machine possède 3 capteurs placés dans le support du rotor de la génératrice. Ce capteur est une masselotte montée sur ressort. Lorsque la force centrifuge du rotor est trop importante (cas de la survitesse), le déplacement de cette masselotte atteint un capteur situé en bout de course.

La détection de survitesse est alors enclenchée et les pales reviennent en position drapeau.

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

• Températures

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

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

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

Des seuils d'acceptabilité de niveau de température sont prédéfinis dans le système de contrôle de l'éolienne pour chacun des capteurs. En cas de dépassement de seuils, des codes d'état associés à des alarmes sont activés et peuvent, le cas échéant, entraîner un ralentissement de la machine (bridage préventif) voire un arrêt de la machine. Tout phénomène anormal est ainsi répertorié, tracé via le système SCADA du parc, et donne lieu à des analyses et si nécessaire à des interventions de maintenance sur site afin de corriger les problèmes constatés.



• Gestion à distance du fonctionnement des éoliennes (SCADA)

L'exploitation des éoliennes ne fait pas l'objet d'une présence permanente sur site. Des interventions sur site sont programmées pour les opérations de maintenance. Le fonctionnement du parc éolien est entièrement automatisé et contrôlé à distance depuis le centre de maintenance qui s'occupera du parc.

L'exploitation des éoliennes s'effectue grâce à un Automate Programmable Industriel (API) qui analyse en permanence les données en provenance des différents capteurs de l'installation et de l'environnement et qui contrôle les commandes en fonction des paramètres.

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

De plus, les éoliennes sont équipées d'un système de contrôle et acquisition de données à distance des données, appelé système SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition). La supervision peut s'effectuer à distance depuis un PC équipé d'un navigateur Internet et d'une connexion ADSL ou RNIS. Le SCADA constitue un terminal de dialogue entre l'automate et son système d'entrée/sortie, connecté en réseau au niveau des armoires de contrôle placées dans la nacelle et dans le pied de l'éolienne.

Chaque éolienne dispose de son propre SCADA relié lui-même à un SCADA central qui a pour objectif principal :

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

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

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

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

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

◆ Système de détection de givre / glace

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

Les dépôts de glace et de givre représentent un surpoids sur la pale qui déséquilibre le rotor provoquant une baisse de rendement, une augmentation des charges s'exerçant sur le rotor, et éventuellement des nuisances sonores. La glace formée présente également un danger pour les personnes et les biens en cas de chute ou de projection.

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



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

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

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

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

Les paramètres analysés par le système de sécurité sont :

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

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

◆ Protection contre le risque électrique

Les installations électriques à l'intérieur de l'éolienne respectent les dispositions de la directive du 17 mai 2006. Les installations électriques extérieures à l'éolienne sont conformes aux normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200. Ces installations sont entretenues et maintenues en bon état et sont contrôlées avant la mise en service industrielle puis à une fréquence annuelle, après leur installation ou leur modification par une personne compétente. La périodicité, l'objet et l'étendue des vérifications des installations électriques ainsi que le contenu des rapports relatifs auxdites vérifications sont fixés par l'arrêté du 10 octobre 2000.

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

L'absence de multiplicateur réduit la quantité de liquide dans la nacelle. Des rétentions sont prévues aux endroits les plus critiques, par exemple au niveau des moteurs de yaw à la limite entre la tour et la nacelle ou au niveau du transformateur situé en pied de tour.



◆ Conception des éoliennes

Les éoliennes ENERCON sont conçues, fabriquées, installées et certifiées selon les exigences des normes IEC 61400-1 et IEC 61400-24, tel que requis par les articles 8 et 9 de l'arrêté du 26 Août 2011. La société ENERCON tient à disposition de l'Inspection des Installations Classées les rapports des organismes compétents attestant de la conformité des aérogénérateurs aux normes précitées.

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

3.2.3. Opérations de maintenance de l'éolienne

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

- Tests de mise en service : essais d'arrêt, d'arrêt d'urgence, de survitesse et tests électriques et foudre.
- Maintenance des 300 heures : La première maintenance après la mise en service a lieu après 300 heures de fonctionnement. Au cours de cette opération, un contrôle visuel de l'intégrité de la machine et des pales est effectué et un serrage au couple généralisé est réalisé.

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

- 6 mois : graissage d'entretien
- 12 mois : maintenance principale (électrique et mécanique)
- 18 mois : graissage d'entretien
- 24 mois : maintenance principale (électrique et mécanique)
- Etc.
- 48 mois : maintenance quadriennale
- Etc.

En parallèle, une maintenance vent est réalisée au moins une fois tous les 12 mois pour effectuer les tests d'arrêt de survitesse.

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

Ces opérations de maintenance garantissent le suivi et la durabilité des éoliennes dans le temps.

Les photographies ci-dessous comparent une nacelle en fonctionnement depuis 15 ans et une nacelle neuve.



Nacelle d'éolienne ENERCON neuve



Nacelle d'éolienne ENERCON en service depuis 15 ans



Nacelle d'éolienne ENERCON neuve



Nacelle d'éolienne ENERCON en service depuis 15 ans

◆ Graissage d'entretien

Les opérations de graissage visent à s'assurer du bon état des pièces mobiles et d'assurer un appoint ou de vidanger les huiles et lubrifiants.

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



◆ Maintenance principale

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

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

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

Les opérations de maintenance mécanique concernent les points suivants :

- Panneau d'avertissement
- Pied du mât / local des armoires électriques
- Fondation
- Mât : échelle de secours, ascenseur de service, plateforme 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, ...
- Equipement de mise à l'arrêt et de mise à l'arrêt d'urgence
- Système parafoudre
- Anémomètre

Ces opérations d'inspection sont faites au moins une fois par an. L'ensemble des points à vérifier est précisé dans le plan de maintenance principale défini pour chaque modèle.

◆ Personnel qualifié et formation continue

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

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

Ces habilitations sont recyclées périodiquement suivant la réglementation ou les recommandations en vigueur. Des contrôles de connaissance sont réalisés afin de vérifier la validité de ces habilitations. Des points mensuels concernant la sécurité et les procédures sont effectués avec l'ensemble du personnel de maintenance. Une présentation du fonctionnement de la sécurité est réalisée auprès des nouveaux embauchés.



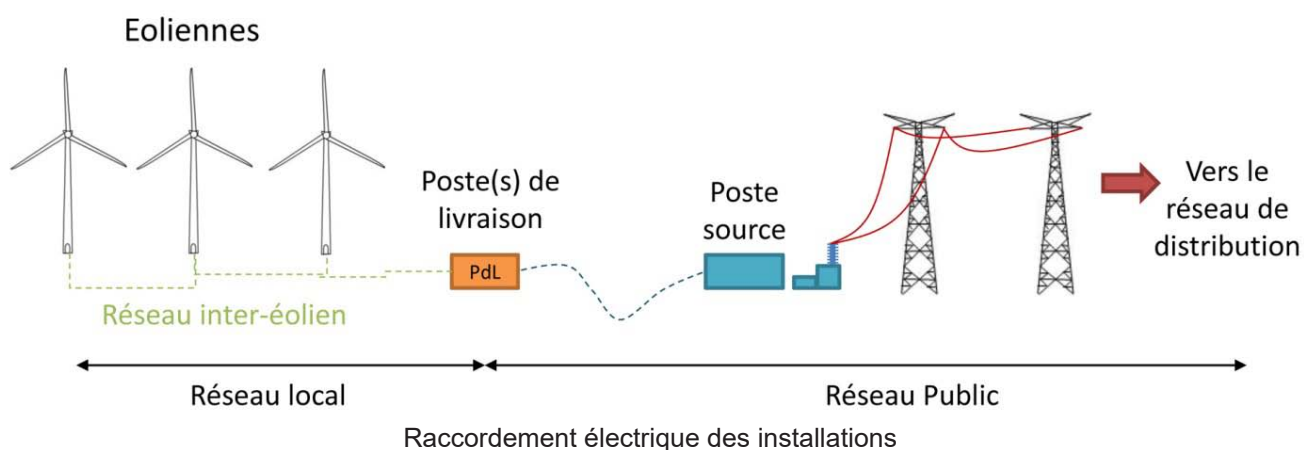
3.2.4. Stockage et flux de produits dangereux

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

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

3.3. Fonctionnement des réseaux de l'installation

3.3.1. Raccordement électrique

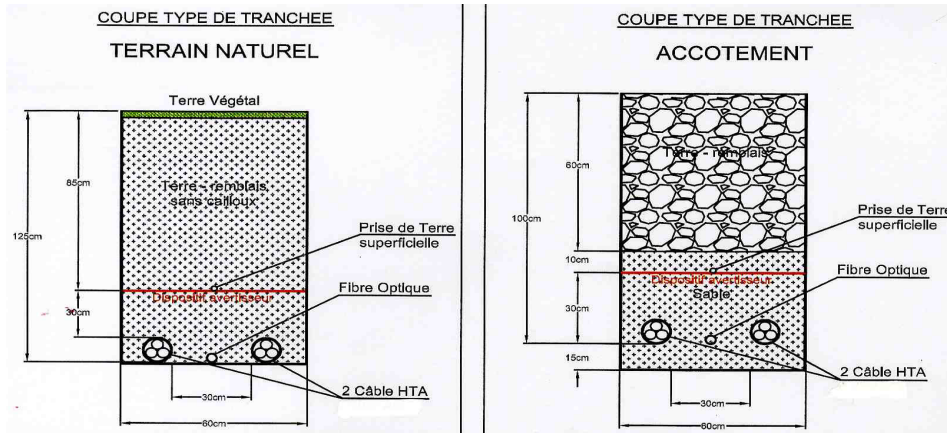


◆ Réseau électrique inter éolien

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

L'enfouissement du réseau sera effectué en pose mécanisée classique, en utilisant tous les moyens nécessaires à la bonne exécution des travaux :

- Pelle mécanique pour la réalisation de la tranchée et camion pour l'évacuation des déblais,
- Dérouleuse de câbles pour l'enfouissement des fourreaux et des câbles,
- Equipements de remblaiement, compactage, finitions et réfections.



Coupes de tranchée



Réalisation d'une tranchée dans une parcelle



Rebouchage de la tranchée sur parcelle agricole

◆ Réseau inter-éolien de communication

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



◆ Poste de livraison

Le poste de livraison est 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.

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

Ce poste de livraison est généralement d'une dimension d'environ 6,3 x 2,5 x 3,3 (L x l x H), avec un local contenant les organes haute tension (HTA) 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.



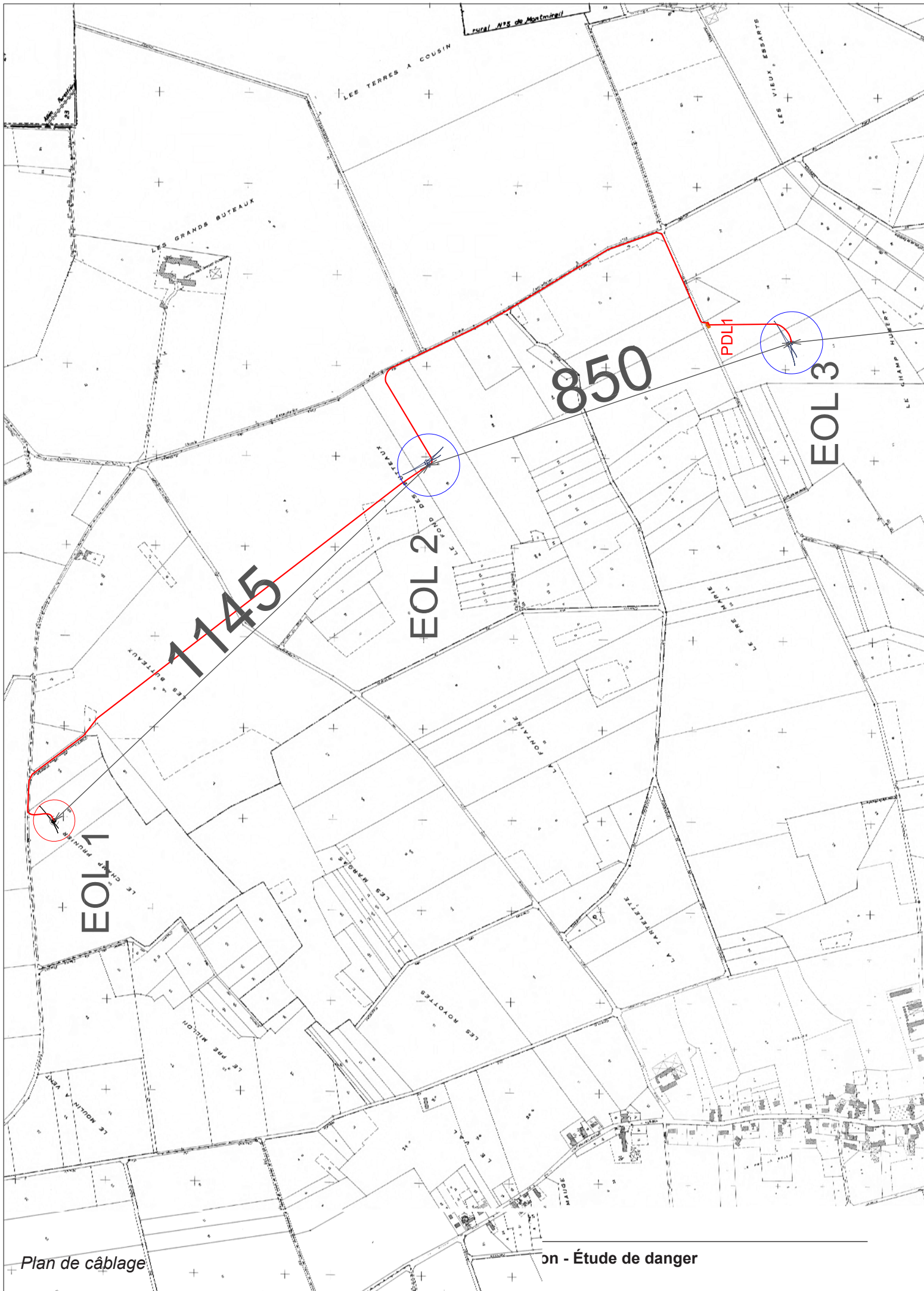
Exemple de poste de livraison fourni par ENERCON

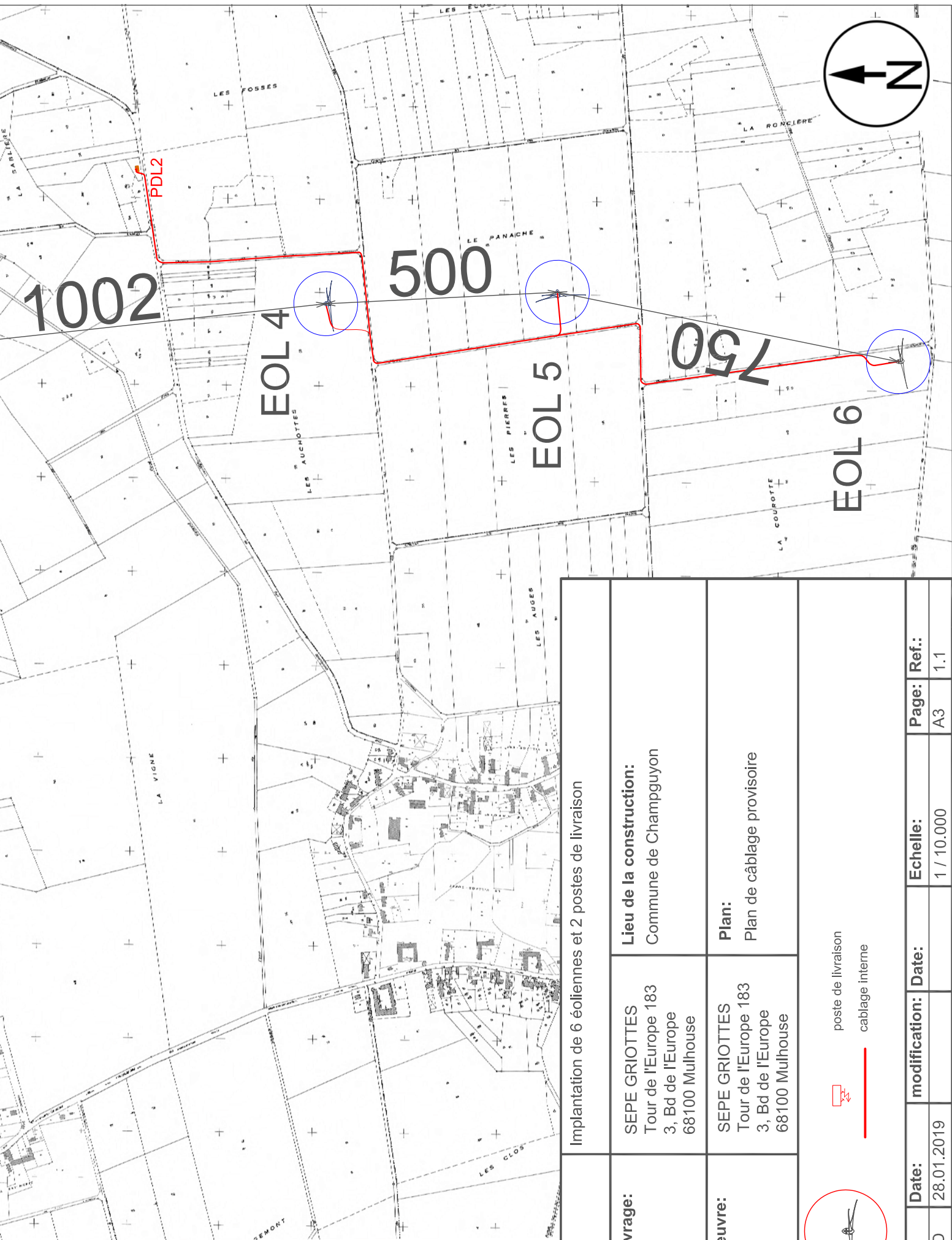
◆ Réseau électrique EXTERNE

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

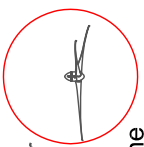



3.3.2. Autres réseaux

Le parc éolien ne comporte aucun réseau d'alimentation en eau potable, ni aucun réseau d'assainissement. De même, les éoliennes ne sont reliées à aucun réseau de gaz.





INTERVENT - Projet de parc éolien Champguyon - Etude de danger

Projet: Implantation de 6 éoliennes et 2 postes de livraison		Lieu de la construction: Commune de Champguyon	Page: A3	Ref.: 1.1
Maître d'ouvrage: SEPE GRIOTTES Tour de l'Europe 183 3, Bd de l'Europe 68100 Mulhouse	Plan: Plan de câblage provisoire	Echelle: 1 / 10.000		
Maître d'oeuvre: SEPE GRIOTTES Tour de l'Europe 183 3, Bd de l'Europe 68100 Mulhouse				
 rotar  éolienne	 poste de livraison  câblage interne	Date: 28.01.2019	modification:	Date:
sign.: MARCHAND				



4. Identification des potentiels de dangers de l'installation

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

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

4.1. Potentiels de dangers liés aux produits et déchets

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

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

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

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

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

Type de déchets	Modèles	
	E-103	E-138
absorbants, matériaux filtrants (filtres à huile), chiffons d'essuyage et vêtements de protection contaminés par des substances dangereuses	5 kg	2 kg
papiers et cartons	2 kg	2 kg
emballages en mélange	2 kg	2 kg
déchets résiduels	4 kg	3 kg
TOTAL	13 kg	9 kg



4.2. Potentiels de dangers liés au fonctionnement de l'installation

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

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

Ces dangers potentiels sont recensés dans le tableau suivant :

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



4.3. Réduction des potentiels de dangers à la source

4.3.1. Principales actions préventives

◆ Choix de l'emplacement

Le site d'implantation du parc éolien a été sélectionné pour les raisons suivantes :

- l'aire d'étude est composée en grande partie de champs cultivés,
- les éoliennes sont éloignées des habitations à plus de 500 mètres,
- aucune voie ferroviaire ne passe dans l'aire d'étude,
- aucun cours d'eau navigable n'est présent dans l'aire d'étude,
- aucune servitude ne se trouve à proximité du site (radar,...).

◆ Choix de l'éolienne

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.

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.

◆ Réduction des quantités de produits dangereux

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

• Engrenage

L'éolienne ne possède pas de système d'engrenage principal : le rotor est directement couplé à un générateur annulaire. La vitesse de rotation n'a pas besoin d'être échelonnée. Par conséquent, la quantité d'huile d'engrenage habituellement disponible sur les éoliennes classiques (> 200 litres) n'est pas nécessaire.

• Transmissions d'orientation

L'éolienne possède entre 4 et 12 transmissions d'orientation (pour contrôler l'orientation de la nacelle). Chacune de ces transmissions est remplie d'environ 7 à 20 litres d'huiles (selon la taille de l'éolienne). Les moteurs électriques reposent directement sur les transmissions. Les transmissions se trouvent



dans le support principal qui peut recueillir toute la quantité d'huile, par ailleurs les réservoirs d'huile sont montés sous les entraînements d'orientation.

- **Système de réglage des pales**

3 arbres de renvoi (pitch gear) permettent de régler les pales des éoliennes avec chacune un moteur pitch. Les arbres de renvoi ne sont remplis que de quelques litres d'huile d'engrenage (de 2 à 8 litres selon la taille de l'éolienne).

- **Graissage du palier à roulement**

Les profils de dents et le palier de l'éolienne sont lubrifiés à l'aide graisses spéciales (de 2 à 23 litres selon la taille de l'éolienne). 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.

- **Frein hydraulique du rotor**

Jusqu'à 8 litres d'huile utilisés.

- **Système de refroidissement à eau**

Utilisé uniquement pour les éoliennes de plus de 3 MW, entre 400 et 900 litres de fluide caloporteur.

- **Huile du transformateur**

Le transformateur est situé selon la version au pied du mât ou dans un poste situé à l'extérieur du mât. Le puisard dans le sol en béton du poste est verrouillé et perméable à l'huile et peut recueillir l'ensemble de l'huile de transformation (de 600 à 1700 litres selon la taille de l'éolienne). Si le transformateur est installé dans le mât, une goulotte en acier assure la collecte de toute l'huile du transformateur. Les bacs de rétention d'huile dans les postes et les sous-sols de mâts sont étanches à l'huile.

4.3.2. Utilisation des meilleures techniques disponibles

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

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

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



5. Analyse des retours d'expérience

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

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

5.1. Inventaire des accidents et incidents en France

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

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

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

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

Dans l'état actuel, la base de données élaborée par le groupe de travail de SER/FEE ayant élaboré le guide technique d'élaboration de l'étude de dangers dans le cadre des parcs éoliens apparaît comme représentative des incidents majeurs ayant affecté le parc éolien français depuis l'année 2000. L'ensemble de ces sources permet d'arriver à un inventaire aussi complet que possible des incidents survenus en France.

Un total de 37 incidents a pu être recensé entre 2000 et début 2012. Il apparaît dans ce recensement que les aérogénérateurs accidentés sont principalement des modèles anciens ne bénéficiant généralement pas des dernières avancées technologiques.

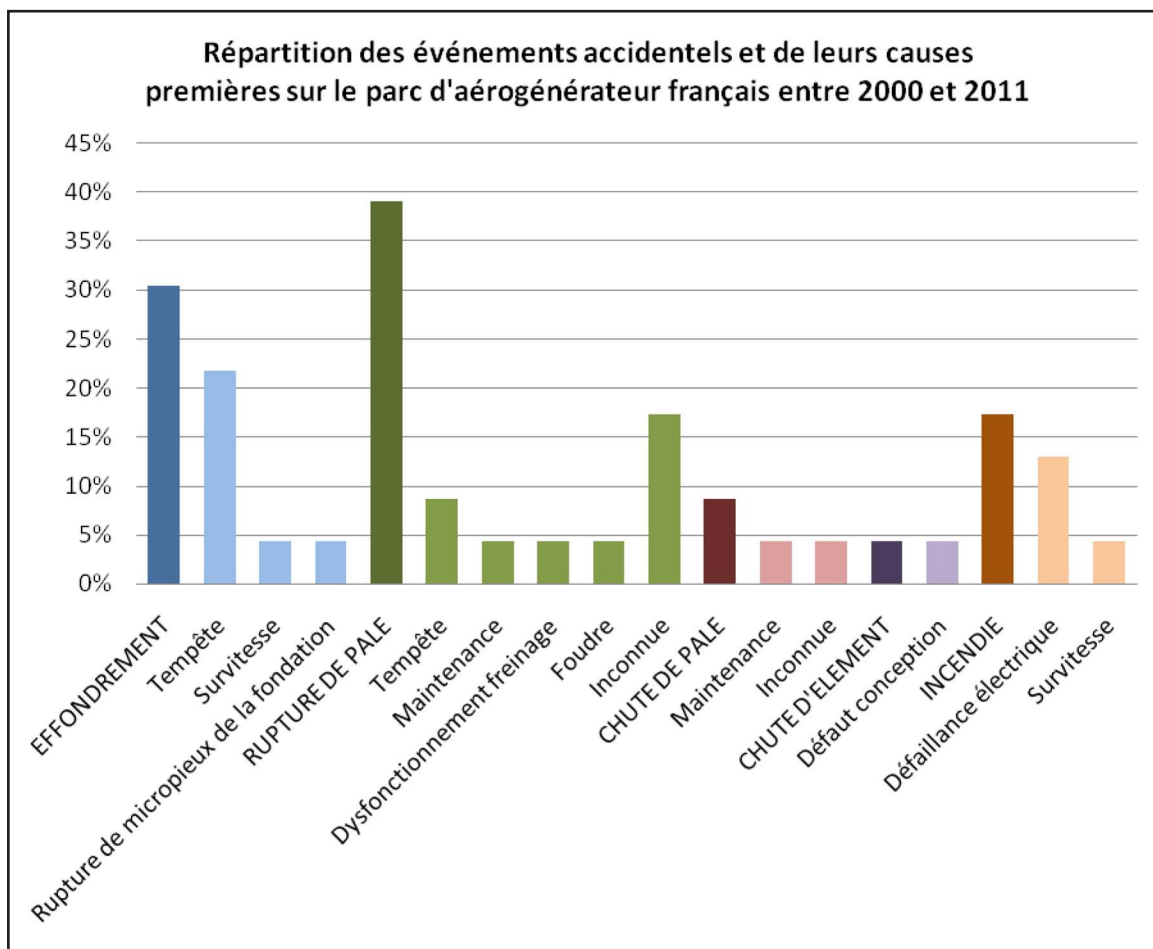
Le graphique suivant montre la répartition des événements accidentels et de leurs causes premières sur le parc d'aérogénérateur français entre 2000 et 2011.

