

Annexes de l'étude d'impact

Partie 1/5 - Données techniques ENERCON

INTERVENT
— l'élan de l'énergie renouvelable

Projet de Parc Eolien Girolles

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



Version mise à jour - Février 2022

AU01

Contenu :

- Description Technique de l'éolienne Enercon E-82

Données techniques E-82 E2 / 2 MW/2,3 MW

Généralités	
Fabricant	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Allemagne
Désignation du type	E-82 E2
Puissance nominale	2000/2300 kW
Hauteurs des moyeux	78,33 m, 84,00 m, 84,58 m, 98,38 m, 108,38 m, 138,38 m
Diamètre du rotor	82 m
Classe de vent CEI (éd. 3)	IIA
Vitesse de vent extrême à hauteur du moyeu (valeur moyenne sur 10 min)	42,5 m/s Correspond à un équivalent de charge d'env. 59,5 m/s (rafale 3 s)
Moyenne annuelle de la vitesse du vent à hauteur du moyeu	8,5 m/s

Rotor avec réglage des pales	
Type	Rotor face au vent à réglage actif des pales
Sens de rotation	Sens des aiguilles d'une montre
Quantité de pales de rotor	3
Longueur de pales de rotor	38,8 m
Surface balayée	5281 m ²
Matériau de la pale du rotor	Plastique renforcé de verre/résine époxy/bois de balsa/mousse
Vitesse de rotation inférieure d'injection de puissance jusqu'à vitesse nominale	5 – 17,4/17,5 (2000/2300 kW) tr/min
Vitesse en bout de pale en cas de la vitesse de rotation de consigne	Jusqu'à 77,28 m/s
Vitesse de vent de régulation	29 - 34 m/s (avec système de mode tempête ENERCON en option)
Angle de cône	0°
Angle d'axe du rotor	5°
Réglage des pales du rotor	Système de réglage électrique indépendant pour chaque pale avec système d'alimentation électrique de secours dédié

Arbre d'entraînement avec générateur	
Concept d'éolienne	Sans boîte de vitesse, vitesse de rotation variable, convertisseur intégral
Moyeu	Fixe
Disposition des paliers	Palier à deux rangées de rouleaux coniques/palier à rouleaux cylindriques
Générateur	Générateur annulaire ENERCON, à entraînement direct
Alimentation réseau	Onduleurs ENERCON à fréquence d'horloge élevée et courant de forme sinusoïdale
Degré de protection/classe d'isolation	IP 23/F

Système de freinage	
Frein aérodynamique	Trois systèmes de réglage des pales indépendants avec alimentation électrique de secours
Frein du rotor	Électromécanique
Dispositif de blocage du rotor	Par crans de 15°

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

Système de contrôle	
Type	Micro-processeur
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
78,33 m	119,33 m	Mât acier avec section de fondation	IEC IIA ¹ (uniquement au Japon)
78,33 m	119,33 m	Mât acier avec cage d'ancrage	IEC IIA ¹ DIBt WZIII / WZ4 GK I ²
84,00 m	125,00 m	Mât hybride (précontrainte externe)	IEC IIA
84,58 m	125,58 m	Mât hybride	IEC IIA ¹ DIBt WZIII / WZ4 GK I ²

Types de mât			
84,58 m	125,58 m	Mât hybride	IEC IIA ¹ (pour les zones de tremblement de terre)
84,58 m	125,58 m	Mât acier avec cage d'ancrage	IEC IIA ¹ DIBt WZIII / WZ4 GK I ²
98,38 m	139,38 m	Mât hybride	IEC IIA ¹ DIBt WZIII / WZ4 GK I ²
98,38 m	139,38 m	Mât hybride (précontrainte externe)	IEC IIA
108,38 m	149,38 m	Mât hybride	IEC IIA ¹ DIBt WZIII / WZ4 GK I ²
108,38 m	149,38 m	Mât hybride (précontrainte externe)	IEC IIA ¹
138,38 m	179,38 m	Mât hybride	IEC IIA ¹ DIBt WZIII / WZ4 GK I ²

¹édition 3

²édition 2004

Description technique

Éolienne ENERCON

E-82 E2 / 2MW/2,3MW

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	D0598868-1		
Note	Document original. Document source pour cette traduction D0363378-1/2016-09-01		
Date	Langue	DCC	Usine / Département
2017-06-12	fr	DA	WRD Management Support GmbH / Documentation Department

Sommaire

1	Aperçu de l'éolienne ENERCON E-82 E2	1
2	Le concept d'éoliennes ENERCON	2
3	Composants de l'éolienne E-82 E2	3
3.1	Pales du rotor	4
3.2	Nacelle.....	4
3.2.1	Générateur annulaire	4
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.....	9
6	Système de contrôle	12
6.1	Contrôle d'orientation.....	12
6.2	Réglage des pales du rotor.....	12
6.3	Démarrer l'éolienne	13
6.3.1	Préparation du démarrage	13
6.3.2	Mesure du vent et orientation de la nacelle	13
6.3.3	Excitation du générateur	14
6.3.4	Injection de puissance.....	14
6.4	Modes de fonctionnement	15
6.4.1	Mode pleine charge.....	15
6.4.2	Mode charge partielle.....	16
6.4.3	Fonctionnement à vide	16
6.5	Arrêt sécuritaire de l'éolienne	17
7	Système de surveillance à distance	18
8	Maintenance	19
9	Données techniques E-82 E2 / 2 MW/2,3 MW	20

1 Aperçu de l'éolienne ENERCON E-82 E2

L'éolienne E-82 E2 ENERCON est une éolienne à entraînement direct d'une puissance nominale de 2000/2300 kW, dotée d'un rotor à trois pales, d'un système actif de réglage des pales et fonctionnant à vitesse variable. Elle possède un rotor d'un diamètre de 82 m et peut être livrée avec des hauteurs de moyeu de 78 m à 138 m.



