



E70



INTRODUCTION

En fondant son entreprise en 1984, l'ingénieur Aloys Wobben lança la réussite économique et écologique de l'entreprise ENERCON. La recherche et le développement furent dès le début déterminants, notamment pour les innovations technologiques. En 1991, l'entreprise développa et fabriqua la première éolienne sans multiplicateur au monde. Ce nouveau concept a donné l'impulsion décisive à notre engagement dans le but d'une Énergie pour le monde.

Suite à la forte demande, aux avantages en terme de rendement, à la fiabilité ainsi qu'à la durée de vie des éoliennes, ENERCON entama en 1993 la fabrication en série de ses éoliennes sans multiplicateur. Tous les composants clés tels que le rotor, le générateur ou le système d'alimentation au réseau sont, jusqu'à aujourd'hui, développés et construits en interne. Un concept avec lequel ENERCON a pu s'imposer comme leader sur le marché allemand et a su établir sur tous les continents des normes dans les domaines de la technologie éolienne, la qualité et la sécurité.

Avec la nouvelle éolienne E-70, ENERCON continue sa réussite avec l'utilisation extrêmement rentable de la puissance du vent. Le concept d'éolienne sans multiplicateur garantit une transformation énergétique optimale et une flexibilité d'application élevée. Avec son système innovant d'alimentation au réseau, la E-70 satisfait les récentes conditions de raccordement au réseau et peut ainsi être intégrée dans toutes les structures de transport et de distribution de courant. Dans les secteurs côtiers ainsi qu'à l'intérieur des terres, plusieurs variantes de tour, allant jusqu'à une hauteur de moyeu de 113 m, veillent au meilleur rendement possible.

Pales de rotor de la ENERCON E-70

SYSTEME D'ENTRAINEMENT

SYSTEME
D'ENTRAINEMENT

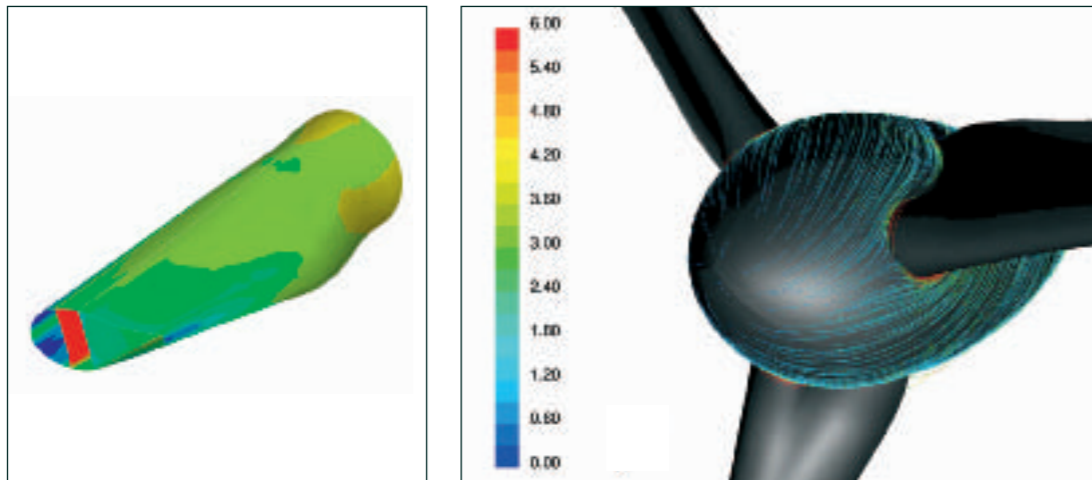


Extrémité de la pale de la ENERCON E-70

SYSTEME D'ENTRAINEMENT

CONCEPT DE LA PALE DU ROTOR

Le nouveau concept de pale de la ENERCON E-70 fixe de nouvelles normes concernant le rendement, l'émission sonore et la minimisation des charges. À l'aide d'une nouvelle géométrie, les pales utilisent également la partie intérieure du secteur du rotor et augmentent ainsi considérablement le rendement énergétique. De plus, les nouvelles pales du rotor de la E-70 sont moins sujettes aux turbulences et garantissent un courant homogène sur toute la longueur du profil de la pale.



Une nouvelle géométrie des pales utilise le flux d'air autour de la nacelle et augmente ainsi le rendement énergétique.

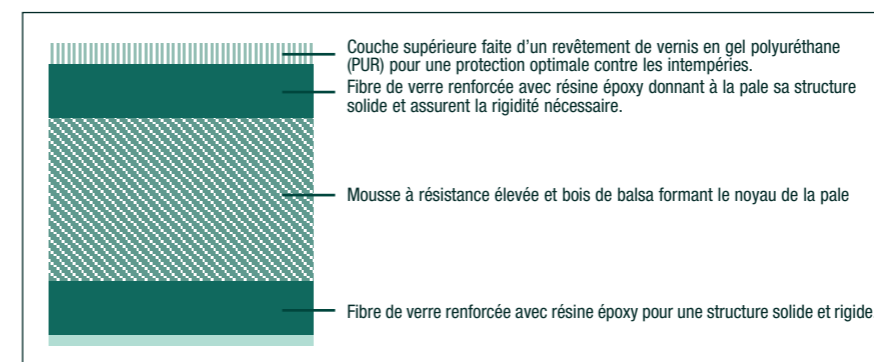
L'extrémité des pales a également été optimisée sur le plan de l'émission sonore et du rendement énergétique. Les turbulences se produisant à l'extrémité des pales, dues à la surpression et à la dépression, sont supprimées au niveau du rotor. Ainsi, la pale est utilisée sur toute sa longueur sans perte d'énergie provoquée par les turbulences.



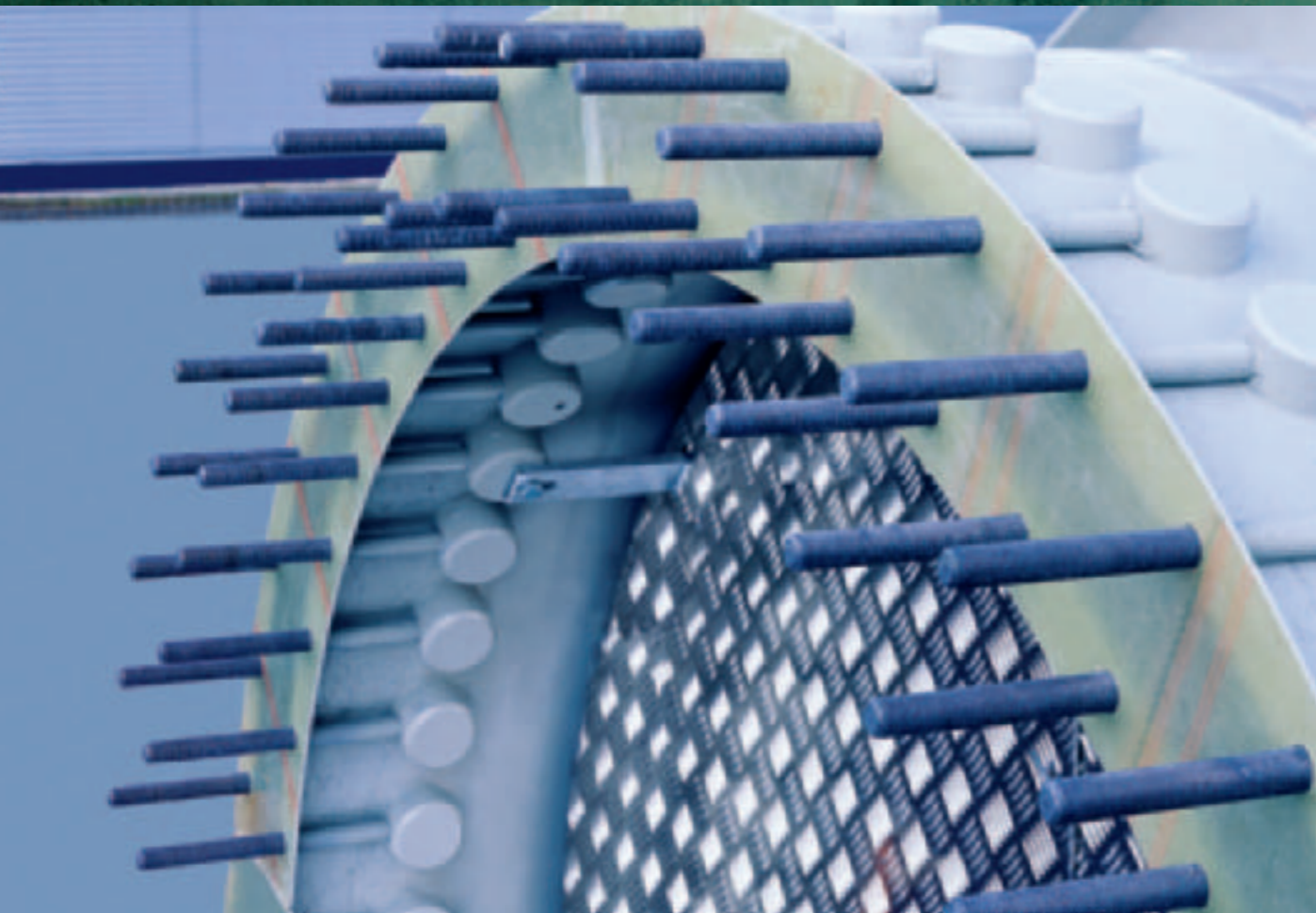
Les avantages des pales de rotor ENERCON

- ~ Plus grande efficacité grâce à une géométrie modifiée
- ~ Une émission sonore réduite grâce à l'extrémité des pales optimisée
- ~ Durée de vie prolongée grâce à une réduction des charges
- ~ Transport facilité grâce à une géométrie de la pale plus mince

La méthode avec laquelle les pales de la ENERCON E-70 sont fabriquées est nommée méthode sandwich. Elles sont composées d'un stratifié en résine époxy renforcée en fibres de verre avec un centre en mousse rigide et en bois de balsa. Une procédure spéciale d'injection sous vide, utilisée dans le processus de production, garantit une jonction des matériaux sans pores et exclut des bulles d'air dans le stratifié.

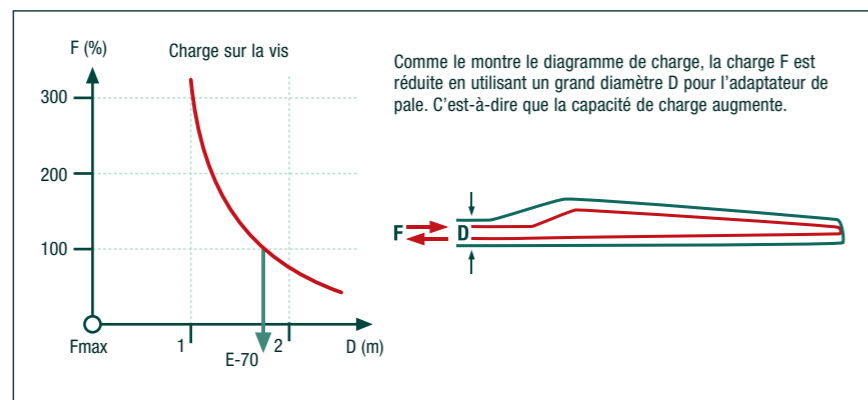


Structure de la pale d'une E-70 (méthode sandwich)



L'assemblage des pales ENERCON avec une double rangée de boulons garantit plus de sécurité grâce à une répartition égale des charges.