Cette synthèse exclut les accidents du travail (maintenance, chantier de construction, etc.) et les événements qui n'ont pas conduit à des effets sur les zones autour des aérogénérateurs.



Dans ce graphique sont présentés :

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



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

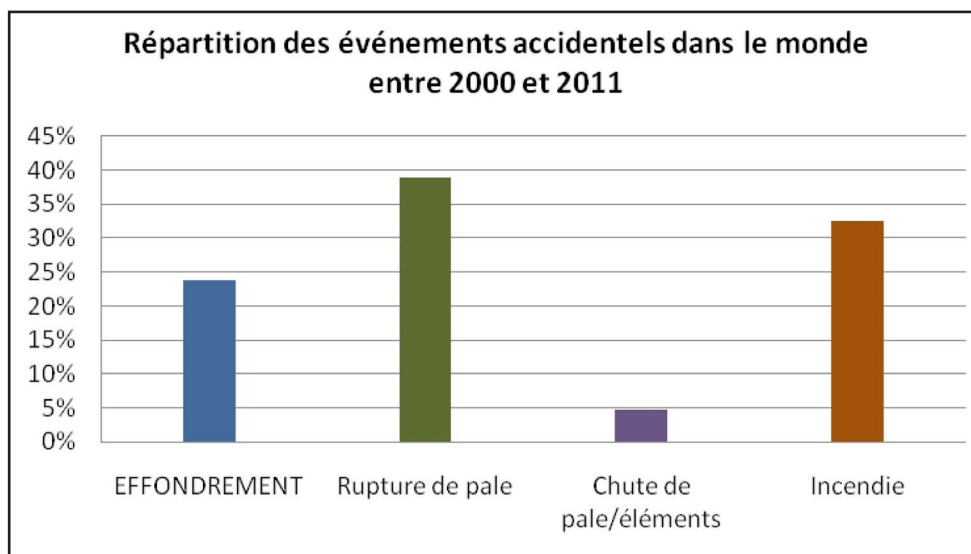


5.2. Inventaire des accidents et incidents à l'international

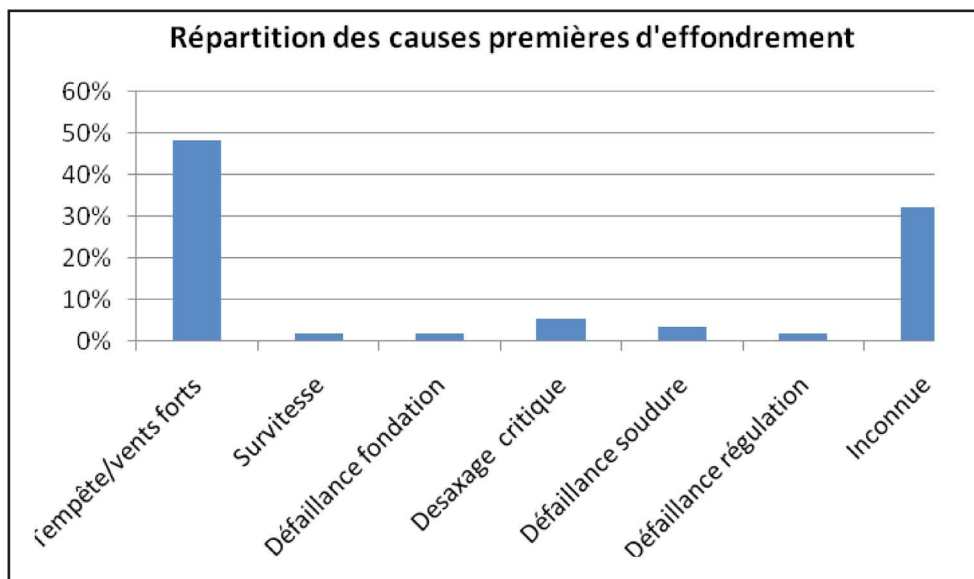
Un inventaire des incidents et accidents à l'international a également été réalisé. Il se base lui aussi sur le retour d'expérience de la filière éolienne fin 2010.

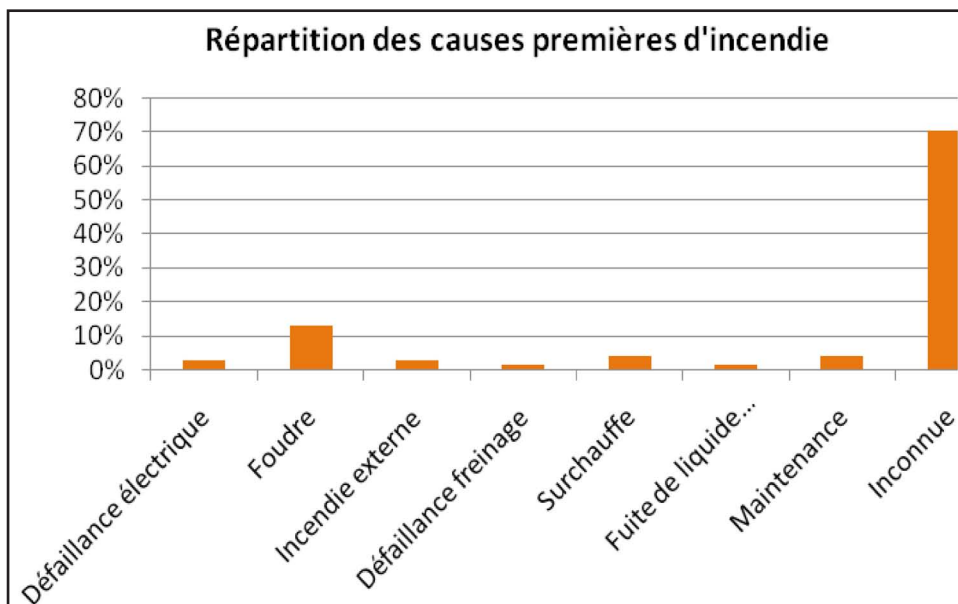
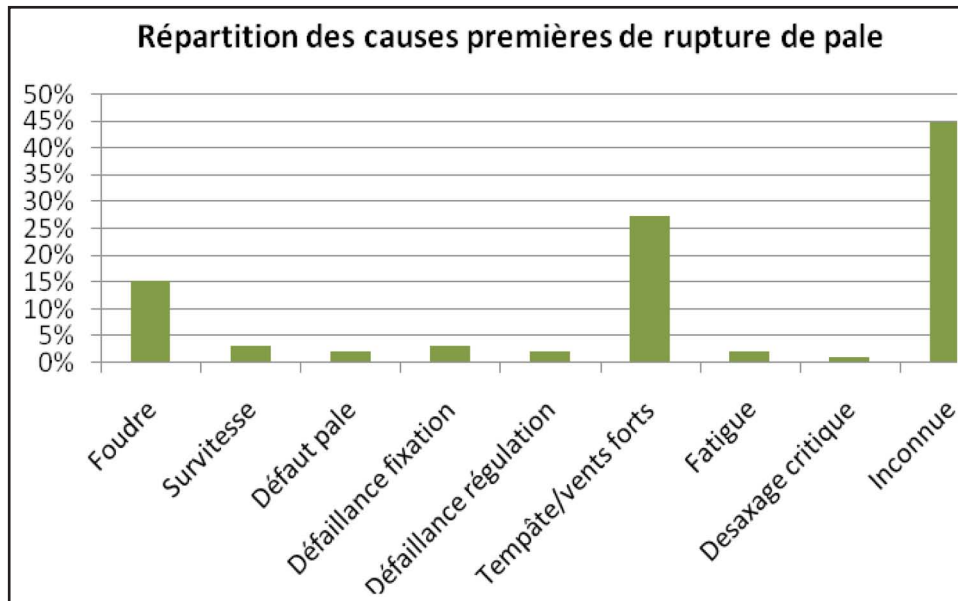
La synthèse ci-dessous provient de l'analyse de la base de données réalisée par l'association Caithness Wind Information Forum (CWIF). Sur les 994 accidents décrits dans la base de données au moment de sa consultation par le groupe de travail précédemment mentionné, seuls 236 sont considérés comme des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

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



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





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



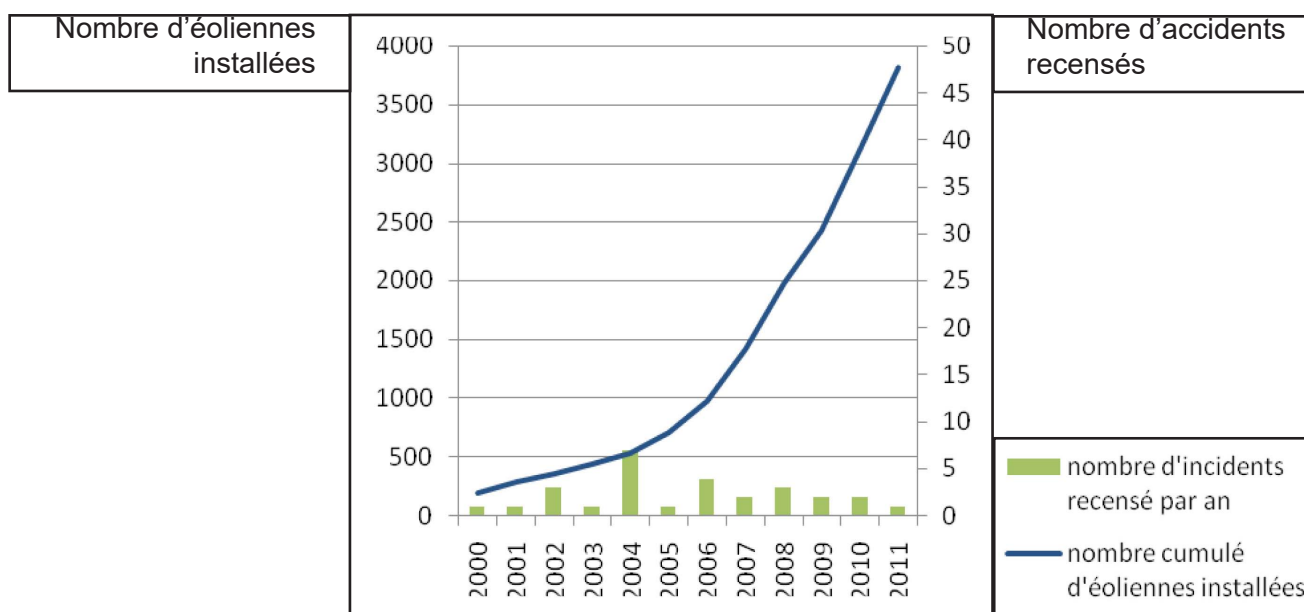
5.3. Synthèse des phénomènes dangereux redoutés issus du retour d'expérience

5.3.1. Analyse de l'évolution des accidents en France

À 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.



Évolution 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'accidents reste relativement constant.



5.3.2. Analyse des typologies d'accidents les plus fréquents

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

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

5.4. Limites d'utilisation de l'accidentologie

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

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

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



6. Analyse préliminaire des risques

6.1. Objectif de l'analyse préliminaire des risques

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

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

6.2. Recensement des événements initiateurs exclus de l'analyse des risques

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

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

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

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



6.3. Recensement des agressions externes potentielles

6.3.1. Agressions externes liées aux activités humaines

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

Infrastructure	Fonction	Événement redouté	Danger potentiel	Périmètre	Distance par rapport au mât des éoliennes
Voies de circulation non structurantes	Transport	Accident entraînant la sortie de voie d'un ou plusieurs véhicules	Énergie cinétique des véhicules et flux thermiques	200 m	NA

6.3.2. Agressions externes liées aux phénomènes naturels

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

Agression externe	Intensité
Séisme	Zone de sismicité 1 (très faible)
Vents et tempête	Le site n'est pas concerné par un risque potentiel de tempête et de grains. L'emplacement n'est pas compris dans une zone affectée par des cyclones tropicaux.
Foudre	Les éoliennes respectent la norme IEC 61400-24 (juin 2010)
Glissement de sols/ affaissement miniers	Le risque «gonflement des argiles» est : - à priori nul pour une éolienne (EOL 1), - moyen pour quatre éoliennes (EOL 2-4-5-6), - fort pour une éolienne (EOL 3)



6.4. Scénarios étudiés dans l'analyse préliminaire des risques

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

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

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

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

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



N°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
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	Échauffement 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	Échauffement 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 SF ₆) 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 SF ₆) Propagation de l'incendie	2
I07	Défaut d'étanchéité	Perte de confinement	Fuites d'huile isolante	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Incendie au poste de transformation Propagation de l'incendie	2
F01	Fuite système de lubrification Fuite convertisseur Fuite transformateur	Écoulement 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°	Événement initiateur	Événement intermédiaire	Événement redouté central	Fonction de sécurité (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
F02	Renversement de fluides lors des opérations de maintenance	Écoulement	Infiltration d'huile dans le sol	Prévention et rétention des fuites (N°8)	Pollution environnement	1
C01	Défaut de fixation	Chute de trappe	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Impact sur cible	1
C02	Défaillance fixation anémomètre	Chute anémomètre	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction ' exploitation) (N°9)	Impact sur cible	1
C03	Défaut fixation nacelle ' pivot central ' mât	Chute nacelle	Chute d'élément de l'éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction ' exploitation) (N°9)	Impact sur cible	1
P01	Survitesse	Contraintes trop importante sur les pales	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la survitesse (N°4)	Impact sur cible	2
P02	Fatigue Corrosion	Chute de fragment de pale	Projection de tout ou partie pale	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Impact sur cible	2
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 (intitulé générique)	Phénomène dangereux	Qualification de la zone d'effet
E03	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
E04	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
E05	Vents forts	Défaillance fondation	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction ' exploitation) (N°9) Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort (N°12) Dans les zones cycloniques, mettre en place un système de prévision cyclonique et équiper les éoliennes d'un dispositif d'abattage et d'arrimage au sol (N°13)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E06	Fatigue	Défaillance mât	Effondrement éolienne	Prévenir la dégradation de l'état des équipements (N°11)	Projection/chute fragments et chute mât	2
E07	Désaxage critique du rotor	Impact pale mât	Effondrement éolienne	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation) (N°9) Prévenir les erreurs de maintenance (N°10)	Projection/chute fragments et chute mât	2

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



6.5. Effets dominos

Lors d'un accident majeur sur une éolienne, une possibilité est que les effets de cet accident endommagent d'autres installations. Ces dommages peuvent conduire à un autre accident. Par exemple, la projection de pale impactant les canalisations d'une usine à proximité peut conduire à des fuites de canalisations de substances dangereuses. Ce phénomène est appelé « effet domino ». Les effets dominos susceptibles d'impacter les éoliennes sont décrits dans le tableau d'analyse des risques générique présenté ci-dessus.

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

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

6.6. Mise en place des mesures de sécurité

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

- **Fonction de sécurité** : il est proposé ci-dessous un tableau par fonction de sécurité. Cet intitulé décrit l'objectif de la ou des mesure(s) de sécurité : il s'agira principalement de « empêcher, éviter, détecter, contrôler ou limiter » et sera en relation avec un ou plusieurs événements conduisant à un accident majeur identifié dans l'analyse des risques. Plusieurs mesures de sécurité peuvent assurer une même fonction de sécurité.
- **Numéro de la fonction de sécurité** : ce numéro vise à simplifier la lecture de l'étude de dangers en permettant des renvois à l'analyse de risque par exemple.
- **Mesures de sécurité** : cette ligne permet d'identifier les mesures assurant la fonction concernée. Dans le cas de systèmes instrumentés de sécurité, tous les éléments de la chaîne de sécurité sont présentés (détection + traitement de l'information + action).
- **Description** : cette ligne permet de préciser la description de la mesure de maîtrise des risques, lorsque des détails supplémentaires sont nécessaires.
- **Indépendance** («oui» ou «non») : cette caractéristique décrit le niveau d'indépendance d'une mesure de maîtrise des risques vis-à-vis des autres systèmes de sécurité et des scénarios d'accident. Cette condition peut être considérée comme remplie (renseigner «oui») ou non (renseigner «non»).
- **Temps de réponse** (en secondes ou en minutes) : cette caractéristique mesure le temps requis entre la sollicitation et l'exécution de la fonction de sécurité.
 - une mesure de maîtrise des risques remplissant la fonction de sécurité « limiter les conséquences d'un incendie » doit permettre de détecter un incendie et de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes ;
 - une seconde mesure maîtrise des risques remplissant la fonction de sécurité « limiter les



conséquences d'un incendie » doit permettre de détecter un incendie et de mettre en oeuvre une procédure d'arrêt d'urgence dans un délai de 60 minutes ;

- **Efficacité (100 % ou 0 %)** : l'efficacité mesure la capacité d'une mesure de maîtrise des risques à remplir la fonction de sécurité qui lui est confiée pendant une durée donnée et dans son contexte d'utilisation.
- **Test (fréquence)** : dans ce champ sont rappelés les tests/essais qui seront réalisés sur les mesures de maîtrise des risques. Conformément à la réglementation, un essai d'arrêt, d'arrêt d'urgence et d'arrêt à partir d'une situation de survitesse, sera réalisé avant la mise en service de l'aérogénérateur. Dans tous les cas, les tests effectués sur les mesures de maîtrise des risques seront tenus à la disposition de l'inspection des installations classées pendant l'exploitation de l'installation.
- **Maintenance (fréquence)** : ce critère porte sur la périodicité des contrôles qui permettront de vérifier la performance de la mesure de maîtrise des risques dans le temps. Pour rappel, la réglementation demande qu'à minima : un contrôle tous les ans soit réalisé sur la performance des mesures de sécurité permettant de mettre à l'arrêt, à l'arrêt d'urgence et à l'arrêt à partir d'une situation de survitesse et sur tous les systèmes instrumentés de sécurité.

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



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

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



Fonction de sécurité	Prévenir la survitesse	N° de la fonction de sécurité : 4
Mesures de sécurité	Détection de survitesse et système de freinage.	
Description	Systèmes de coupure s'enclenchant en cas de dépassement des seuils de vitesse prédéfinis, indépendamment du système de contrôle commande. Le système coupe l'alimentation électrique des pitch. Les condensateurs électriques du système de sécurité des pitchs se déchargent alors, activant la mise en drapeau des pales. L'éolienne s'arrête en 10 à 15 secondes.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Temps de détection < 1 minute L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur conformément aux dispositions de l'arrêté du 26 août 2011.	
Efficacité	100 %	
Tests	Test d'arrêt simple, d'arrêt d'urgence et de la procédure d'arrêt en cas de survitesse avant la mise en service des aérogénérateurs conformément à l'article 15 de l'arrêté du 26 août 2011. Un test de survitesse est également effectué lors de la mise en service de l'installation.	
Maintenance	Vérification du système au bout de 3 mois de fonctionnement puis contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011 (notamment de l'usure du frein et de pression du circuit de freinage d'urgence.) Maintenance de remplacement en cas de dysfonctionnement de l'équipement.	

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



Fonction de sécurité	Prévenir les effets de la foudre	N° de la fonction de sécurité : 6
Mesures de sécurité	Mise à la terre et protection des éléments de l'aérogénérateur.	
Description	<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, et un profilé conducteur est relié 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 télécommunication est protégée par des parasurtenseurs de ligne et une protection galvanique. Enfin, une liaison 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>	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Immédiat dispositif passif	
Efficacité	100 %	
Tests	/	
Maintenance	Contrôle visuel des pales et des éléments susceptibles d'être impactés par la foudre inclus dans les opérations de maintenance, conformément à l'article 9 de l'arrêté du 26 août 2011.	



Fonction de sécurité	Protection et intervention incendie	N° de la fonction de sécurité : 7
Mesures de sécurité	<p>Capteurs de températures sur les principaux composants de l'éolienne pouvant permettre, en cas de dépassement des seuils, la mise à l'arrêt de la machine</p> <p>Système de détection fumée relié au système SCADA qui émet une alarme au centre de contrôle ENERCON et prévient la Société d'Exploitation du Parc Eolien (SEPE) par SMS.</p> <p>Intervention des services de secours</p>	
Description	<p>La technologie Enercon sans boîte de vitesse permet de réduire le risque d'échauffement provoqué par frottement mécanique. En effet la génératrice ENERCON tourne environ à 20 tours par minute, alors que les génératrices entraînées par une boîte de vitesse tournent à environ 1500 tours par minute.</p> <p>De nombreux capteurs de températures sont présents à proximité de tous les composants critiques :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nacelle - Génératrice - Palier du moyeu - Mât - Armoires électriques - Transformateurs - Ventilateurs et éléments chauffants - Extérieur de la machine <p>Des seuils d'acceptabilité de niveau de températures sont prédéfinis dans le système de contrôle de l'éolienne pour chacun des capteurs.</p> <p>Des capteurs optiques de fumée sont placés en pied de mât et dans la nacelle. Leur déclenchement conduit à la mise en arrêt de la machine et au découplage du réseau électrique. De manière concomitante, un message d'alarme est envoyé au centre de télésurveillance ENERCON ainsi qu'à la SEPE par SMS, qui se charge de contacter les services d'urgence compétents.</p> <p>L'éolienne est également équipée d'extincteurs qui peuvent être utilisés par les personnels d'intervention (cas d'un incendie se produisant en période de maintenance)</p>	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	<p>< 1 minute pour les détecteurs et l'enclenchement de l'alarme.</p> <p>L'exploitant ou l'opérateur désigné sera en mesure de transmettre l'alerte aux services d'urgence compétents dans un délai de 15 minutes suivant l'entrée en fonctionnement anormal de l'aérogénérateur. Le temps d'intervention des services de secours est quant à lui dépendant de la zone géographique.</p>	
Efficacité	100 %	
Tests	Les capteurs optiques de fumée sont testés annuellement (détection volontaire).	
Maintenance	<p>Contrôle annuel conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011.</p> <p>Le matériel incendie (type extincteurs) est contrôlé périodiquement par le fabricant du matériel ou un organisme extérieur.</p> <p>Maintenance curative suite à une défaillance du matériel.</p>	



Fonction de sécurité	Prévention et rétention des fuites	N° de la fonction de sécurité : 8
Mesures de sécurité	Utilisation d'une très faible quantité d'huile (absence de boîte de vitesses) Présence de rétention pour les composants critiques DéTECTEURS de niveau d'huiles	
Description	Nombreux détecteurs de niveau d'huile permettant de détecter les éventuelles fuites d'huile et d'arrêter l'éolienne en cas d'urgence. Les opérations de 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.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	Instantané	
Efficacité	100 %	
Tests	/	
Maintenance	Inspection des niveaux d'huile plusieurs fois par an et de l'état des rétentions plusieurs fois par an.	

Fonction de sécurité	Prévenir les défauts de stabilité de l'éolienne et les défauts d'assemblage (construction - exploitation)	N° de la fonction de sécurité : 9
Mesures de sécurité	Contrôles réguliers des fondations et des différentes pièces d'assemblages (ex : brides ; joints, etc.) ProcéDURES qualités Attestation du contrôle technique (procédure permis de construire)	
Description	La norme IEC 61 400-1 «Exigence pour la conception des aérogénérateurs» fixe les prescriptions propres à fournir «un niveau approprié de protection contre les dommages résultant de tout risque durant la durée de vie» de l'éolienne. Ainsi la nacelle, le nez, les fondations et la tour répondent au standard IEC 61 400-1. Les pales respectent le standard IEC 61 400-1 ; 12 ; 23. Les éoliennes sont protégées contre la corrosion due à l'humidité de l'air, selon la norme ISO 9223.	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	NA	
Efficacité	100 %	
Tests	NA	
Maintenance	Les couples de serrage (brides sur les diverses sections de la tour, bride de raccordement des pales au moyeu, bride de raccordement du moyeu à l'arbre lent, éléments du châssis, éléments du pitch system, couronne du Yam Gear, boulons de fixation de la nacelle) sont vérifiés au bout de 3 mois de fonctionnement puis tous les 3 ans, conformément à l'article 18 de l'arrêté du 26 août 2011.	



