

Document commercial

**Classe d'éolienne K08**

**Type : N100/2500**

**Description technique**



K0801\_010868\_FR

Révision 12 / 10/03/2016

- Traduction du manuel d'utilisation original -

Ce document a été traduit de l'allemand. En cas de doute, le texte allemand prévaudra.

Le présent document est diffusé par voie électronique.

L'original revêtu des signatures est disponible auprès de Nordex Energy GmbH, département Engineering.

### **Modifications techniques**

Le présent document a été conçu avec le plus grand soin et en tenant compte des normes actuellement en vigueur.

Mais en raison d'une optimisation continue, les figures, les étapes de fonction et les spécifications techniques peuvent cependant légèrement varier.

### **Copyright**

Copyright 2016 par Nordex Energy GmbH.

Le présent document, y compris sa représentation et son contenu, est la propriété intellectuelle de Nordex Energy GmbH.

Toute transmission, reproduction ou traduction intégrale ou partielle du présent document sous forme imprimée, manuscrite ou électronique sans le consentement explicite de la société Nordex Energy GmbH est formellement interdite.

Tous droits réservés.

### **Contact**

Pour toute question relative à la présente documentation, nous vous prions de bien vouloir vous adresser à :

Nordex Energy GmbH

Langenhorner Chaussee 600

22419 Hambourg

Allemagne

<http://www.nordex-online.com>

[info@nordex-online.com](mailto:info@nordex-online.com)

<b>1.</b>	<b>Description technique .....</b>	<b>5</b>
1.1	Conception technique .....	5
1.1.1	Données de projet climatiques .....	5
1.1.2	Diagramme des flux d'énergie d'une éolienne.....	6
1.1.3	Structure de l'éolienne .....	7
1.2	Rotor .....	12
1.2.1	Moyeu de rotor .....	12
1.2.2	Pale de rotor .....	14
1.2.3	Système de calage des pales.....	15
1.3	Train d'entraînement .....	15
1.3.1	Arbre de rotor .....	16
1.3.2	Multiplicateur .....	17
1.3.3	Accouplement.....	17
1.3.4	Génératrice.....	17
1.4	Freins .....	17
1.5	Orientation (système d'orientation) .....	18
1.6	Mât et fondations .....	19
1.7	Systèmes auxiliaires .....	20
1.7.1	Refroidissement et filtration .....	20
1.7.2	Refroidissement du multiplicateur .....	20
1.7.3	Refroidissement de la génératrice.....	21
1.7.4	Refroidissement du convertisseur .....	22
1.7.5	Système hydraulique .....	23
1.7.6	Systèmes de lubrification.....	23
1.7.7	Climatisation .....	23
1.7.8	Radiateurs .....	23
1.7.9	Grues de bord .....	24
1.7.10	Dispositif d'ascension .....	24
1.8	Commande et sécurité.....	24
1.8.1	Commande de l'éolienne .....	24
1.8.2	Systèmes de sécurité .....	25
1.8.3	Dispositifs de sécurité.....	25
1.8.4	Protection contre la foudre et la surtension.....	28
1.9	Installation électrique .....	28
1.9.1	Génératrice et convertisseur .....	28
1.9.2	Forme de réseau .....	29
1.9.3	Transformateur moyenne tension et installation de commutation moyenne tension .....	29
1.9.4	Câblage .....	29
1.9.5	Mise à la terre.....	30
1.9.6	Raccordement au réseau .....	30
1.9.7	Surveillance du réseau .....	31
1.9.8	Besoins propres de l'éolienne .....	31
1.9.9	Communication.....	32

1.10	Gestion.....	33
1.10.1	Gestion de l'éolienne .....	33
1.10.2	Gestion du parc éolien.....	35
1.11	Remarques complémentaires .....	36
1.11.1	États et modes de fonctionnement spéciaux.....	36
1.11.2	Code couleur des composants extérieurs .....	37
1.11.3	Degré de réflexion .....	37
1.12	Spécifications techniques .....	38
<b>2.</b>	<b>Index de modifications .....</b>	<b>46</b>

# 1. Description technique

## 1.1 Conception technique

L'éolienne Nordex N100/2500 est une éolienne à vitesse de fonctionnement variable, dont le diamètre du rotor est de 99,8 m et ayant une puissance nominale de 2 500 kW. Elle est proposée dans les modèles pour 50 Hz et 60 Hz. La machine et les pales de rotor sont conçues pour la catégorie 2a, conformément à la norme CEI 61400-1.

L'éolienne est une éolienne de la famille d'éoliennes Nordex N80/2500, N90/2500, N100/2500, N117/2400, celle-ci ayant fait ses preuves.

Entre autres pour des raisons économiques et techniques, des éoliennes sont regroupées en parcs éoliens, et elles sont gérées comme une unité. Bien souvent, des mâts météorologiques et un poste de transformation font également partie du parc éolien. En fonction de la topologie du terrain, on élabore une conception du parc éolien, celle-ci visant à obtenir un optimum entre des investissements minimums, un rendement maximum et de faibles charges dues à des turbulences. Cette conception du parc éolien doit être concertée au préalable avec Nordex afin de ne pas compromettre la sécurité des éoliennes.