Fig. 1: Vue d'ensemble de l'éolienne ENERCON E-82 E2

2 Le concept d'éoliennes ENERCON

Sans boîte de vitesse

Le système d'entraînement de l'E-82 E2 ne comporte que peu de pièces tournantes. Accouplés l'un à l'autre directement sans boîte de vitesse intercalée, le moyeu du rotor et le rotor du générateur annulaire forment une unité solidaire. Les sollicitations mécaniques sont ainsi réduites et la durée de vie technique accrue. Le nombre et l'étendue des opérations de maintenance et de service s'en trouvent réduits (entre autre moins de pièces d'usure, pas de vidange d'huile de la boîte de vitesse), ce qui se traduit par une baisse des coûts d'exploitation. Étant donné que l'éolienne ne possède pas de boîte de vitesse et de pièces à grande vitesse de rotation, les pertes d'énergie entre le rotor et le générateur et les émissions sonores sont considérablement réduites.

Réglage actif des pales

Chacune des 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. 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-82 E2 est ainsi limitée exactement à la puissance nominal même à court terme. Lorsque les pales du rotor sont mises en drapeau, le rotor s'arrête, sans que 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 d'un redresseur, d'un circuit intermédiaire et d'un système modulaire d'onduleurs, offre une production maximale d'énergie et une compatibilité élevée avec le réseau. Les caractéristiques électriques du générateur annulaire sont par conséquent insignifiantes pour la conduite de l'éolienne sur le réseau de distribution ou de transport. En fonction de la vitesse du vent, la vitesse de rotation, l'excitation, la tension de sortie et la fréquence de sortie du générateur annulaire peuvent varier. L'énergie du vent peut être ainsi également être utilisée de manière optimale dans la plage de charge partielle.

3 Composants de l'éolienne E-82 E2

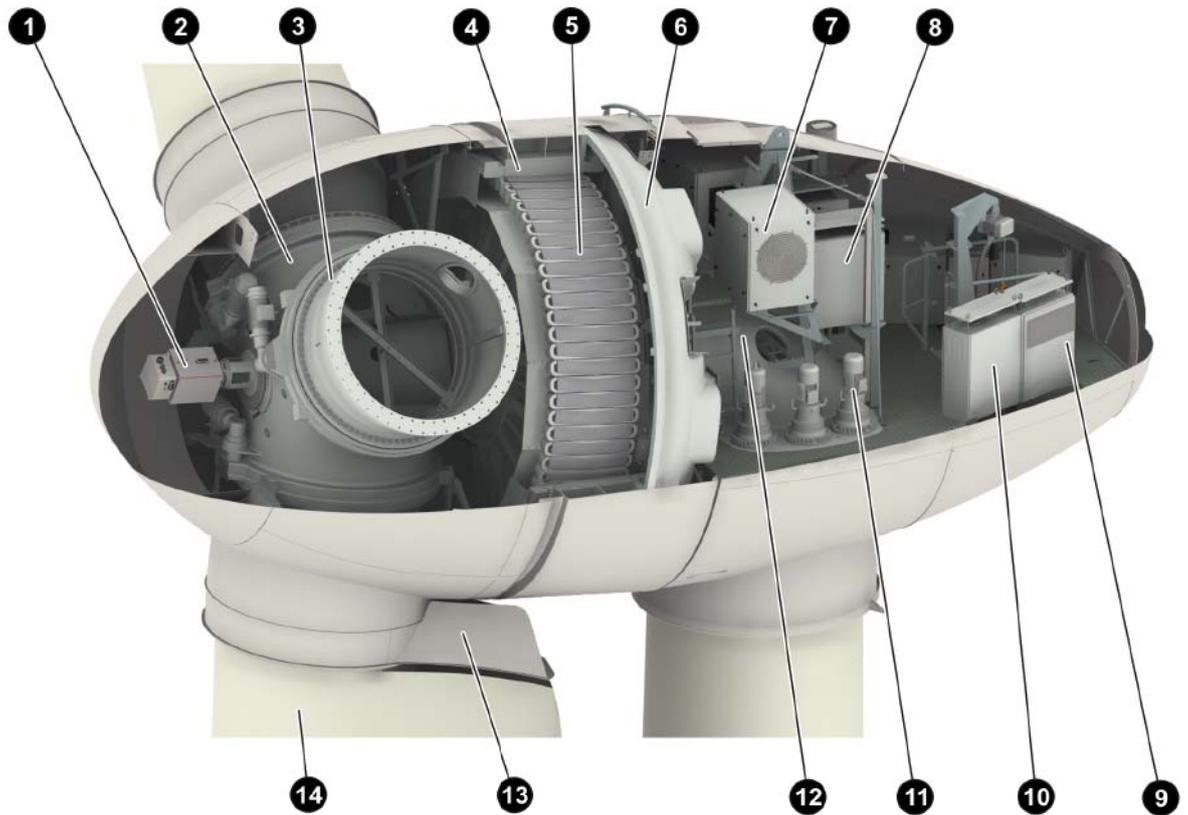


Fig. 2: Vue de la nacelle ENERCON E-82 E2

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

3.1 Pales du rotor

Les pales du rotor en plastique renforcé 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 en coques et par infusion sous vide. La forme et le profil des pales du rotor de l'E-82 E2 ont été conçus en fonction des critères suivants :

- Coefficient de puissance élevé
- Longue durée de vie
- Faibles émissions sonores
- Faibles contraintes mécaniques
- Utilisation optimale de matériaux

Une des particularités est le profilage des pales de rotor qui s'étend jusqu'à la nacelle. Les pertes internes liées à l'écoulement de l'air sur les pales du rotor traditionnelles sont ainsi évitées. L'énergie du vent peut être exploitée de manière optimale grâce à la géométrie de la nacelle, favorisant l'écoulement de l'air.