Fonction de sécurité	Prévenir les erreurs de maintenance	N° de la fonction de sécurité : 10
Mesures de sécurité	Procédure maintenance	
Description	Préconisations du manuel de maintenance Formation du personnel	
Indépendance	Oui	
Temps de réponse	NA	
Efficacité	100 %	
Tests	<p>Il existe des manuels de maintenance spécifiques à chaque modèle d'éolienne. Tout personnel amené à intervenir dans les éoliennes est formé et habilité :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Electriciquement, selon son niveau de connaissance ; - Aux travaux en hauteur, port des EPI, évacuation et sauvetage ; - Sauveteur Secouriste du Travail. <p>Ces habilitations sont recyclées périodiquement suivant la réglementation ou les recommandations en vigueur.</p> <p>Des contrôles des connaissances sont réalisés afin de vérifier la validité de ces habilitations.</p> <p>Des points mensuels concernant la sécurité et les procédures sont effectués avec l'ensemble du personnel de maintenance. Une présentation du fonctionnement de la sécurité est réalisée auprès des nouveaux embauchés.</p>	
Maintenance	NA	

Fonction de sécurité	Prévenir les risques de dégradation de l'éolienne en cas de vent fort	N° de la fonction de sécurité : 11
Mesures de sécurité	<p>Classe d'éolienne adaptée au site et au régime de vents.</p> <p>Détection et prévention des vents forts et tempêtes</p> <p>Déclenchement du mode tempête = diminution de la prise au vent progressive des pales et arrêt automatique au-delà d'une certaine vitesse de vent.</p>	
Description	<p>Procédure « site vérification » : une étude de vent est menée sur un an afin de vérifier l'adéquation effective des machines. En cas de doute sur l'adéquation des aérogénérateurs, le site est modélisé et une étude de charge est effectuée.</p> <p>Le mode tempête s'enclenche au-delà d'une certaine vitesse de vent, permettant à l'éolienne de continuer à produire mais à puissance réduite. L'éolienne s'arrête complètement au-delà d'un autre seuil de vitesse de vent.</p>	
Indépendance	<p>Oui</p> <p>Ces systèmes s'appuient sur des fonctions et des appareils propres à l'exploitation du parc. Ces données sont cependant analysées par l'automate de sécurité embarqué sur chaque éolienne, dont le rôle est dédié à la sécurité de l'installation.</p>	
Temps de réponse	< 1 min	



Efficacité	100 %. NB : En fonction de l'intensité attendue des vents, d'autres dispositifs de diminution de la prise au vent de l'éolienne peuvent être envisagés. Si le site est trop turbulent ou les machines trop rapprochées entre elles, il est possible de mettre en place des arrêts sectoriels pour limiter l'impact de la turbulence sur les machines.
Tests	Procédure de « Site Verification » (contrôle de l'adéquation par rapport à des mesures de fonctionnement)
Maintenance	Les paramètres d'entrée en cas d'arrêt sectoriel sont régulièrement mis à jour et contrôlés lors des modifications d'hardware ou de software. L'usure de l'éolienne est contrôlée à chaque maintenance.

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

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

Notamment, une vérification de l'état fonctionnel des équipements de mise à l'arrêt, de mise à l'arrêt d'urgence et de mise à l'arrêt depuis un régime de survitesse est réalisée tous les ans.



6.7. Conclusion de l'analyse préliminaire des risques

Dans le cadre de l'analyse préliminaire des risques génériques des parcs éoliens, quatre catégories de scénarios sont a priori exclus 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/m² n'est pas atteinte. Dans le cas d'un incendie au niveau du mât les effets sont également mineurs et l'arrêté du 26 août 2011 encadre déjà largement la sécurité des installations. Ces effets ne sont donc pas étudiés dans l'étude détaillée des risques.</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 dont la tenue au feu est de 2h) 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 et impose le respect des normes NFC 15-100, NFC 13-100 et NFC 13-200)</p>
Chute et projection de glace dans les cas particuliers où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C	<p>Lorsqu'un aérogénérateur est implanté sur un site où les températures hivernales ne sont pas inférieures à 0°C, il peut être considéré que le risque de chute ou de projection de glace est nul.</p> <p>Des éléments de preuves doivent être apportés pour identifier les implantations où de telles conditions climatiques sont applicables.</p>
Infiltration d'huile dans le sol	<p>En cas d'infiltration d'huiles dans le sol, les volumes de substances libérées dans le sol restent mineurs compte tenu de la technologie mise en œuvre ne nécessitant que quelques litres d'huile dans les machines (35 litres dans la nacelle). Le transformateur contient 600 litres d'huile, il est toujours installé avec un système étanche de récupération des huiles (goulotte, puisard).</p> <p>Ce scénario peut ne pas être détaillé dans le chapitre de l'étude détaillée des risques.</p>

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

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

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



7. Étude détaillée des risques

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

L'étude détaillée permet de vérifier l'acceptabilité des risques potentiels générés par l'installation.

7.1. Rappel des définitions

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

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

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

Cette circulaire précise en son point 1.2.2 qu'à l'exception de certains explosifs pour lesquels les effets de projection présentent un comportement caractéristique à faible distance, les projections et chutes liées à des ruptures ou fragmentations ne sont pas modélisées en intensité et gravité dans les études de dangers.

Force est néanmoins de constater que ce sont les seuls phénomènes dangereux susceptibles de se produire sur des éoliennes.

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

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

7.1.1. Cinétique

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

Selon l'article 8 de l'arrêté du 29 septembre 2005, 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.



7.1.2. Intensité

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

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

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

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

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

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

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

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

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



7.1.3. Gravité

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

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

7.1.4. Probabilité

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

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



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

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

Il convient de noter que la probabilité qui sera évaluée pour chaque scénario d'accident correspond à la probabilité qu'un événement redouté se produise sur l'éolienne (probabilité de départ) et non à la probabilité que cet événement produise un accident suite à la présence d'un véhicule ou d'une personne au point d'impact (probabilité d'atteinte).

En effet, l'arrêté du 29 septembre 2005 impose une évaluation des probabilités de départ uniquement. Cependant, on pourra rappeler que la probabilité qu'un accident sur une personne ou un bien se produise est très largement inférieure à la probabilité de départ de l'événement redouté.

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

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

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

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

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

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

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

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

GRAVITÉ

Tableau de définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005, permettant de définir les différentes classes de gravité

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



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, est utilisée.

Gravité traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées	Classe de Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	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 maîtrisé (jaune)** : niveau auquel les risques identifiés sont maîtrisés par la mise en œuvre de mesures de sécurité ;
- **Risque important (rouge)** : niveau auquel les risques identifiés sont non acceptables.

7.2. Caractérisation des scénarios retenus

Le projet de parc éolien de Champguyon est composé d'éoliennes de type Enercon d'une hauteur maximale de 150 mètres.

Pour réaliser les calculs de l'étude de dangers, il a été décidé de choisir le modèle E-138 avec une hauteur totale maximale de 150 mètres, la plus contraignante car la plus importante en termes de dimension.

Les notations utilisées dans ce scénario sont les suivantes :

- R est la longueur de pale (R = 67 m) ;
- H la hauteur du mât (H = 85 m) ;
- L la largeur du mât (L = 5 m) ;
- LB est la largeur maximale d'une pale (largeur à la base) (LB = 4 m)



7.2.1. Effondrement de l'éolienne

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	$4,5 \times 10^{-4}$	Retour d'expérience
Specification of minimum distances	$1,8 \times 10^{-4}$ (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*, soit une probabilité de $4,47 \times 10^{-4}$ par éolienne et par an.

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

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

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

Ces mesures de 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».

* 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.



ZONE D'EFFET

La zone d'effet de l'effondrement d'une éolienne correspond à une surface circulaire de rayon égal à la hauteur de l'éolienne (H + R), soit 150 m dans le cas du projet éolien de Champguyon.

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.

$$\text{Zone d'effet: } Z_E = \pi \times (H + R)^2 = 72\,584 \text{ m}^2$$

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.

$$\text{Zone d'impact: } Z_I = H * L + 3 * R * LB / 2 = 827 \text{ m}^2$$

INTENSITÉ

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

Le tableau ci-dessous permet d'évaluer l'intensité du phénomène d'effondrement de l'éolienne.

Effondrement de l'éolienne			
Zone d'impact	Zone d'effet du phénomène étudié	Degré d'exposition du phénomène étudié en %	Intensité
827 m ²	72 584 m ²	Zone impact/Zone effet = 1,14 % (Entre 1 % et 5 %)	Exposition forte

L'intensité du phénomène d'effondrement est considérée comme une **exposition forte** dans la zone d'effet et est nulle au-delà de la zone d'effondrement.



GRAVITÉ

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

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

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

La zone d'effet du phénomène est de 7,3 hectares. Elle est principalement constituée de terrains non aménagés avec quelques chemins agricoles qui sont présents dans la zone étudiée.

Le nombre de personne permanente est donc de : au plus 1 personne exposée.

La gravité associée est Sérieux.

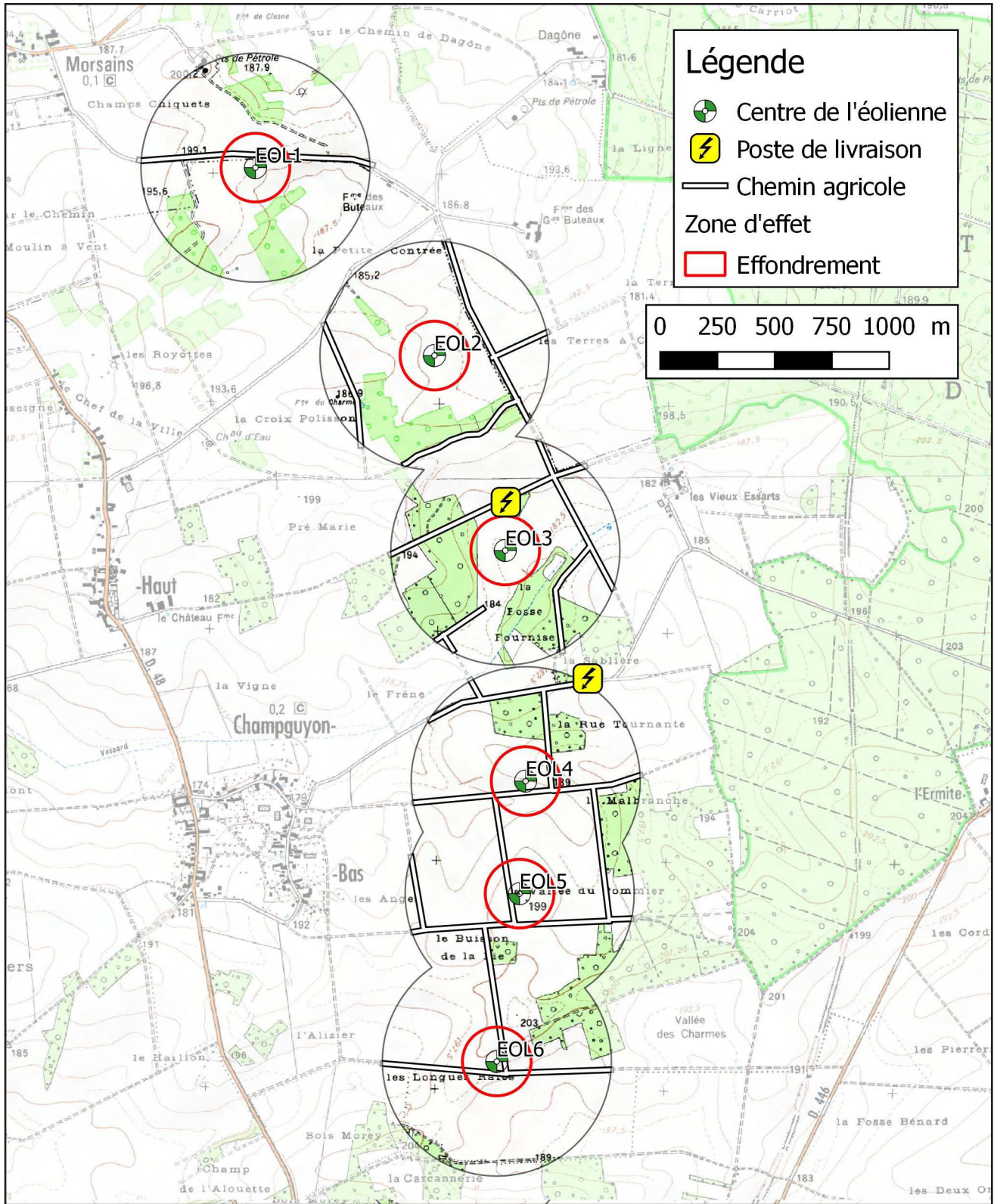
ACCEPTABILITÉ

Le tableau suivant rappelle la gravité associée et le niveau de risque.

Effondrement de l'éolienne (dans un rayon inférieur ou égal à la hauteur totale de l'éolienne en bout de pale)			
Éolienne	Probabilité	Gravité	Niveau de risque
1-2-3-4-5-6	D	Sérieux	Acceptable

Ainsi, pour le projet éolien, le phénomène d'effondrement constitue un risque **acceptable** pour les personnes.

Gravité traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées	Classe de Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	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	X	Yellow	Yellow	Red
Modéré	Green	Green	Green	Green	Yellow



Carte : Effondrement des éoliennes (150m)



7.2.2. Chute d'éléments de l'éolienne

PROBABILITÉ

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

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

ZONE D'EFFET

La chute d'élément 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.

$$\text{Zone d'effet: } Z_E = \pi * R^2 = 14\ 103 \text{ m}^2$$

ZONE D'IMPACT

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

$$\text{Zone d'impact: } Z_I = R * LB/2 = 134 \text{ m}^2$$

INTENSITÉ

Pour le phénomène de chute d'élément, 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).

Chute d'élément de l'éolienne			
Zone d'impact	Zone d'effet	Degré d'exposition	Intensité
$Z_I = R * LB/2 = 134 \text{ m}^2$	$Z_E = \pi * R^2 = 14\ 103 \text{ m}^2$	$d = Z_I/Z_E = 0,95 \%$ (inférieur à 1 %)	Exposition modérée

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



GRAVITÉ

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005, il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute d'élément de l'éolienne dans le rayon inférieur ou égal au survol des pales de l'éolienne.

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

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

La zone d'effet du phénomène est de 1,4 hectare. Elle est principalement constituée de terrains non aménagés avec quelques chemins agricoles qui sont présents dans la zone étudiée.

Le nombre de personne permanente est donc : inférieure à 1 personne exposée.

La gravité associée est Modéré.

ACCEPTABILITÉ

Le tableau suivant rappelle la gravité associée et le niveau de risque.

Chute d'élément de l'éolienne		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
1-2-3-4-5-6	Modéré	Acceptable

Ainsi, pour le projet éolien, le phénomène de chute d'élément constitue un risque **acceptable** pour les personnes.

Gravité traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées	Classe de Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	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	X	Green	Yellow



7.2.3. Chute de glace

Considération générale

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

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

Le projet éolien se situe dans une zone de « risque faible » pour le gel avec moins de 1 jour par an. Lors des périodes de dégel qui suivent les périodes de grand froid, des chutes de glace peuvent se produire depuis la structure de l'éolienne (nacelle, pales). Normalement, le givre qui se forme en fine pellicule sur les pales de l'éolienne fond avec le soleil. En cas de vents forts, des morceaux de glace peuvent se détacher. Ils se désagrègent généralement avant d'arriver au sol. Ce type de chute de glace est similaire à ce qu'on observe sur d'autres bâtiments et infrastructures.

PROBABILITÉ

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

ZONE D'EFFET

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

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

$$\text{Zone d'effet: } Z_E = \pi \times R^2 = 14\,103 \text{ m}^2$$

INTENSITÉ

Pour le phénomène de chute de glace, le degré d'exposition correspond au ratio entre la surface d'un morceau de glace de 1 m^2 et la superficie de la zone d'effet du phénomène (zone de survol).

Zone d'impact	Zone d'effet	Degré d'exposition	Intensité
$Z_I = SG = 1 \text{ m}^2$	$Z_E = \pi \times R^2 = 14\,103 \text{ m}^2$	$d = Z_I/Z_E = 0,007 \% (< 1\%)$	Exposition modérée

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



GRAVITÉ

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005, il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de chute de glace dans le rayon inférieur ou égal au survol des pales de l'éolienne.

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

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

La zone d'effet du phénomène est de 1,4 hectare. Elle est principalement constituée de terrains non aménagés avec quelques chemins agricoles qui sont présents dans la zone étudiée.

Le nombre de personne permanente est donc : inférieure à 1 personne exposée.

La gravité associée est Modéré.

ACCEPTABILITÉ

Le tableau suivant rappelle la gravité associée et le niveau de risque.

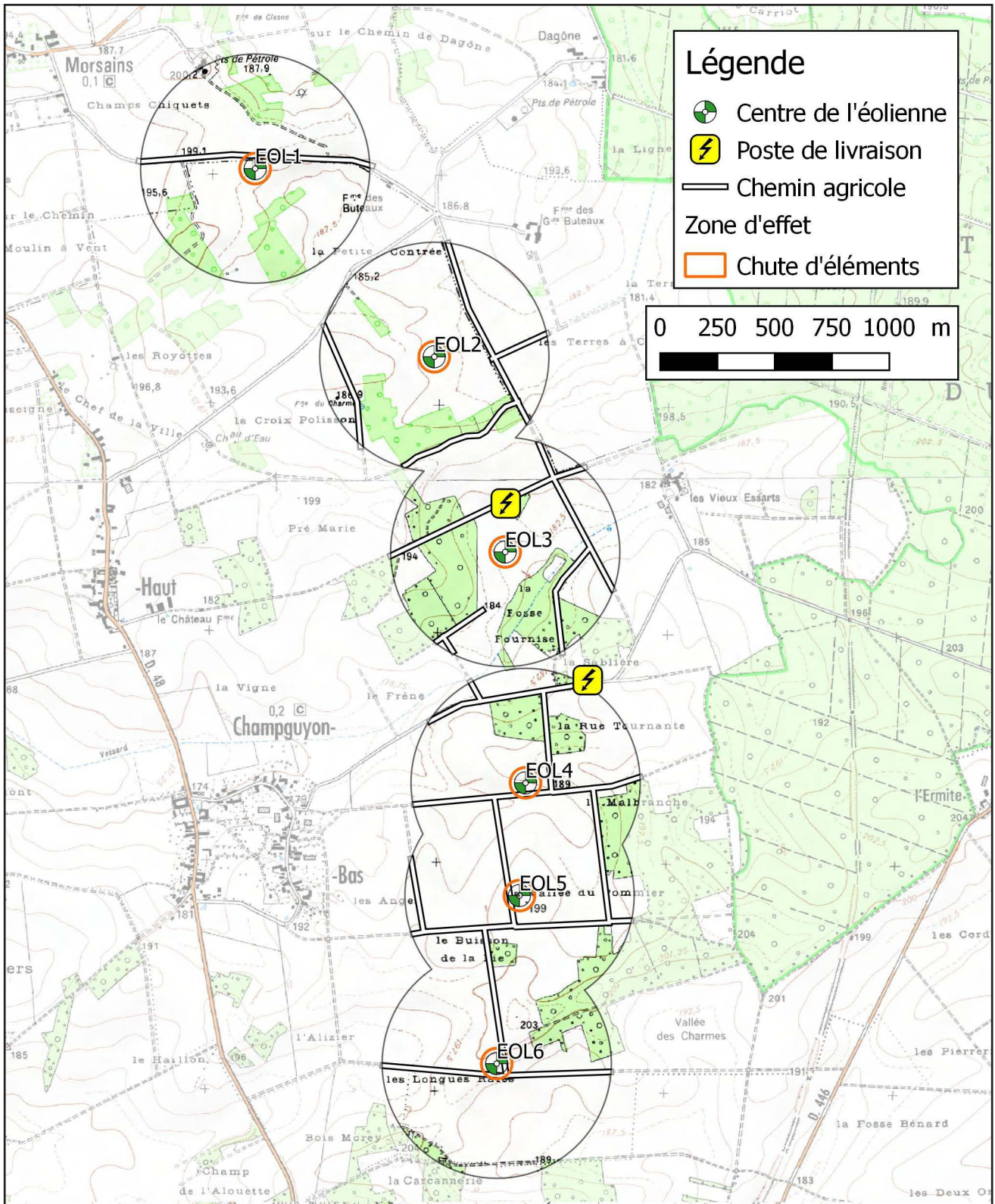
Chute de glace		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
1-2-3-4-5-6	Modéré	Acceptable

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

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

Cette mesure permettra de réduire les risques pour les personnes potentiellement présentes sur le site lors des épisodes de grand froid.

Gravité traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées	Classe de Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	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	X



Carte : Chute d'éléments et chute de glace de l'éolienne (67m)



7.2.4. Projection de glace

PROBABILITÉ

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

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

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

*Une étude spécifique par rapport aux conditions du site d'implantation du projet pourra permettre de justifier une **probabilité de classe C** en cas de présence d'un système de chauffage des pales sur les aérogénérateurs.*

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 projectile, il n'existe pas d'information dans l'accidentologie.

L'étude WECO propose une distance d'effet en 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 :

$$\text{Distance d'effet} = R_{PG} = 1,5 \times (\text{hauteur de moyeu} + \text{diamètre de rotor}) = 334,5 \text{ m}$$

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

$$\text{Zone d'effet: } Z_E = \pi \times R_{PG}^2 = 351\,514 \text{ m}^2$$

INTENSITÉ

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

Projection de morceaux de glace			
Zone d'impact	Zone d'effet	Degré d'exposition	Intensité
$Z_I = SG = 1 \text{ m}^2$	$Z_E = \pi \times 1,5 \times (H + 2 \times R)^2 = 351\,514 \text{ m}^2$	$d = Z_I / Z_E = 2,84 \times 10^{-4} \%$	Exposition modérée



GRAVITÉ

En fonction de cette intensité et des définitions issues de l'arrêté du 29 septembre 2005, il est possible de définir les différentes classes de gravité pour le phénomène de projection de glace.

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

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

La zone d'effet du phénomène est de 35 hectares. Elle est principalement constituée de terrains non aménagés avec quelques chemins agricoles qui sont présents dans la zone étudiée.

Le nombre de personne permanente est donc : inférieure à 1 personne exposée.

La gravité associée est Modéré.

ACCEPTABILITÉ

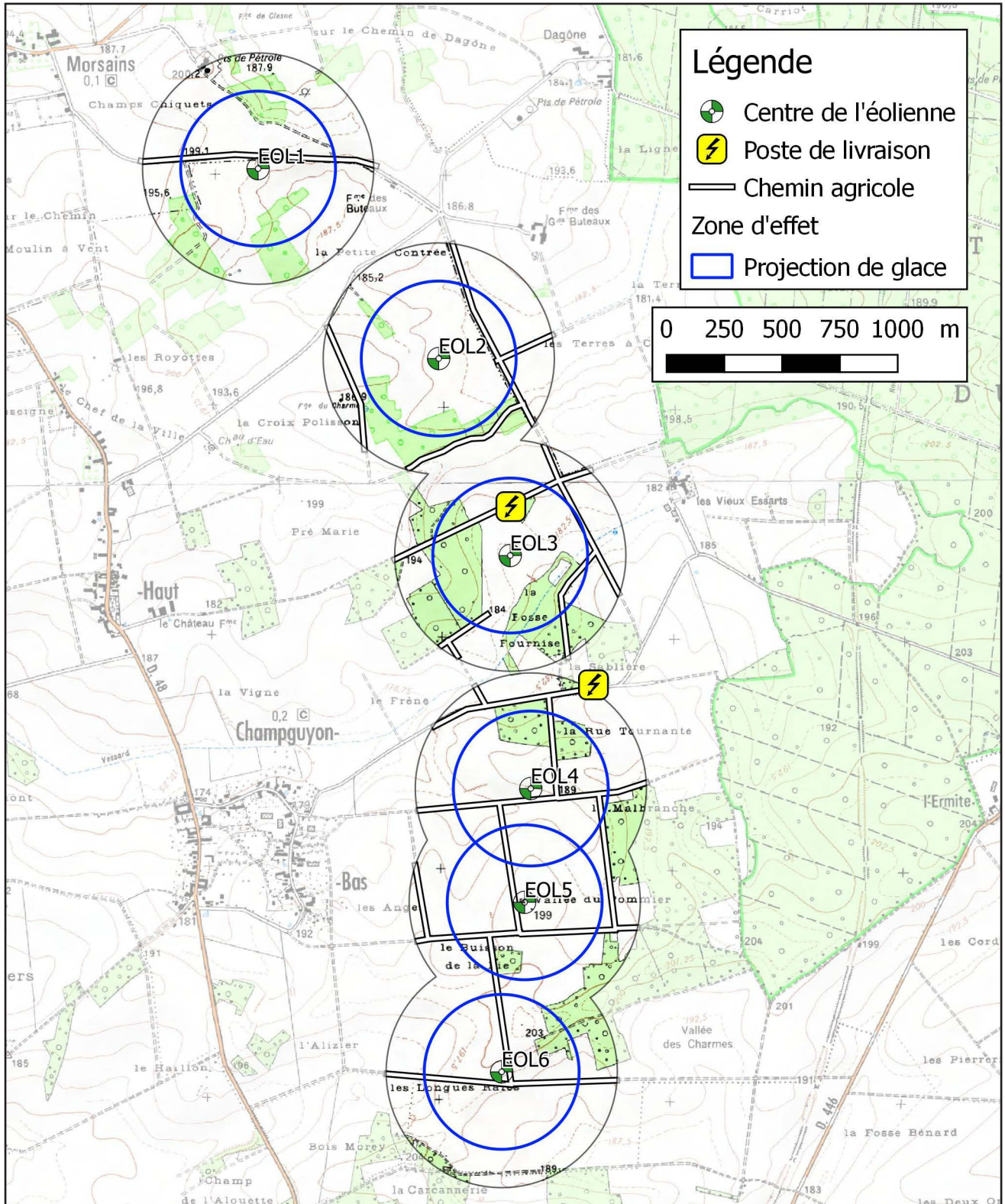
Le tableau suivant rappelle la gravité associée et le niveau de risque.

Projection de morceaux de glace			
Éolienne	Gravité	Présence de système d'arrêt en cas de détection ou déduction de glace et de procédure de redémarrage	Niveau de risque
1-2-3-4-5-6	Modéré	Oui	Acceptable

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

L'installation d'un système de chauffage de pale n'apparaît pas nécessaire à ce stade de l'étude. La possibilité de mettre en place ce système pourra être revue si cela s'avère opportun au moment de la construction du parc.