### 1.1.1 Données de projet climatiques

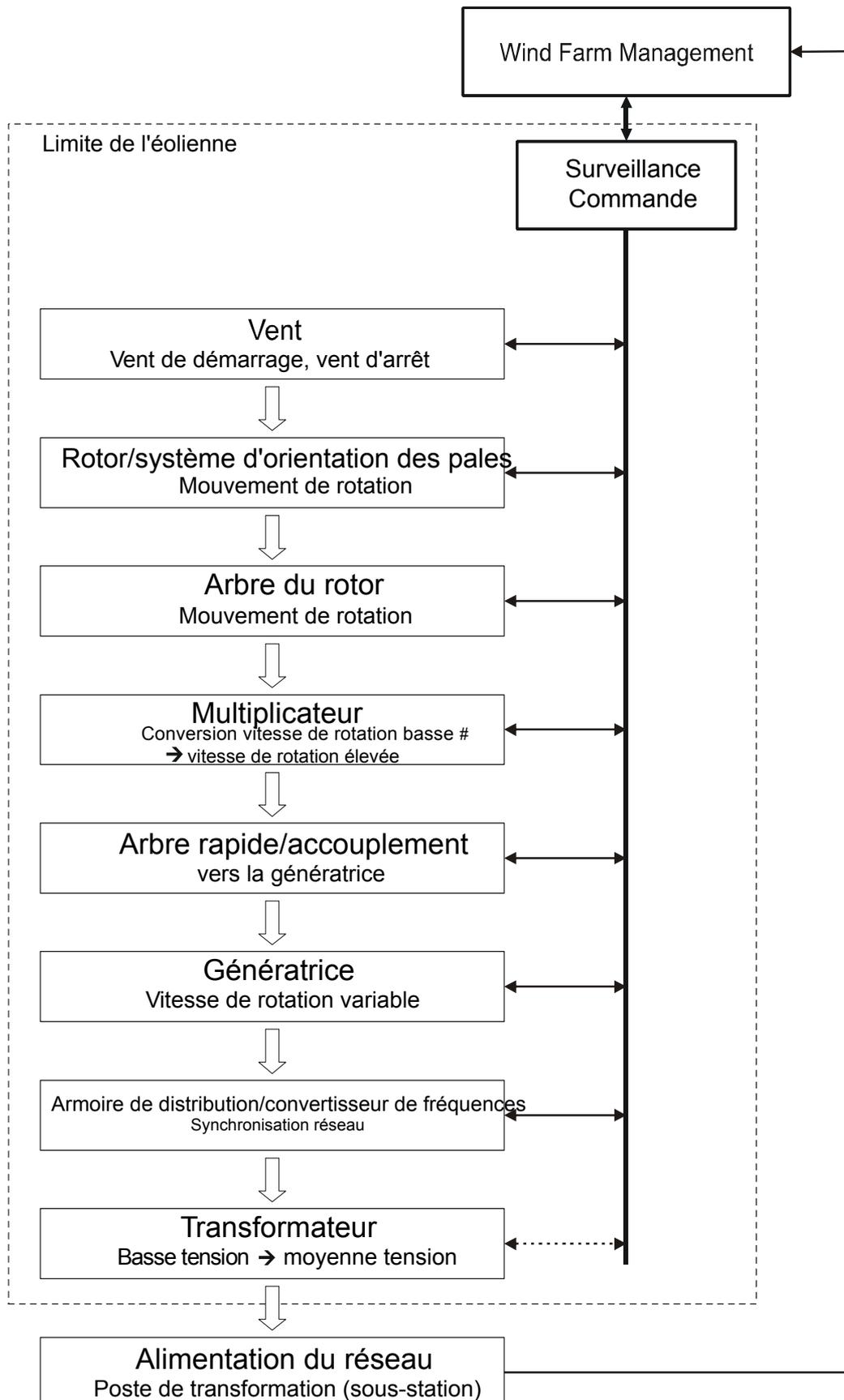
Le mât, la nacelle et les pales de rotor sont conçues et certifiées selon des normes nationales et internationales applicables à des éoliennes.

- Températures ambiantes **standard** :
  - Température de survie : -20 °C...+50 °C
  - Puissance nominale : -10 °C...+40 °C
  - Arrêt : -10 °C, redémarrage à -8 °C
- Températures ambiantes **CCV** :
  - Température de survie : -40 °C...+50 °C
  - Puissance nominale : -30 °C...+40 °C
  - Arrêt : -30 °C, redémarrage à -28 °C
- L'éolienne est conçue pour des sites sur des hauteurs allant jusqu'à 1.000 m. Dans certaines conditions, des hauteurs d'installation allant jusqu'à 2.000 m au-dessus du niveau de la mer sont possibles. Dans de telles situations, la puissance nominale de l'éolienne est réduite, puisque la puissance de refroidissement diminue en cas de températures ambiantes élevées.

La température ambiante pour la conception de l'éolienne se réfère aux mesures météorologiques habituelles (2 m de hauteur au-dessus du sol, à l'ombre). La température ambiante pertinente pour la commande est mesurée en dehors de la nacelle, au niveau du moyeu.

- voir « États et modes de fonctionnement spéciaux » à la page 36

## 1.1.2 Diagramme des flux d'énergie d'une éolienne



### 1.1.3 Structure de l'éolienne

Une éolienne se compose des pièces principales suivantes :

- le rotor, celui-ci se composant d'un moyeu de rotor, de trois pales de rotor et du système de calage des pales
- la nacelle avec le train d'entraînement, la génératrice et le système d'orientation
- le mât tubulaire avec les fondations
- le transformateur et installation de commutation moyenne tension