Les pales de l'E-82 E2 sont tout spécialement conçues pour un système de réglage des pales variable et pour une vitesse de rotation variable. Le revêtement de la surface sur la 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 d'angle des 3 pales du rotor est assuré par trois systèmes de réglage des pales indépendants commandés par microprocesseurs. L'angle de pale réglé est surveillé en permanence par une mesure d'angle des pales, et les trois angles de pale du rotor sont synchronisés entre eux. Ce principe permet d'ajuster rapidement et avec précision l'angle des pales aux régimes de vent dominants.

3.2 Nacelle

3.2.1 Générateur annulaire

Dans les éoliennes ENERCON, on utilise un générateur synchrone multipolaire à excitation indépendante (générateur annulaire). L'éolienne fonctionne avec une vitesse de rotation variable pour permettre l'exploitation optimale de l'énergie éolienne potentielle, indépendamment de la vitesse du vent. Le générateur annulaire produit alors du courant alternatif avec une tension, une fréquence et une amplitude variables.

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

Ainsi le générateur annulaire n'est pas directement raccordé avec le 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-82 E2 est un mât acier ou un mât en béton préfabriqué fabriqué en sections préfabriquées en béton. Différentes hauteurs de mât sont disponibles.

La couche de peinture ou la protection contre les intempéries et la corrosion sont appliquées 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 acier est un tube en tôle d'acier qui s'affine de manière linéaire vers le haut. Il est préfabriqué en quelques grandes sections en usine. 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.

Le mât 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 de béton ou sur la paroi intérieure du mât. Ils sont ancrés dans la chambre de précontrainte.

Pour des raisons techniques et économiques, la partie supérieure plus étroite du mât hybride de l'E-82 E2 est composée d'acier. Il n'est p. ex. pas possible de monter le palier d'orientation directement sur les éléments en béton et l'épaisseur beaucoup plus fine de la partie en acier offre plus d'espace dans le mât.

4 Système d'alimentation du réseau

Le générateur annulaire est connecté au réseau par le système d'alimentation du réseau ENERCON. Ce système est essentiellement constitué d'un redresseur, d'un circuit intermédiaire et de plusieurs onduleurs modulaires.

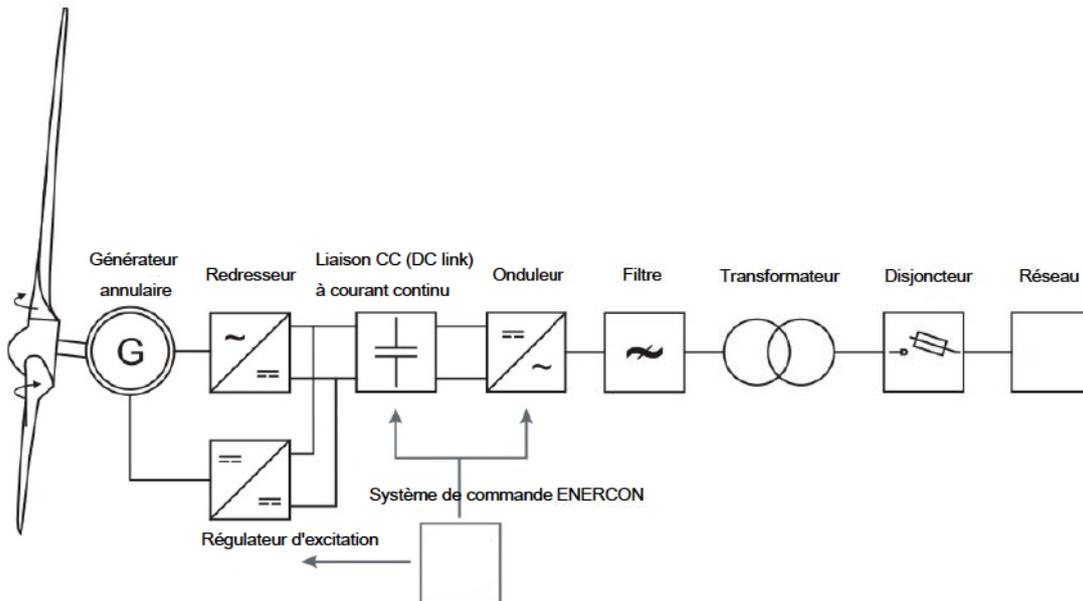


Fig. 3: Schéma électrique simplifié d'une éolienne ENERCON

Le système d'alimentation du réseau – tout comme l'excitation du générateur et le réglage des pales – est piloté par le système de commande, avec pour objectifs une production maximale d'énergie et une compatibilité élevée avec le réseau.

Le découplage du générateur annulaire et du réseau permet de transmettre de façon optimale la puissance produite. Les modifications soudaines de la vitesse du vent occasionnent une réponse contrôlée pour assurer la stabilité de l'alimentation du réseau. De la même façon, les éventuelles pannes du réseau électrique n'ont pratiquement aucune répercussion du côté mécanique de l'éolienne. La puissance électrique injectée sur le réseau par l'éolienne E-82 E2 peut être réglée avec précision de 0 kW à 2000/2300 kW.