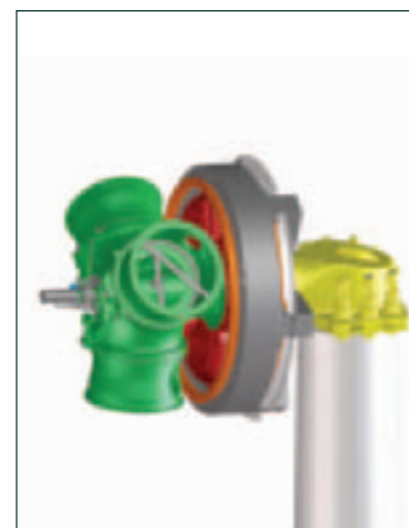
Pour résister efficacement aux contraintes exercées par le vent sur la période totale d'utilisation, les pales de la E-70 disposent d'un grand diamètre de raccordement. De plus, des boulons montés en deux rangées, spécialement conçues par ENERCON, assurent la répartition uniforme des contraintes et garantissent ainsi une sécurité supplémentaire. Un facteur important, en particulier lors de vents extrêmes avec des changements de charges élevées.



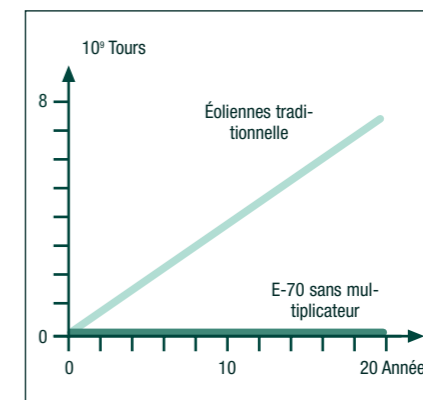
ENTRAINEMENT DIRECT

Le système d'entraînement ENERCON de la E-70 suit une logique simple : un nombre restreint de pièces en rotation réduit la charge mécanique et augmente la durée de vie du système. Les dépenses pour l'entretien et la maintenance des éoliennes sont ainsi réduites (moins de pièces d'usure, pas de vidange d'huile du multiplicateur, etc.) ainsi que les coûts d'exploitation.

Le moyeu du rotor et le générateur annulaire de la E-70 sont solidaires et forment ainsi une unité sans multiplicateur. Le rotor tourne autour d'un axe fixe que l'on appelle arbre de moyeu. Comparé aux systèmes traditionnels avec multiplicateur, dont la transmission requiert de nombreux roulements, le système d'entraînement de la E-70 fonctionne avec seulement deux paliers à rouleaux. Cette spécificité technique est rendue possible grâce à la faible vitesse de rotation de la transmission directe ENERCON.



Entraînement direct ENERCON : Le nombre restreint de pièces en rotation augmente la durée de vie.



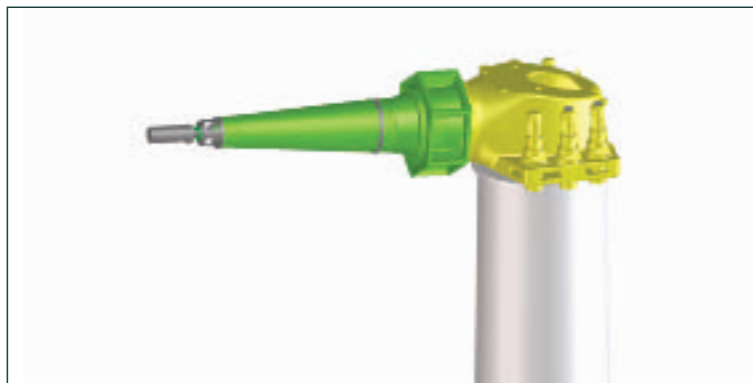
Le générateur de la E-70 accomplit le même nombre de rotations en 20 ans que celui d'une éolienne traditionnelle en trois mois.

*Production de pièces
en fonte ENERCON*



CONCEPT DU FLUX DE PUISSANCE

En plus de l'entraînement direct ENERCON, un concept de puissance spécialement développé veille à ce que les charges dynamiques soient dérivées du rotor vers la tour afin de réduire à nouveau les charges mécaniques. Pour éviter des contraintes trop élevées au niveau des soudures, seules les pièces moulées en fonte sont utilisées.



*Le concept du flux
de puissance ENERCON
réduit les charges
mécaniques.*

Il y a quelques années, seul le moyeu du rotor était en acier moulé. Aujourd'hui, grâce au procédé récent de fabrication de fonte à graphite sphéroïdal, nous sommes en mesure de produire d'autres composants majeurs en fonte tels que l'adaptateur de pales, l'arbre de moyeu et le support de machines.

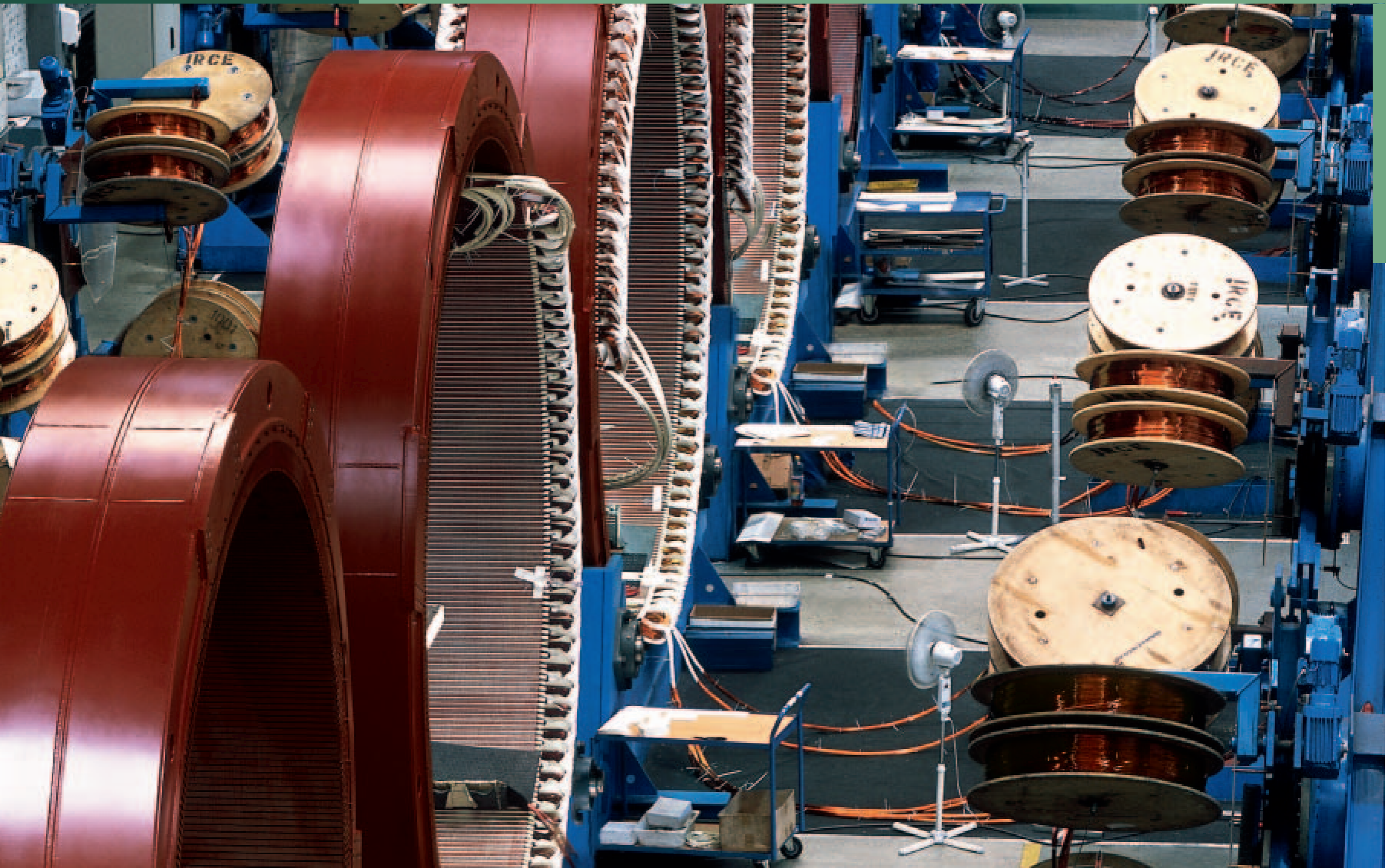
Le développement permanent des pièces en fonte résulte de la collaboration étroite entre ENERCON et les fonderies. Toutes les pièces moulées sont dessinées en 3D et contrôlées à l'aide de la méthode des éléments finis afin d'examiner les contraintes pouvant s'exercer aux points critiques de la pièce. Avec cette méthode, le caractère fonctionnel est examiné et optimisé par le concepteur pendant toute la phase de prototypage. Afin de garantir l'identification et la traçabilité de chaque pièce moulée, celle-ci est dotée à la réception d'un code barre spécifique à partir duquel il est possible d'obtenir un numéro de série en cas d'un problème de qualité par exemple. La validation des pièces moulées a lieu uniquement chez ENERCON après d'importants contrôles de qualité. Ceci garantit une exigence qualité constante de la part d'ENERCON au sein du secteur des pièces moulées.

Procédure de contrôle de qualité des pièces en fonte ENERCON.

- ~ Contrôle de la structure de la pièce
- ~ Contrôle à ultra-son
- ~ Contrôle radiographique

Fabrication de générateurs annulaire
ENERCON E-70

GENERATEUR ANNULAIRE



Stator et rotor du générateur annulaire ENERCON E-70



GENERATEUR ANNULAIRE

Dans la conception de l'éolienne sans multiplicateur E-70, le générateur annulaire ENERCON est d'une importance primordiale. Combiné avec le moyeu du rotor, il offre un flux d'énergie sans friction tandis que le mouvement souple de quelques composants garantit une faible usure du matériel. Contrairement aux générateurs asynchrones traditionnels, le générateur annulaire ENERCON n'est que faiblement soumis à des phénomènes d'usure mécanique et est prédestiné à des exigences particulièrement importantes et à une longue durée de vie. Ainsi les travaux de réparation de longue durée et donc les arrêts de l'éolienne sont évités.

Le générateur ENERCON est un générateur synchrone multipolaire sans accouplement direct au réseau. La tension et la fréquence de sortie, variant selon la vitesse de rotation, sont converties au moyen d'un onduleur avant injection sur le réseau. Ainsi, on atteint une haute variabilité de régime.