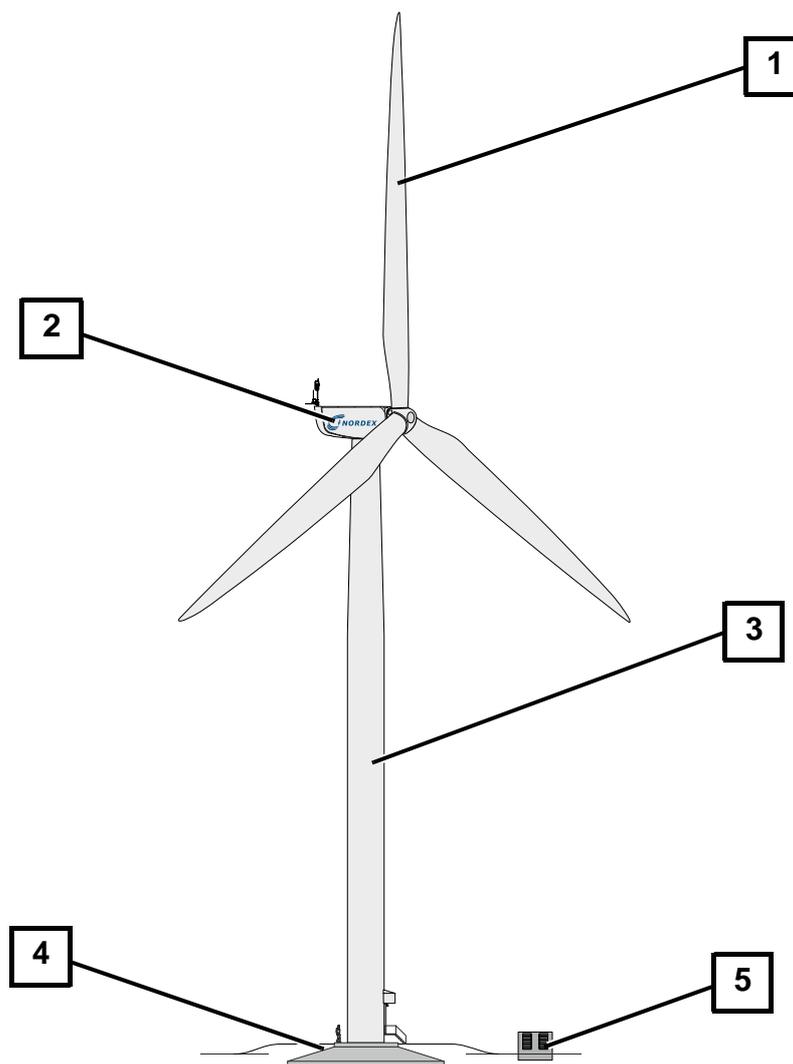


Fig. 1 Les principaux composants d'une éolienne

- 1 Rotor
- 2 Nacelle
- 3 Mât
- 4 Fondations
- 5 Sous-station (en option)

Pour chaque hauteur de moyeu, on dispose d'un plan d'ensemble distinct, celui-ci indiquant les principales dimensions.

## Principe de fonctionnement d'une éolienne

La nacelle avec le rotor est montée en rotation sur le mât. Son orientation est adaptée à la direction respectivement dominante du vent de manière automatique par la commande, au moyen du système d'orientation. Le rotor est de conception dispositif côté vent.

La transformation de l'énergie éolienne captée par le rotor en énergie électrique s'effectue au moyen d'une génératrice asynchrone à double alimentation. Son stator est direct et le rotor est relié au réseau du parc éolien par un convertisseur de fréquences à commande spéciale. Cela recèle l'avantage essentiel que d'un côté le convertisseur de fréquences doit uniquement être conçu pour 30% de la puissance de la génératrice et que d'autre part, la génératrice peut dans une certaine plage de vitesse être utilisée approximativement au niveau de sa vitesse synchrone.

La limitation de la puissance est obtenue en modifiant l'angle d'incidence des pales de rotor. Ce que l'on appelle le système de calage des pales (système pitch) se compose de trois commandes et de trois entraînements indépendants, une/un pour chaque pale de rotor.

La structure porteuse de la nacelle se compose d'un châssis de machine moulé, d'un support de génératrice soudé et d'une structure métallique comme voie de roulement pour la grue de bord. La structure métallique accueille en même temps l'habillage de la nacelle. L'habillage de la nacelle se compose de matière plastique, renforcée par des fibres de verre.

L'espace intérieur est aménagé d'une manière si généreuse que pour tous les travaux, on peut laisser le toit fermé. Il y a plusieurs trappes de toit qui donnent accès au moyeu de rotor ou aux installations sur le toit. Sur le toit se trouvent le système de mesure du vent, à conception redondante, et en option un feu de balisage pour le marquage de jour et de nuit ou d'autres capteurs, disponibles en option.

## Coupe de la nacelle

La nacelle abrite les composants mécaniques et électroniques essentiels d'une éolienne.