En général, les caractéristiques que doit indiquer une certaine éolienne ou un certain parc éolien 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.

La structure du système d'onduleurs dans le pied du mât dépend de la configuration de l'éolienne. En règle générale, un transformateur convertit la basse tension directement dans ou à proximité de l'éolienne de 400 V à la tension HTA souhaitée.

Puissance réactive

L'éolienne E-82 E2 peut au moyen de la commande FACTS standard (Flexible AC Transmission System) fournir au besoin de la puissance réactive et ainsi contribuer au bilan de la puissance réactive et au maintien de la tension dans le réseau. Déjà à partir de 10 % de la puissance active nominale, toute la plage de réglage de puissance réactive est disponible. La plage de réglage maximale pour la puissance réactive dépend de la configuration de l'éolienne.

Configuration FT

L'éolienne E-82 E2 est équipée de manière standard de la technologie FACTS qui remplit les exigences élevées des codes de réseau spécifiques. Elle peut surmonter des états de système en panne dans le réseau (sous-tension, surtension, réenclenchements automatiques etc.) pendant une durée d'erreur allant jusqu'à 5 secondes (FT = FACTS + 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 fournir de la puissance réactive et de l'injecter, indépendamment du fait qu'elle produit elle-même de la puissance active et l'injecte dans le réseau. Tout comme le fait une centrale électrique, elle peut ainsi soutenir à tout moment le réseau électrique de manière active. STATCOM compte une armoire électrique spéciale qui est installée la plupart du temps à proximité du transformateur. Il faut vérifier sur le projet correspondant si la configuration peut être utilisée.

Configuration FTQ

FACTS transmission (FRT) avec option Q+

La configuration FTQ possède toutes les caractéristiques de la configuration FT. Elle possède en outre une plage de réglage de puissance réactive étendue.

Configuration FTQS

FACTS transmission (FRT) avec des options Q+ et STATCOM

La configuration FTQS possède toutes les caractéristiques des configurations FTQ et FTS.

Protection de fréquence

Les éoliennes ENERCON peuvent être utilisées sur des réseaux de fréquence nominale de 50Hz et 60Hz.

La plage opérationnelle de fonctionnement de l'E-82 E2 est définie par une limite minimale et maximale de fréquence. Les événements de sur-fréquence et de sous-fréquence au point de référence de l'éolienne entraînent un déclenchement de la protection de fréquence et un arrêt de l'éolienne après le délai de temporisation maximum de 60 s.

Régulation puissance-fréquence

Si à cause d'une panne de réseau il y a une 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-82 E2 dispose d'une multitude d'installations relevant de la sécurité, qui servent à maintenir l'éolienne de façon permanente dans une plage de fonctionnement sécuritaire. À part les composants qui offrent un arrêt sécuritaire des éoliennes, il y a aussi un système de capteurs très complexe. Ce système enregistre en permanence tous les états de fonctionnement de l'éolienne et met à disposition les informations correspondantes par le biais du système de surveillance à distance ENERCON SCADA.

Si les paramètres de service relevant de la sécurité se situent à l'extérieur d'une plage autorisée, l'éolienne reste en service avec une puissance limitée ou elle est arrêtée.

5.1 Dispositifs de sécurité

Boutons d'arrêt d'urgence

Des boutons d'arrêt d'urgence se trouvent dans l'éolienne ENERCON, à côté de la porte du mât, sur l'armoire de commande dans le pied du mât, sur l'armoire de commande de la nacelle et, si nécessaire, sur d'autres niveaux de l'E-module. Lors de l'actionnement d'un bouton d'arrêt d'urgence, le frein du rotor est activé. Les pales du rotor subissent un réglage d'urgence.

Restent alimentés :

- le frein du rotor
- les feux de balisage lumineux
- l'éclairage
- les prises

Interrupteur principal

Des interrupteurs principaux sont installés dans l'éolienne ENERCON au niveau de l'armoire de commande et sur l'armoire de commande de la nacelle. Lors de leur activation, ils mettent presque toute l'éolienne hors tension.

Restent alimentés :

- les feux de balisage lumineux
- l'ascenseur de service
- les prises
- l'éclairage
- la zone HTA

5.2 Le système de capteurs

De nombreux capteurs enregistrent continuellement l'état actuel de l'éolienne ainsi que les paramètres ambiants significatifs (p. ex. vitesse du rotor, température, vitesse du vent, charge de pale, etc.). Le système de contrôle analyse les signaux et commande l'éolienne en règle générale de sorte que l'énergie éolienne actuellement disponible soit utilisée de manière optimale tout en garantissant la sécurité de fonctionnement.

Capteurs redondants

Afin de garantir un contrôle de plausibilité par comparaison des valeurs signalées, le nombre de capteurs montés est supérieur au nombre effectivement nécessaire (p. ex. pour la mesure de la température dans le générateur), pour certains états de fonctionnement. Tout capteur défectueux est détecté et peut être remplacé par l'activation d'un capteur de réserve. En règle générale, l'éolienne peut ainsi continuer à fonctionner en toute sécurité sans que des grands composants soient remplacés.

Contrôle des capteurs

Le bon fonctionnement des capteurs est contrôlé régulièrement en cours de service par le système de contrôle ou, si cela n'est pas possible, dans le cadre de la maintenance.