Gravité traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées	Classe de Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	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 X	Yellow



Carte : Projection de glace de l'éolienne (335m)



7.2.5. Projection de pale ou de fragments de pale

PROBABILITÉ

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

Source	Fréquence	Justification
Site specific hazard assesment for a wind farm project	1×10^{-6}	Respect de l'Eurocode EN 1990 – Basis of structural design
Guide for risk based zoning of wind turbines	$1, 1 \times 10^{-3}$	Retour d'expérience au Danemark (1984-1992) et en Allemagne (1989-2001)
Specification of minimum distances	$6,1 \times 10^{-4}$	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 61400-24 et EN 62 305-3 relatives à la foudre
- système de détection des survitesses et un système redondant de freinage
- système de détection des vents forts et un système redondant de freinage et de mise en sécurité des installations, un système adapté est installé en cas de risque cyclonique
- utilisation de matériaux résistants pour la fabrication des pales (fibre de verre ou de carbone, résines, etc.)

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

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

ZONE D'EFFET

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

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).

Projection de pale ou de fragment de pale			
Zone d'impact	Zone d'effet	Degré d'exposition	Intensité
$Z_I = R \cdot LB / 2 = 134 \text{ m}^2$	$Z_E = \pi \times R^2 = 785\,398 \text{ m}^2$	$d = Z_I / Z_E = 0,017 \% (< 1\%)$	Exposition modérée

GRAVITÉ

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

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

La zone d'effet du phénomène est de 78,5 hectares. Elle est principalement constituée de terrains non aménagés avec quelques chemins agricoles qui sont présents dans la zone étudiée.

Le nombre de personne permanente est donc : inférieure à 1 personne exposée.

La gravité associée est Modéré.

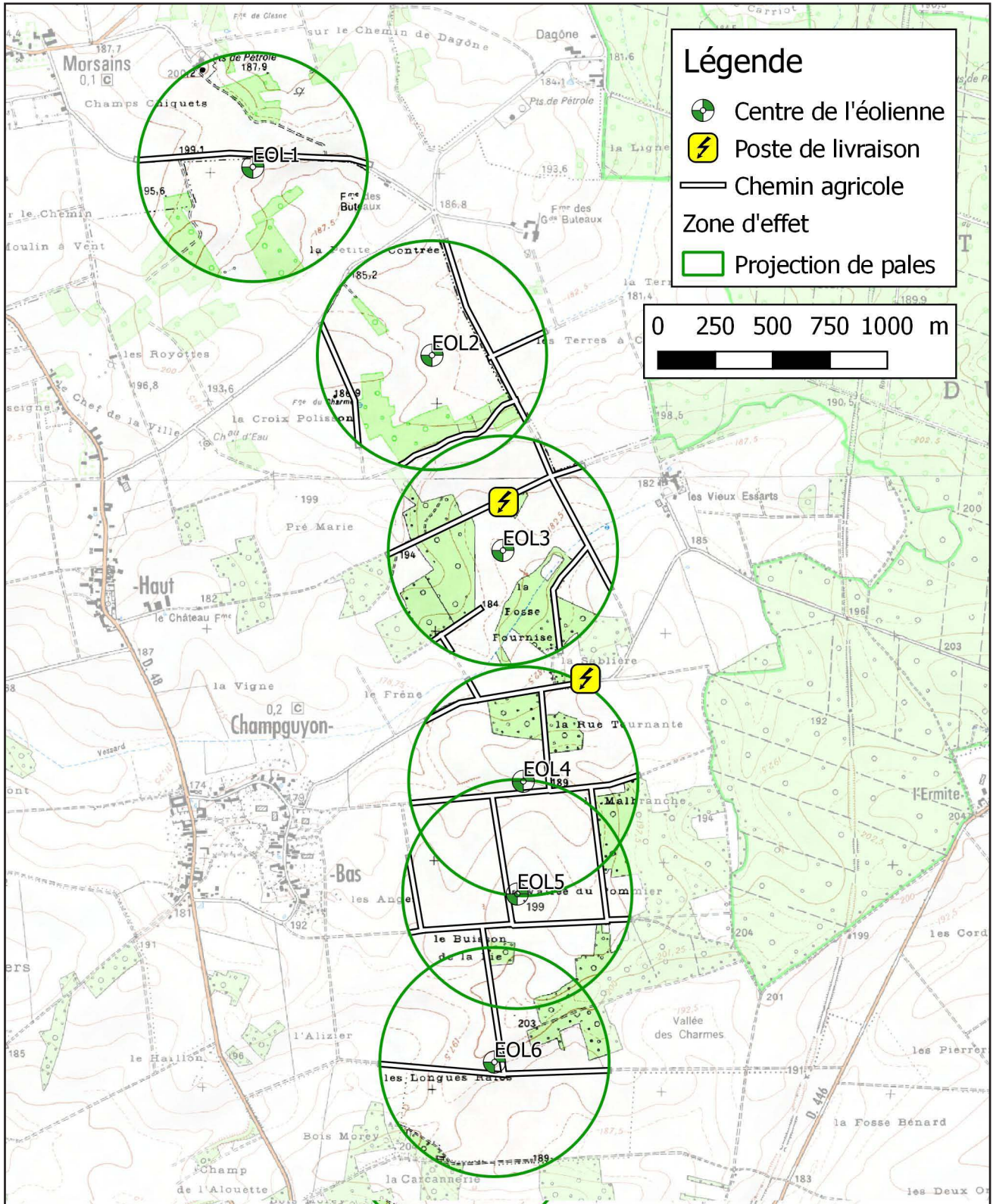
ACCEPTABILITÉ

Le tableau suivant rappelle, pour le projet éolien, la gravité associée et le niveau de risque.

Projection de pale ou de fragment de pale		
Éolienne	Gravité	Niveau de risque
1-2-3-4-5-6	Modéré	Acceptable

Ainsi, pour le projet éolien, le phénomène de projection de pale ou de fragment de pale constitue un risque **acceptable** pour les personnes.

Gravité traduit l'intensité et le nombre de personnes exposées	Classe de Probabilité (sens croissant de E vers A)				
	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	X	Green	Green	Yellow



Carte : Projection de pale de l'éolienne (500m)



7.3. Synthèse de l'étude détaillée des risques

7.3.1. Tableau de synthèse des paramètres de risques

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

La cinétique est considérée comme rapide pour tous les scénarios.

Toutes les éoliennes du projet éolien de Champguyon ont les mêmes résultats et ne sont donc pas détaillées dans le tableau.

Scénario	Zone d'effet	Nombre de personnes permanentes	Intensité	Probabilité	Gravité	Niveau de Risque
Effondrement de l'éolienne	Disque de 150 m de rayon	Au plus 1	forte	D	Sérieux	Très Faible
Chute d'élément de l'éolienne	Disque de 138 m de diamètre	Inférieur à 1	modérée	C	Modéré	Très Faible
Chute de glace	Disque de 138 m de diamètre	Inférieur à 1	modérée	A	Modéré	Faible
Projection de glace	Disque de 334,5 m de rayon	Inférieur à 1	modérée	B	Modéré	Très Faible
Projection de pale ou de fragments de pale	Disque de 500 m de rayon	Inférieur à 1	modérée	D	Modéré	Très Faible

7.3.2. Synthèse de l'acceptabilité des risques

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

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

Légende de la matrice

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



GRAVITÉ des conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		Effondrement de l'éolienne			
Modéré		Projection de pales ou de fragments de pale	Chute d'éléments de l'éolienne	Projection de glace	Chute de glace

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- aucun accident n'apparaît dans les cases rouges de la matrice : tous les événements sont donc classés acceptables,
- le cas de chute de glace figure en jaune, soit un risque faible,
- les autres événements sont tous dans les cases vertes, soit avec un risque très faible.

Pour le scénario de **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 et de projection 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).

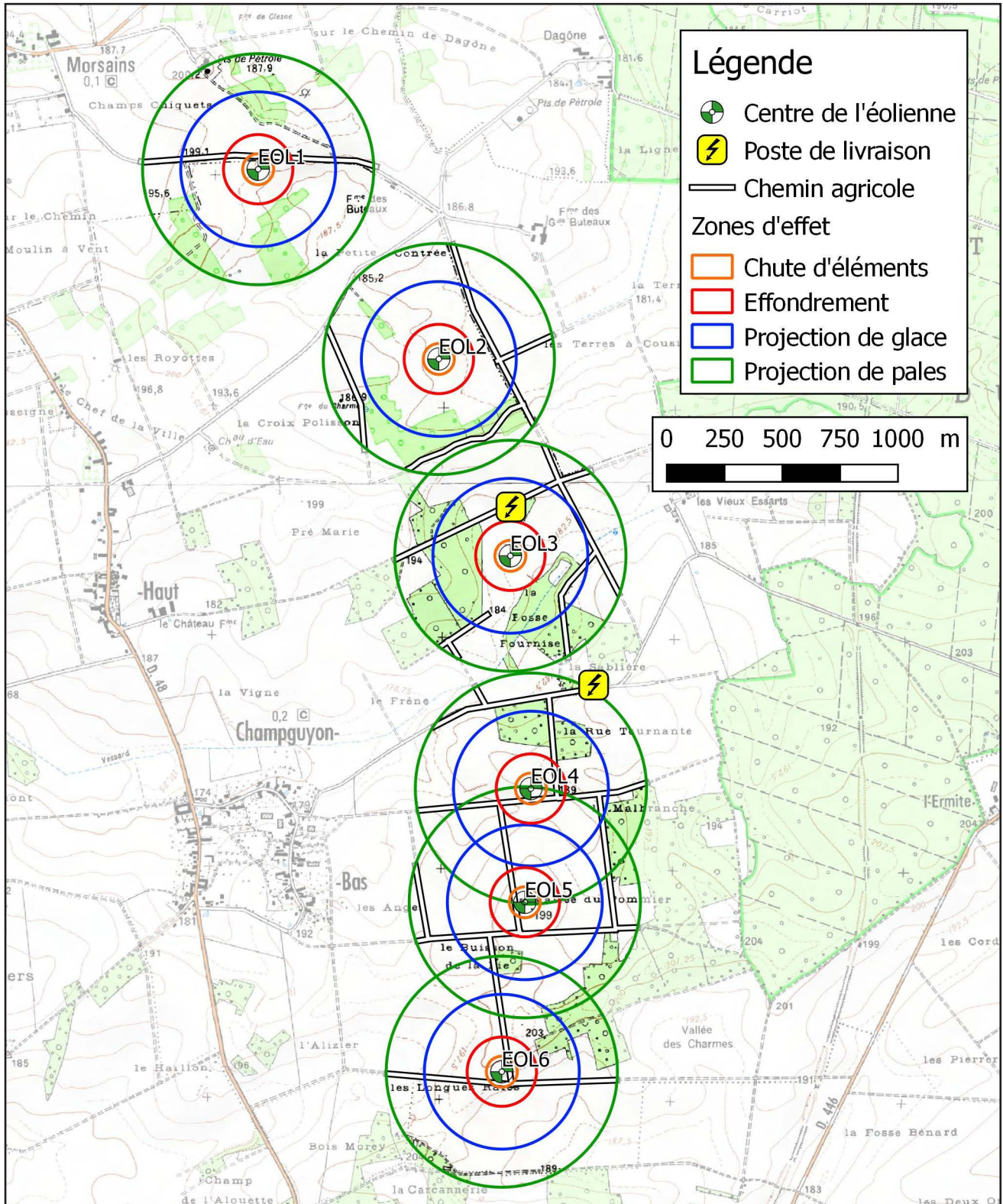
Aucun risque important ou non acceptable, n'a donc été identifié au travers de cette étude.

Cartographie des risques

L'intensité des phénomènes étudiés est forte pour l'effondrement de l'éolienne et modérée pour les autres scénarios.

La carte présente pour chaque aérogénérateur :

- les zones d'effet des phénomènes : effondrement, projection de glace / de pale, survol
- les enjeux présents dans les aires d'étude



Carte de synthèse des risques



7.4. Moyens de secours et d'intervention

7.4.1. Moyens internes

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

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

Le personnel est formé à l'utilisation des extincteurs.

7.4.2. Moyens externes

Le centre incendie et secours du SDIS le plus proche est situé à Sézanne, à environ 18 km du site.

7.4.3. Traitement de l'alerte

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

Liste des messages d'état principal ENERCON

Les messages d'état sont construits sous la forme de codes «état principal : sous état». 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.



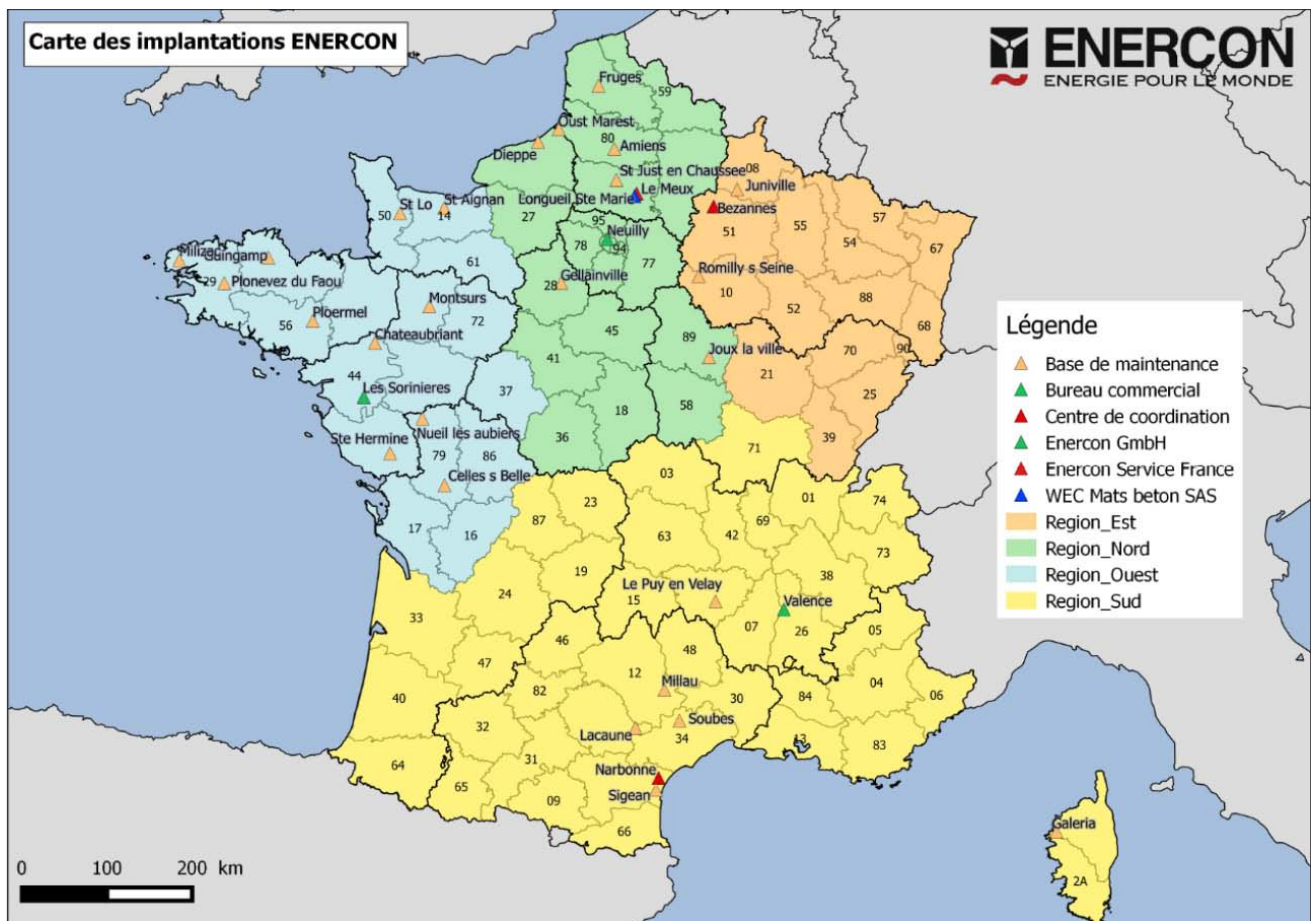
7.4.4. Implantation des bases de maintenance

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.

Base de maintenance	Romilly sur Seine (10)
Distance	35 km
Temps de trajet	35 minutes

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.



Carte des implantations Enercon en France



8. Conclusion

Le site d'implantation des éoliennes du projet de Champguyon est constitué pour la majeure partie de champs cultivés avec des chemins ruraux et d'exploitation et quelques boisements qui sont présents sur le site.

Le périmètre de 500 mètres autour de chaque mât d'éolienne est analysé pour recenser les enjeux à protéger.

Les principaux accidents majeurs identifiés concernent les accidents pouvant impacter des cibles humaines, ils sont :

- l'effondrement de la machine,
- la chute d'éléments,
- la chute de glace,
- la projection de pale ou de fragments de pale,
- la projection de glace.

Le tableau suivant récapitule les scénarios en fonction de la probabilité d'occurrence :

Scénario	Zone d'effet	Nombre de personnes permanentes	Intensité	Probabilité	Gravité	Niveau de Risque
Effondrement de l'éolienne	Disque de 150 m de rayon	Au plus 1	forte	D	Sérieux	Très Faible
Chute d'élément de l'éolienne	Disque de 138 m de diamètre	Inférieur à 1	modérée	C	Modéré	Très Faible
Chute de glace	Disque de 138 m de diamètre	Inférieur à 1	modérée	A	Modéré	Faible
Projection de glace	Disque de 334,5 m de rayon	Inférieur à 1	modérée	B	Modéré	Très Faible
Projection de pale ou de fragments de pale	Disque de 500 m de rayon	Inférieur à 1	modérée	D	Modéré	Très Faible



Légende de la matrice

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

GRAVITÉ des conséquences	Classe de Probabilité				
	E	D	C	B	A
Désastreux					
Catastrophique					
Important					
Sérieux		Effondrement de l'éolienne			
Modéré		Projection de pales	Chute d'éléments de l'éolienne	Projection de glace	Chute de glace

Il apparaît au regard de la matrice ainsi complétée que :

- **tous les événements sont acceptables**,
- les cas de chute de glace et de chute d'élément de l'éolienne représentent un risque **faible** et tous les autres cas représentent des risques **très faibles**.

Les événements analysés présentent tous des risques acceptables. Les risques de chute de glace et de chute d'élément de l'éolienne sont maîtrisés et les mesures de sécurité recommandées seront mises en place.

En conclusion, le projet éolien de Champguyon présente des niveaux de risques acceptables.



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

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

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

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

Terrains non bâtis

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

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

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

Les voies de circulation n'ont à être prises en considération que si elles sont empruntées par un nombre significatif de personnes. En effet, les voies de circulation non structurantes (< 2000 véhicules/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.

Établissements 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 rencontrera pas en pratique.

Zones d'activités

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.



Scénarios génériques issus de l'analyse préliminaire des risques

Cette partie apporte un certain nombre de précisions par rapport à chacun des scénarios étudiés par le groupe de travail technique dans le cadre de l'analyse préliminaire des risques.

Le tableau générique issu de l'analyse préliminaire des risques est présenté dans l'étude de dangers. Il peut être considéré comme représentatif des scénarios d'accident pouvant potentiellement se produire sur les éoliennes et pourra par conséquent être repris à l'identique dans les études de dangers.

La numérotation des scénarios ci-dessous reprend celle utilisée dans le tableau de l'analyse préliminaire des risques, avec un regroupement des scénarios par thématique, en fonction des typologies d'événements redoutés centraux identifiés grâce au retour d'expérience par le groupe de travail précédemment cité («G» pour les scénarios concernant la glace, «I» pour ceux concernant l'incendie, «F» pour ceux concernant les fuites, «C» pour ceux concernant la chute d'éléments de l'éolienne, «P» pour ceux concernant les risques de projection, «E» pour ceux concernant les risques d'effondrement).

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

Scénario G01

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

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

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

Scénario G02

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

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

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

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

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

Dans l'analyse préliminaire des risques seulement quelques exemples vous sont fournis.

La méthodologie suivante pourra aider à déterminer l'ensemble des scénarios devant être regardé :

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



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.

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

Scénarios relatifs aux risques de fuites (F01 à F02)

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

Une attention particulière est à porter aux mesures préventives des parcs présents dans des zones protégées au niveau environnemental, notamment en cas de présence de périmètres de protection de captages d'eau potable (identifiés comme enjeux dans le descriptif de l'environnement de l'installation).



Dans ce dernier cas, un hydrogéologue agréé devra se prononcer sur les mesures à prendre en compte pour préserver la ressource en eau, tant au niveau de l'étude d'impact que de l'étude de danger.

Plusieurs mesures pourront être mises en place (photographie du fond de fouille des fondations pour montrer que la nappe phréatique n'a pas été atteinte, comblement des failles karstiques par des billes d'argile, utilisation de graisses végétales pour les engins,).

Scénario F01

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

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

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

Deux événements peuvent être aggravants :

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

Scénario F02

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

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

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

Ce scénario est à adapter en fonction des produits utilisés.

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

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

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

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



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

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

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

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

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

Scénario P01

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

Scénario P02

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

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

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

Scénarios P03

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

Scénarios relatifs aux risques d'effondrement des éoliennes (E01 à E10)

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

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



Probabilité d'atteinte et Risque individuel

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



Liste Service des SIS : Système Instrumenté de Sécurité

LISTE DES SIS

Type de capteur	Rôle du capteur	périodicité de contrôle	Maintenance et test du capteur	Justification du capteur au sens de l'ICPE	Type de risque
Détecteur d'incendie	Déclenche l'arrêt de l'éolienne et l'émission d'alarme via le système SCADA	1 an	Contrôler la LED du capteur anti-flamme. Si elle s'allume en vert = OK, si elle s'allume en vert/rouge alors le capteur est encrassé et doit être changé. Déclencher le capteur avec la bombe aérosol pour détecteur de fumée. La LED passe au rouge et la valeur affichée dans le menu capteur passe de 1 à 0.	Permet par les fumées de détecter un incendie dans la machine	Incendie
Détecteur de survitesse	Déclenche l'arrêt de l'éolienne et l'émission d'alarme via le système SCADA	1 an	Wind-based maintenance	Le système d'overspeed permet l'arrêt de la machine en cas de vitesse de rotation des pales trop importante.	Survitesse
Compteur de couple	Surveille en permanence les accélérations transversales et longitudinales de la turbine	1 an	Démonter le capteur d'accélération du système de contrôle de couple. Maintenir le capteur à la verticale et le secouer doucement. Dans le menu Torque monitoring, le compteur de pics de charge et le compteur maximum s'incrémentent. Remonter le capteur. Réinitialiser le compteur maximum.	Le système permet de détecter entre autres des babouins mécanique ou aérodynamiques qui pourraient survenir lors de la perte d'intégrité de la machine. Le système permet également d'éviter que l'éolienne rentre dans sa fréquence de résonance.	Intégrité / survitesse
Capteur de bruit dans le spinner	Ce capteur se déclenche si un certain niveau sonore dans la partie rotor est détecté.	1 an	Faire un bruit dans la tête du rotor avec un marteau à une distance de 0,5 m du capteur de bruits. Dans l'armoire de réglage de pale A, sur la platine control board pitch, dans le menu options > noise sensor, le compteur s'incrémente.	Le capteur de bruit se déclenche en cas de rupture d'une liaison vissée ou en cas de perte d'intégrité d'une pale	Intégrité
Capteurs limite des pales	Ce capteur évite que la pale ne sorte trop dans le vent en se déclenchant sur un point d'arrêt	1 an	Sur l'armoire de réglage des pales, amener manuellement la pale jusqu'au contact de fin de course de -2°. Le contact de fin de course réagit à un angle de -2°/-1°. La pale recule à 37°/+1°. Réinitialiser le système de contrôle sur l'armoire de commande de la nacelle.	Ce capteur empêche la pale de dépasser la valeur maximum autorisée, et de potentiellement rentrer en survitesse, en cas de perte ou de mauvaise information du capteur d'angle de pale. Le capteur se déclenche et ramène la pale hors vent avec un code qui ne permet pas de redémarrer la machine à distance	Survitesse
Capteur d'oscillation	Ce capteur se déclenche lorsque l'oscillation de la tour est trop importante	1 an	Sur l'appui principal, pousser la boule du dispositif de fixation pour déclencher le capteur d'oscillation. Les pales reculent alimentées par les condensateurs. L'état 300 s'affiche sur l'écran. Remettre la boule du capteur en place et réinitialiser le système.	Ce capteur se déclenche lorsque la tour oscille plus que la limite acceptable, cela peut provenir d'un balourd aérodynamique, mécanique ou en cas de séisme important.	Intégrité / survitesse / séisme



Glossaire

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

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

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

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

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

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.



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

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

Attention aux confusions possibles :

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

Intensité des effets d'un phénomène dangereux : Mesure physique de l'intensité du phénomène (thermique, toxique, surpression, projections). Parfois appelée gravité potentielle du phénomène dangereux (mais cette expression est source d'erreur).

Les échelles d'évaluation de l'intensité se réfèrent à des seuils d'effets moyens conventionnels sur des types d'éléments vulnérables [ou enjeux] tels que «homme», «structures». Elles sont définies, pour les installations classées, dans l'arrêté du 29/09/2005. L'intensité ne tient pas compte de l'existence ou non d'enjeux exposés. Elle est cartographiée sous la forme de zones d'effets pour les différents seuils.

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

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

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

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

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



Bibliographie et références utilisées

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



[significativement plus courte] avec la cinétique du phénomène qu'elle doit maîtriser.