Avantages du générateur annulaire ENERCON

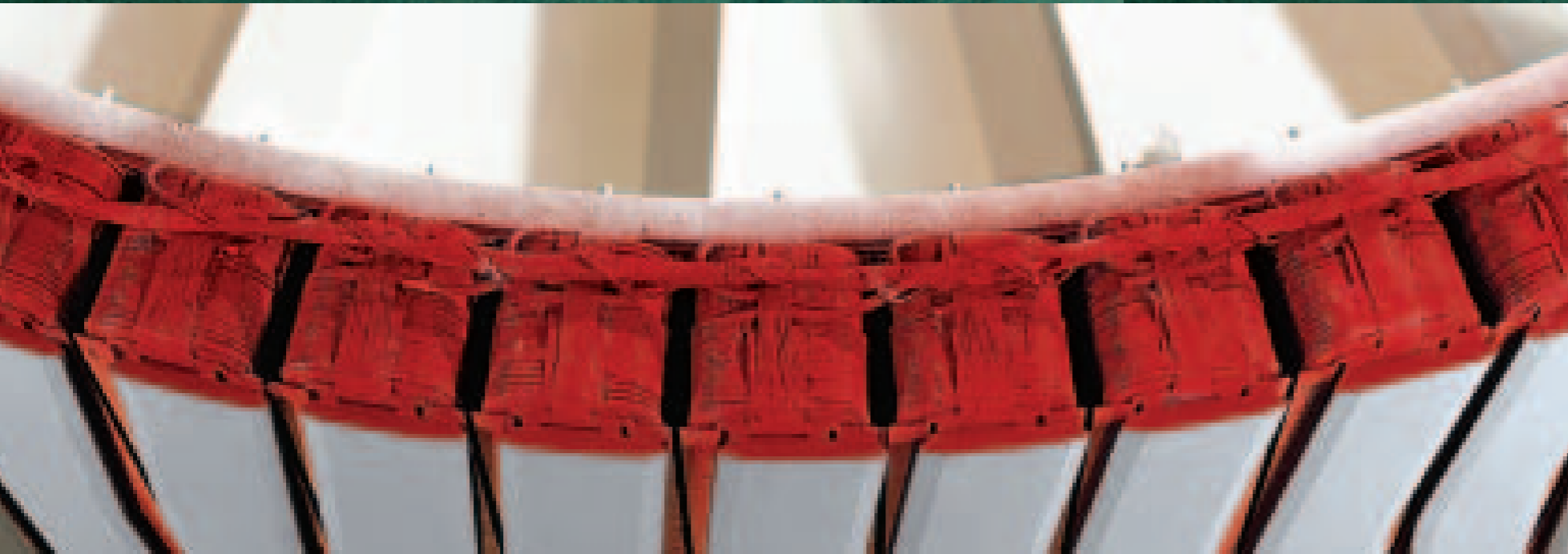
- ~ Contrôle du rendement optimisé
- ~ Haut niveau de compatibilité au réseau
- ~ Pas d'engrenage
- ~ Faible usure grâce à la rotation lente de la machine
- ~ Faible charge des machines grâce à une vitesse de rotation variable

STATOR ET ROTOR

Conformément aux exigences de longévité des éoliennes ENERCON, le bobinage en cuivre dans le stator, partie fixe du générateur annulaire, est réalisé dans la classe d'isolation F (155°C). Celui-ci est aussi nommé bobinage en forme de panier fermé en une couche. Le bobinage se compose de plusieurs conducteurs cylindriques réunis en un faisceau et recouvert d'un vernis isolant. La réalisation du bobinage en cuivre est entièrement réalisée à la main dans les ateliers ENERCON. Malgré la progression d'automatisation dans d'autres domaines de production, le travail manuel a ici, pour une bonne raison, priorité. Il garantit un examen complet des matières d'isolation utilisées. De plus, un processus spécial permet le bobinage en continu.

Avantages du bobinage continu

- ~ Exclusion de défaut de fabrication dans les connexions électriques
- ~ Maintient la haute qualité du système d'isolation des conducteurs de cuivre
- ~ Aucune résistance de contact
- ~ Aucun point d'application sujet à la corrosion ou à la fatigue du matériel

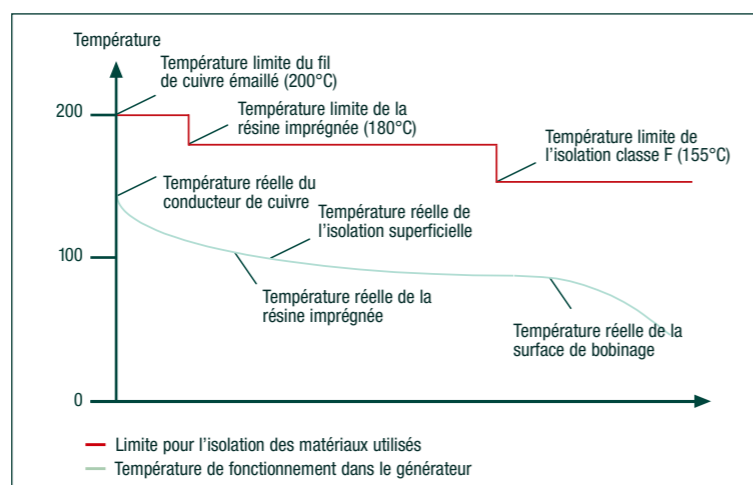


Epanouissements polaires sur le rotor de l'ENERCON E-70

La production du champ magnétique dans le stator se fait au travers des « épanouissements » polaires se trouvant dans le rotor et dont la forme et la position jouent un rôle important vis à vis des émissions sonores du générateur. Le département de recherche et développement d'ENERCON a consacré une attention particulière à ce sujet permettant au générateur de ne générer aucun bruit.

COMPORTEMENT THERMIQUE

Le générateur annulaire ENERCON se distingue par un comportement thermique optimisé. Avec l'aide de plusieurs capteurs de température, les parties les plus chaudes du générateur sont contrôlées en permanence. La température de déclenchement des capteurs est réglée sous la valeur de résistance en température des matières isolantes utilisées dans le générateur annulaire. Ceci signifie qu'une surcharge provoquée par une température excessive est empêchée.

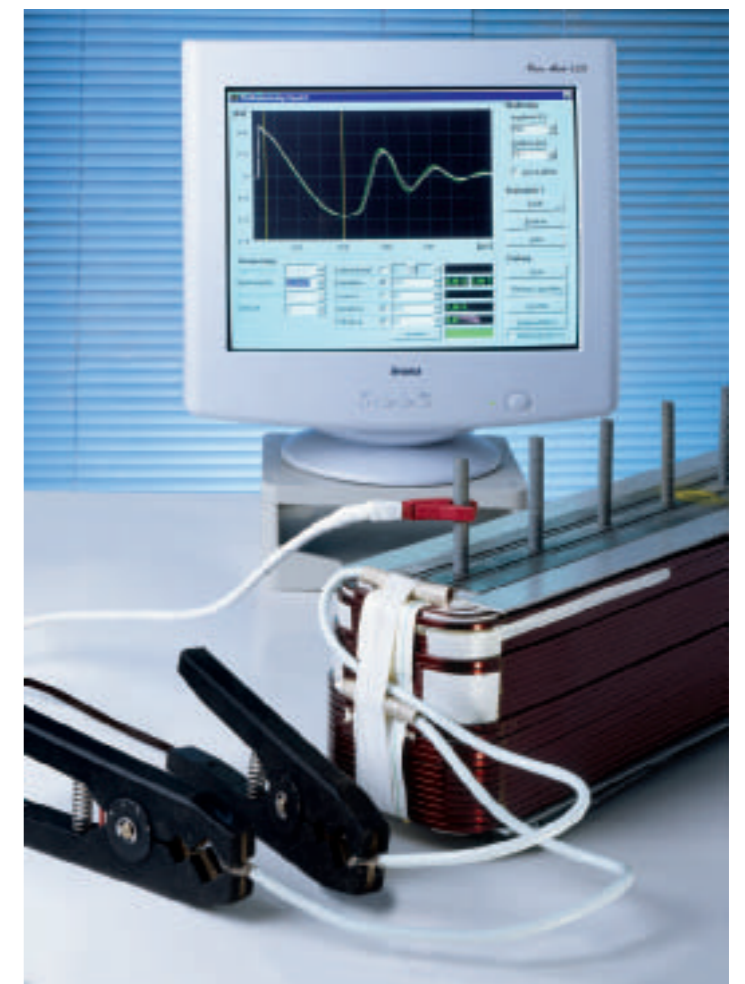


La plus haute température de fonctionnement dans le générateur de l'ENERCON E-70 est au dessous de la limite applicable pour les matériaux utilisés

ASSURANCE QUALITE

Afin de garantir la haute qualité ENERCON, les générateurs annulaires sont exclusivement fabriqués dans nos propres centres de production. Pour cela, nous tenons à ce que seuls des

matériaux de première qualité soient utilisés. La coopération étroite avec des entreprises sous-traitantes s'est avérée une solution fiable pour la fourniture de matériaux d'une qualité maximale. Ainsi, par exemple, des examens allant au-delà de la norme sont réalisés sur les fils de bobinage émaillés en cuivre et sont archivés comme échantillon. De même, des tests de tension de choc sur les épanouissements polaires et les restricteurs sont effectués puis documentés dans le système informatique.



Test de tension de choc sur un épanouissement polaire

*Armoire de commande
ENERCON E-70 dans la tour*

SYSTEME DE CONTROLE



SYSTEME DE CONTROLE

Les éoliennes ENERCON E-70 offrent une technique de commande microélectronique de dernière génération développée en interne. Le MPU (Main Processing Unit), élément central du système de commande de l'éolienne E-70, est en contact permanent avec les éléments de contrôle périphériques comme par exemple le contrôle d'orientation de la nacelle et le système de réglage des pales. Sa fonction est d'ajuster les différents paramètres du système afin d'assurer que la E-70 fonctionne à un rendement optimum par toutes conditions météorologiques.

Système de contrôle ENERCON pour un fonctionnement rentable de l'éolienne par toutes les conditions météorologiques

- ~ Contrôle d'orientation de la nacelle adaptable grâce à une évaluation constante des données de la girouette
- ~ Vitesse de rotation variable pour une efficacité optimale de l'éolienne suivant toutes forces de vent et élimination de pics de puissance ainsi que de charges de fonctionnement élevées indésirables
- ~ Le système de réglage des pales garantit un rendement maximal ainsi qu'une réduction des charges sur toute l'éolienne en positionnant les pales à un angle optimal
- ~ Le système de freinage ENERCON assure une importante fiabilité de l'éolienne grâce à trois systèmes indépendants disposant d'une alimentation de secours (batteries) en cas de coupure de courant
- ~ Surveillance de la tour et du générateur via des capteurs de vibration et d'accélération afin de contrôler les oscillations de la tour
- ~ Capteurs de température et d'écart entre le rotor et le stator afin de garantir le bon fonctionnement du générateur

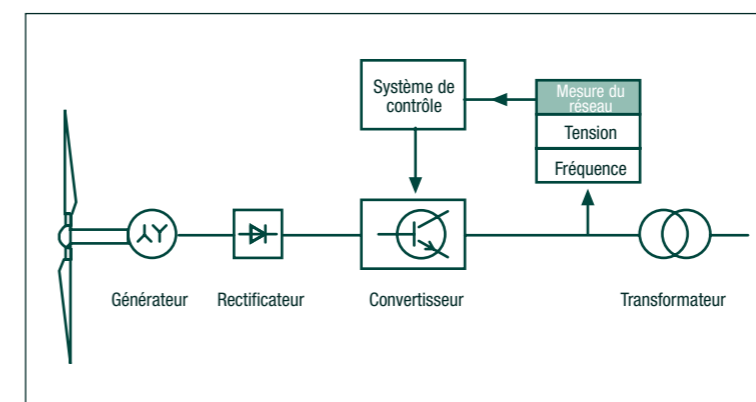


Anémomètre et girouette sur la nacelle de la ENERCON E-70

SURVEILLANCE DU COURANT INJECTE DANS LE RESEAU

Pour une alimentation correcte du réseau électrique à partir de la ENERCON E-70, il est nécessaire de contrôler le courant injecté dans le réseau. Les caractéristiques du réseau comme la tension, l'intensité et la fréquence sont mesurées du côté basse tension entre le convertisseur ENERCON et le transformateur de l'éolienne. Les valeurs mesurées sont constamment transmises au système de contrôle de l'éolienne E-70, de telle sorte que cette dernière puisse réagir immédiatement aux changements de tension ou de fréquence dans le réseau. Si les valeurs limites définies du système de protection sont dépassées, l'éolienne E-70 s'arrête et le service après vente est informé. Aussitôt que la tension et la fréquence sont à nouveau dans les tolérances admises, la E-70 se remet automatiquement et directement en marche. Des temps d'arrêt longs sont ainsi évités.