Contrôle de la vitesse de rotation

Le système de contrôle de l'éolienne ENERCON règle la vitesse du rotor en modifiant l'angle de pale de manière à ce que la vitesse nominale ne soit pas trop fortement dépassée par vent très fort. Le réglage des pales n'est cependant pas en mesure de réagir suffisamment vite en présence d'événements soudains, comme par exemple une forte rafale ou une diminution brutale de la charge du générateur. Si la vitesse nominale est dépassée de plus de 15 %, le système de contrôle de l'éolienne arrête le rotor. L'éolienne tente de redémarrer automatiquement au bout de 3 minutes. Si ce défaut se produit plus de cinq fois en 24 heures, la présence d'un dysfonctionnement est suspectée. Aucune autre tentative de démarrage n'a lieu.

Parallèlement à la surveillance électronique, un capteur de survitesse électromécanique (capteur de force centrifuge) est installé à l'intérieur ou à côté des 3 armoires de réglage des pales. 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.

Surveillance des vibrations

Le capteur de vibrations détecte les fortes vibrations et secousses excessives qui peuvent par exemple se produire lors d'une panne du redresseur. Il est monté sur le bord inférieur du support principal de l'éolienne et se compose d'un détecteur muni d'une tige à ressorts à l'extrémité de laquelle se trouve une boule retenue par une chaîne. La boule est posée sur l'extrémité d'un tube vertical court. En cas de fortes vibrations, la boule tombe de son support, actionne le capteur par l'intermédiaire de la chaîne, déclenchant ainsi un réglage d'urgence des pales du rotor qui arrête le rotor.

Système de surveillance de l'entrefer

La largeur de l'entrefer entre le rotor et le stator du générateur annulaire est surveillée à l'aide de 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.

2 capteurs d'accélération enregistrent les accélérations de la nacelle dans la direction de l'axe du moyeu (oscillations longitudinales) et dans la direction transversale (oscillations transversales). À partir de ces données, le système de contrôle calcule continuellement les mouvements du mât par rapport à sa position de repos. Si les oscillations dépassent la valeur autorisée, l'éolienne s'arrête. Elle redémarre automatiquement après quelques instants. Les capteurs d'accélération sont montés sur le même dispositif de fixation que le capteur de vibrations. Si, pendant 24 heures, le mât présente à plusieurs reprises des oscillations dépassant les limites admissibles, l'éolienne ne tente plus de redémarrer.

Système de surveillance de la température

Certains composants de l'éolienne ENERCON sont refroidis. Des capteurs de température mesurent continuellement la température des composants de l'éolienne qui doivent être protégés des températures élevées.

Lorsque la température est trop élevée, le système de contrôle réduit la puissance de l'éolienne ou arrête cette dernière, si nécessaire. L'éolienne refroidit et redémarre en général automatiquement dès que la température retombe sous la valeur limite prescrite.

Certains points de mesure sont également équipés de capteurs de surchauffe. Ceux-ci provoquent également un arrêt de l'éolienne, dans certains cas, sans redémarrage automatique après refroidissement, lorsque la température dépasse une certaine valeur seuil.

Certains modules, tels que l'accumulateur d'énergie du balisage de danger et le générateur p. ex., sont réchauffés lorsque la température est trop basse afin de les maintenir dans un état opérationnel.

Système de surveillance du bruit interne à la nacelle

La tête du rotor contient des capteurs qui réagissent aux bruits de chocs élevés pouvant provenir de composants desserrés ou défectueux. L'éolienne est stoppée lorsqu'un des capteurs signale des bruits et en l'absence d'un message indiquant une autre cause.

Les messages de toutes les éoliennes d'un parc sont comparés les uns aux autres pour exclure toute cause extérieure de bruits (grêle lors d'un orage notamment). Les éoliennes individuelles sont en outre équipées d'un capteur de bruits placé dans la salle des machines. Lorsque les capteurs de plusieurs éoliennes ou le capteur de bruits de la salle des machines signalent des bruits simultanément, on peut alors supposer que les causes sont extérieures. Les capteurs de bruit sont désactivés pendant un court instant de sorte qu'aucune des éoliennes ne soit stoppée dans le parc éolien.

Surveillance anti-torsion des câbles

Si la nacelle de l'éolienne tourne jusqu'à trois fois sur son axe, vrillant ainsi les câbles descendus dans le mât, le système de contrôle de l'éolienne les dévrille automatiquement dès que possible.

La surveillance anti-torsion des câbles dispose de capteurs qui coupent l'alimentation en courant des moteurs d'orientation lorsque la plage de réglage autorisée est dépassée.

6 Système de contrôle

Le système de contrôle de l'E-82 E2 repose sur un système de microprocesseurs développé en interne par la société ENERCON qui interroge tous les composants de l'éolienne au moyen de capteurs et recueille des données, telles que la direction et la vitesse du vent, et adapte ainsi en fonction le mode de fonctionnement de l'E-82 E2. L'état actuel de l'éolienne et les éventuelles pannes sont affichés sur l'écran de l'éolienne de l'armoire de commande située dans le pied du mât.

6.1 Contrôle d'orientation

Le palier d'orientation muni d'une couronne extérieure se situe sur la connexion supérieure du mât. Il permet la rotation de la nacelle et ainsi le contrôle d'orientation (yaw control).

Si l'écart entre la direction du vent et la direction de l'axe du rotor est supérieur à la valeur maximale autorisée, les entraînements d'orientation sont activés et permettent alors à la nacelle de suivre le vent. La commande des moteurs d'orientation garantit un démarrage et un freinage en douceur. Le système de contrôle surveille le processus d'orientation. En cas de détection d'irrégularités, le processus d'orientation est désactivé et l'éolienne est stoppée.