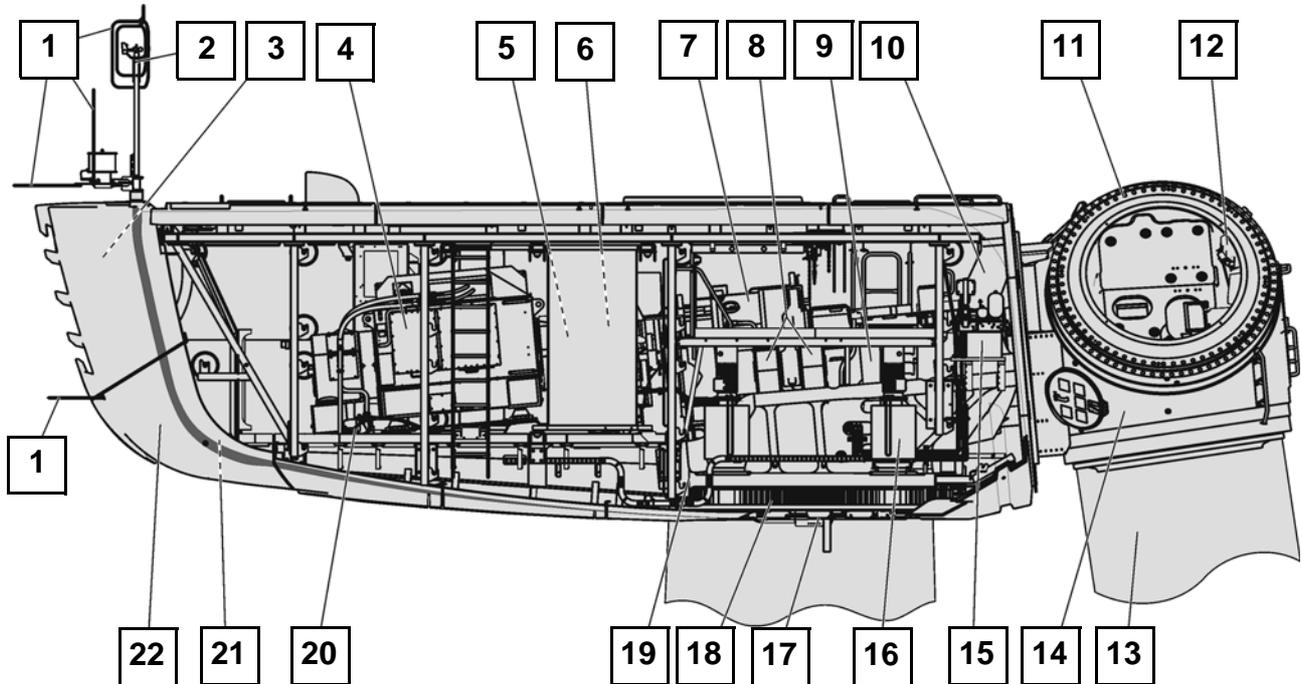


Fig. 2 Plan d'ensemble de la nacelle

1	Capteur d'éclairs	2	Appareils de mesure du vent
3	Échangeur thermique	4	Génératrice
5	Accouplement	6	Frein du rotor
7	Multiplicateur	8	Support de multiplicateur
9	Arbre de rotor	10	Palier de rotor
11	Palier de calage de pale	12	Entraînement du système de calage des pales
13	Pale de rotor	14	Moyeu de rotor
15	Groupe hydraulique	16	Entraînement du système d'orientation
17	Freins azimut	18	Palier à rotule azimut
19	Châssis de machine	20	Pompe à eau de refroidissement
21	Trappe pour la grue de bord	22	Cabine

## Coupe du pied du mât

Cette coupe à travers la section la plus basse du mât fait une présentation schématique des principaux composants se trouvant dans le pied du mât.

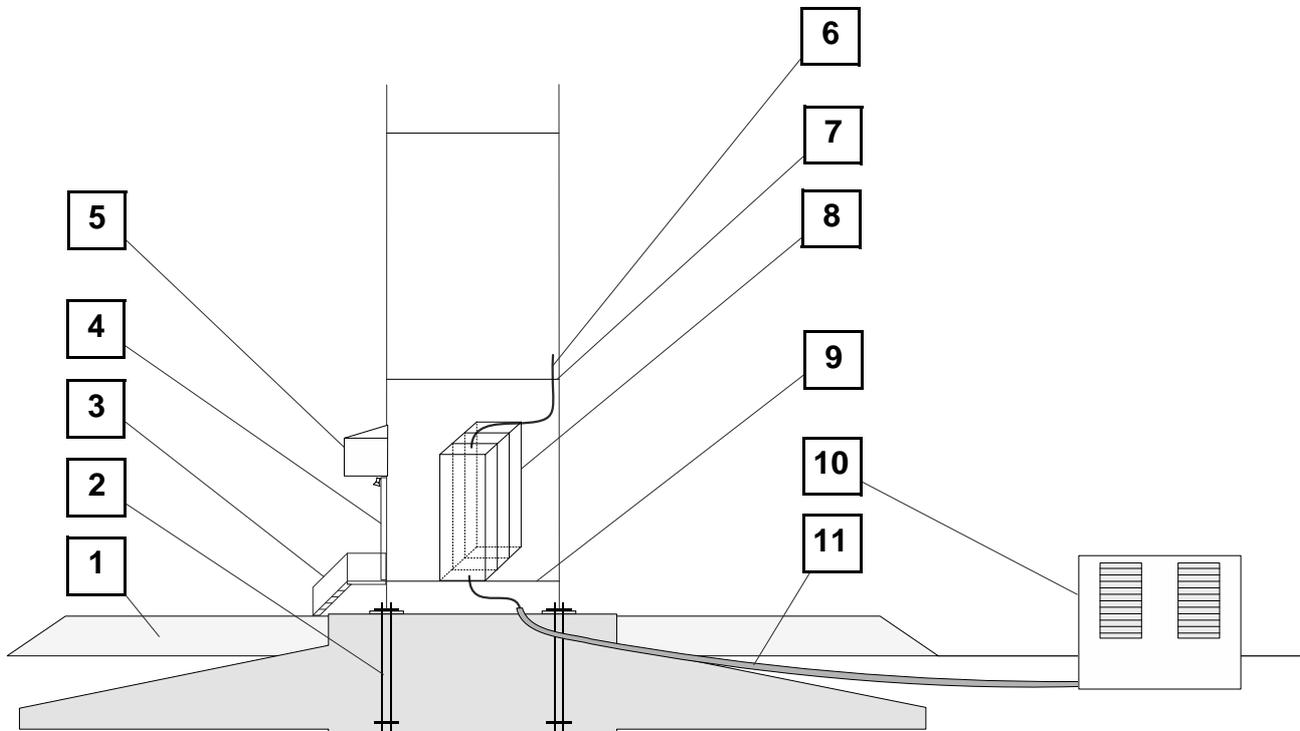
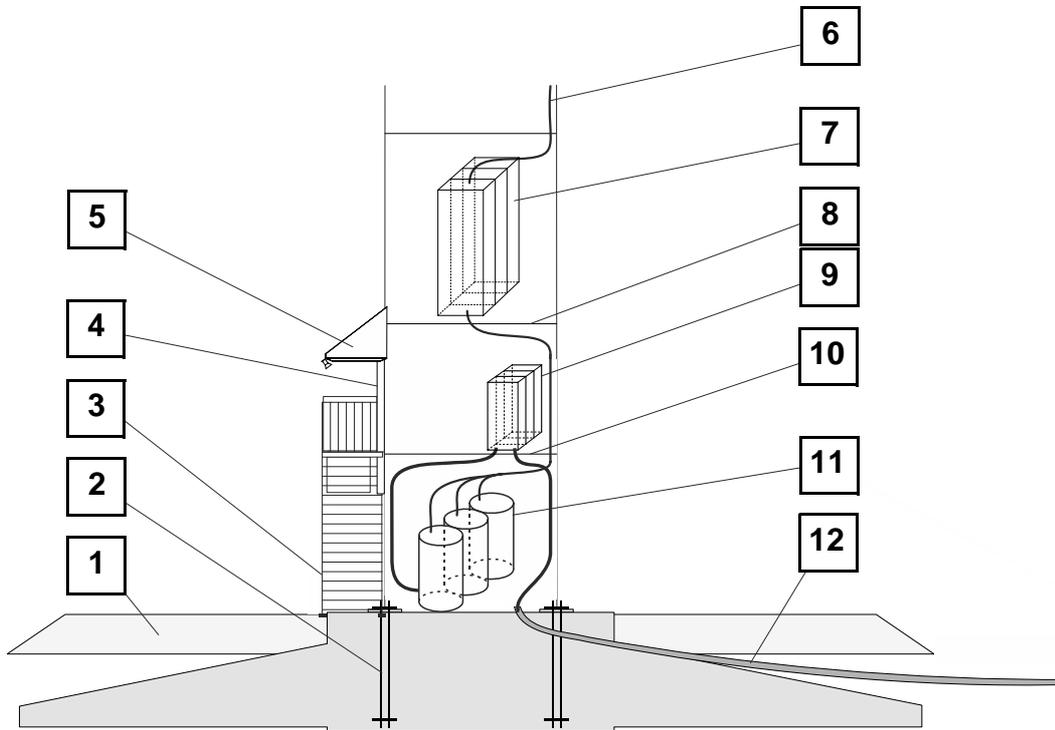