Vous trouverez plus de détails à ce sujet dans le chapitre « Raccordement au réseau »

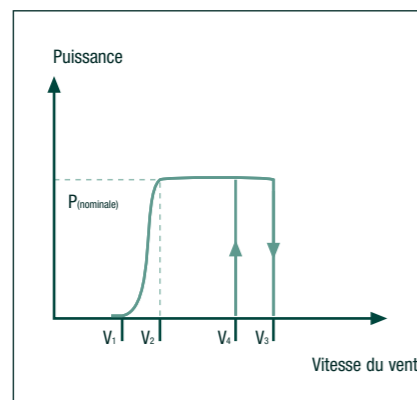


Surveillance de l'alimentation du réseau pour une éolienne ENERCON

SYSTEME DE CONTROLE ENERCON EN CAS DE TEMPETE

En option, les éoliennes ENERCON E-70 peuvent être équipées d'un système de contrôle en cas de tempête. Celui-ci permet l'adaptation de l'éolienne à des vitesses de vent très élevées évitant ainsi les arrêts qui conduisent à des pertes de profit considérables.

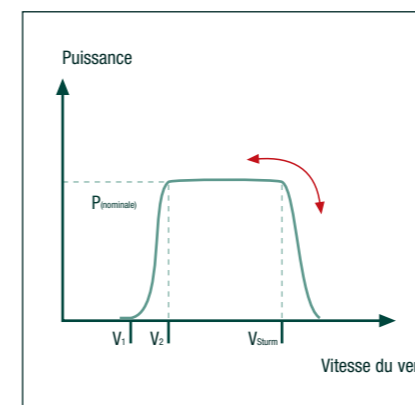
La représentation schématique des caractéristiques de puissance d'une éolienne sans réglage de tempête ENERCON est comme ci-dessous :



Courbe de puissance d'une éolienne sans système de contrôle ENERCON en cas de tempête

Le diagramme montre que l'éolienne s'arrête à une vitesse de vent de déconnexion V_3 . La cause en est le dépassement d'une vitesse de vent maximale définie. Dans le cas d'une éolienne sans réglage de tempête, cela se produit à une vitesse de vent de 25 m/s dans une moyenne de 20 secondes. L'éolienne se remet en marche seulement lorsque la vitesse moyenne de vent est retombée en-dessous de la vitesse de coupure ou éventuellement bien au-dessous de la vitesse de vent de remise en marche (dans le graphique V_4 est ce que l'on appelle hystérésis de vent fort). En cas de rafales de vent ceci peut durer plus longtemps, ce qui entraîne des pertes de profit considérables.

En cas de vents forts, les éoliennes ENERCON E-70 fonctionnent d'après un autre principe. Elles sont équipées d'un logiciel spécial de contrôle en cas de tempête qui empêche des arrêts soudains de l'éolienne.



Courbe de puissance d'une éolienne avec système de contrôle ENERCON en cas de tempête

La représentation schématique des caractéristiques de puissance de l'éolienne avec le réglage de tempête breveté ENERCON montre clairement que l'éolienne ne se coupe pas automatiquement lors de certaines vitesses de vent d'orage V mais la puissance est réduite en diminuant la vitesse de rotation. Ceci a lieu en tournant légèrement les pales hors du vent en position drapeaux. Une fois que la vitesse du vent diminue, les pales de la E-70 se remettent face au vent et l'éolienne fonctionne de nouveau à plein régime. Les processus de démarrage et de déconnexion réduisant les profits sont ainsi supprimés.

Exemple :

Perte de rendement à cause de deux jours de tempête par an
 2 jours x 2000 kW
 = 96 000 kWh

2 à 4% du revenu annuel



Eoliennes ENERCON E-70

RACCORDEMENT AU RESEAU



RACCORDEMENT AU RESEAU

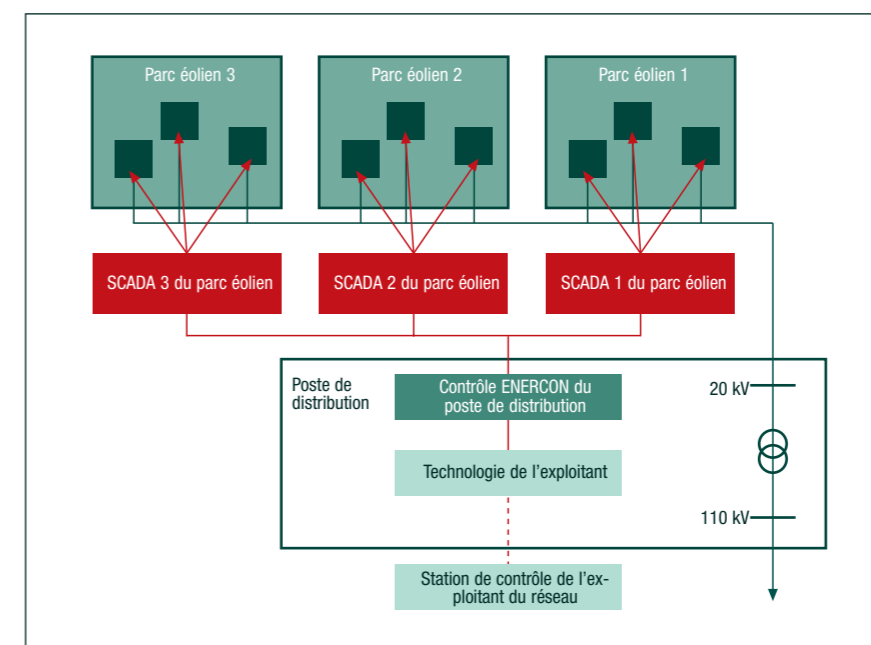
En collaboration avec les exploitants du réseau allemands et étrangers, le département de recherche et développement d'ENERCON a conçu un système de raccordement au réseau qui permet, sans problème, l'intégration de la E-70 au réseau d'alimentation déjà existant. Le système de raccordement au réseau ENERCON est conforme à toutes les nouvelles conditions de raccordement pour les éoliennes, comme par exemple le réseau de E.ON Netz GmbH et, grâce à son adaptabilité et son rôle de support au réseau, est très bien noté par les entreprises de production et de distribution d'énergie. Les éoliennes E-70 permettent l'intégration dans le réseau de transport (modèle « Transmission ») ou l'intégration dans le réseau de distribution (modèle « Distribution »).

Exigences requises des éoliennes raccordées au réseau

- ~ Les éoliennes doivent restées raccordées au réseau, sans réduction de puissance, si des fluctuations de tension et de fréquence surviennent
- ~ Lors de chutes de tension dues à des problèmes du réseau, les éoliennes doivent restées connectées pendant un temps défini
- ~ La production continue même en cas de problème sur le réseau.
- ~ Après résolution du problème, le parc éolien doit reprendre l'alimentation du réseau le plus rapidement possible et ceci dans un temps maximal défini
- ~ Les parcs éoliens doivent pouvoir fonctionner à puissance réduite à tout moment
- ~ Pour une bonne répartition coordonnée des charges sur le réseau, la montée en puissance fournie (gradient de puissance), comme par exemple lors du démarrage du parc éolien, doit pouvoir être réglée selon les spécifications de l'exploitant du réseau
- ~ Les parcs éoliens doivent apporter une contribution à la réserve de puissance sur le réseau. Lors d'une augmentation de la fréquence du réseau, la puissance débitée du parc éolien doit être réduite

- ~ Si nécessaire, les parcs éoliens doivent être capables d'apporter une contribution au maintien de la stabilité de la tension sur le réseau en acceptant ou en donnant une puissance réactive
- ~ Les parcs éoliens doivent pouvoir être intégrés au centre de contrôle du réseau pour la surveillance et le contrôle à distance des éoliennes

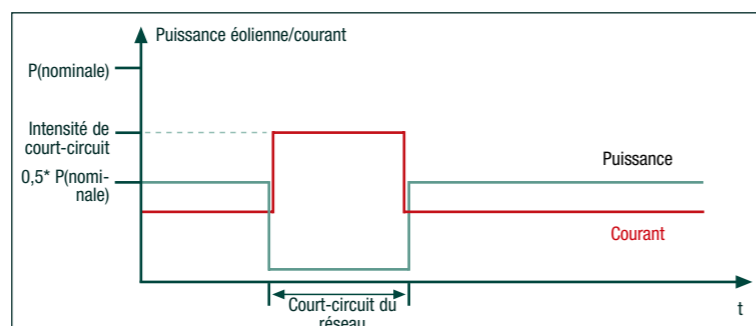
L'énergie produite dans le générateur annulaire ENERCON est conduite vers un convertisseur via un redresseur. Celui-ci veille à ce que la puissance de sortie soit réglée conformément aux normes du réseau. Par exemple, les réglages de chaque éolienne d'un parc éolien sont réalisés en prenant en compte la tension, la fréquence et la puissance. Via le transformateur de l'éolienne, le courant de 400V est converti en un courant approprié au réseau.



Raccordement au réseau d'un parc éolien ENERCON

MAINTIEN DE LA CONNEXION AU RESEAU EN PRESENCE DE PROBLEMES SUR CELUI-CI

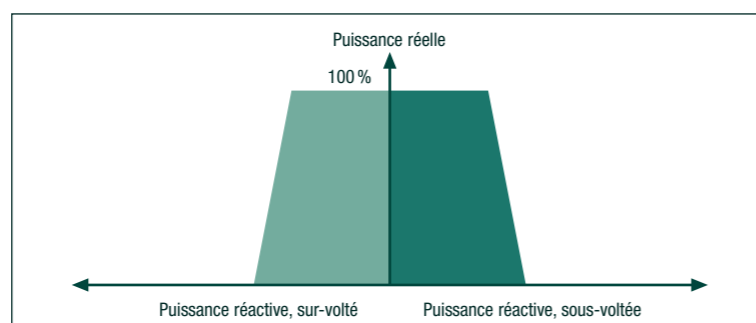
Les éoliennes connectées au réseau de transport sont assimilables à une centrale électrique, et ne doivent pas se déconnecter rapidement du réseau en cas de court-circuit. Elles doivent être capables de rester connectées au réseau jusqu'à 3 secondes lors d'une coupure de tension due à un problème du réseau. L'éolienne E-70 possède cette capacité. En effet, l'éolienne soutient, en cas de problème, la tension du réseau en alimentant un courant de court-circuit réglable. Une fois que le problème est résolu et que la tension du réseau est restaurée, la E-70 continue son alimentation au réseau.