6.2 Réglage des pales du rotor

Principe de fonctionnement

Le système de réglage des pales modifie l'angle d'attaque avec lequel l'air arrive sur le profil des pales. La modification de l'angle de pale induit également une modification de la force ascensionnelle de pale, et donc également de la force avec laquelle la pale fait tourner le rotor.

Lors du fonctionnement normal (mode automatique), l'angle de pale est réglé de sorte que, d'une part, l'énergie du vent soit utilisée de manière optimale et que, d'autre part, l'éolienne ne soit soumise à aucune surcharge ; pour ce faire les conditions cadre comme l'optimisation acoustique sont respectées. Le réglage de pales permet également le freinage aérodynamique du rotor.

Lorsque l'éolienne atteint sa puissance nominale et que la vitesse du vent continue d'accélérer, le système de réglage des pales tourne légèrement les pales du rotor hors du vent de manière à ce que la vitesse du rotor et la puissance absorbée du vent et transformée par le générateur n'excèdent pas ou seulement accessoirement les valeurs nominales.

Structure

Chaque pale est équipée de son propre système de réglage des pales. Le système de réglage des pales se compose d'une armoire de réglage des pales (pitch box), d'une boîte relais des pales, d'un moteur 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 le moteur de réglage des pales (pitch). L'unité condensateur emmagasine l'énergie nécessaire pour un réglage d'urgence, reste en état de charge 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-82 E2 :

- A : 2,5° Position normale en mode charge partielle : exploitation maximale du vent.
- B : 60° Fonctionnement à vide (l'éolienne n'injecte aucune puissance dans le réseau en raison de la faible vitesse de vent) : En fonction de la vitesse 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.

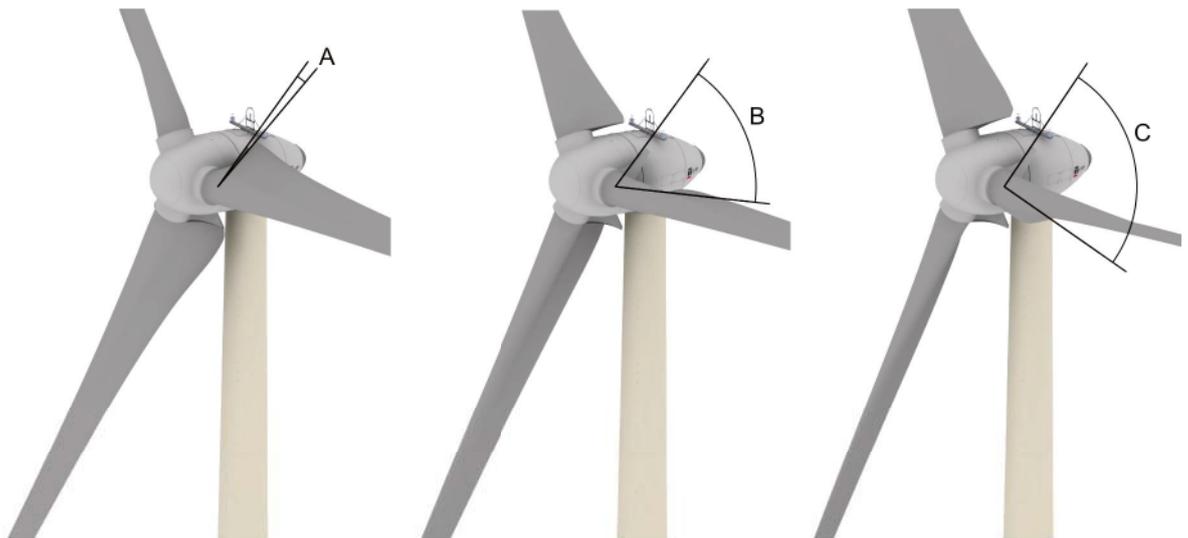


Fig. 4: Positions particulières de la pale

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

L'excitation du générateur commence, dès que le rotor atteint une vitesse de rotation dépendante du type d'éolienne (par ex. pour l'E-82 env. 3 tr/min). Le courant nécessaire est tiré du réseau pour une courte durée. Si le générateur atteint une vitesse de rotation suffisante, alors l'éolienne s'alimente elle-même en courant. Le courant pour l'excitation propre est prélevé de la liaison CC (DC link) du redresseur et l'énergie prélevée du réseau est réduite à zéro.

6.3.4 Injection de puissance

Le processus d'injection est initié dès qu'une tension de liaison CC suffisante est disponible et que l'accouplement du régulateur d'excitation vers le réseau n'existe plus. Après l'augmentation de la vitesse de rotation par la présence suffisante de vent et d'une valeur de puissance nominale de $P_{nom} > 0$, les contacteurs de ligne (côté basse tension) sont fermés et l'E-82 E2 commence l'injection de puissance dans le réseau à partir d'environ 5 tours par minute.

Pour cela, le nombre d'onduleurs est mis en circuit au fur et à mesure du besoin pour la conversion de la puissance générée par le générateur. Le contrôle de la puissance règle le courant d'excitation de sorte à ce que l'injection se déroule selon la courbe de puissance.