Fig. 3 Coupe à travers le pied du mât, variante avec sous-station distincte

- 1 Remblai
- 2 Ancrage du mât
- 3 Escaliers
- 4 Porte du mât
- 5 Aération/refroidissement
- 6 Câbles électriques
- 7 Deuxième plateforme du mât
- 8 Armoire de distribution
- 9 Première plateforme du mât
- 10 Sous-station
- 11 Tuyaux vides

Cette coupe à travers de la section la plus basse du mât fait une présentation schématique de l'option du pied du mât avec le transformateur installé dans la mât.



*Fig. 4* Coupe à travers le pied du mât, variante Transformateur dans la mât

- 1 Remblai
- 2 Ancrage du mât
- 3 Escaliers
- 4 Porte du mât
- 5 Aération/refroidissement
- 6 Câbles électriques
- 7 Armoire de distribution
- 8 Seconde plateforme du mât
- 9 Installation de commutation moyenne tension
- 10 Première plateforme du mât
- 11 Transformateur
- 12 Tuyaux vides

## 1.2 Rotor

Les pales de rotor transmettent l'énergie cinétique du vent vers le train d'entraînement via le moyeu de rotor. L'énergie éolienne est transformée en un mouvement de rotation. Avec un diamètre de rotor de presque 100 m, l'éolienne N100/2500 se prête de manière idéale à des sites intérieurs.

Le rotor se compose de trois pales de rotor, d'un moyeu de rotor, de trois couronnes d'orientation et de trois d'entraînement pour le calage des pales.

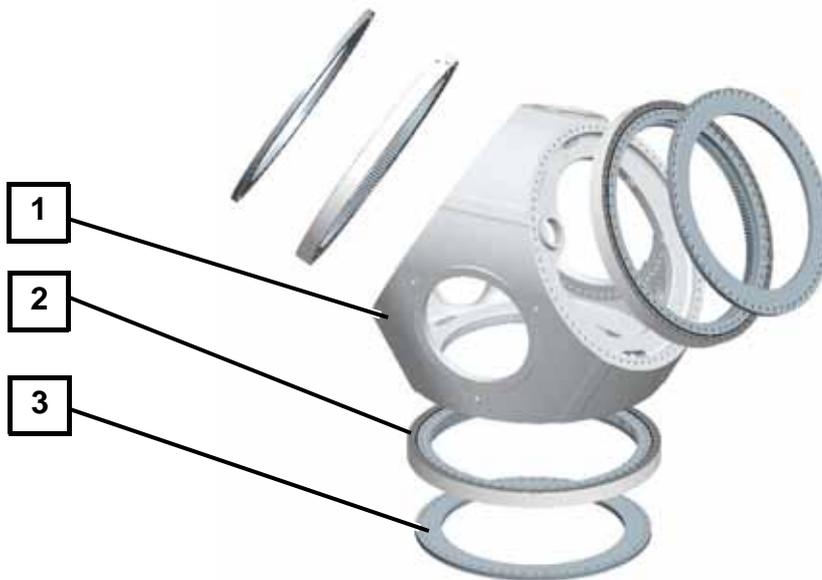
Les pales sont en plastique renforcé de fibres de verre (GRP) de très grande qualité. Elles sont équipées d'un système de protection contre la foudre, disposant de plusieurs récepteurs d'éclairs et détournant l'éclair vers le moyeu de rotor.

Le système de calages des pales (système pitch) déplace les pales de rotor dans les positions définies par la commande. Chaque pale de rotor est commandée et entraînée de manière distincte. Le système de calage des pales constitue le frein principal de l'éolienne.

Pour opérer un freinage, les pales de rotor sont tournées de 90°. Ainsi la portance est interrompue, et il se produit en même temps une très grande résistance de l'air, celle-ci freinant le rotor (frein aérodynamique).

### 1.2.1 Moyeu de rotor

Le moyeu de rotor est une structure en fonte modulaire rigide. Le corps de base du moyeu de rotor accueille tous les composants de l'entraînement du système de calage des pales. Le palier de calage de pale et la pale de rotor sont vissés sur le corps en fonte. Afin de renforcer la solidité des pales de rotor, on installe entre le palier de calage des pale et la pale de rotor en outre un anneau de renforcement pour les pales.