Courant de court-circuit

COMPENSATION DE LA BALANCE DE PUISSANCE REACTIVE

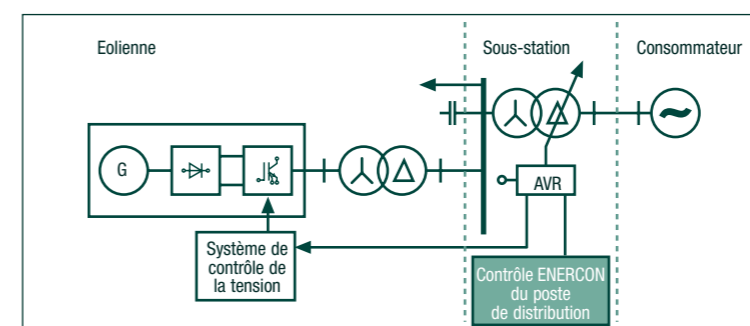
Le réglage de la puissance réactive est essentiel pour le fonctionnement du réseau de distribution et de transport. Cette régulation est importante pour la sécurité des équipements du réseau de transport tel que les câbles et les transformateurs, mais également pour maintenir la stabilité de la tension. La ENERCON E-70 dispose d'un large domaine de fonctionnement pour l'échange de puissance réactive qui peut être mise à disposition du réseau afin de le soulager. Le PDI (Process Data Interface) de la ENERCON E-70 offre ainsi les conditions nécessaires pour la communication entre l'exploitant du réseau et l'éolienne.



Gestion de la puissance réactive

REGULATION DE TENSION DANS LES RESEAUX DE DISTRIBUTION

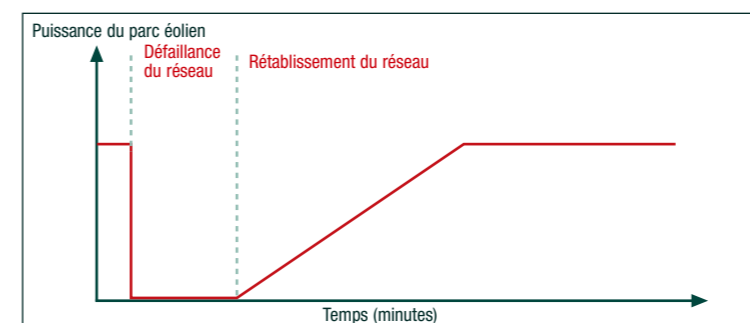
Si un parc éolien est relié, à un poste de transformation, le régulateur automatique de tension (AVR – Automatic Voltage Regulator) du poste de transformation, ainsi que la tension de base de la ferme éolienne, sont réglés par le système de contrôle de tension (VCS – Voltage Control System) ENERCON. Ce système, spécialement développé, soutient la qualité de la tension du réseau et empêche même des modifications de tension et des coupures de réseau lorsque des opérations de commutation se produisent.



Qualité de la tension

ALIMENTATION COORDONNEE DU RESEAU

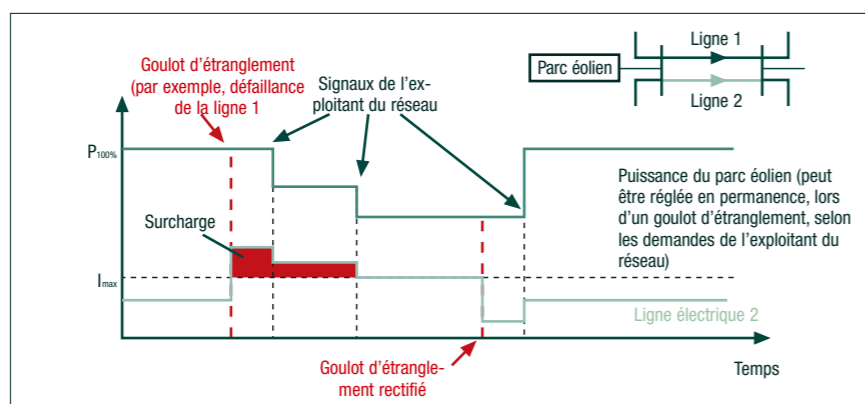
Pour une exploitation sûre et rentable du réseau, il est nécessaire de régler la synchronisation de la puissance d'entrée. Pour garantir ceci, des valeurs de consigne variables peuvent être programmées dans le système d'alimentation de l'éolienne ENERCON E-70 selon les gradients de puissance maximale admissible. Ainsi, lors du démarrage de l'éolienne ou du parc éolien, l'alimentation du réseau s'adapte aux spécificités du réseau. L'exploitant du réseau a ainsi la possibilité de régler de façon optimale le flux de puissance et la stabilité de la tension dans le réseau ainsi que la coordination entre les installations de production et les consommateurs d'électricité.



Gradient de puissance

ALIMENTATION DANS LES RESEAUX FAIBLES

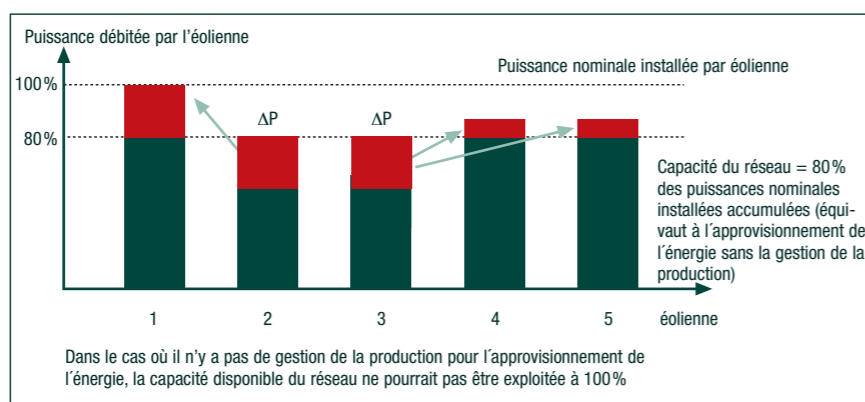
Il ne faut pas partir du principe qu'il y a dans toutes les régions des capacités d'accueil suffisantes lors de charge faible et de vent fort. Grâce au système de gestion de goulot d'étranglement ENERCON, il est toutefois possible de raccorder des parcs éoliens dans ces régions de réseaux faibles. Si le fonctionnement du réseau est menacé, la performance du parc éolien peut être facilement réduite sur demande en utilisant le PDI (Process Data Interface).



Système de gestion du goulot d'étranglement

REGLAGE DE LA PERFORMANCE POUR UN RENDEMENT OPTIMAL

Si la puissance (nominale) cumulée d'un parc éolien est plus grande que la capacité du raccordement au réseau, un réglage de performance ENERCON veille à ce que la capacité soit utilisée d'une façon optimale à tout moment. Si une des éoliennes dans le parc éolien tombe en panne ou produit moins, les autres éoliennes fonctionnent alors à une puissance correspondante plus élevée. Ceci se produit automatiquement via le système de management de production ENERCON.



Système de management de production

Les 10 points clés d'ENERCON pour un raccordement optimal au réseau

- ~ Utilisation maximale des capacités de raccordement au réseau en vue de son alimentation
- ~ Courant d'alimentation sinusoïdal
- ~ Lors d'un problème du réseau (par exemple, un court circuit), l'éolienne reste connectée à celui-ci pendant au moins 3 secondes et soutient, en option, la tension du réseau en injectant un courant de court circuit. Lorsque le problème est résolu, l'éolienne reprend immédiatement l'alimentation
- ~ Durant la procédure de mise en route, l'éolienne est connectée sans pointe de courant et augmente de manière contrôlée sa puissance jusqu'à la puissance nominale
- ~ Le facteur de puissance de l'éolienne est électroniquement réglable
- ~ Les valeurs de fluctuation de tension sont négligeables
- ~ Contribution active à la stabilité de la fréquence, en cas de problème du réseau, en réduisant la puissance et augmentant la fréquence
- ~ Possibilité de régler la tension dans le réseau de distribution, donc maintien de la qualité de tension
- ~ Fonctionnement optimal même sur les points communs de couplage de réseau faible
- ~ Pas de perturbation du réseau de distribution provoquée par des opérations de commutation

Fabrication de tours ENERCON en acier

TOUR ET FONDATION





TOUR ET FONDATION

FABRICATION DE LA TOUR

Les tours ENERCON offrent, avec leur conception utilisant des matériaux et des structures résistants à de fortes charges dynamiques, les meilleures conditions de transport, de construction et d'utilisation. Au-delà des normes nationales et internationales obligatoires s'appliquant à la construction de la tour (par exemple DIN et Eurocode), ENERCON développe uniformément ses propres standards pour ses produits tant au niveau de la qualité que de la sécurité. Les charges auxquelles la tour doit faire face dans la réalité sont déjà simulées pendant la phase de développement à l'aide de modèles 3-D et avec la méthode des éléments finis (FEM – Finite-Element-Method). Ainsi, des prévisions précises concernant la stabilité et la durée de vie des tours ne sont pas laissées au hasard avant la construction du prototype. L'analyse de mesures supplémentaires effectuées de façon continue sur les éoliennes installées contribue à la vérification des données calculées. De plus, les résultats de bureaux de certification, d'instituts de recherche et de bureaux d'ingénierie spécialisés, confirment les calculs réalisés par ENERCON.

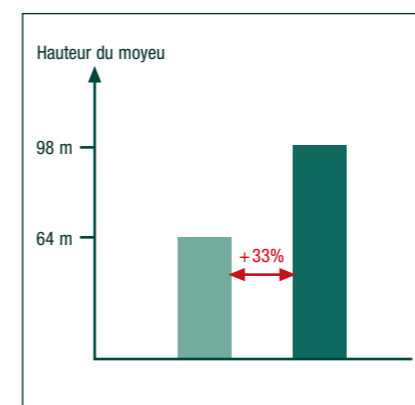
Fabrication des tours en béton préfabriquées ENERCON

VARIANTES DE TOURS

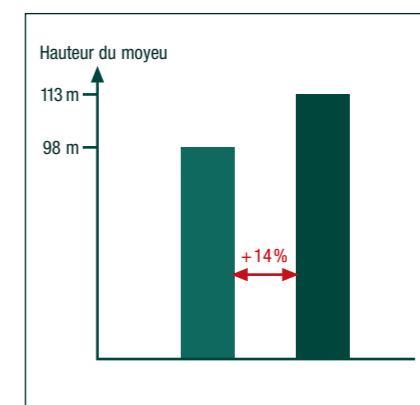
Selon les emplacements et les conditions d'utilisation, différentes variantes de tour en acier ou en béton sont disponibles pour l'éolienne ENERCON E-70.