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

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

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

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

ICPE : Installation Classée pour la Protection de l'Environnement

SER : Syndicat des Énergies Renouvelables

FEE : France Énergie Éolienne (branche éolienne du SER)

INERIS : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques

EDD : Étude de dangers

APR : Analyse Préliminaire des Risques

ERP : Établissement Recevant du Public

ANNEXES

1. SCADA Système ENERCON

2. Données techniques Enercon E-138

3. Démontage

4a. Système de détection de givre/glace ENERCON - Procédé de la courbe de puissance

4b. Système de dégivrage de pale - Service lors de l'éolienne en fonctionnement

5. Mode tempête

6. Protection contre l'incendie

Description technique

SCADA Système ENERCON

Mentions légales

Éditeur	ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Allemagne Téléphone : +49 4941 927-0 ▪ Fax : +49 4941 927-109 E-mail : info@enercon.de ▪ Internet : http://www.enercon.de Directeur général : Aloys Wobben, Hans-Dieter Kettwig, Nicole Fritsch-Nehring Tribunal compétent : Aurich ▪ Numéro d'immatriculation au registre de commerce : HRB 411 N° TVA : DE 181 977 360
Remarque sur les droits de propriété intellectuelle	<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>
Marques déposées	Toutes les marques de commerce et logos désignés dans ce document sont la propriété intellectuelle de l'auteur correspondant. Les droits conférés par le droit des marques de commerce et logos s'appliquent de manière illimitée.
Réserve de modification	ENERCON GmbH se réserve le droit, à tout moment et sans préavis de modifier ce document et son contenu dans le but de l'améliorer et de le mettre à jour, sauf accords contractuels ou législations contraires.

Information concernant le document

Numéro du document	D0230085-2		
Note	Ce document est une traduction du document original portant le numéro D0190917-2 (ger).		
Date	Langue	DCC	Usine / Département
2013-11-19	fre	DA	WRD GmbH / Documentation Department

Sommaire

1	Introduction	1
2	Composants et fonctionnalités standard	2
2.1	Serveur du parc éolien ENERCON SCADA	2
2.1.1	Fonctionnalité	2
2.1.2	Types de données	2
2.1.3	Transmission des données à distance sur la centrale de service ENERCON	3
2.2	Bus de données ENERCON dans un parc éolien	3
2.3	ENERCON SCADA Remote	4
2.3.1	Fonctionnalité	4
2.3.2	Echange de données	5
2.4	Messages d'état et informations	6
2.5	Mise à disposition de données lors d'un défaut de communication	7
3	Composants et fonctionnalités secondaires	8
3.1	Interfaces de données vers les systèmes externes	8
3.1.1	Aperçu	8
3.1.2	ENERCON SCADA PDI-OPC	9
3.1.2.1	Fonctionnalité	9
3.1.2.2	Echange de données	10
3.1.2.3	Analyses externes	10
3.1.3	ENERCON SCADA PDI-61400	11
3.1.4	ENERCON SCADA RTU (RTU-I et RTU-C)	12
3.2	Composants pour la saisie des valeurs de mesure	13
3.2.1	Aperçu	13
3.2.2	ENERCON SCADA RTU-C	13
3.2.3	ENERCON METEO	15
3.3	Commande et régulation avec le système ENERCON SCADA.....	16
3.3.1	Aperçu	16
3.3.2	Commande avec le système ENERCON SCADA	16
3.3.3	Régulation avec le système ENERCON SCADA	18
3.3.4	ENERCON SCADA RTU-C	19
3.3.4.1	Aperçu du produit	19
3.3.4.2	Types de commande et de régulation	20
3.3.5	ENERCON SCADA FCU	22
3.3.5.1	Aperçu du produit	22
3.3.5.2	Régulation	22

3.4	Envoi de message de défaut automatique	24
3.5	Système de contrôle d'événement	26
3.6	Management annulaire du système ENERCON SCADA	27
3.7	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

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

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

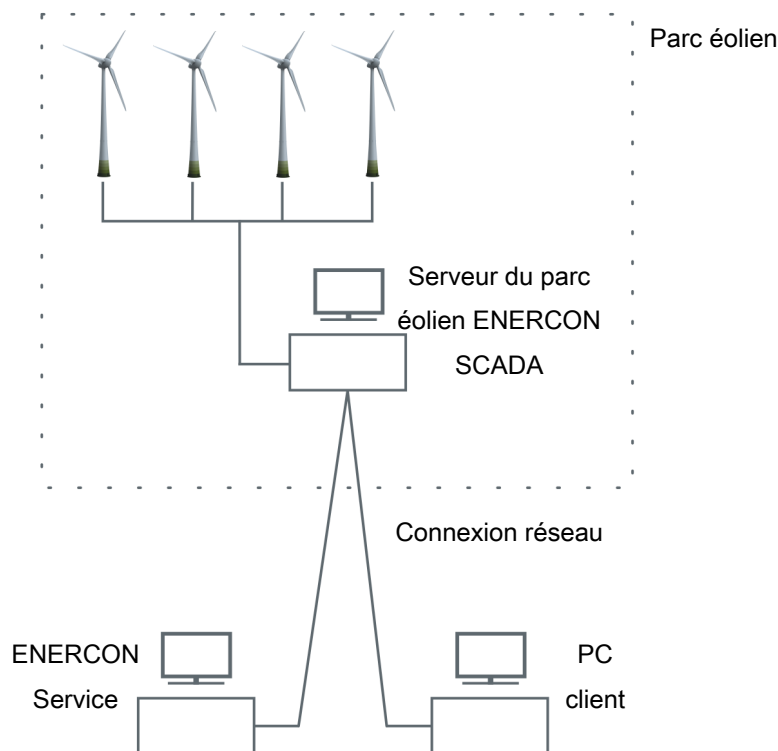


Fig. 1: Représentation schématique du système ENERCON SCADA avec composants standards

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

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

2 Composants et fonctionnalités standard

2.1 Serveur du parc éolien ENERCON SCADA

2.1.1 Fonctionnalité

Le serveur du parc éolien ENERCON SCADA est le composant central d'un système ENERCON SCADA. Le serveur de parc éolien 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 serveur du parc éolien ENERCON SCADA.

Le serveur du parc éolien 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 serveur du parc éolien ENERCON SCADA :

Données en ligne

Les données en ligne sont des valeurs momentanées actualisées via le serveur du parc éolien 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 serveur du parc éolien 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 serveur du parc éolien ENERCON SCADA.

Archivage des données d'exploitation

La capacité du disque dur dans le serveur du parc éolien ENERCON SCADA permet généralement la sauvegarde complète des données pendant la période d'exploitation de 20 ans. Si l'acquisition de données par le serveur du parc éolien 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 serveur du parc éolien 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 serveur du parc éolien 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 parc éolien 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 serveur du parc éolien 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. 27).

2.3 ENERCON SCADA Remote

2.3.1 Fonctionnalité

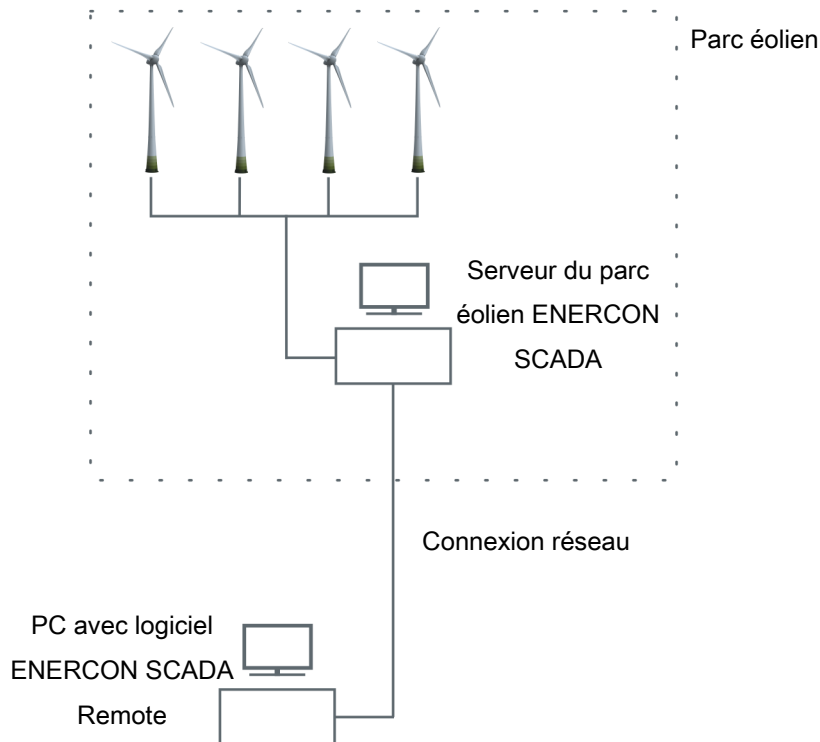


Fig. 2: ENERCON SCADA Remote

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 du parc éolien 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

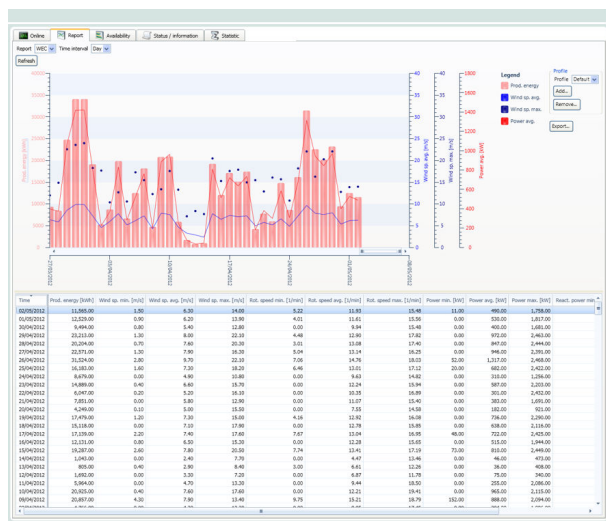


Fig. 3: ENERCON SCADA Remote : Affichage des données quotidiennes

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 du parc éolien ENERCON SCADA. L'affichage sur le Remote PC (PC distant) est mise à jour très rapidement, en fonction du débit de la transmission de données entre le système ENERCON SCADA et le Remote PC (PC distant).

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

Données de rapport

Avec le SCADA Remote, les données rassemblées dans le serveur du parc éolien 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 du parc éolien 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* (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 du parc éolien 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 du parc éolien 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 du parc éolien SCADA.

Comme lors d'un défaut de communication, aucun message ne peut être transmis, ils sont disponibles sur le serveur du parc éolien 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.

Valeurs moyennes sur 10 min.

Le serveur du parc éolien 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 min.

Aussi longtemps que la communication est interrompue ou perturbée, le serveur du parc éolien SCADA ne peut consulter des valeurs moyennes et n'est donc pas en possibilité de créer ni de fournir de valeurs moyennes sur 10 min.

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 du parc éolien 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. 19)

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

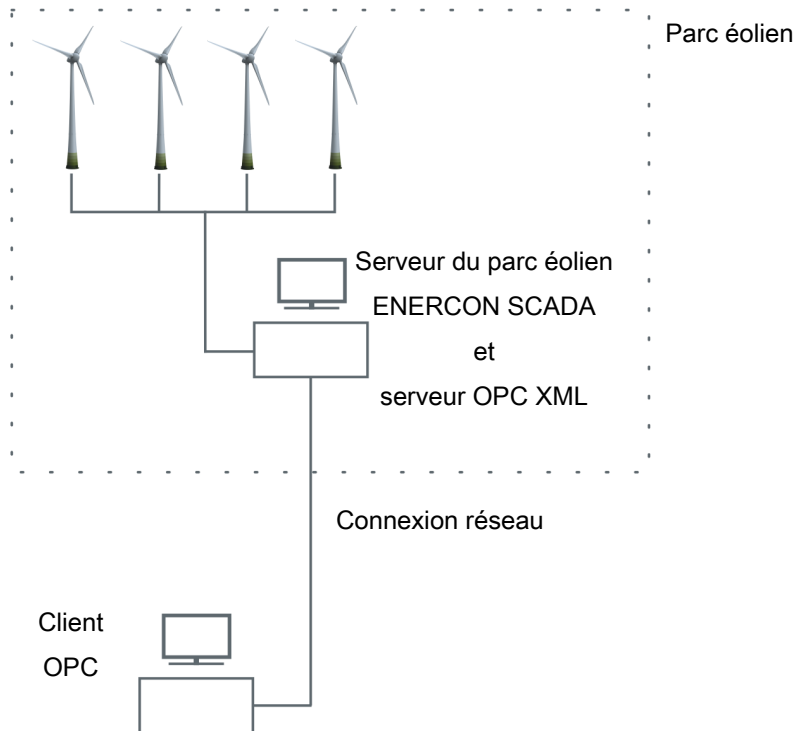


Fig. 4: ENERCON SCADA PDI-OPC dans le système ENERCON SCADA

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

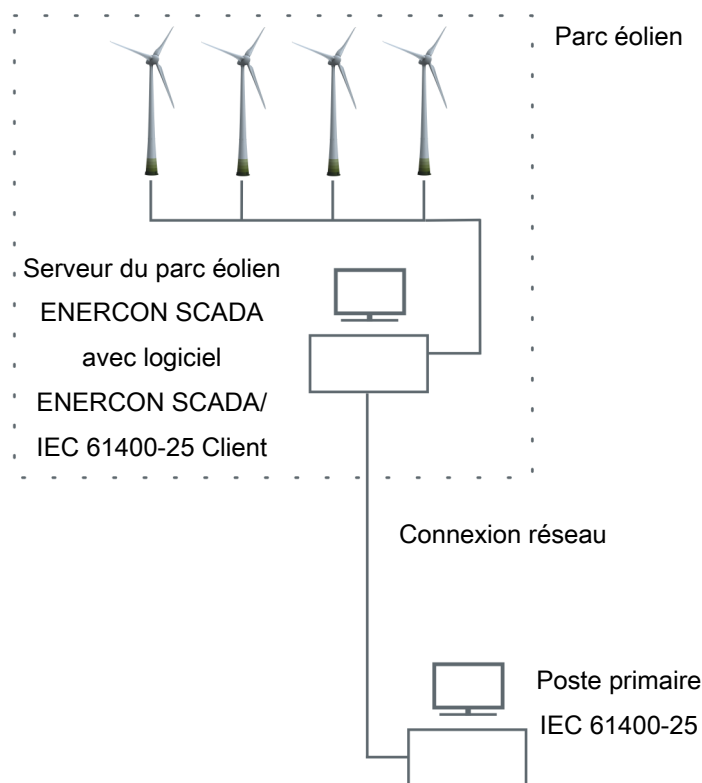


Fig. 5: ENERCON SCADA PDI-61400

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 soutenus.

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 du parc éolien 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. 19)
- ENERCON METEO

3.2.2 ENERCON SCADA RTU-C

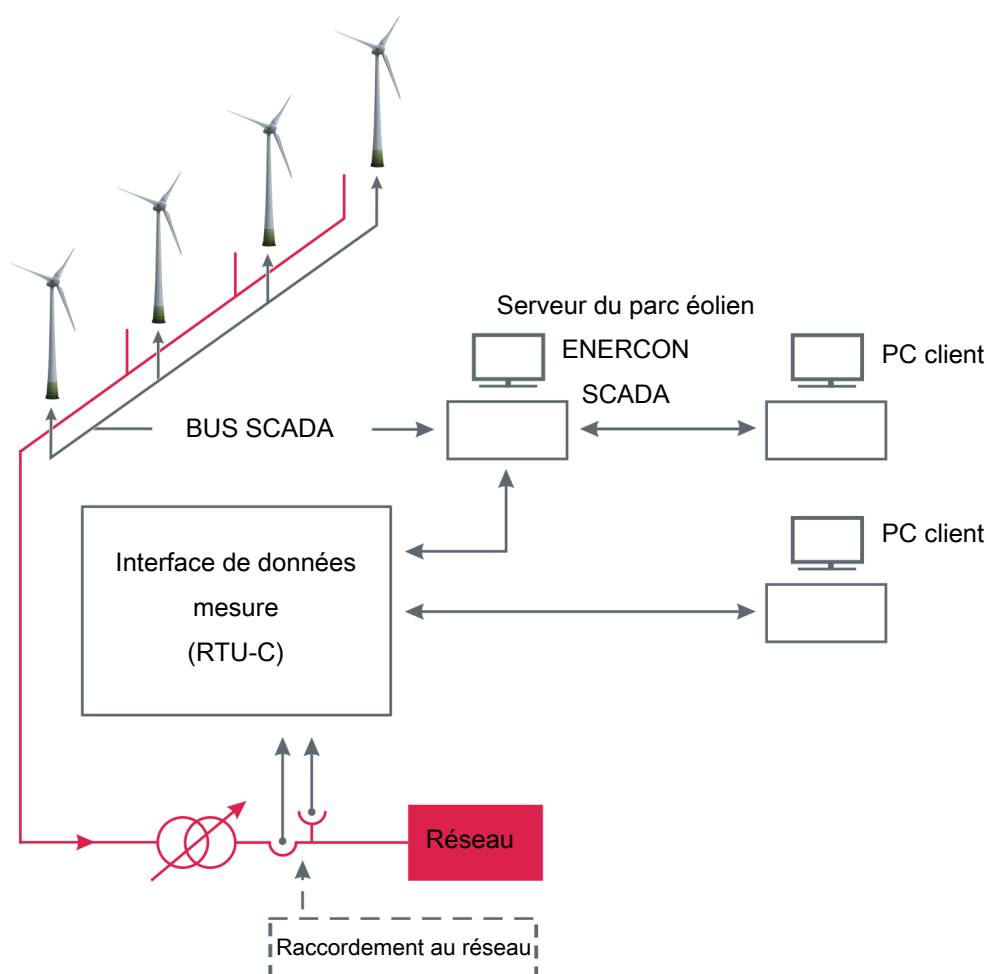


Fig. 6: Aperçu RTU-C

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 du parc éolien 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 du parc éolien ENERCON SCADA :

- Puissance active P, P1, P2, P3
- Puissance réactive Q, Q1, Q2, Q3
- Tensions composées U12, U23, U31
- Intensités I1, I2, I3
- Fréquence réseau
- Facteur de puissance $\cos \phi$

3.2.3 ENERCON METEO

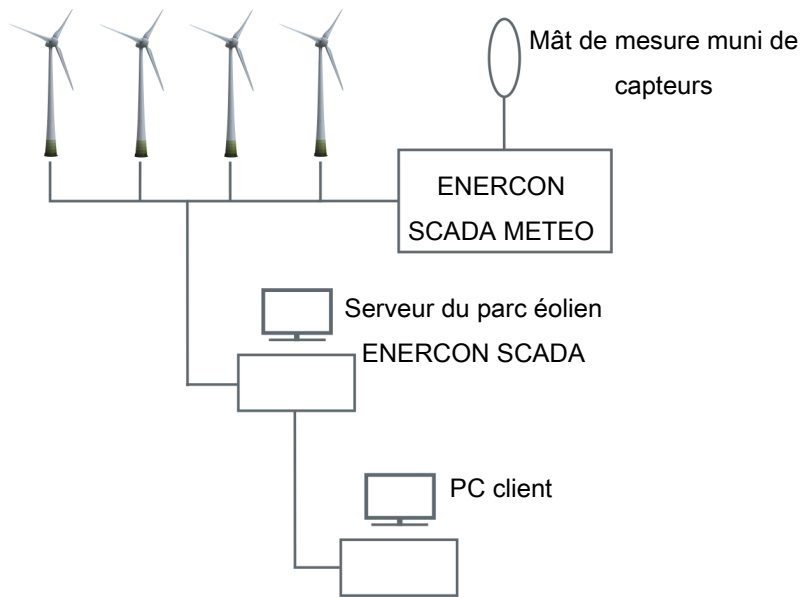


Fig. 7: ENERCON METEO

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 du parc éolien ENERCON SCADA interroge les jeux de données du microcontrôleur en quelques minutes et rend de son côté les valeurs moyennes plus élevées (sur 10 minutes, en heures, jours, etc.). L'horodateur afférent à un jeu de données est fixé par le serveur du parc éolien ENERCON SCADA.

Tant qu'il y a une connexion en ligne entre l'ENERCON SCADA Remote et le serveur du parc éolien 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 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 pris en compte dans le prochain processus de commande.

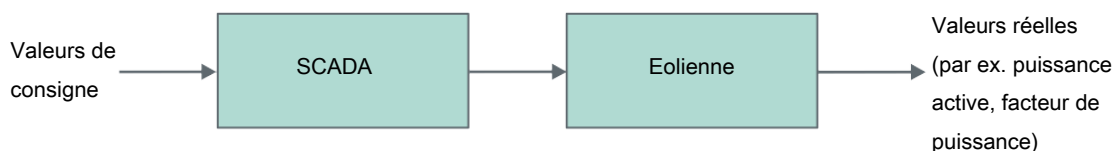


Fig. 8: Structure d'un système de commande de dimensions électriques à l'aide de l'ENERCON SCADA

Commande de valeur de consigne

Sur le serveur du parc éolien 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 seule-

ment entrées une fois via ENERCON SCADA Remote ou directement sur le serveur du parc éolien 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 FCU, un circuit de régulation en boucle fermé peut être établi, en liaison avec le système ENERCON SCADA et les éoliennes. La régulation de grandeurs électriques se réfère au point de saisie des valeurs de mesure, c'est-à-dire la plupart du temps le point d'alimentation de l'exploitant du réseau.

Si une régulation est souhaitée, il faut utiliser soit le RTU-C ou la FCU. Des valeurs de consigne externes peuvent être intégrées par les interfaces décrites. La précision et la dynamique de la régulation dépend de la configuration du parc éolien, du nombre d'éoliennes raccordées, de la classe du transformateur de courant et d'autres facteurs.

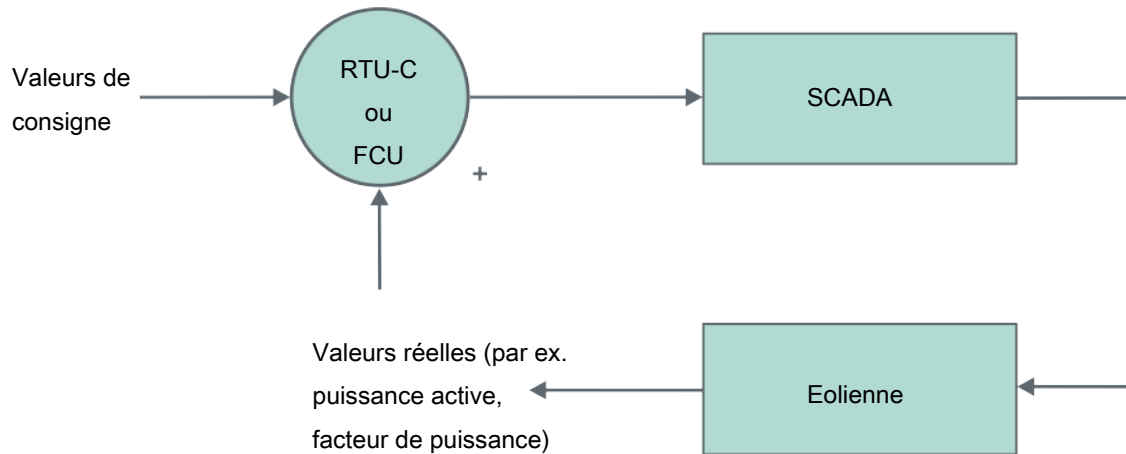


Fig. 9: Structure d'une régulation avec réinjection caractéristique du signal de sortie.

3.3.4 ENERCON SCADA RTU-C

3.3.4.1 Aperçu du produit

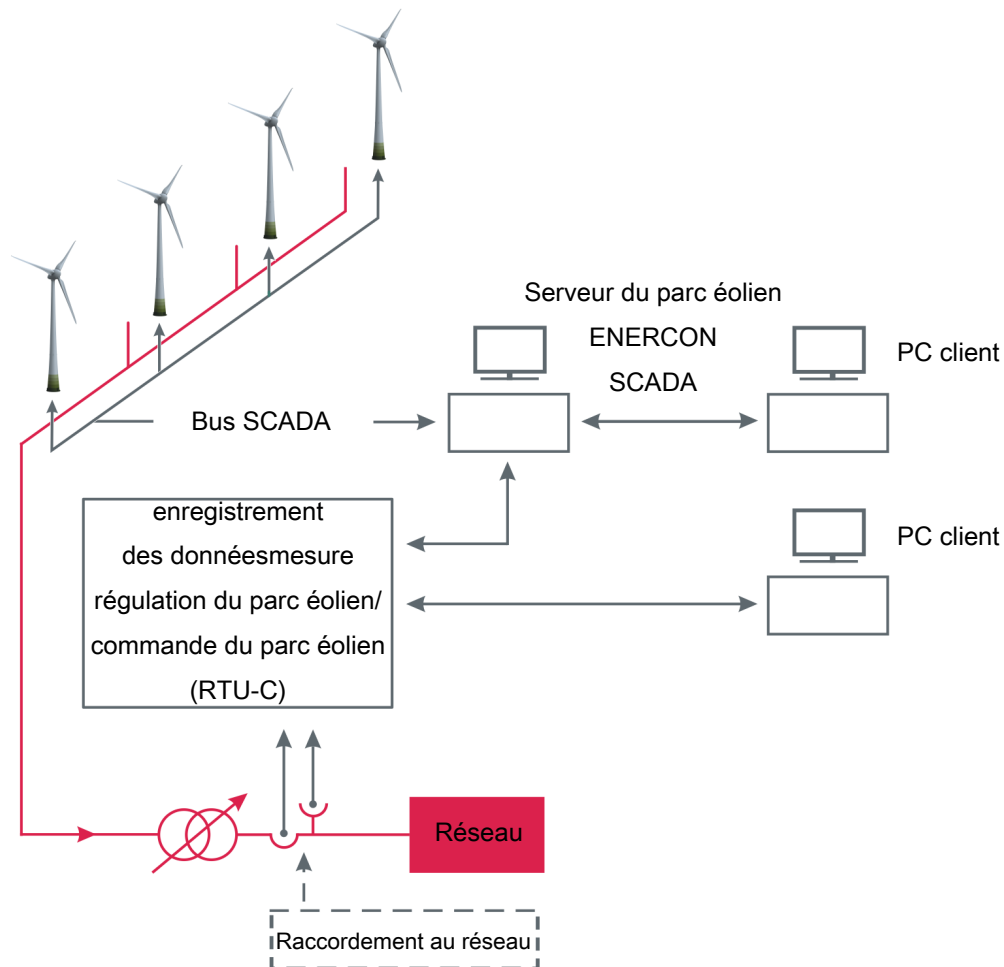


Fig. 10: Aperçu RTU-C

Le RTU-C prend en charge les fonctions suivantes :

- Interface de données
- Mesure de grandeurs électriques au point de raccordement au réseau
- Régulation du parc éolien ou commande du parc éolien

A l'aide du RTU-C, un système de régulation du parc éolien est possible, en matière de paramètre réel au point de raccordement de réseau. Les unités peuvent être la puissance active, la puissance réactive, le facteur de puissance ($\cos\Phi$) et la tension. Pour ce faire, différents modes de régulateurs peuvent être choisis et configurés en fonction du projet par le personnel spécialisé ENERCON.