*Fig. 5*      *Structure du moyeu de rotor*

- 1 Corps de base du moyeu de rotor
- 2 Palier de calage de pale
- 3 anneau de renforcement des pales de rotor

L'accès au moyeu de rotor s'effectue par une ouverture fermante, celle-ci étant directement accessible depuis le toit de la nacelle.



*Fig. 6*      *Entrée dans le moyeu de rotor*

Le moyeu de rotor est très spacieux puisque la bague collectrice est intégrée dans l'arbre de rotor. Grâce à l'ouverture transparente vers l'avant, la lumière du jour tombe sur le moyeu de rotor. Toutes les marches sont recouvertes d'un revêtement antidérapant.

## 1.2.2 Pale de rotor

Les couches des fibres de verre et des fibres de carbone, celles-ci étant préparées dans un moule sont immergées dans de la résine époxy dans le cadre d'un processus d'infusion à vide. Ainsi obtient-on une matière plastique haut de gamme, renforcée par des fibres de verre. Une pale de rotor est réalisée en collant deux moitiés. Le matériel central de la construction multicouche se compose de balsa et de mousse PET. Des supports installés en longueur viennent renforcer la structure des pales de rotor. La racine de la pale de rotor est obturée par une plaque. Un trou d'homme permet d'accéder à l'intérieur de la pale. Une plaque obture le trou d'homme.



*Fig. 7 Racine de pale et pale de rotor*

Le profil aérodynamique des pales est peu sensible à l'encrassement et de la glace et permet donc de réduire les pertes de puissance. En outre, le profil dispose d'une géométrie qui recèle un avantage lors du processus critique du collage de l'arête d'extrémité.

Conformément aux directives CEI TS 61400-23 et GL IV-1 (2004), la pale de rotor a été testée statiquement et dynamiquement avec des charges qui dépassent les prescriptions prévues par la conception. Le matériau est régulièrement soumis à des tests importants. Ces programmes de tests intensifs assurent la durabilité et la solidité des pales de rotor sur l'ensemble de leur durée de vie.

Le cas échéant, chaque pale de rotor peut être immobilisée dans n'importe quelle position afin de faciliter les travaux de montage et d'entretien.

### 1.2.3 Système de calage des pales

Pour chaque pale de rotor distincte, le système de calage des pales se compose d'un entraînement électromécanique avec un moteur triphasé, d'un engrenage planétaire et d'un pignon d'entraînement ainsi que d'une unité de commande avec convertisseur de fréquences et une alimentation électrique de secours.

Le système de calage des pales commande l'angle des pales de rotor. Il peut faire tourner les pales de rotor autour de leur axe longitudinal. Pendant le fonctionnement, l'angle de calage de pale est optimisé de telle sorte que l'on soutire au vent de l'énergie de la manière la plus efficace possible et qu'elle puisse être transférée vers le mouvement de rotation. À partir de la vitesse nominale, le système de calage des pales sert surtout à limiter la puissance à la puissance nominale.

Le système de calage des pales peut compenser des bourrasques et sert également de frein principal du rotor par une rotation des pales de rotor d'environ 90°.

Chaque pale de rotor est commandée et entraînée de manière indépendante des autres pales, formant ainsi un système de sécurité redondant. Les mouvements de réglage des pales de rotor sont synchronisés de manière électronique. Chaque entraînement du système de calage des pale dispose en outre d'une alimentation électrique de secours distincte. En cas de panne de courant, l'alimentation électrique de secours peut faire tourner la pale de rotor hors du vent d'une manière sûre. Ensuite, le rotor est en roue libre.

La transmission de signaux et l'alimentation électrique s'effectuent via une bague collectrice, celle-ci étant intégrée dans l'arbre du rotor.

## 1.3 Train d'entraînement

Le train d'entraînement transmet le mouvement rotatif du rotor à la génératrice. Ce faisant, la vitesse est augmentée en fonction des besoins. Le train d'entraînement se compose des pièces principales suivantes :

- Arbre de rotor
- Multiplicateur  
L'arbre de rotor et le multiplicateur sont reliés l'un à l'autre au moyen d'un disque de retrait
- Accouplement
- Génératrice

La figure suivante montre le train d'entraînement, y compris le moyeu de rotor et le châssis de machine.