Le gradient pour l'augmentation de la puissance (dP/dt) après une panne de réseau ou après un démarrage normal, peut être déterminé dans le système de contrôle à l'intérieur d'une plage spécifique. Des précisions concernant ce sujet se trouvent dans la fiche de données *Netztechnische Leistungsmerkmale* (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-82 E2 est terminée, l'éolienne est en fonctionnement automatique (fonctionnement normal). Lorsque l'éolienne fonctionne, les régimes de vent sont constamment déterminés ; la vitesse du rotor, l'excitation et la puissance du générateur sont optimisées, la position de la nacelle est adaptée en fonction de la direction du vent et l'état de tous les capteurs est enregistré.

Afin d'optimiser la génération de courant en présence de conditions de vent diverses, l'éolienne commute entre 3 modes de fonctionnement dans le cadre du fonctionnement automatique en fonction de la vitesse du vent. Sous certaines conditions, l'éolienne s'arrête aussi lorsque la configuration de l'éolienne le prévoit (p. ex. en raison d'arrêt pour cause de zone d'ombre). De plus, 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-82 E2 commute entre les modes de fonctionnement suivants :

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

6.4.1 Mode pleine charge

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. 18 tr/min) grâce au réglage des pales et limite ainsi la puissance à sa valeur nominale de 2000/2300 kW.

Mode tempête activé (cas normal)

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

Au-dessus d'env. 29 m/s (sur une moyenne de 12 s) et lorsque la vitesse du vent continue à augmenter, la vitesse de rotation est réduite linéairement de 18 tr/min jusqu'à la plage de la vitesse de rotation à vide pour une vitesse de vent de 34 m/s env., grâce au positionnement des pales de rotor hors du vent. La puissance injectée diminue pour ce faire, conformément à la courbe de puissance/de vitesse de rotation.

En présence de vitesses du vent supérieures à 34 m/s (sur une moyenne de 10 min.), les pales du rotor sont pratiquement mises en drapeau. L'éolienne continue de fonctionner en fonctionnement à vide sans fournir de puissance, mais reste connectée au réseau absorbant. Si la vitesse du vent chute en-dessous de 34 m/s, l'éolienne reprend automatiquement l'injection de courant.

Le mode tempête est activé normalement et peut être uniquement désactivé par maintenance à distance ou sur site par le ENERCON Service.

Système de mode tempête non actif

Si le mode tempête est exceptionnellement désactivé, l'éolienne est arrêtée pour des raisons de sécurité, lorsque la vitesse du vent dépasse 25 m/s (moyenne sur 3 minutes) ou 30 m/s (moyenne sur 15 s). L'éolienne démarre automatiquement si à l'intérieur de 10 minutes après l'arrêt, aucun des deux événements ne survient.

6.4.2 Mode charge partielle

Vitesse du vent

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

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 de fonctionnement à vide, ce qui signifie que les pales du rotor sont largement tournées hors du vent (angle de pale 60°) et le rotor tourne lentement ou reste immobile en l'absence totale de vent.

Grâce à ce déplacement lent (fonctionnement à vide), les paliers du moyeu sont moins sollicités qu'en cas d'immobilisation prolongée et une reprise de la production et de l'injection de courant est plus rapide lorsque le vent se lève.

6.5 Arrêt securitaire de l'éolienne

L'éolienne ENERCON peut être arrêtée par une manipulation manuelle ou automatiquement par le système de commande.

Les raisons sont divisées en groupe selon le risques.

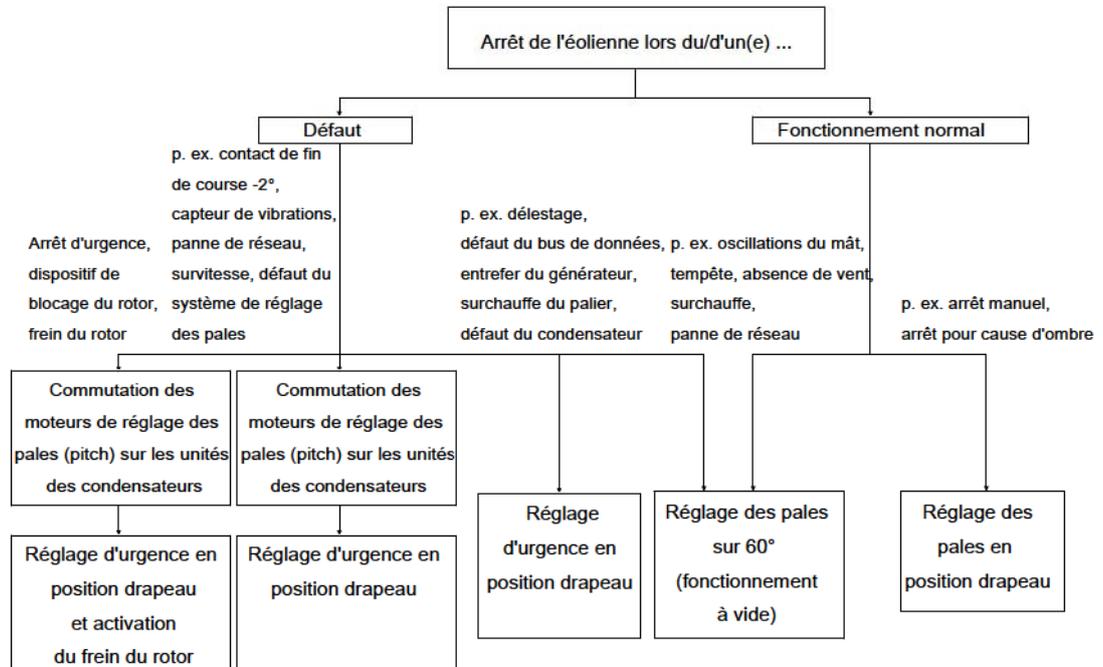


Fig. 5: Aperçu des opérations d'arrêt

Arrêt de l'éolienne par le système de réglage des pales

Lors d'une panne ne relevant pas de la sécurité, la commande fait sortir du vent les pales du rotor et ainsi ces dernières ne produisent plus de force ascensionnelle et l'éolienne s'arrête.