Le RTU (ENERCON SCADA Remote Terminal Unit) enregistre via le transformateur de mesure, à l'aide d'un analyseur de réseau de courant (I1, I2, I3) et de tension (U1, U2, U3, N) triphasée sur le point de référence, en général au point d'injection du réseau.

Lié aux valeurs de consigne qui sont par ex. prédéfinies par l'exploitant du réseau, le RTU fournit au parc les valeurs de contrôle qui sont transmises via le serveur du parc éolien ENERCON SCADA. De cette manière, il est possible d'installer un circuit de régulation fermé.

3.3.4.2 Types de commande et de régulation

Régulation de puissance active et commande de puissance active

Il est possible de différencier les types suivants d'indications de valeur de consigne :

- Indications fixes de valeur de consigne (les valeurs de consigne sont enregistrées dans le RTU)
- Indications de valeur de consigne en ligne (via les interfaces définies)

La valeur de consigne s'affiche comme valeur relative, rapportée au câble de connexion du parc éolien convenue par contrat.

Régulateur

Le régulateur peut fonctionner en différents modes, en fonction du cas d'utilisation :

- Default Values Open Loop Control (système de commande)
- P Open Loop Control (système de commande)
- P Closed Loop Control (système de régulation)

Régulation de puissance réactive et commande de puissance réactive

Il est possible de différencier les types suivants d'indications de valeur de consigne :

- Indication fixe de valeur de consigne
- Indication en ligne de valeur de consigne
- Indication de valeur de consigne d'une courbe de référence

Indication fixe de valeur de consigne

La valeur de consigne est réglée de manière fixe dans le RTU.

Indication en ligne de valeur de consigne

Pour une régulation choisie de puissance réactive (régulation Q), la valeur de consigne est déterminée comme valeur relative rapportée par la puissance réactive installée du parc éolien. Pour la régulation du facteur de puissance, la valeur de consigne est déterminée de manière absolue.

Indication de valeur de consigne d'une courbe de référence

La valeur de consigne correspondante est déterminée depuis une courbe de référence. Le paramètre de courbes peut être la valeur moyenne de puissance active ou valeur moyenne de tension de réseau. La formation de valeur moyenne peut être réglée dans le temps entre 1 s et 1 min.

Chaque transfert de valeur de consigne est limité dans le temps. Ce paramètre réglable doit garantir une stabilisation sûre du régulateur.

Régulateur

Le régulateur peut fonctionner en différents modes, en fonction du cas d'utilisation :

- Default Values (régulateur off, les valeurs par défaut sont envoyées)
- Cos φ Open Loop Control (système de commande)
- Q Open Loop Control (système de commande)
- Cos φ Closed Loop Control (régulation)
- Q Closed Loop Control (régulation)
- Cos φ (P) Closed Loop Control (régulation, courbe)
- Q(U) Closed Loop Control (régulation, courbe)
- Cos φ (U) Closed Loop Control (régulation, courbe)
- Q(P) Closed Loop Control (régulation, courbe)

3.3.5 ENERCON SCADA FCU

3.3.5.1 Aperçu du produit

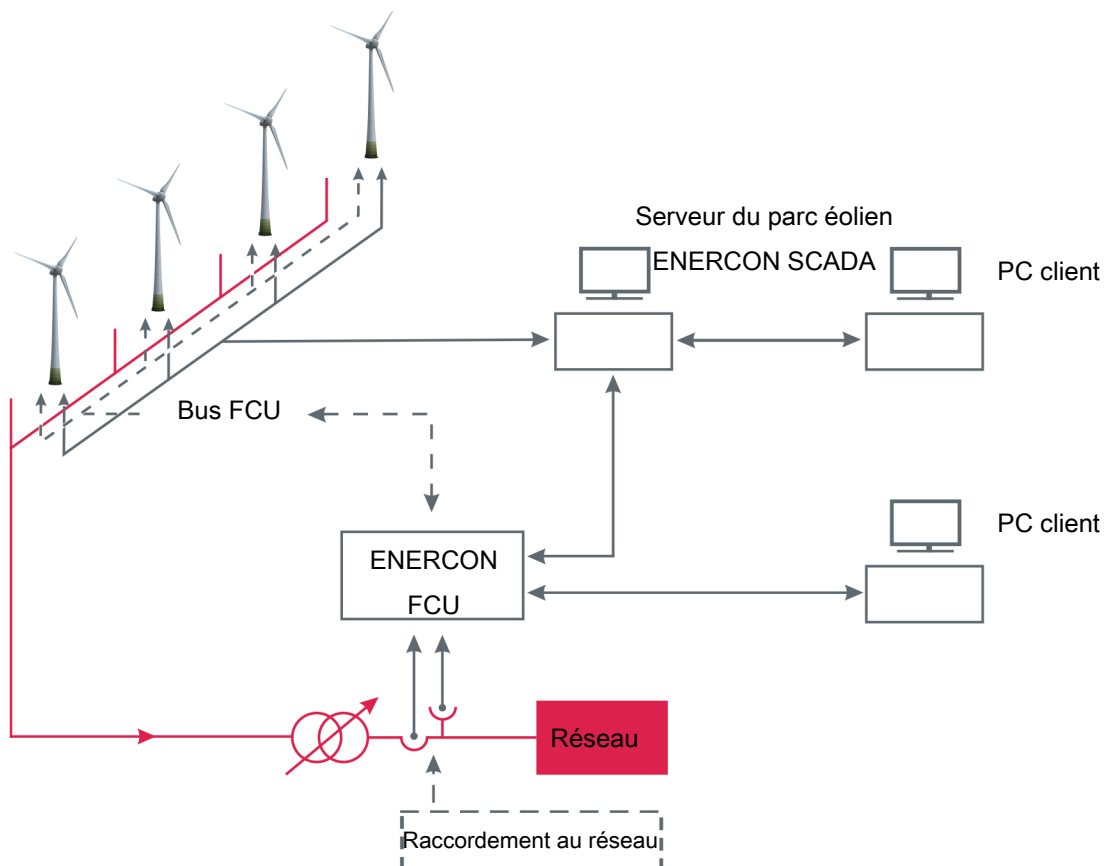


Fig. 11: Aperçu FCU

A 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 FCU comprend, outre le logiciel et matériel central (armoires de commande de la FCU) au point de référence, du matériel supplémentaire dans les éoliennes et un système de transmission des données 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 $\cos \varphi$ 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- ΔU (calcul statique) linéaire définie par l'exploitant du réseau. Une telle courbe décrit la puissance réactive injectée au point de référence en fonction de la différence de régulation de la tension au point de référence.

On détermine, pour ce faire, la différence entre la valeur de consigne de tension et la valeur réelle enregistrée au point de référence. La puissance réactive injectée au point de référence est ensuite régulée sur la valeur de consigne de puissance réactive résultant de la courbe Q- ΔU .

3.4 Envoi de message de défaut automatique

Pour la communication du système ENERCON SCADA vers l'extérieur, on utilise en général TCP/IP. Le système ENERCON SCADA 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.

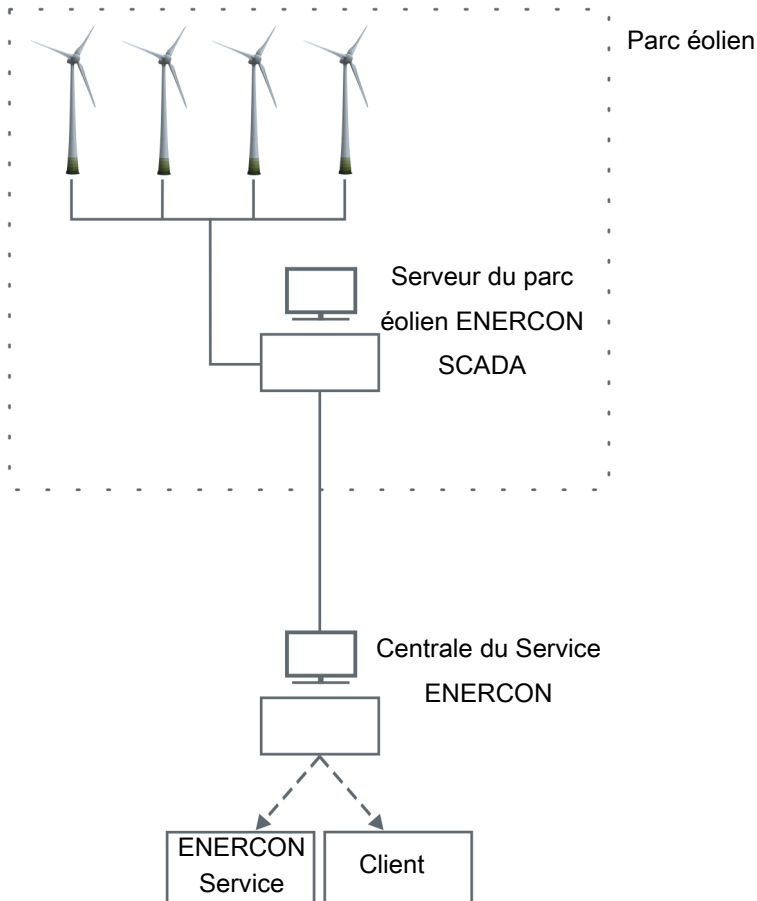


Fig. 12: Messages de défaut

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)

Dornumer Straße 20

26607 Aurich, Allemagne

E-mail : serviceoffer@enercon.de

Tél.: +49 4941 976 388

Des frais d'envoi supplémentaires peuvent s'appliquer selon le lieu où est situé le parc éolien, le type de communication du message ainsi que par rapport au contrat de maintenance.

3.5 Système de contrôle d'événement

Le système de contrôle d'événement est conçu et installé comme un programme sur le serveur du parc éolien 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 valeur de mesure d'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.

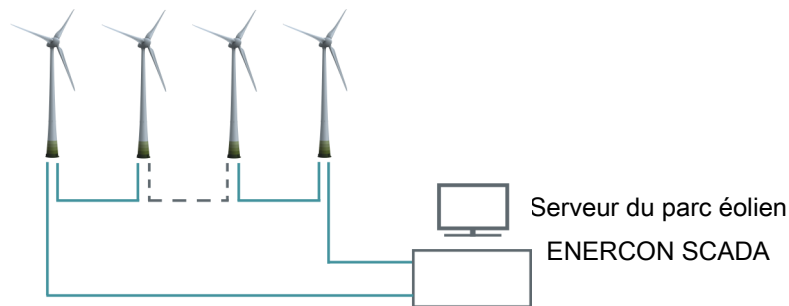


Fig. 14: Interruption d'une partie du bus de données avec management annulaire.

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 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

Serveur du parc éolien ENERCON SCADA

Le serveur du parc éolien 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 serveur du parc éolien 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 du parc éolien ENERCON SCADA est équipé de manière standard avec 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 (logiciel sur le serveur du parc éolien 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 correspondantes aux produits.

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 PARTNER KONZEPT (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.	18
Fig. 10	Aperçu RTU-C	19
Fig. 11	Aperçu FCU	22
Fig. 12	Messages de défaut	24
Fig. 13	Interruption d'une partie du bus de données sans management annulaire.	27
Fig. 14	Interruption d'une partie du bus de données avec management annulaire.	27

Index des termes techniques

ASI (UPS)	Alimentation sans interruption (ASI) : système technique assurant pratiquement sans délai l'alimentation des consommateurs de courant en cas de panne du réseau électrique
Bus de données	Câble de données qui relie par ex. chaque éolienne avec le serveur du parc éolien ENERCON SCADA.
Client	Un client est un programme informatique qui établit une liaison avec le serveur, pour pour recourir aux services du serveur. En fonction du type de client, l'accès aux différents services est possible.
dBASE	Système de banque de données
Dongle	Clé pour la protection de copie du matériel
EPK	ENERCON PartnerKonzept. Le concept prévoit un contrat facultatif de maintenance complète entre l'exploitant d'une éolienne et ENERCON, à la suite de quoi ENERCON prend en charge les maintenances et les réparations des éoliennes et garantit une disponibilité technique définie.
Etat principal	est dans le système ENERCON SCADA un état de l'éolienne et de ses composants, et s'affiche comme code numérique avec des explications.
Informations	Les informations présentent dans le système ENERCON SCADA des consignes pour l'éolienne et ses composants. L'apparition d'une information signifie que l'éolienne continue à fonctionner.
Message de défaut	Un message de défaut est généré lors d'un état de fonctionnement inhabituel. L'éolienne est arrêtée.
Messages d'avertissement	Les messages d'avertissement correspondent aux informations de priorité élevée. L'éolienne est encore en service.
OPC XML DA	Open Process Connectivity, voir www.opcfoundation.org . L'Extensible Markup Language (anglais : langage de balisage extensible) est un langage XML qui est utilisé entre autres pour l'échange de données entre les systèmes d'ordinateurs, spécialement par Internet. DA est l'abréviation de « Data Access »
Sous-état	Indique dans le système ENERCON SCADA des informations plus précises y compris la raison pour l'actuel état principal et s'affiche comme code numérique avec des explications.

Description technique

Éolienne ENERCON

E-138 EP3

Editeur	<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, Simon-Hermann Wobben Tribunal compétent : Aurich ▪ Numéro d'immatriculation au registre de commerce : HRB 411 N° TVA : DE 181 977 360</p>
Remarque sur les droits de propriété intellectuelle	<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>
Marques déposées	<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>
Réserve de modification	<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

ID du document	D0628462-3		
Note	Document original. Document source pour cette traduction D0612062-3/2018-03-15		
Date	Langue	DCC	Usine / Département
2018-04-06	fr	DA	WRD Management Support GmbH / Documentation Department

Sommaire

1	Aperçu de l'éolienne ENERCON E-138 EP3	1
2	Le concept d'éoliennes ENERCON	2
3	Composants de l'éolienne E-138 EP3	3
3.1	Pales du rotor	4
3.2	Nacelle	4
3.2.1	Générateur annulaire	5
3.3	Mât	5
4	Système d'alimentation du réseau	6
5	Système de sécurité	9
5.1	Dispositifs de sécurité	9
5.2	Le système de capteurs	10
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 du générateur	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	Caractéristiques techniques de l'E-138 EP3	20

1 Aperçu de l'éolienne ENERCON E-138 EP3

L'éolienne ENERCON E-138 EP3 est une éolienne à entraînement direct d'une puissance nominale de 3500 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 de rotor de 138,6 m et peut être livrée avec des hauteurs de moyeu comprises entre 81 m et 160 m.



Fig. 1 : Vue d'ensemble de l'éolienne E-138 EP3

2 Le concept d'éoliennes ENERCON

Sans boîte de vitesse

Le système d'entraînement de l'E-138 EP3 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 3 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-138 EP3 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 l'arbre 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 de systèmes d'onduleurs et de redresseurs modulaires dotés d'une liaison CC (DC link) commune, garantit un rendement énergétique maximal et une compatibilité au réseau élevée. Les caractéristiques électriques du générateur annulaire sont par conséquent insignifiantes pour le comportement 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 ainsi toujours être utilisée de manière optimale également dans la plage de charge partielle.

3 Composants de l'éolienne E-138 EP3

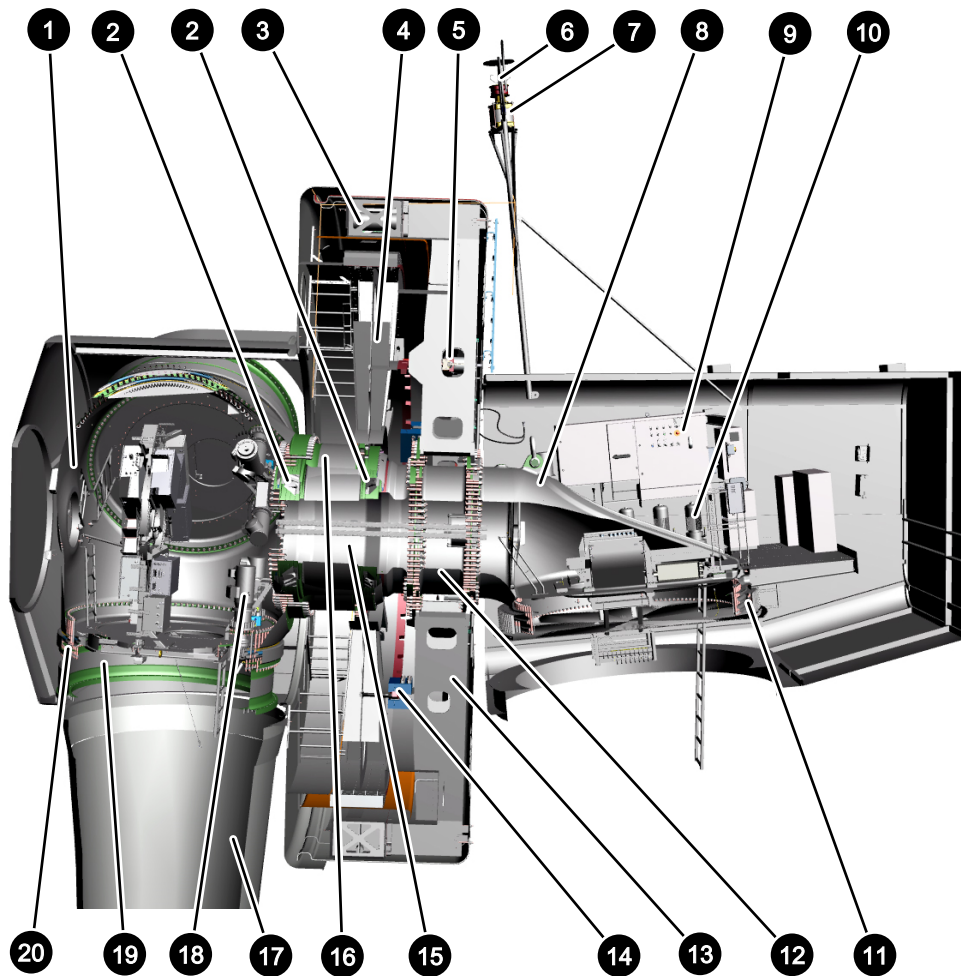


Fig. 2 : Coupe transversale de la nacelle

1	Moyeu du rotor	2	Palier du moyeu
3	Stator du générateur	4	Rotor du générateur
5	Dispositif de blocage du rotor	6	Dispositif de mesure du vent avec paratonnerres
7	Feux de balisage lumineux (en option)	8	Support principal
9	Armoire de commande de la nacelle	10	Entraînement d'orientation
11	Palier d'orientation	12	Étoile du stator
13	Bras de support	14	Frein du rotor
15	Arbre de moyeu	16	Support du rotor
17	Pale du rotor	18	Entraînements de réglage des pales
19	Adaptateur de pale	20	Palier de bride de pale

3.1 Pales du rotor

Les pales divisées en plastique renforcé 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 du rotor est fabriquée à partir de deux demi-coques et par infusion sous vide. La forme et le profil des pales de l'éolienne E-138 EP3 ont été conçus en fonction des critères suivants :

- Coefficient de puissance élevé
- Durée de vie élevée
- Faibles émissions sonores
- Faibles contraintes mécaniques
- Utilisation optimale des matériaux

Les pales de l'éolienne E-138 EP3 sont tout spécialement conçues pour fonctionner avec le système de réglage des pales variable et à vitesse de rotation variable. Le revêtement de surface à base de polyuréthane (PU) protège les pales des influences environnementales comme p. ex. les rayons UV et l'érosion. Le revêtement est très résistant à l'abrasion et robuste.

Le réglage du pas des 3 pales 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.

Les pales de rotor sont en option ou en série équipées d'un profilé dentelé dans une partie du bord de fuite. Ce peigne de bord de fuite (Trailing Edge Serration) réduit les turbulences au niveau du bord de fuite et limite ainsi l'émission sonore de l'éolienne.

Des vortex se trouvent à l'intérieur des pales sur l'extrados. Les vortex ralentissent le décrochage du courant de couche limite de la surface des pales. Par conséquent, les propriétés aérodynamiques de l'éolienne réagissent moins sensiblement aux modifications temporaires de la surface et aux conditions de vent. La puissance de l'éolienne augmente et les émissions sonores sont réduites.

3.2 Nacelle

Le moyeu du rotor tourne sur 2 paliers du rotor autour de l'arbre du moyeu fixe. Parmi les composants fixés sur le moyeu figurent les pales et le rotor du générateur. Le collecteur se trouve à la pointe de l'arbre du moyeu. Il transmet l'énergie électrique et les données par l'intermédiaire de contacts à frottement entre la partie fixe et la partie rotative de la nacelle.

L'élément porteur du stator du générateur fixe est un support du stator avec 6 bras de support. Le support du stator est fixé solidement au support principal via l'étoile du stator. Aux extrémités des bras de support se trouve l'anneau de support du stator avec les bobines en aluminium dans lesquels le courant est induit.

Le support principal est l'élément porteur central de la nacelle. Toutes les pièces du rotor et du générateur sont fixées à lui directement ou indirectement. Le support principal pivote sur le sommet 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 orienté en permanence de manière optimale au vent.

L'habillage de la nacelle se compose de plastique renforcé de fibres de verre. Il se compose de plusieurs éléments et est fixé au stator du générateur, à la plateforme de la nacelle et (dans la zone du rotor) au moyeu par le biais de profilés en acier.

3.2.1 Générateur annulaire

Les éoliennes ENERCON utilisent un générateur synchrone multipolaire à excitation indépendante (générateur annulaire). L'éolienne fonctionne avec une vitesse de rotation variable pour garantir l'exploitation optimale du potentiel éolien, quelle que soit la vitesse du vent. Le générateur annulaire produit ainsi du courant alternatif avec une tension, une fréquence et une amplitude variables.

Les bobinages dans le stator du générateur annulaire forment plusieurs systèmes de courant alternatif triphasé indépendants. Ces systèmes sont redressés séparément dans le pied du mât puis à nouveau convertis en courant triphasé présentant une tension, une fréquence et une relation de phase conformes au réseau par les onduleurs.

Ainsi le générateur annulaire n'est pas raccordé directement au réseau absorbant du distributeur d'électricité mais il est découplé du réseau par le convertisseur intégral.

3.3 Mât

Le mât de l'éolienne E-138 EP3 est soit un mât hybride, composé de sections en béton préfabriqué et d'une section en acier, soit un mât tubulaire en acier.

La couche de peinture ou la protection contre les intempéries et la corrosion est appliquée sur tous les mâts 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 couleurs (ce dégradé de couleurs peut être supprimé en option).

Le mât tubulaire en acier est un tube en tôle d'acier constitué de quelques grandes sections. En fonction de la variante du mât, certaines sections peuvent être d'une seule pièce ou divisées en plusieurs éléments longitudinaux. Les éléments longitudinaux sont d'abord assemblés en sections sur le lieu d'installation. Les extrémités des sections sont munies de brides percées de trous pour le montage. Les sections de mât sont simplement posées les unes sur les autres et vissées sur le lieu d'installation. Le mât est relié à la fondation au moyen d'une cage d'ancrage.

Le mât hybride se compose de 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 hybride est précontraint dans le sens vertical par des câbles de précontrainte fabriqués en acier de précontrainte. Les câbles de précontrainte sont installés verticalement à travers des passages dans les éléments en béton ou à l'extérieur sur la paroi intérieure du mât. Ils sont ancrés dans la fondation.

Pour des raisons techniques et économiques, la partie supérieure plus étroite du mât en béton préfabriqué 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 partie en acier offre plus d'espace dans le mât.

4 Système d'alimentation du réseau

Le générateur annulaire est connecté au réseau via le système d'alimentation du réseau ENERCON. Ce système se compose de systèmes d'onduleurs et de redresseurs modulaires dotés d'une liaison CC (DC link) commune.