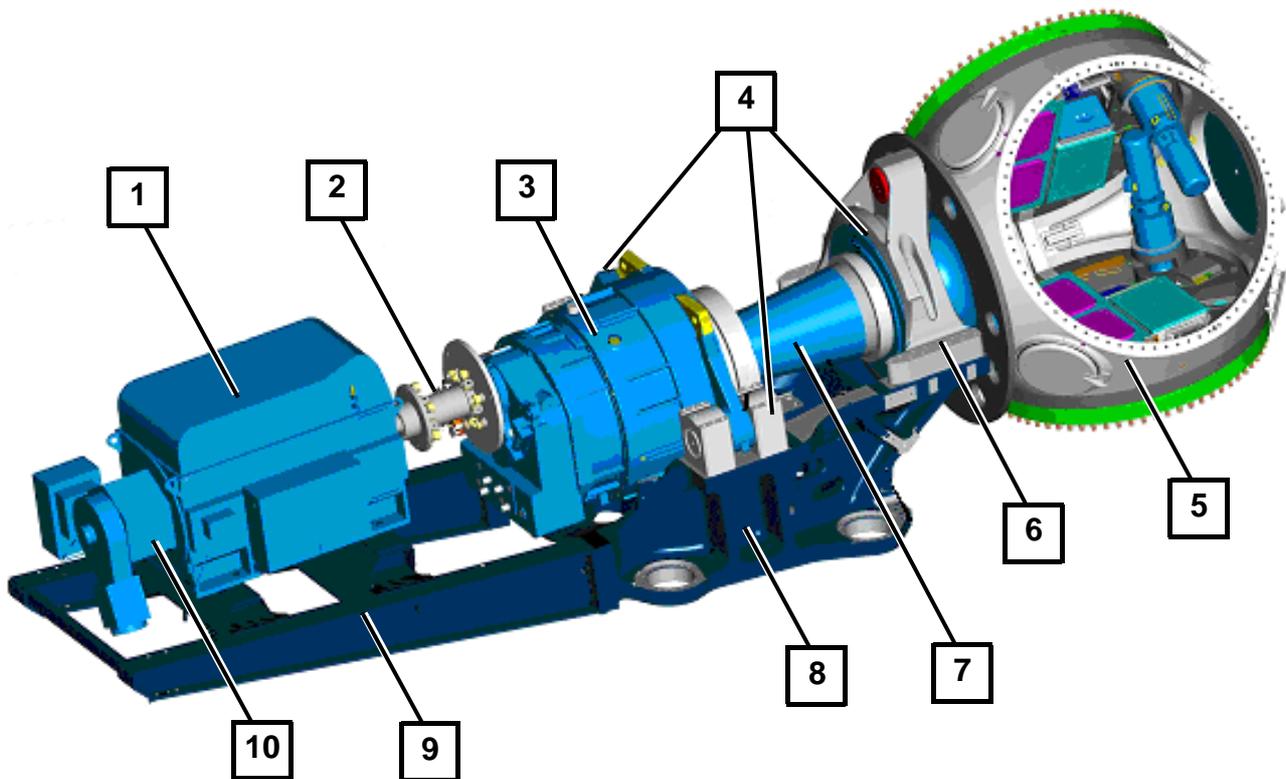


Fig. 8 Composants du train d'entraînement

- 1 Génératrice
- 2 Accouplement
- 3 Multiplicateur
- 4 Suspension à 3 points
- 5 Moyeu de rotor
- 6 Palier de rotor
- 7 Arbre de rotor
- 8 Châssis de machine
- 9 Support de la génératrice
- 10 Bague collectrice pour la transmission de la puissance

### 1.3.1 Arbre de rotor

L'arbre du rotor est logé dans la nacelle, sur le palier de rotor. Le palier de rotor transmet les forces radiales et axiales du rotor sur le châssis de machine. Dans le palier de rotor est intégré un dispositif de blocage hydraulique pour le rotor. La bague collectrice, destinée à la transmission des signaux et de la tension est intégrée dans l'arbre du rotor.

### 1.3.2 Multiplicateur

Le multiplicateur fait augmenter la vitesse jusqu'à atteindre la vitesse requise pour la génératrice. Il existe deux différents, mais éprouvés, types de multiplicateur : d'une part, un engrenage planétaire à plusieurs niveaux avec un train de pignon, d'autre part un engrenage différentiel. Le refroidissement du multiplicateur est assuré par un circuit de refroidissement huile-air doté d'une puissance de refroidissement échelonnée. Le palier du multiplicateur et l'engrenage sont en permanence alimentés avec de l'huile refroidie. Outre la lubrification, l'huile du multiplicateur a également pour fonction de refroidir le multiplicateur. Les températures du palier du multiplicateur et de l'huile sont surveillées en permanence.

### 1.3.3 Accouplement

L'accouplement se trouve entre le disque de frein sur le multiplicateur et la génératrice. Sa fonction consiste à compenser un décalage entre le multiplicateur et la génératrice. Sur l'arbre de la génératrice est installée une protection contre la surcharge (limitation définie du couple). Elle sert à éviter la transmission de chocs momentanés, ceux-ci étant susceptibles d'apparaître dans la génératrice en cas d'erreurs de réseau. L'accouplement est isolé électriquement.

### 1.3.4 Génératrice

La génératrice est une machine asynchrone à double alimentation. Via un circuit de refroidissement, la génératrice est maintenue à des températures de fonctionnement optimales. La génératrice est refroidie par un liquide de refroidissement.

## 1.4 Freins

Le frein aérodynamique se compose de trois pales de rotor actionnées de manière indépendante et redondante qui peuvent être tournées de 90° autour de l'axe longitudinal. Le calage des pales de rotor est surveillé par un système de sécurité ; après une défaillance non voulue de la tension d'alimentation, une alimentation électrique de secours est actionnée automatiquement au niveau du système de calage des pales, celle-ci plaçant les pales dans une position transversale par rapport à la direction de rotation.

L'éolienne est en outre équipée d'un frein mécanique. Ce frein soutient le frein aérodynamique dès qu'une vitesse définie est sous-passée et finit par immobiliser le rotor. La force de freinage est réglée par différents programmes de freinage, et ce en fonction de la cause qui a déclenché le freinage. Les programmes de freinage permettent d'éviter des pics de charge. Après la mise à l'arrêt de l'éolienne, le rotor peut être arrêté ou mis en mode roue libre.

## 1.5 Orientation (système d'orientation)

Au niveau du moyeu de rotor, la direction du vent est mesurée en permanence à l'aide de deux appareils indépendants. L'un d'eux est un appareil de mesure à ultrasons chauffé.

Si l'orientation de la nacelle s'écarte de la direction du vent, dépassant une valeur limite autorisée, la nacelle est orientée activement. L'orientation s'effectue via quatre entraînements du système d'orientation. Les entraînements du système d'orientation se trouvent sur le châssis de machine de la nacelle. Ils se composent d'un moteur électrique, d'un engrenage planétaire à plusieurs niveaux et d'un pignon d'entraînement. Les pignons d'entraînement rentrent dans l'engrenage extérieur du palier à rotule azimuth.

Si la nacelle ne tourne pas, les freins de système d'orientation sont activés. Il y a deux freins azimuth différents qui peuvent être actionnés simultanément. Les freins actionnés hydrauliquement sont répartis sur la circonférence du palier à rotule azimuth et agissent sur le disque de frein. Les freins actionnés électriquement se trouvent sur le côté rapide de l'entraînement du système d'orientation et agissent sur l'arbre du moteur électrique.