Réglage d'urgence

L'accumulateur d'énergie des systèmes de réglage des pales emmagasine l'énergie nécessaire à un réglage d'urgence, reste en état de charge pendant le fonctionnement de l'éolienne et est testée en continu. Lors d'un réglage d'urgence, les systèmes d'entraînement de l'accumulateur d'énergie correspondant sont alimentés en énergie. Les pales du rotor se mettent dans une position dans laquelle elles ne produisent aucune force ascensionnelle (mise en drapeau) de manière incontrôlée et indépendamment les unes des autres.

Étant donné que les 3 systèmes de réglage des pales se contrôlent mutuellement, tout en fonctionnant individuellement, les systèmes de réglage des pales peuvent continuer à fonctionner et arrêter le rotor même si l'un d'eux est défaillant.

Freinage d'urgence

Lorsqu'un bouton d'arrêt d'urgence est actionné ou que le dispositif de blocage du rotor est activé pendant que le rotor tourne, la commande de l'éolienne déclenche un freinage d'urgence.

En outre au réglage d'urgence des pales du rotor le frein du rotor est activé. Le rotor est freiné pendant 10 à 15 secondes de la vitesse nominale jusqu'à l'arrêt.

7 Système de surveillance à distance

Toutes les éoliennes 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.

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 Données techniques E-82 E2 / 2 MW/2,3 MW

Généralités	
Fabricant	ENERCON GmbH Dreekamp 5 26605 Aurich Allemagne
Désignation du type	E-82 E2
Puissance nominale	2000/2300 kW
Hauteurs des moyeux	78,33 m, 84,00 m, 84,58 m, 98,38 m, 108,38 m, 138,38 m
Diamètre du rotor	82 m
Classe de vent CEI (éd. 3)	IIA
Vitesse de vent extrême à hauteur du moyeu (valeur moyenne sur 10 min)	42,5 m/s Correspond à un équivalent de charge d'env. 59,5 m/s (rafale 3 s)
Moyenne annuelle de la vitesse du vent à hauteur du moyeu	8,5 m/s

Rotor avec réglage des pales	
Type	Rotor face au vent à réglage actif des pales
Sens de rotation	Sens des aiguilles d'une montre
Quantité de pales de rotor	3
Longueur de pales de rotor	38,8 m
Surface balayée	5281 m ²
Matériau de la pale du rotor	Plastique renforcé de verre/résine époxy/bois de balsa/mousse
Vitesse de rotation inférieure d'injection de puissance jusqu'à vitesse nominale	5 – 17,4/17,5 (2000/2300 kW) tr/min
Vitesse en bout de pale en cas de la vitesse de rotation de consigne	Jusqu'à 77,28 m/s
Vitesse de vent de régulation	29 – 34 m/s (avec système de mode tempête ENERCON en option)
Angle de cône	0°
Angle d'axe du rotor	5°
Réglage des pales du rotor	Système de réglage électrique indépendant pour chaque pale avec système d'alimentation électrique de secours dédié

Arbre d'entraînement avec générateur	
Concept d'éolienne	Sans boîte de vitesse, vitesse de rotation variable, convertisseur intégral
Moyeu	Fixe
Disposition des paliers	Palier à deux rangées de rouleaux coniques/palier à rouleaux cylindriques
Générateur	Générateur annulaire ENERCON, à entraînement direct
Alimentation réseau	Onduleurs ENERCON à fréquence d'horloge élevée et courant de forme sinusoïdale
Degré de protection/classe d'isolation	IP 23/F

Système de freinage	
Frein aérodynamique	Trois systèmes de réglage des pales indépendants avec alimentation électrique de secours
Frein du rotor	Électromécanique
Dispositif de blocage du rotor	Par crans de 15°

Système de contrôle d'orientation (yaw)	
Type	Électrique avec moteurs d'orientation
Commande	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
78,33 m	119,33 m	Mât acier avec section de fondation	IEC IIA ¹ (uniquement au Japon)
78,33 m	119,33 m	Mât acier avec cage d'ancrage	IEC IIA ¹ DIBt WZIII / WZ4 GK I ²
84,00 m	125,00 m	Mât hybride (précontrainte externe)	IEC IIA
84,58 m	125,58 m	Mât hybride	IEC IIA ¹ DIBt WZIII / WZ4 GK I ²
84,58 m	125,58 m	Mât hybride	IEC IIA ¹ (pour les zones de tremblement de terre)
84,58 m	125,58 m	Mât acier avec cage d'ancrage	IEC IIA ¹ DIBt WZIII / WZ4 GK I ²
98,38 m	139,38 m	Mât hybride	IEC IIA ¹ DIBt WZIII / WZ4 GK I ²
98,38 m	139,38 m	Mât hybride (précontrainte externe)	IEC IIA
108,38 m	149,38 m	Mât hybride	IEC IIA ¹ DIBt WZIII / WZ4 GK I ²
108,38 m	149,38 m	Mât hybride (précontrainte externe)	IEC IIA ¹
138,38 m	179,38 m	Mât hybride	IEC IIA ¹ DIBt WZIII / WZ4 GK I ²

¹édition 3²édition 2004