Hauteur du moyeu	Tour en acier	Tour préfabriquée en béton
64 m	X	
85 m	X	
98 m	X	X
113 m		X

Variante de tours pour les éoliennes ENERCON E-70



Comparaison du rendement des éoliennes E-66 (modèle prédécesseur de la E-70) avec une hauteur de moyeu de 64 et de 98 m situées à Aurich-Königsmoor (du 01/03 au 12/03)



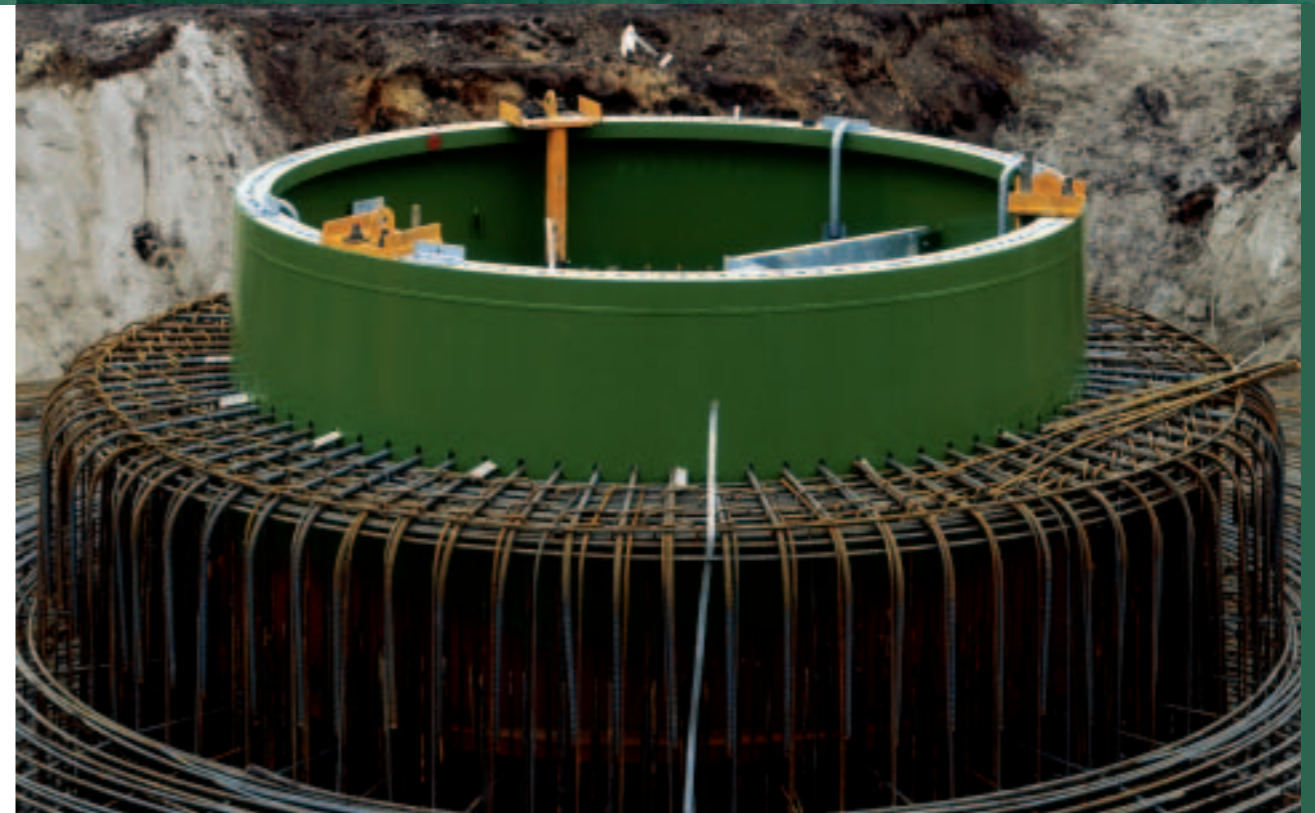
Comparaison du rendement des éoliennes E-66 (modèle prédécesseur de la E-70) avec une hauteur de moyeu de 98 et 113 m situées à Ermke (du 12/03 au 03/04)

Bride assurant la liaison de la tour à la fondation*Fabrication de tours ENERCON en acier*

TOUR EN ACIER

Les tours en acier ENERCON sont fabriquées en plusieurs sections et sont reliées entre elles à l'aide de brides en L. Contrairement aux raccordements à l'aide de brides traditionnelles comme celles utilisées dans la construction de cheminées en acier, le cordon de soudure de la bride en L est en dehors de la zone de contraintes. Les autres avantages de cette technique de connexion sont :

- Les opérations complexes et coûteuses de soudure sur le chantier sont supprimées
- Le montage est rapide et fiable, et réalisé selon les standards de qualité les plus élevés
- La protection contre la corrosion est totale et appliquée en utilisant les meilleures techniques de production

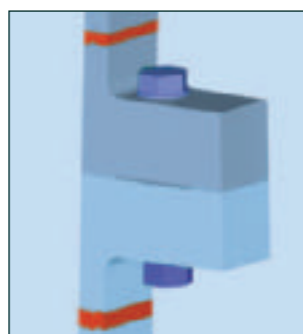


La fixation des tours en acier ENERCON aux fondations s'effectue avec une bride spécialement conçue. Celle-ci est alignée au millimètre près à l'aide de supports verinés avant d'être bétonnée. Le principe ENERCON « la forme dépend de la fonction » a été efficacement appliqué dans le développement de la bride de fondation :

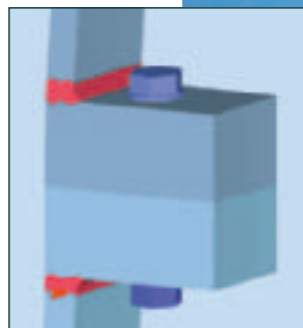
- Haute résistance et bonne stabilité dimensionnelle
- Composants de série ENERCON de qualité
- Système de montage compact permettant un gain de temps
- Économie de frais due à l'utilisation de grue

Comme tous les autres composants, les tours en acier ENERCON sont soumises aux contrôles qualité stricts d'ENERCON. L'assurance qualité est déjà intégrée dans le développement des nouvelles tours durant la phase de fabrication. Ceci permet de vérifier si le prototype répond à toutes les exigences, avant que la tour ne soit fabriquée en série.

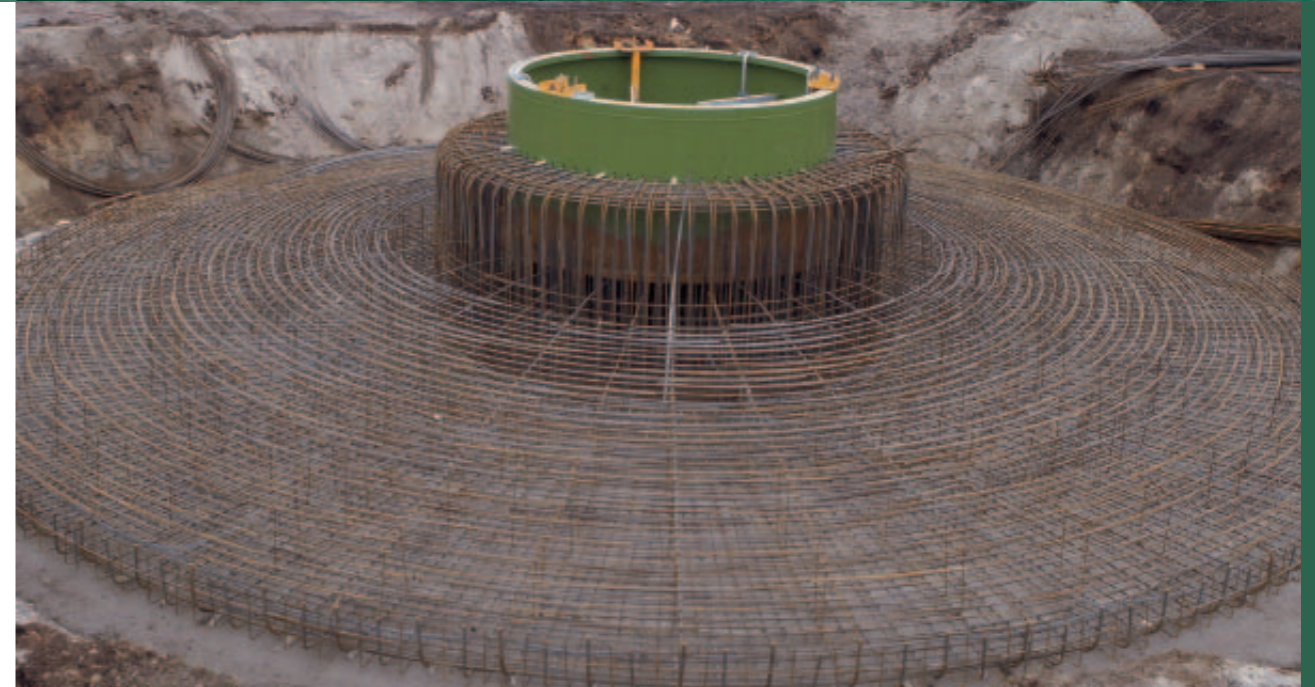
Sur les brides ENERCON en L, le cordon de soudure se situe en dehors de la zone de contraintes



Brides traditionnelles avec le cordon de soudure (en rouge) dans la zone de contraintes



Ferrailage d'un massif cylindrique ENERCON



TOUR PREFABRIQUEE EN BÉTON

Les tours préfabriquées ENERCON en béton sont fabriquées en utilisant des armatures en acier pré-contraints. Chaque segment de la tour et les fondations sont raccordés entre eux à l'aide de torons de tension se trouvant dans un tube de gainage passant au milieu de la paroi de la tour en béton. La fabrication des segments de la tour s'effectue entièrement en usine. La précision de fabrication de chaque segment en béton est garantie par un coffrage en acier spécialement conçu à cet effet. Ce procédé de fabrication minimise les tolérances dimensionnelles et assure l'exactitude du raccordement pendant le montage. Des contrôles stricts sont également réalisés par le département qualité d'ENERCON. Il existe des procédures et des consignes de travail détaillées pour chaque domaine de production. Ceci assure l'entière traçabilité de chaque étape des opérations ainsi que des matériaux utilisés.

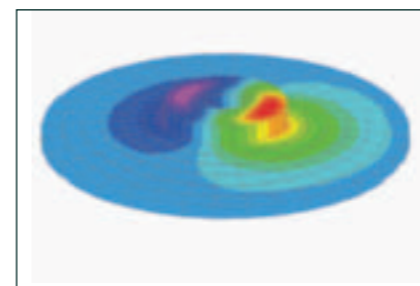
CONSTRUCTION DE LA FONDATION

La fondation transmet le poids et les contraintes du vent de l'éolienne dans le sol. Les fondations d'ENERCON sont toujours circulaires.

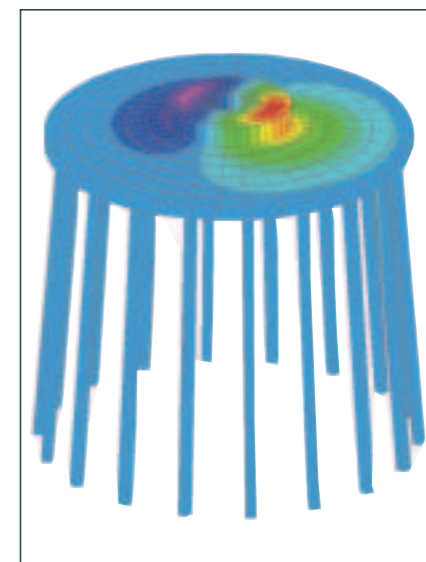
AVANTAGES DES FONDATIONS CIRCULAIRES D'ENERCON

- Les efforts sont égaux pour toutes les directions du vent, tandis qu'avec des fondations carrées ou en croix, des pressions asymétriques peuvent survenir.
- Il s'est avéré que la conception circulaire réduit la quantité d'armatures et de béton nécessaire à la construction. La forme circulaire réduit la taille de la zone de coffrage.
- Le remblaiement de la fondation avec la terre déblayée lors de l'excavation est pris en compte comme une charge dans le calcul statique. Cela signifie que moins de béton armé est nécessaire pour garantir la stabilité de la fondation.

Le sol, pour un lieu d'implantation donné, ne peut absorber qu'une certaine quantité d'efforts ; les fondations doivent être adaptées au terrain en question. La conception des fondations circulaires d'ENERCON, généralement de type superficielles, respectent ce principe très simple. Si nécessaire (par exemple avec un sol mou), la fondation profonde assure que les forces soient distribuées jusqu'aux couches portantes se trouvant en profondeur. De façon à distribuer de manière optimale les efforts sur toute la surface, la disposition des pieux est symétrique.