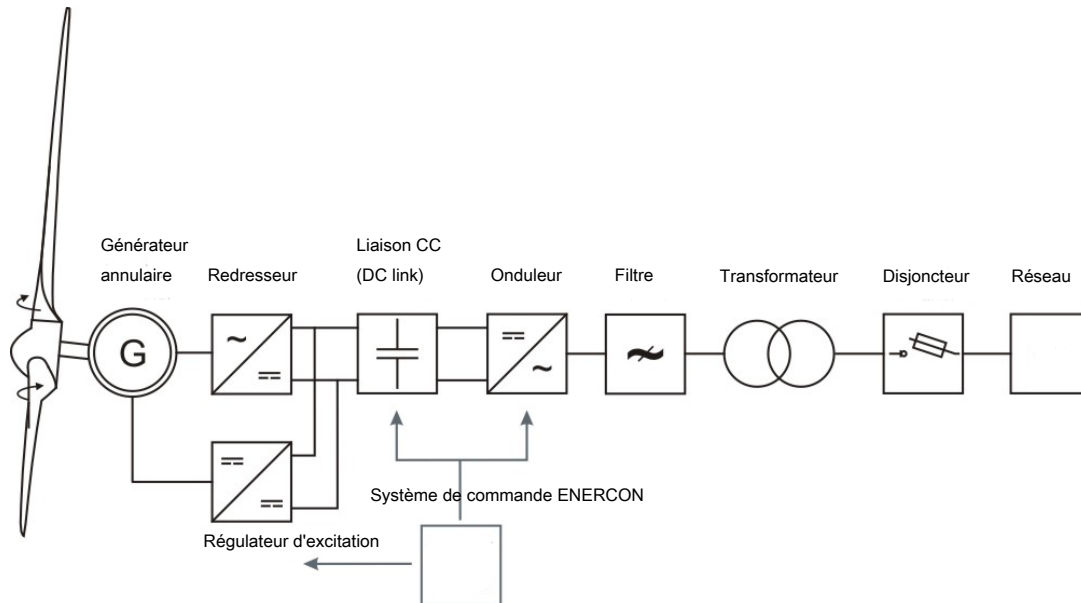


Fig. 3 : Schéma électrique simplifié d'une éolienne ENERCON

Le système d'alimentation du réseau – tout comme l'excitation du générateur et le système de réglage des pales – est piloté par le système de commande, avec, pour objectifs, un rendement énergétique maximal et une compatibilité au réseau élevée.

Le découplage du générateur annulaire et du réseau permet de transmettre la puissance produite de façon optimale. Les modifications soudaines de la vitesse du vent induisent une modification contrôlée de la puissance injectée côté 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-138 EP3 peut être réglée avec précision de 0 kW à 3500 kW.

En général, les caractéristiques que doit afficher une éolienne ou une centrale éolienne définie en matière de raccordement au réseau absorbent 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.

Le système d'onduleurs situé dans le pied du mât est conçu en fonction de la configuration de l'éolienne. En règle générale, un transformateur convertit la basse tension directement dans ou sur l'éolienne de 630 V à la tension HTA souhaitée.

Puissance réactive

L'éolienne E-138 EP3 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

L'éolienne E-138 EP3 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 + FRT-Fault Ride Through (capacité de maintien de l'alimentation en creux de tension par défaut)) 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 délivrer et recevoir de la puissance réactive, 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. Il faut vérifier sur le projet concerné 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-138 EP3 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 sur-fréquence 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 limitée 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-138 EP3 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 sécurité

Bouton d'arrêt d'urgence

Des boutons d'arrêt d'urgence se trouvent dans l'éolienne ENERCON, à l'entrée 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 subissent un réglage d'urgence. Le rotor est ainsi 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 ainsi mis à l'arrêt au plus vite. Un bouton d'arrêt d'urgence ne met pas l'éolienne hors tension ou seulement partiellement.

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 sa distribution principale (au pied du mât) et sur l'interrupteur principal de 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 parties moyenne-tension

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, des capteurs redondants sont montés pour certains états de fonctionnement. Cela s'applique p. ex. à la mesure de la température dans le générateur, la mesure de la vitesse du vent ou la mesure de l'angle actuel du pale du rotor. Tout capteur défectueux est détecté et peut être réparé ou 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

Le système de contrôle de l'éolienne ENERCON règle la vitesse du rotor en modifiant l'angle de pale de manière à ce que la vitesse nominale ne soit pas trop fortement dépassée par grand vent. 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 alors suspectée. Aucune autre tentative de démarrage n'a lieu.

Parallèlement à la surveillance électronique, la tête du rotor est équipée de 3 capteurs de survitesse électromécanique (capteurs de force centrifuge). Ils sont répartis de façon homogène tout autour du rotor. Chacun de ces capteurs peut arrêter 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.

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 micro-rupteurs répartis tout autour du rotor. En cas de déclenchement de l'un des micro-rupteurs dû au sous-dépassement de la distance minimale, l'éolienne est stoppée et redémarrée rapidement peu de temps après.

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. Deux capteurs 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. En plus, on détecte les fortes vibrations et secousses excessives qui peuvent par exemple se produire lors d'une panne du redresseur à l'aide d'une fonction intégrée dans la surveillance des oscillations. Si les oscillations ou déflexions dépassent la valeur autorisée, l'éolienne s'arrête. Elle redémarre automatiquement après quelques instants. Si des vibrations non autorisées sont décelées ou si le mât présente à plusieurs reprises des oscillations dépassant les limites admissibles, l'éolienne s'arrête et n'essaie pas 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 électrique des moteurs d'orientation lorsque la plage de réglage autorisée est dépassée.

6 Système de contrôle

Le système de contrôle de l'E-138 EP3 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-138 EP3. 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-138 EP3 :

- A : 0°** Position normale en mode charge partielle : exploitation maximale du vent.
- B : $\geq 60^\circ$** 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 du 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.

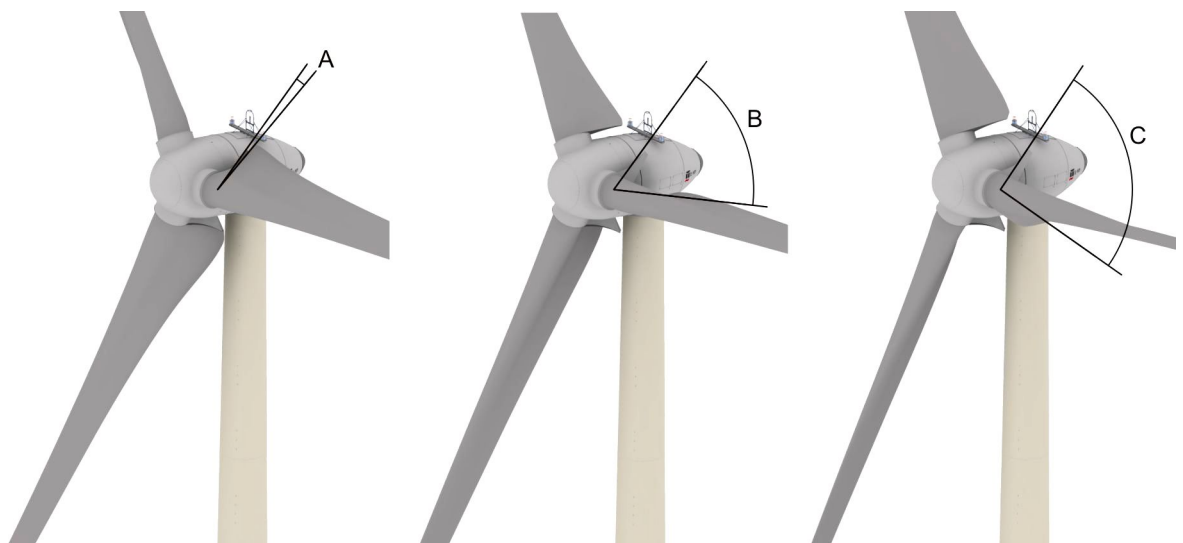


Fig. 4 : Positions particulières de la pale

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 des unités condensateurs de réglage d'urgence de rotor, 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 unités des condensateurs du système de réglage d'urgence de pale sont contrôlées.

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 (calibrage de la régulation de charge) 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 (manque de vent : 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 du générateur

Dès que le rotor aura atteint une vitesse de rotation dépendante du type d'éolienne, l'excitation du générateur commencera. 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 le régulateur d'excitation n'est plus couplé au réseau. Après l'augmentation de la vitesse de rotation du fait de la présence suffisante de vent et d'une puissance nominale $P_{nom} > 0$, les contacteurs de ligne (côté basse tension) se ferment et l'E-138 EP3 commence à injecter la puissance dans le réseau à partir d'environ 5 tr/min.

Le contrôle de la puissance règle le courant d'excitation de sorte à ce que l'injection se déroule selon la courbe de puissance exigée.

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. Vous trouverez de plus amples informations à ce sujet 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-138 EP3 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, le distributeur d'électricité du réseau dans lequel 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-138 EP3 commute entre les modes de fonctionnement suivants :

- Mode pleine charge
- Mode charge partielle
- Fonctionnement à vide

6.4.1 Mode charge pleine

Vitesse du vent

$v \geq 13 \text{ m/s}$

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. 10,8 tr/min) grâce au système de réglage des pales et limite ainsi la puissance à sa valeur nominale de 3500 kW.

Système de mode tempête activé (cas normal)

Le système de mode tempête permet le fonctionnement de l'éolienne même à des vitesses de vent élevées, mais à une vitesse de rotor et une puissance réduites.

Au-dessus d'env. 22 m/s (sur une moyenne de 12 s) et lorsque la vitesse du vent continue d'augmenter, la vitesse de rotation est réduite linéairement de 10,8 tr/min jusqu'à la vitesse de rotation à vide pour une vitesse de vent de 28 m/s env., en positionnant les pales hors du vent. La puissance injectée diminue alors conformément à la courbe de puissance de la vitesse de rotation.

En présence de vitesses du vent supérieures à 28 m/s (sur une moyenne de 10 min.), les pales 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 28 m/s, l'éolienne reprend alors automatiquement l'injection de courant.

Le système de mode tempête est activé par défaut et peut uniquement être désactivé via la maintenance à distance ou sur site par le ENERCON Service.

6.4.2 Mode charge partielle

Vitesse du vent

$$2,5 \text{ m/s} \leq v < 13 \text{ m/s}$$

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 fonctionnement à vide, ce qui signifie que les pales du rotor sont en grande partie tournées hors du vent (angle de pale $\geq 60^\circ$) 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 rotor sont moins sollicités que lors d'une immobilisation prolongée, et une reprise de la production et de l'injection de courant est plus rapide lorsque le vent devient plus fort.

6.5 Arrêt sécuritaire 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.

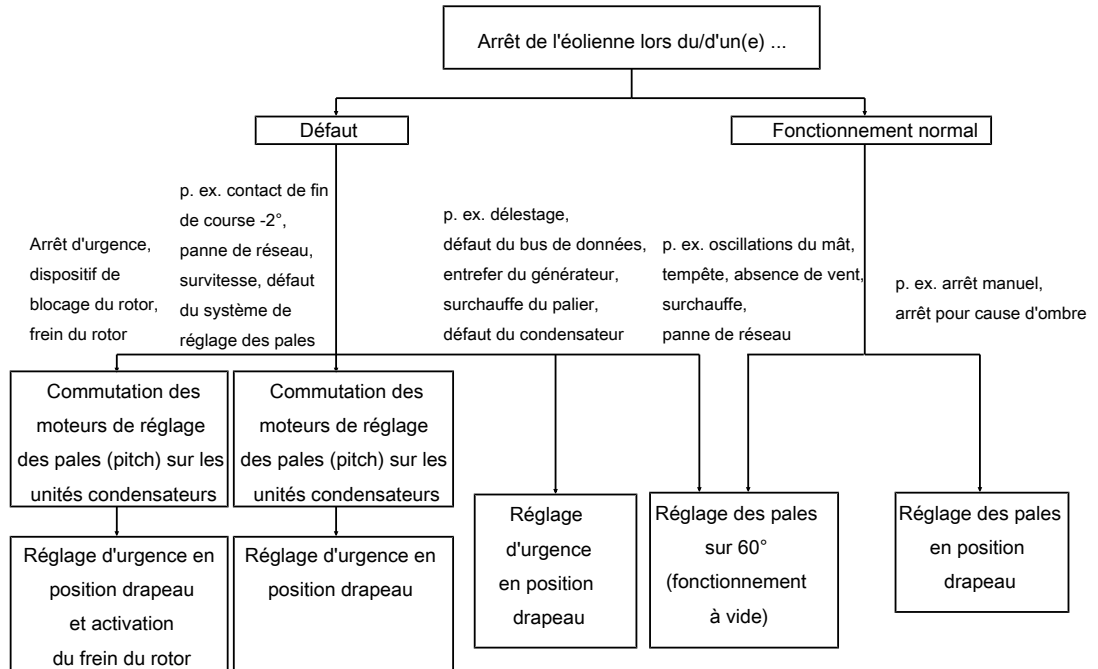


Fig. 5 : Aperçu des opérations d'arrêt

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 dans la nacelle ou que le dispositif de blocage du rotor est activé pendant que le rotor tourne, le système de contrôle de l'éolienne déclenche un freinage d'urgence.

Outre le réglage d'urgence des pales, le frein du rotor est également activé. Le rotor est freiné depuis la vitesse nominale jusqu'à l'arrêt en 10 à 15 secondes.

7 Système de surveillance à distance

Toutes les éoliennes ENERCON 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 ENERCON.

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.

Selon les exigences, les éoliennes ENERCON sont régulièrement entretenues ; au moins une fois par an.

Lors de la maintenance, 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. Les fréquences de maintenance et les cadres de maintenance peuvent varier en fonction des directives et des normes régionales.

9 Caractéristiques techniques de l'E-138 EP3

Généralités	
Fabricant	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Allemagne
Désignation du type	E-138 EP3
Puissance nominale	3500 kW
Hauteurs des moyeux	81 m, 111 m, 131 m, 160 m
Diamètre du rotor	138,6 m
Classe de vent CEI (éd. 3)	IIIA
Vitesse du vent extrême à hauteur du moyeu (valeur moyenne sur 10 min)	37,5 m/s Correspond à un équivalent de charge d'env. 52,5 m/s (rafale 3 s)
Moyenne annuelle de la vitesse du vent à hauteur du moyeu	7,5 m/s

Rotor avec système de réglage des pales	
Type	Rotor face au vent à système de réglage actif des pales
Sens de rotation	Sens horaire
Nombre de pales de rotor	3
Longueur des pales de rotor	66,89 m
Surface balayée	15085 m ²
Matériau de la pale du rotor	Plastique renforcé de verre/résine époxy/bois de balsa/mousse
Vitesse de rotation inférieure de l'injection de puissance jusqu'à la vitesse nominale	4,4 - 10,5 tr/min (81 m et 131 m de hauteur du moyeu (mât hybride)) ; 5 - 10,5 tr/min (111 m et 131 m (mât en acier) et 160 m de hauteur du moyeu)
Vitesse de rotation de consigne	10,8 tr/min
Vitesse en bout de pale dans le cas de la vitesse de rotation de consigne	Jusqu'à 78,38 m/s
Vitesse de vent de régulation	22 - 28 m/s (avec système de mode tempête ENERCON)
Angle de cône	2,5°
Angle d'axe du rotor	7°

Rotor avec système de réglage des pales	
Système de réglage des pales	Système de réglage électrique indépendant pour chaque pale avec système d'alimentation électrique de secours dédié

Arbre d'entraînement avec générateur	
Concept d'éolienne	Sans boîte de vitesse, vitesse de rotation variable, convertisseur intégral
Moyeu	Fixe
Disposition des paliers	2 paliers à rouleaux coniques
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	Au moins IP 23/F

Système de freinage	
Frein aérodynamique	Trois systèmes de réglage des pales indépendants avec alimentation électrique de secours
Frein du rotor	Hydraulique
Dispositif de blocage du rotor	Par crans de 10°

Système de contrôle d'orientation	
Type	Électrique avec moteurs d'orientation (yaw)
Système de contrôle	Active par transmissions d'orientation

Système de contrôle	
Type	Microprocesseur
Alimentation réseau	Onduleurs ENERCON
Système de surveillance à distance	ENERCON SCADA
Alimentation sans interruption (ASI)	Intégré

Types de mât			
Hauteur du moyeu	Hauteur totale	Modèle	Classe de vent
81 m	150 m	Mât tubulaire en acier	CEI IIA ¹ DIBt WZ2 GK I+II ²
111 m	180 m	Mât tubulaire en acier	CEI IIA ¹ DIBt WZ2 GK I+II ²
131 m	200 m	Mât tubulaire en acier	CEI IIA ¹ DIBt WZ2 GK I+II ²
131 m	200 m	Mât hybride	CEI IIA ¹ DIBt WZ2 GK I+II ²
160 m	230 m	Mât hybride	CEI IIA ¹ DIBt WZ2 GK I+II ²

¹Édition 3²Édition 2012



Description technique

Eoliennes ENERCON

Démontage

Mentions légales

Editeur : ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Allemagne
 Téléphone : +49 4941 927-0
 Fax : +49 4941 927-109

Copyright : © ENERCON GmbH. Toute communication et reproduction de ce document, toute exploitation ou communication de son contenu sont interdites, sauf autorisation expresse. Tout manquement à cette règle est illicite et expose son auteur au versement de dommages et intérêts. Tous nos droits sont réservés, notamment pour le cas de la délivrance d'un brevet, ou de l'enregistrement d'un modèle d'utilité ou d'un modèle de présentation.

Proposition de modification : ENERCON GmbH se réserve le droit, à tout moment et sans préavis de modifier ce document et son contenu dans le but de l'améliorer et de le mettre à jour.

Information concernant le document

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

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

Sommaire

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

1 Introduction

Les éoliennes ENERCON sont presque entièrement réutilisables.

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

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

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

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

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

2 Démontage

Avant le démontage les points suivants doivent être vérifiés :

- Les équipements de protection individuelle (EPI) comme par exemple la protection contre les chutes, casque, chaussures de sécurité et les lunettes de protection sont mis à disposition aux personnes participantes au démontage et elles sont obligées à les utiliser.
- L'aire de démontage de la grue et les voies d'accès correspondent aux exigences par rapport aux dimensions, la structure et l'accessibilité (si nécessaire prévoir des travaux d'aménagement).
- Les connexions électriques et les chemins de câbles sont dans un état approprié pour le démontage.
- Il faut s'assurer à ce que les voies d'accès pour les transports exceptionnels 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 (gaines) sont coulés à l'intérieur de l'armature béton dans lesquels les câbles de précontraintes sont installés. Vu que les tuyaux (gaines) 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

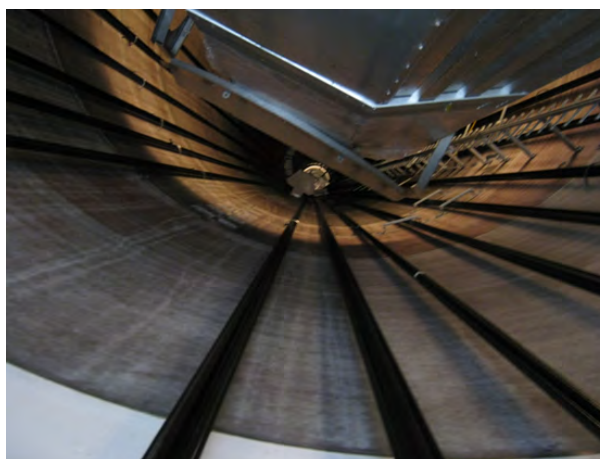


Figure 5: Câbles de précontrainte à l'intérieur du mât

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.

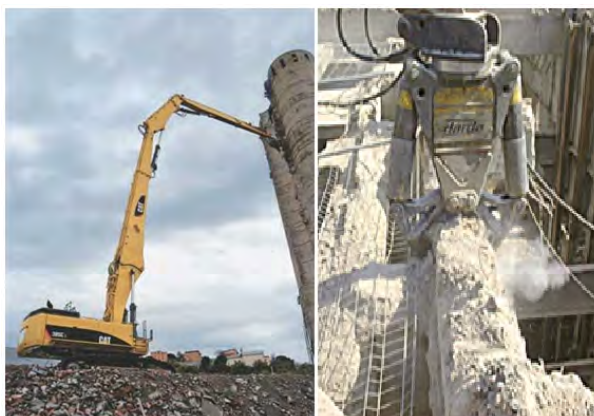


Figure 7: à gauche : Excavateur de démolition / à droite : Pince hydraulique



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



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.



Description technique

Eoliennes ENERCON

Système de dégivrage de pale

Service lors de l'éolienne en fonctionnement

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 de <Document>
D0160991-0	04.02.2011	fre	D0159755 (ger)

1 Introduction

Sous certaines conditions climatiques, un dépôt de glace/ givre peut se former sur les pales des éoliennes. Une couche de givre/ glace peut dégrader la performance aérodynamique et par conséquent entraîner une diminution du rendement. En outre d'épais morceaux de glace peuvent se détacher, créant un danger aux alentours de l'éolienne. Par ailleurs, la couche de glace sur les trois pales peut être irrégulière. Ceci suscite un déséquilibre du rotor provoquant des oscillations indésirables.

Les éoliennes ENERCON disposent d'un système fiable pour détecter le dépôt de glace/ givre. Si un dépôt de glace/ givre est détecté, les éoliennes sans système de dégivrage de pale sont coupées. Cela entraîne des pertes de rendement.

Pour des éoliennes munies de système de dégivrage de pale, un dépôt de glace/ givre peut être dans de nombreux cas déjà dégivré lorsque l'éolienne tourne. Le temps d'arrêt en est par conséquent nettement réduit.

ENERCON propose pour les éoliennes de série E-44, E-48, E-53, E-70 et E-82 un système de dégivrage de pale par circulation d'air qui est décrit dans ce document.

2 Fonctionnement

L'air dans les pales est chauffé jusqu'à 72 °C, par un ventilateur de chauffage installé à proximité de la bride de pale sur des traverses installées en plus (voir Fig.1).

Les pales du rotor ENERCON sont cloisonnées par des traverses. Ces traverses servent à faire circuler l'air chaud à travers la pale (Fig. 2). L'air chaud passe par le ventilateur de chauffage directement le long du bord d'attaque de la pale au-dessus de la pointe de pale et repasse entre les traverses principales vers la bride de pale. Le retour d'air est réchauffé et ensuite propulsé vers la pointe de la pale. De cette manière, le bord d'attaque de la pale est réchauffé à une température au-dessus de 0°C, permettant de faire fondre le dépôt de glace sur la pale.

Chaque pale est équipée de son propre système de dégivrage de pale.

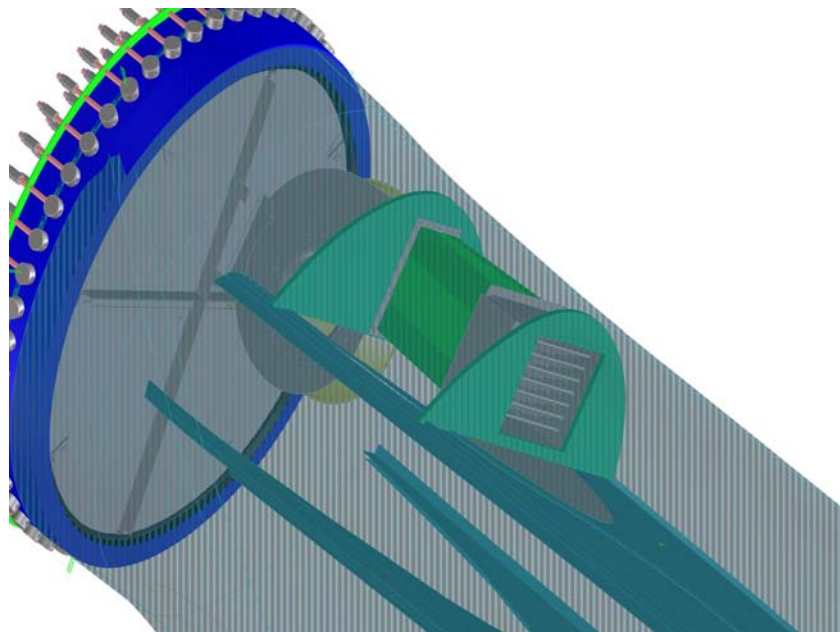


Figure 1: Installation du ventilateur de chauffage dans la pale

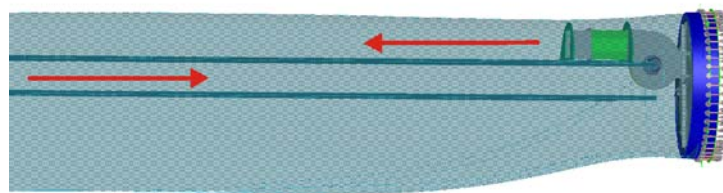


Figure 2: Illustration du flux d'air

Protection parafoudre

Le ventilateur de chauffage dispose d'une mise à la terre. La couverture de la pale et les traverses en GFK font office d'isolant, de sorte qu'il ne peut pas y avoir ici d'arc électrique entre le paratonnerre et le ventilateur de chauffage.

Puissance absorbée Lorsque le système de dégivrage de pale fonctionne, le besoin propre de l'éolienne augmente. La puissance nominale (puissance absorbée maximale) du système de dégivrage de pale est fonction du type d'éolienne et peut être trouvée dans le tableau suivant.

Type d'éolienne	Puissance nominale (par pale)
E-44, E-48, E-53	12,2 kW
E-70 E4	23,8 kW
E-82, E-82 E2, E-82 E3	28,8 kW
E-101	En développement

Il est possible de limiter la puissance absorbée à une valeur moindre. Pour ce faire, les réglages correspondants doivent être réalisés sur le système de commande de l'éolienne. Une réduction de la puissance absorbée conduit toutefois aussi à une réduction de l'efficacité du système de dégivrage de pale.

Sécurité Le système de dégivrage de pale sert à réduire les temps d'arrêt en raison de dépôt de glace/ givre. Lorsque le système de dégivrage de pale fonctionne, il est toutefois possible qu'un dépôt de glace se détache et tombe des pales.

3 Modes de fonctionnement

Mode automatique En mode automatique, le système de dégivrage de pale est enclenché après détection de dépôt de glace/ givre lorsque l'éolienne fonctionne, pourvu qu'un dégivrage soit autorisé lors du fonctionnement de l'éolienne. Le système de dégivrage de pale est activé dans ce cas par un deuxième système de détection de glace/ givre ENERCON avec une plage de tolérance plus étroite. Par conséquent, des couches fines de dépôt de glace/ givre sont déjà détectées et dégivrées de manière précoce. Si des conditions météo extrêmes, par ex. pluie verglaçante, entraîne un autre accroissement de la couche de glace, malgré le système de dégivrage de pale connecté, l'éolienne est arrêtée par déclenchement du système de détection standard de glace/givre ENERCON.