Répartition des contraintes sur une fondation circulaire ENERCON, superficielle et profonde



Segments de tour préfabriquée ENERCON en béton

SERVICE APRES VENTE ET MAINTENANCE

Service après vente ENERCON sur site



Agences locales de service après vente –
Structure décentralisée du service après vente
ENERCON en Allemagne

SERVICE APRES VENTE ET MAINTENANCE

STRUCTURE DECENTRALISEE DU SERVICE APRES VENTE

L'objectif du département du service après vente d'ENERCON est d'assurer et de maintenir le fonctionnement de toutes les éoliennes ENERCON. En Allemagne, conformément au principe « Service rapide grâce à une présence locale », environ 650 employés dans 88 antennes assurent le plus rapidement possible (Situation : 08/2004) la maintenance et le service des éoliennes. La distance maximale entre une éolienne et le prochain poste de service ne dépasse généralement pas plus de 50 kilomètres. Cela garantit des déplacements courts et une disponibilité technique élevée (moyenne en 2003 : 98,5%).

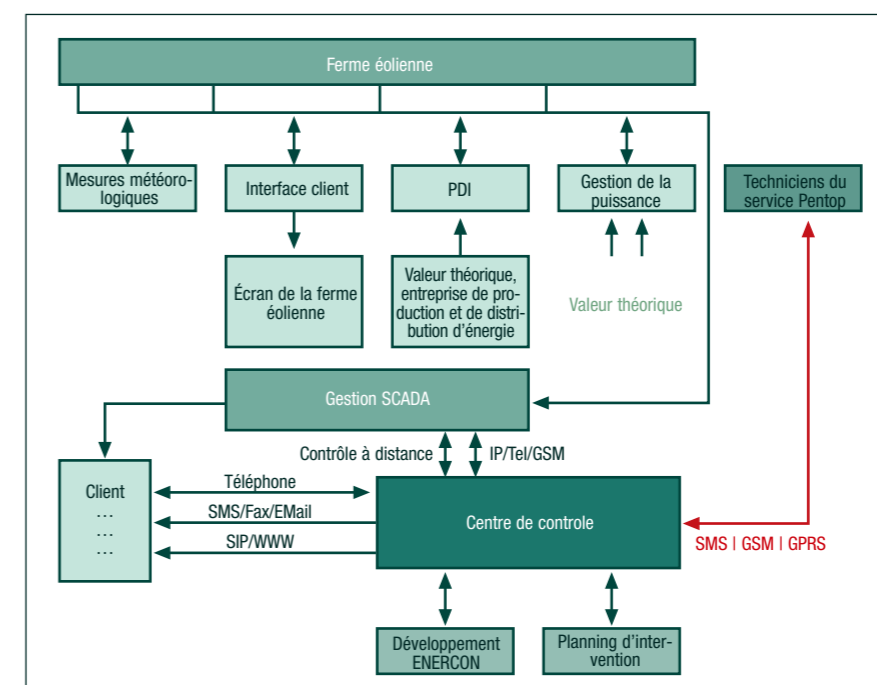
Une équipe bien coordonnée est un facteur primordial pour un service maximal. Plus de 100 employés coordonnent les opérations du service après vente d'ENERCON dans le monde, aussi bien sur le plan technique que commercial. Chaque client a des contacts privilégiés avec un interlocuteur ENERCON du service après-vente. Ce contact permet de créer une relation de confiance entre le client et ENERCON et assure également une disponibilité des données détaillées sur les conditions locales des éoliennes.

Avantage du service après vente ENERCON :

- ~ Maintenance et entretien de toutes les éoliennes installées par ENERCON
- ~ Surveillance des éoliennes par transmission de données à distance
- ~ Maintien de la disponibilité technique des éoliennes contrôlées par ENERCON
- ~ Suivi du client pour toutes les questions techniques et commerciales
- ~ Formation de l'exploitant

GESTION DU SERVICE APRES VENTE

Chaque éolienne ENERCON E-70 est reliée à distance au système central de surveillance des données via une connexion modem. Si l'éolienne annonce un problème ou un défaut, le centre du service après vente ainsi que la branche du service compétent sont avertis via le système de surveillance à distance. L'information est directement enregistrée dans le logiciel de planification d'intervention ENERCON et est indiquée sur l'écran des employés de service. A l'aide d'un système de localisation (GIS-Geo Informations System) spécialement développé, le système de planification d'intervention détermine automatiquement l'équipe se trouvant le plus près de l'éolienne en question. À l'aide d'un ordinateur à stylo (robuste, ordinateur portable avec connexion au centre du service après vente), l'équipe de service après vente a accès, sur place, aux documents et aux données spécifiques de l'éolienne. Ainsi, il est garanti que toutes les maintenances sont effectuées le plus rapidement et efficacement possible. Un nouveau standard dans la gestion du service après vente.



La gestion du service après vente d'ENERCON à la mesure de ses engagements



<http://sip.enercon.de>

PORTAIL D'INFORMATIONS DU SERVICE APRES VENTE (SIP – Service Information Portal)

Le portail d'informations du service après vente offre aux clients d'ENERCON, via Internet, la possibilité de recevoir facilement et rapidement toutes les informations désirées sur leur(s) éolienne(s) et ceci partout dans le monde. Un ordinateur avec un navigateur Web (par exemple Internet Explorer de Microsoft) et une connexion Internet sont nécessaires. Un code PIN modifiable, un mot de passe individuel ainsi qu'une voie de transmission codée garantissent trois niveaux pour la protection des données selon les derniers critères de sécurité.

Avec son menu clair, le portail d'information du service après vente garantit un accès rapide et personnalisé à toutes les données des éoliennes. Des tâches demandant des heures, comme par exemple les analyses de production des éoliennes, le contrôle des protocoles de maintenance ou encore la rédaction d'un aperçu du rendement, sont effectuées, avec le programme SIP, en moins de quelques minutes. Ce système permet non seulement une augmentation de l'efficacité, mais il garantit également la satisfaction des clients et améliore le flux d'informations (par exemple entre les partenaires d'un parc éolien).

LE CONCEPT DE PARTENARIAT ENERCON (ENERCON Partnerkonzept – EPK)

Avec le contrat ENERCON (EPK) le client a, pendant les douze premières années d'exploitation, la garantie d'une disponibilité constante de l'éolienne avec des frais d'exploitation calculables, Du service à la sécurité en passant par la maintenance et les réparations, toutes les éventualités sont prises en compte dans un seul contrat. Grâce à la fiabilité économique de son service après vente, le contrat EPK est devenu, depuis longtemps, un contrat d'une qualité reconnue. Plus de 90% des exploitants de la E-66 (modèle prédécesseur de la E-70) ont signé un contrat EPK.



Éoliennes E-66 (modèle prédécesseur de la E-70) avec EPK



Des dommages provoqués par des événements imprévisibles, comme par exemple des actes de vandalisme, peuvent être assurés par un contrat complémentaire spécial. Moins cher que les assurances de dommage classiques, l'assurance complémentaire EPK est maintenant disponible chez toutes les compagnies d'assurance connues.

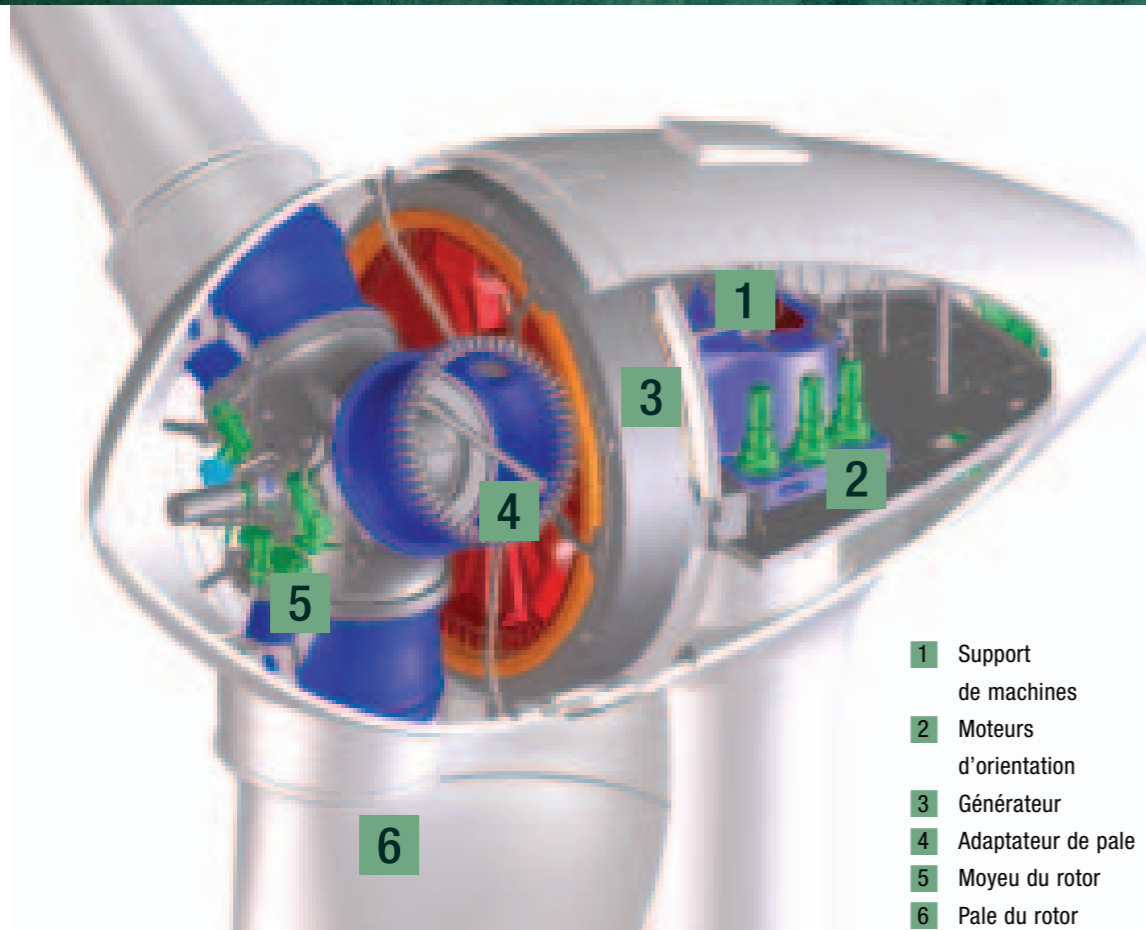
EPK en bref :

- ~ Garantie d'une disponibilité technique d'au moins 97%
- ~ Prise en charge de tous les frais d'entretien
- ~ Prise en charge de tous les frais de maintenance (pièces de rechange incluses)
- ~ Prise en charge de tous les frais de réparation
- ~ Durée du contrat sur 12 ans (avec possibilité de prolonger)
- ~ Possibilité de résilier le contrat à tout moment avec un préavis de trois mois. ENERCON doit remplir les termes du contrat jusqu'à son échéance
- ~ Contribution aux frais mesurés à partir de la production d'énergie annuelle

Développements de projets

DEVELOPPEMENT DE PROJETS ET EXPERTISE TECHNIQUE





- 1 Support de machines
- 2 Moteurs d'orientation
- 3 Générateur
- 4 Adaptateur de pale
- 5 Moyeu du rotor
- 6 Pale du rotor

CONCEPTION DES EOLIENNES

Les éoliennes ENERCON E-70 sont conçues de manière individuelle en prenant en compte leur localisation, leurs conditions d'exploitation ainsi que les dispositions et directives en vigueur dans le pays en question.

OPTIONS ET ACCESSOIRES :

- Versions de la tour

Hauteur du moyeu	Tour en acier	Tour en beton préfabriquée
64 m	X	
85 m	X	
98 m	X	X
113 m		X

- Elévateur (pour les tours de plus de 98 m)
- Peinture spéciale de la tour
- Fondation superficielle ou profonde
- Caractéristiques du réseau (transport / distribution / sectionneurs et disjoncteurs / Système d'alimentation sans coupure (UPS))
- Poste de distribution
- Balisage jour/nuit synchronisé
- Interruption pour cause de projection d'ombre
- Chauffage des pales
- Anémomètre chauffé

DONNÉES TECHNIQUES

Modèle :	ENERCON E-70
Puissance nominale :	2000 kW
Diamètre du rotor :	71 m
Hauteur du moyeu :	64–113 m (tour en acier tubulaire, tour en beton préfabriqué, diverses possibilités de fondation)

Concept de l'éolienne : Sans multiplicateur, vitesse de rotation variable, réglage indépendant de chaque pale

Rotor

Type :	Face au vent à ajustage actif des pales
Sens de rotation :	Sens horaire
Nombre de pales :	3
Surface balayée :	3959 m ²
Matériau des pales :	Fibre de verre (résine époxy) protection parafoudre intégrée
Vitesse de rotation :	Variable, 6–21,5 tours/min
Vitesse linéaire en bout de pale :	22–80 m/s
Système de réglage des pales :	3 unités indépendantes avec système d'alimentation électrique de secours

Système d'entraînement

Moyeu :	Rigide
Paliers principaux :	Un roulement à deux rangées de rouleaux coniques et un roulement à rouleaux cylindriques
Générateur :	Générateur synchrone ENERCON à accouplement direct

Alimentation du réseau : Onduleur ENERCON

Système de freinage :

- 3 unités indépendantes avec alimentation de secours
- Frein d'arrêt du rotor
- Blocage du rotor

Contrôle d'orientation : Actif par un mécanisme d'engrenages, amortissement proportionnel à la charge

Vitesse de vent de démarrage : 2,5 m/s

Vitesse de vent nominale : 13,5 m/s

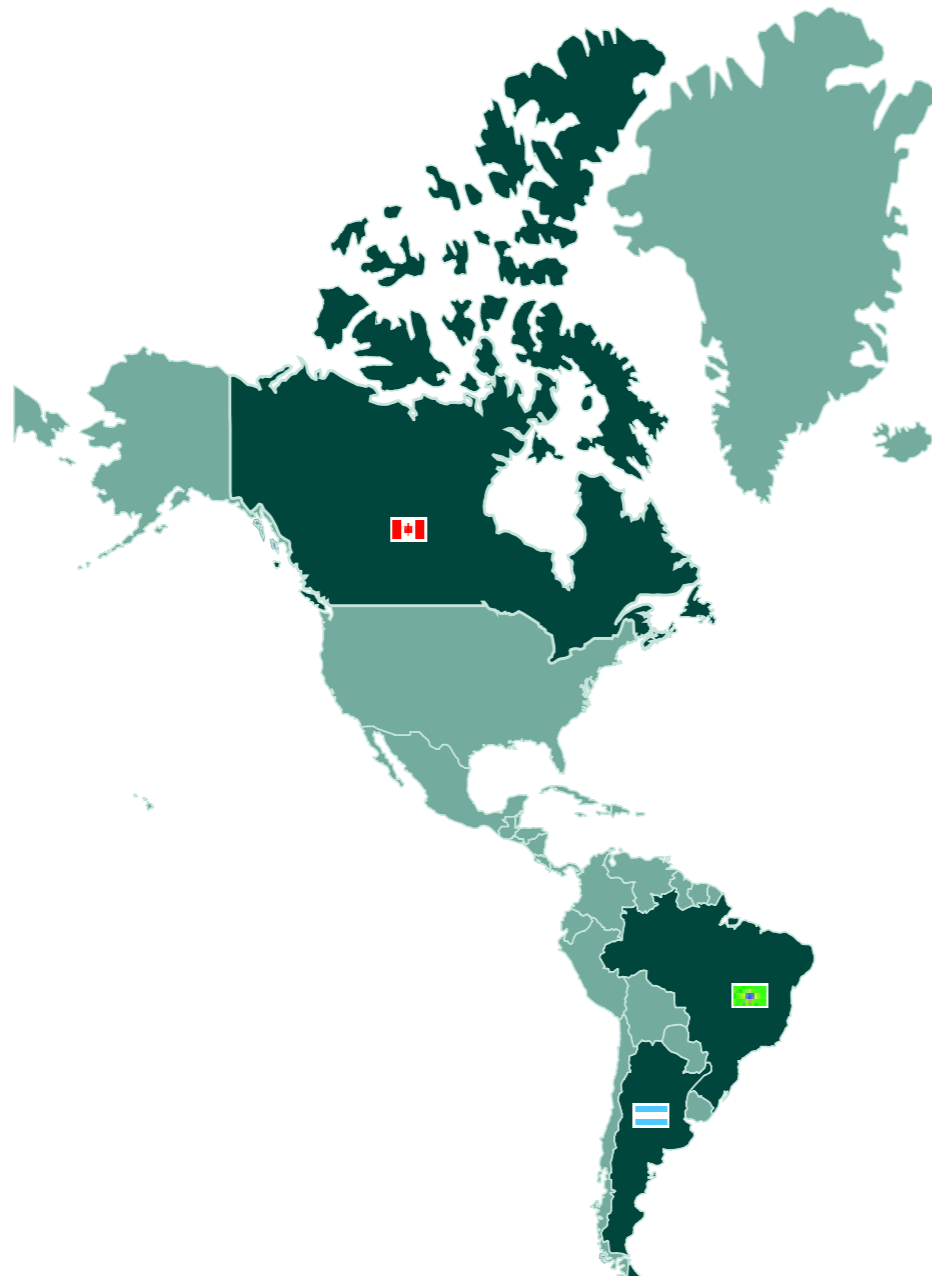
Vitesse de vent de coupure : 28–34 m/s

Système de surveillance à distance : ENERCON SCADA

LES EOLIENNES ENERCON EN UN COUP D'ŒIL

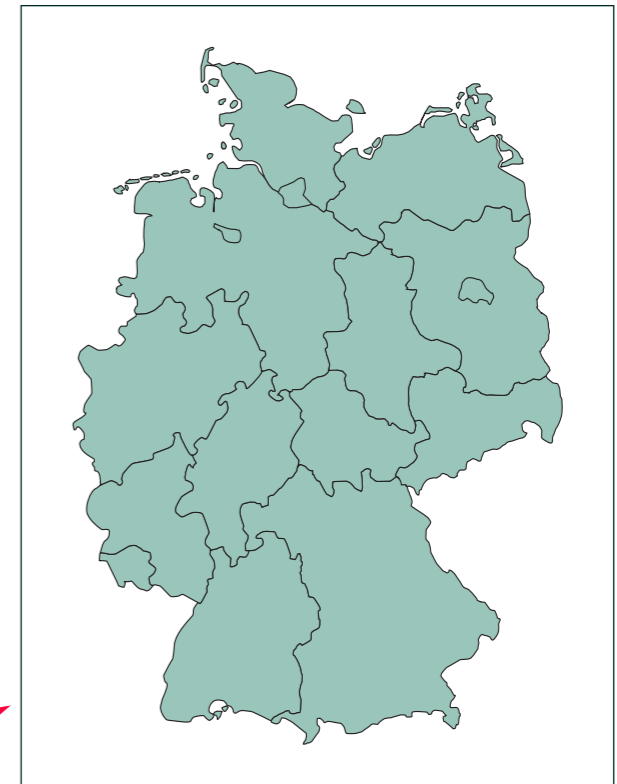
DANS LE MONDE

- Nombre d'éoliennes installées : 7610
- Capacité totale : 6,9 GW



ALLEMAGNE

- Éoliennes installées : 5240
- Capacité totale : 5,3 GW



International Dept.

ENERCON GmbH

Otto-Lilienthal-Strasse 25 · 28199 Bremen · GERMANY

Phone +49 421 244 15 20 · Fax +49 421 244 15 39

sales.international@enercon.de

ENERCON GmbH · Austria
Hauptstrasse 19
2120 Wolkersdorf · AUSTRIA
Phone +43 2245 828 28
Fax +43 2245 828 38

ENERCON Benelux B.V.
Paxtonstraat 1 a
8013 RP Zwolle · THE NETHERLANDS
Phone +31 38 422 82 82
Fax +31 38 422 80 10

ENERCON GmbH · France
8, Chemin d' Armancourt
60200 Compiègne cédex · FRANCE
Phone +33 3 44 37 35 10
Fax +33 3 44 37 35 20

ENERCON GmbH · Great Britain
Axiom House, Station Road
Stroud, Glos. GL5 3AP · GREAT BRITAIN
Phone +44 1493 78 20 18
Fax +44 1493 78 90 94

ENERCON GmbH · Denmark
Bredkær Parkvej 62
8250 Egaa · DENMARK
Phone +45 87 43 03 88
Fax +45 87 43 03 44

ENERCON GmbH · Sweden
c/o Energy Converter AB
Stenåldersgatan 19
21376 Malmö · SWEDEN
Phone +46 40 14 35 80
Fax +46 40 22 24 20

ENERCON Service Italia S.r.l.
Via G. della Casa 7
82100 Benevento · ITALY
Phone +39 082 42 52 57
Fax +39 082 433 68 83

ENERCON GmbH · Portugal
c/o Gellweiler, S.A.
Travessa do Alecrim, 3-2°
1200-019 Lisboa · PORTUGAL
Phone +351 21 340 71 60
Fax +351 21 340 71 69

ENERCON GmbH · Spain
València Parc Tecnològic
Av. Juan de la Cierva, 27
46980 Paterna (València) · SPAIN
Phone +34 961 36 62 90
Fax +34 961 36 78 75

ENERCON Hellas S.A.
20, Pentelis Avenue
15235 Vrilissia, Athens · GREECE
Phone +30 210 683 84 90
Fax +30 210 683 84 89

ENERCON Servis Ltd. Sti.
Bagdat Cad. No 187 A Blok daire 5
Selamicesme Kadikoy
Istanbul · TURKEY
Phone +90 216 385 47 15
Fax +90 216 360 64 92

ENERCON GmbH · Australia
Export Drive
Darwin Business Park Berrimah
0828 Northern Territory · AUSTRALIA
Phone +61 889 47 09 33
Fax +61 889 47 09 25

ENERCON GmbH · Brazil
Wobben Windpower Lda.
Av. Fernando Stecca nº 100
Distrito Industrial CEP 18087450
Sorocaba · São Paulo · BRAZIL
Phone +55 15 21 01 17 00
Fax +55 15 21 01 17 01

ENERCON GmbH · Egypt
c/o Zaki International Trading
23 Kasr El-Nil Street
Cairo 11111 · EGYPT
Phone +20 2 392 36 70
Fax +20 2 417 00 23

ENERCON India Ltd.
Kolsite House, Plot No. 31
Shah Industrial Estate
Veera Desai Road, Andheri (West)
Mumbai 400 053 · INDIA
Phone +91 22 56 92 48 48
Fax +91 22 26 73 00 85

ENERCON GmbH · Canada
Wind Power Inc.
Suite # 222 Lebel Mansion
696 Kettles Street, Pincher Creek
Alberta TOK 1W0 · CANADA
Phone +1 403 627 29 23
Fax +1 403 627 32 39