Le système de dégivrage de pale reste encore en fonctionnement pour 20 minutes supplémentaires (fonctionnement par inertie), une fois que le système de détection de glace/ givre ne constate plus de dépôt de glace/ givre.

Le processus de dégivrage se répète, dès qu'un dépôt de glace/ givre est à nouveau détecté.

Mode manuel Un mode manuel est également possible lorsque l'éolienne fonctionne. Le système de dégivrage de pale doit ici être enclenché manuellement. Le système de dégivrage de pale fonctionne ensuite pendant une période préalablement définie puis se coupe automatiquement.

Consignes de sécurité Le fonctionnement précoce du système de dégivrage de pale lorsque l'éolienne fonctionne peut réduire considérablement la formation de glace/ givre. La formation de glace/ givre ne peut toutefois pas être écartée par le chauffage préalable. La couche de glace/ givre dégelée par le chauffage peut tomber de l'éolienne.

L'exploitant est responsable des conséquences d'éventuelles chutes de glace/ givre provoquées par un système de dégivrage de pale enclenché lors du fonctionnement de l'éolienne.

Description technique

**Eoliennes ENERCON
Mode tempête**

Mentions légales

- Editeur : ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Allemagne
Téléphone : +49 4941 927-0
Fax : +49 4941 927-109
- Copyright : © ENERCON GmbH. Toute communication et reproduction de ce document, toute exploitation ou communication de son contenu sont interdites, sauf autorisation expresse. Tout manquement à cette règle est illicite et expose son auteur au versement de dommages et intérêts. Tous nos droits sont réservés, notamment pour le cas de la délivrance d'un brevet, ou de l'enregistrement d'un modèle d'utilité ou d'un modèle de présentation.
- Proposition de modification : ENERCON GmbH se réserve le droit, à tout moment et sans préavis de modifier ce document et son contenu dans le but de l'améliorer et de le mettre à jour.

Information concernant le document

Document	D0191612-0b	
Note	Ce document est une traduction du document original portant le numéro D0178786-0a (ger).	
Date	Langue	Usine / Département
2012-01-11	fre	WRD GmbH / Validierung
Index	Date	Modification
0	2011-12-14	Rédaction du document
0a	2011-12-21	Modifications rédactionnelles
0b	2012-01-11	Modifications rédactionnelles

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

1 Mode tempête ENERCON

Les éoliennes ENERCON disposent d'un système de contrôle spécial leur permettant de fonctionner par temps de tempête. Ceci signifie que, par vents très forts, l'éolienne travaille en mode bridé, ce qui évite les arrêts qui conduiraient à des pertes de production considérables.

Lorsque le mode tempête est activé la vitesse nominale est réduite linéairement pendant une vitesse de vent définie pour chaque type d'éolienne. La limitation de la vitesse nominale a comme conséquence la réduction de la puissance à partir d'une autre vitesse de vent spécifique au type d'éolienne. L'éolienne est uniquement arrêtée à partir d'une vitesse de vent supérieure à 34 m/s (valeur moyenne sur 10 minutes). A titre de comparaison : Lorsque le mode tempête est désactivé l'éolienne est arrêtée à une vitesse de vent de 25 m/s (valeur moyenne de 3 minutes).

À part une croissance du rendement, le mode tempête ENERCON a une influence positive sur la stabilité du réseau électrique vu que les éoliennes ENERCON réduisent graduellement la puissance injectée en évitant de la suspendre brusquement.

2 Comportement de l'éolienne lorsque le mode tempête est désactivé

Lorsque le mode tempête est désactivé, l'éolienne s'arrête si la vitesse du vent est de 25 m/s avec une valeur moyenne de 3 minutes ou si elle est de 30 m/s avec une valeur moyenne de 30 m/s (V_3). Si nécessaire, ces limites peuvent être modifiées dans le système de contrôle de l'éolienne. Pour des raisons de protection de l'éolienne l'augmentation des vitesses de coupure est cependant limitée assez rigoureusement.

L'éolienne redémarre dès que les conditions correspondantes aux 10 minutes (réglage standard) ne sont plus détectées. Si nécessaire on peut adapter cette période dans le système de contrôle de l'éolienne.

3 Comportement de l'éolienne lorsque le mode tempête est activé

Lorsque le mode tempête est activé, il est possible de sélectionner la possibilité de réglage nommée ci-dessus mais elle sera cependant pas analysée par le système de commande. Puis la vitesse est réduite linéairement depuis une vitesse de vent définie pour chaque type d'éolienne. Le temps de rapport de la vitesse du vent est de 12 s. Lors de rafales positives qui dépassent de plus de 3 m/s (moyenne par seconde) la valeur moyenne de 12 secondes, alors la valeur moyenne de 12 secondes est spontanément adaptée à la valeur moyenne par seconde.

La limitation de la vitesse a comme conséquence la réduction de la puissance à partir d'une vitesse de vent spécifique au type d'éolienne (V_4).

L'éolienne s'arrête à partir d'une vitesse de vent V_5 de 34 m/s (valeur moyenne sur 10 minutes).

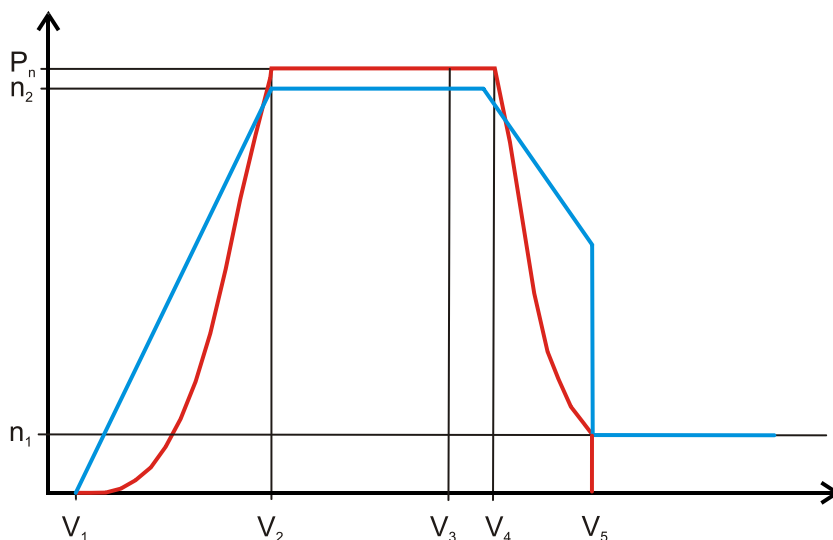


Figure 1: Vitesse du vent/vitesse de rotation/courbe de puissance lorsque le mode tempête est activé (exemple)

V_1	Vitesse du vent de démarrage	—	Vitesse de rotation n
V_2	Vitesse nominale du vent	—	Puissance active P
V_3	Vitesse de coupure du vent lorsque le mode tempête est désactivé	n_1	Plage de la vitesse de rotation à vide
V_4	Début de la réduction de puissance	n_2	Vitesse de rotation nominale lors de la puissance nominale
V_5	Vitesse de coupure du vent lorsque le mode tempête est activé	P_n	Puissance nominale

Pour les éoliennes équipées d'un anémomètre à coupelles, le mode tempête est automatiquement désactivé lorsque la température extérieure est $< 3\text{ °C}$.

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

Description technique

Eoliennes ENERCON

E-70 E4 à E-115

Protection contre l'incendie

Mentions légales

Éditeur	ENERCON GmbH ▪ Dreekamp 5 ▪ 26605 Aurich ▪ Allemagne Téléphone : +49 4941 927-0 ▪ Fax : +49 4941 927-109 E-mail : info@enercon.de ▪ Internet : http://www.enercon.de Directeur général : Aloys Wobben, Hans-Dieter Kettwig, Nicole Fritsch-Nehring Tribunal compétent Aurich ▪ Numéro d'immatriculation au registre de commerce : HRB 411 ▪ N° TVA : DE 181 977 360
Remarque sur les droits de propriété intellectuelle	<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>
Marques déposées	Toutes les marques de commerce et logos désignés dans ce document sont la propriété intellectuelle de l'auteur correspondant. Les droits conférés par le droit des marques de commerce et logos s'appliquent de manière illimitée.
Réserve de modification	ENERCON GmbH se réserve le droit, à tout moment et sans préavis de modifier ce document et son contenu dans le but de l'améliorer et de le mettre à jour, sauf accords contractuels ou législations contraires.

Information concernant le document

Numéro du document	D0258464-1		
Note	Ce document est une traduction du document original portant le numéro D0253572-1 (ger).		
Date	Langue	DCC	Usine / Département
2013-08-12	fre	DA	WRD GmbH / Documentation Department

Système de protection contre l'incendie

Le système de protection contre l'incendie de l'éolienne ENERCON E-70 E4, E-82 E2, E-82 E3, E-82 E4, E-92, E-101 et E-115 se caractérise par des mesures préventives pour la protection contre l'incendie, d'éléments de protection contre l'incendie et de mesures organisationnelles en cas d'incendie.

Protection préventive contre l'incendie

Grâce au système d'entraînement sans boîte de vitesse des éoliennes ENERCON, des incendies qui ont pu survenir en raison de frottement mécanique, sont combattus.

Quelques composants de l'éolienne sont par ailleurs fabriqués en matériaux ignifuges, difficilement ou non inflammables.

Les éoliennes ENERCON continuent à être équipées d'un système de protection parafoudre de l'extrémité de la pale jusqu'à la fondation. Des coups de foudre sont ainsi déviés, sans entraîner des dommages sur la pale ou sur d'autres composants de l'éolienne.

Tous les composants mécaniques et électriques de l'éolienne ENERCON 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. Les messages des capteurs sont également transmis à la centrale de service ENERCON par le système ENERCON SCADA. Si la commande de l'éolienne détecte un état inadmissible, celle-ci est arrêtée ou continue à fonctionner avec une puissance réduite.

Arrêt de l'éolienne en toute sécurité dans les situations de danger

Les pales de l'éolienne ENERCON sont équipées d'unités de réglage d'urgence. Lors d'un défaut relevant de la sécurité, l'éolienne est arrêtée, en coupant les boîtes relais des pales, les moteurs de réglage des pales (pitch) du système de commande, et en commutant les contacteurs dans les boîtes relais des pales sur alimentation en courant à l'aide des armoires des condensateurs. Les pales se mettent en drapeau de manière incontrôlée et indépendamment l'une de l'autre, jusqu'à ce qu'elles soient coupées par le contact de fin de course sur les paliers de pale. Lors d'un freinage d'urgence du rotor, en cas d'incendie par exemple, un frein rotor électromécanique est utilisé en plus. Le rotor s'arrête au bout de 10 à 15 secondes.

Composants de protection contre l'incendie

Détecteur d'incendie

Les détecteurs d'incendie suivants sont installés dans les éoliennes ENERCON E-70 E4, E-82 E2, E-82 E3, E-82 E4, E-92, E-101 et E-115 :

- 1 détecteur d'incendie Hekatron ORS 142 côté salle des machines sur l'anneau de support du stator
- 1 détecteur d'incendie Hekatron ORS 142 sur la partie inférieure du support principal (sommet du mât)



Grâce au système de refroidissement de l'éolienne, l'air circule du pied du mât à une vitesse élevée vers le haut en direction de la nacelle. Un incendie dans le pied du mât et dans le mât où ne se trouve aucun détecteur d'incendie, est détecté par le détecteur d'incendie situé sous le support principal (sommet du mât).

Systemes d'extinction d'incendie

- 1 extincteur manuel CO₂ dans la nacelle,
- 1 extincteur manuel CO₂ dans le pied du mât, si nécessaire selon les directives nationales en vigueur



Les employés ENERCON Service emmènent également un extincteur supplémentaire dans leur véhicule de service.

Mesures organisationnelles

Cas d'incendie lors du fonctionnement de l'éolienne

Pendant le fonctionnement de l'éolienne, personne ne se trouve dans l'éolienne. Si un incendie est décelé, le rotor s'arrête via le freinage d'urgence. Le système de protection contre l'incendie génère des signaux qui sont transmis immédiatement à la centrale de service ENERCON via le système de surveillance à distance ENERCON SCADA. Le centre est joignable 24h/ 24 et alerte immédiatement les pompiers sur place et l'exploitant du réseau qui décident sur site des autres mesures à prendre.

Incendie en présence de personnes

Si des personnes se trouvent dans l'éolienne en cas d'incendie, par ex. pour réaliser des travaux de service, il faut alors suivre les indications et les règles de conduite suivantes :

- Stopper l'éolienne et désactiver l'interrupteur principal si cela est encore possible ; dans le cas contraire, actionner le bouton Emergency stop (ARRÊT D'URGENCE).
- Appeler les pompiers.
- Sortir les personnes blessées de la zone à risque et dispenser les premiers soins.
- Combattre le feu avec un extincteur au CO₂, en respectant le manuel d'opération de l'extincteur. Ne tenter d'éteindre les incendies que si la sécurité et une issue de secours sont garanties.
- Si l'incendie ne peut pas être éteint immédiatement, ne pas poursuivre les tentatives d'extinction. Evacuer l'éolienne et les bâtiments voisins le cas échéant et quitter l'installation. Délimiter largement la zone autour de l'éolienne.
- S'il n'est plus possible de descendre en toute sécurité du mât, monter dans la nacelle et sortir de cette dernière par la trappe du treuil avec le dispositif de sauvetage.
- Informer le chef de service du distributeur d'électricité compétent.
- Dégager les voies d'accès pour les véhicules de secours.
- Faire appel au Service ENERCON.

Maintenance

Pour les éoliennes ENERCON, il faut prévoir une maintenance quatre fois par an (chaque trimestre). Les détecteurs d'incendie dans l'éolienne et le système ENERCON SCADA sont contrôlés dans le cadre de la maintenance électrique annuelle. Le contrôle et la maintenance des extincteurs sont réalisés en fonction des directives nationales en vigueur.



Si l'interrupteur de maintenance sur l'éolienne est mis sur *Maintenance On*, les signaux des détecteurs d'incendie et les autres capteurs ne sont pas transmis à la centrale de Service ENERCON.

Optischer Rauchschalter ORS 142

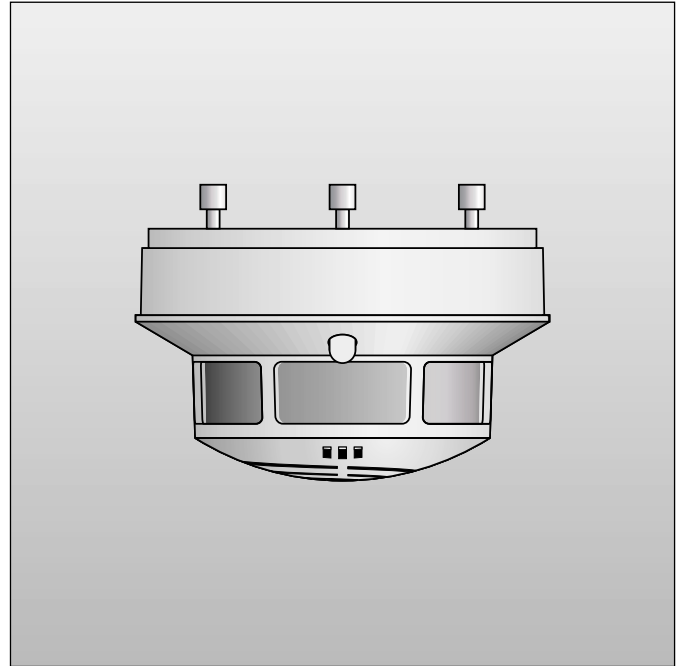
Détecteur de fumée optique ORS 142

ORS 142 optical smoke switch

- optische Rauchererkennung
- Verschmutzungsanzeige
- Alarmschwellennachführung
- kommunikationsfähig
- Meßkammerüberwachung
- potentialfreier Öffner

- détection de fumée optique
- indicateur de colmatage
- correction du seuil d'alarme
- communication
- surveillance par chambre de mesure
- contact d'ouverture exempt de potentiel

- Optical smoke detection
- Contamination warning
- Auto contamination compensation
- Communications capability
- Sensing chamber monitoring
- NC volt-free contact



Der optische Rauchschalter ORS 142 erkennt frühzeitig sowohl Schwelbrände als auch offene Brände mit Rauchentwicklung. Ein zusätzlicher Temperaturfühler spricht bei einer Umgebungstemperatur von 70 °C an. Er wird vorzugsweise in Feststellanlagen und maschinellen Rauchabzugsanlagen eingesetzt. Der ORS 142 löst den bisherigen Rauchschalter ORS 132 ab.

Le détecteur de fumée optique ORS 142 décele rapidement aussi bien les feux couvants que les feux déclarés avec émission de fumée.

Un capteur thermique supplémentaire se déclenche automatiquement à partir d'une température ambiante de 70°C.

Ce dispositif s'utilise de préférence pour les contrôles automatiques des portes et systèmes de désenfumage mécaniques

The ORS 142 optical smoke switch reacts promptly to smouldering fires as well as to flaming fires that develop smoke. An additional temperature sensor is triggered at an ambient temperature of 70 °C.

Its principal application is for door holder/closer systems and powered smoke ventilation systems.

Der ORS 142 arbeitet nach dem Streulichtprinzip. Lichtsender und -empfänger sind in der Meßkammer so angeordnet, daß das Licht des Senders den Empfänger nicht direkt trifft. Erst das an Schwebeteilchen gestreute Licht gelangt zum Empfänger.

Die Auswerteelektronik des ORS 142 überwacht den Rauchmeßteil des Melders zusätzlich auf leichte Verschmutzung, starke Verschmutzung und Störung (Meßkammerausfall).

Die jeweiligen Betriebszustände zeigt der ORS 142 optisch an.

Eine Langzeit-Alarmschwellennachführung sorgt für einen gleichbleibenden Abstand zwischen Grundsignal und Alarmschwelle, bis der Grenzwert für starke Verschmutzung erreicht ist.

Ein Relaiskontakt öffnet bei Alarm sowie bei Spannungsausfall.

Kommunikation

Der ORS 142 meldet seinen Funktionszustand über Stift 3 an eine RZA 142 (Rauchschalter-Zustandsanzeige). Hier werden ebenfalls die Zustände mit farbigen LEDs optisch angezeigt.

Wird der ORS 142 an ein RSI (Rauchschalter-Interface) angeschlossen, können die Melderzustände mit einem PC abgefragt werden. Mit einem Modem können RSI und PC über eine Postleitung kommunizieren.

L'ORS 142 fonctionne sur le principe de la lumière diffuse. L'émetteur et le récepteur de lumière sont positionnés dans la chambre de mesure de manière que la lumière provenant de l'émetteur ne parvienne pas directement au récepteur, mais seulement sous forme de lumière diffusée sur les particules en suspension.

L'unité d'évaluation électronique de l'ORS 142 surveille le dispositif de mesure de fumée du détecteur afin de déceler l'encrassement, faible ou important, ainsi que les pannes (défaillances de la chambre de mesure). Les états de fonctionnement de l'ORS 142 sont signalés de manière optique. Le dispositif de correction du seuil d'alarme assure un écart constant entre le signal de base et le seuil d'alarme, et ceci jusqu'à ce que la valeur limite d'encrassement important soit atteinte.

Un contact de relais s'ouvre en cas d'alarme ou d'absence de courant.

Communication

L'ORS 142 signale son état de fonctionnement au niveau de l'ergot 3 de l'indicateur de fonctionnement RZA 142. Des DEL de couleur signalent également les états de fonctionnement de manière optique. Lorsque l'ORS 142 est branché sur une interface de détecteur de fumée, il est possible de vérifier l'état de fonctionnement du détecteur à partir d'un PC. À l'aide d'un modem, l'interface et le PC peuvent communiquer par une ligne téléphonique.

The ORS 142 operates on the light scatter principle. Inside the sensing chamber a light source and a light sensor are arranged so that the light normally does not fall on the sensor. It is only when airborne particles enter the chamber that light is scattered onto the sensor.

The ORS 142 electronic circuitry also monitors the smoke detection system for slight contamination (dust and dirt build-up), heavy contamination and faults (sensing chamber failure). LEDs provide an optical indication of the operating status of the ORS 142. A long-term compensation function automatically maintains a constant difference between the quiescent signal and the alarm threshold, until a set limit indicating heavy contamination is reached.

A relay contact opens in the alarm condition or on power failure.

Communications

The ORS 142 signals its functional status via pin 3 to an RZA 142 smoke switch status indicator, whose coloured LEDs give an additional remote optical indication of the instrument's condition.

If the ORS 142 is linked to an RSI smoke switch interface, detector status can be scanned from a PC. The RSI and the PC can also communicate over a telecommunications line.

DIBt-Zulassungen für:

Feststellanlagen	Z-6.5-1571 Z-6.5-1725
maschinelle Rauchabzugsanlagen	Z-78.5-15

Homologations DIBt pour :

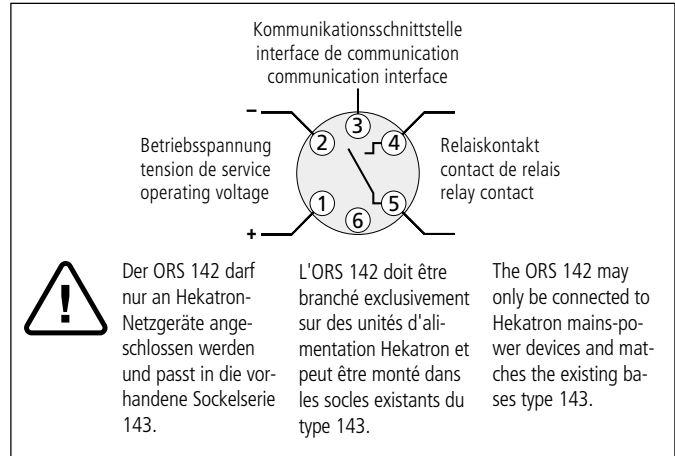
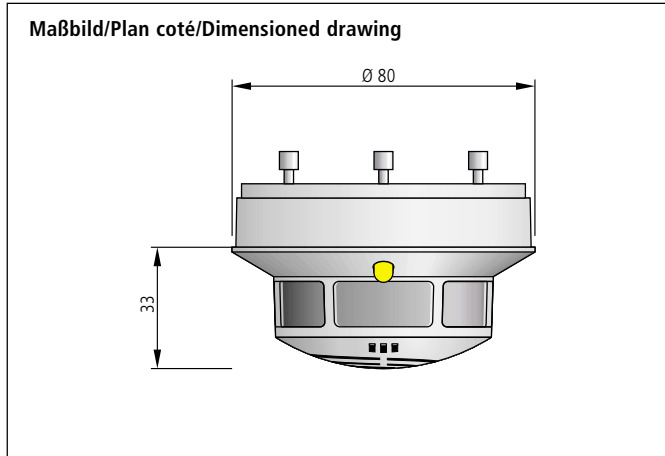
Équipements coupe-feu	Z-6.5-1571 Z-6.5-1725
Systèmes de désenfumage mécaniques	Z-78.5-15

DIBt approvals for:

Hold-open systems	Z-6.5-1571 Z-6.5-1725
Powered smoke ventilation systems	Z-78.5-15

Technische Daten/Caractéristiques techniques/Technical data

nach/selon/to EN 54, Teil 7	Rauch	Fumée	Smoke
70 °C	Temperatur	Température	Temperature
18 bis/à/to 28 VDC	Betriebsspannung	Tension de service	Operating voltage
	Stromaufnahme bei 28 V _{DC}	Consommation pour 28 V _{DC}	Current draw at 28 V DC
max. 21 mA	in Ruhe	au repos	quiescent
max. 10 mA	bei Alarm	en cas d'alarme	in alarm
max. 25 mA	bei Störung	en cas de défaillance	in fault
Öffner/contact d'ouverture/NC	Relaiskontakte	Contacts de relais	Relay contact
max. 30 VDC	Schaltspannung	Tension d'enclenchement	switched voltage
max. 1 A	Schaltstrom	Courant d'enclenchement	switched current
max. 30 W	Schaltleistung	Puissance de rupture	switched power
IP 42	Schutzart	Indice de protection	Ingress protection
-20 bis/à/to +80 °C	Betriebsumgebungstemperatur	Température ambiante d'exploitation	Ambient operating temperature
120 g	Gewicht	Poids	Weight



Relais/Relais/Relay

Einzelanzeige/Affichage individuel/LED

Betrieb en service in operation		grün/vert/green	—
leicht verschmutzt légèrement encrassé slight contamination		grün/vert/green gelb/jaune/yellow	
stark verschmutzt encrassé heavy contamination		grün/vert/green gelb/jaune/yellow	
Störung défaillance fault		gelb/jaune/yellow	—
Alarm alarme alarm		rot/rouge/red	—
spannungslos hors tension power off		dunkel/sombre/dark	—

Bestelldaten/Références/Ordering data

5 000 552	ORS 142	Rauchschalter, weiß nach RAL 9010	Détecteur de fumée, blanc RAL 9010	Smoke switch, white (DIN shade RAL 9010)
		andere Farben auf Anfrage	autres couleurs sur demande	other colours on request

Technische Änderungen sowie Liefermöglichkeiten vorbehalten.

Sous réserve de modifications techniques ainsi que de possibilités de livraison.

Specifications subject to change without notice. Delivery subject to availability.

www.hekatron.de
info@hekatron.de

HEKATRON Vertriebs GmbH
Brühlmatten 9
D-79295 Sulzburg
Telefon (07634) 500-264
Telefax (07634) 500-323

HEKATRON
Sicherheitssysteme

Ein Unternehmen der
Schweizer Securitas Gruppe

Une entreprise du
Groupe suisse Securitas

A member of the
Swiss Securitas Group