Dans le cas de vitesses de vent inférieures à la vitesse de vent de démarrage, l'orientation automatique s'arrête afin de faire des économies d'énergie. Pour les sites NCV difficiles, le système de mesure de vent est disponible en option avec un anémomètre CCV.

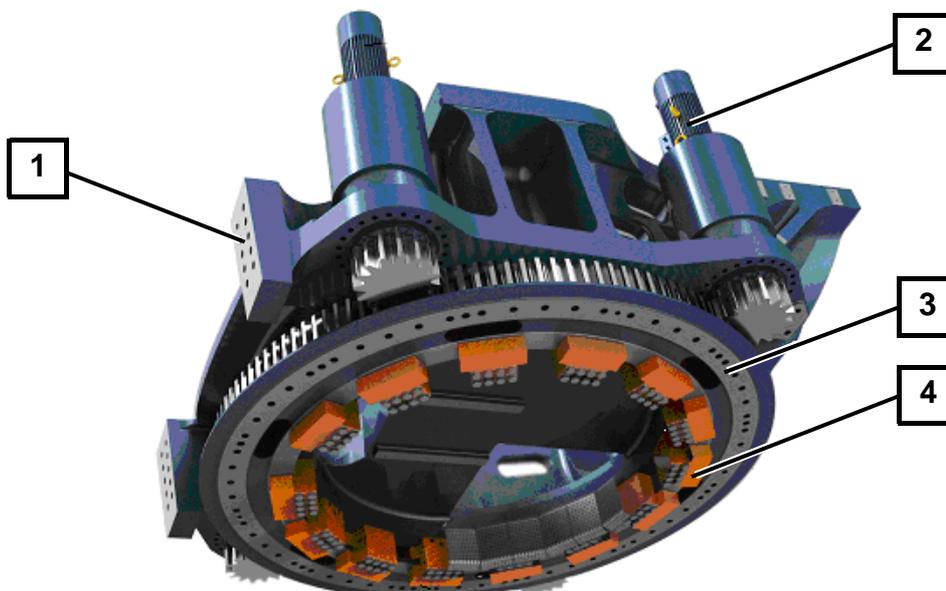


Fig. 9 Composants du système d'orientation

- 1 Châssis de machine
- 2 4 x entraînement du système d'orientation de l'éolienne N100/2500
- 3 Palier à rotule azimuth
- 4 Étrier de frein

## 1.6 Mât et fondations

### Mât en acier tubulaire

L'éolienne Nordex N100/2500 est installée sur des tours tubulaires en acier pour différentes hauteurs de moyeu et différentes zones de vent.

La hauteur du moyeu est définie comme hauteur du moyeu de rotor au-dessus du sol. La hauteur du mât s'en écarte. Elle diminue de la hauteur de l'arête supérieure des fondations au-dessus du sol (en règle générale 1,1 m) et de l'écart vertical de l'arête supérieure du mât au milieu du moyeu de rotor (1,99 m).

Le mât est un mât tubulaire en acier cylindrique. La section de tête est conique. En fonction de la hauteur du moyeu, elle se compose de trois à cinq sections.

La protection contre la corrosion du mât tubulaire en acier est assurée par un système de revêtement de la surface, conformément à la norme ISO 12944.

Un dispositif d'ascension, l'échelle d'accès, disposant d'un système de protection contre la chute ainsi que des plateformes de repos et de travail à l'intérieur du mât permettent une ascension dans la nacelle à l'abri des intempéries.

En fonction des exigences, l'éolienne peut être équipée d'une sous-station distincte. Celle-ci se trouve à quelques mètres à côté du mât. Elle abrite en particulier le transformateur moyenne tension et l'installation de commutation moyenne tension. Les câbles électriques vers l'éolienne et le réseau électrique régional sont posés sous terre.

Si on n'a pas prévu de sous-station distincte, on installe à titre d'option dans la mât un transformateur moyenne tension et une installation de commutation moyenne tension, voir Fig. 4 à la page 11.

### Fondations

La construction des fondations dépend de la nature du sol existant sur le site prévu. Pour ancrer la mât, le panier d'ancrage est scellé dans les fondations. La mât et le panier d'ancrage sont vissés l'un à l'autre, voir « Structure de l'éolienne » à la page 7.

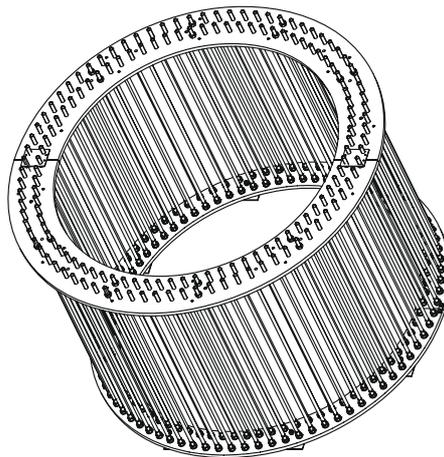


Fig. 10 Panier d'ancrage pour ancrer la mât

### Mât hybride

L'éolienne Nordex N100/2500 est également installée sur un mât hybride. Dans la partie inférieure, le mât hybride se compose d'un mât en béton et dans la partie supérieure, elle se compose d'un mât tubulaire en acier. Les deux parties du mât sont reliées entre elles par un adaptateur. De manière standard, le transformateur est installé dans un local fermé, dans le pied du mât.

## 1.7 Systèmes auxiliaires

### 1.7.1 Refroidissement et filtration

Le multiplicateur, la génératrice et le convertisseur de l'éolienne disposent de systèmes de refroidissement qui sont indépendants les uns des autres.

Tous les systèmes sont conçus de telle sorte que même dans le cas de températures extérieures élevées, on obtient des températures de fonctionnement optimales. La surveillance de la température des différents paliers de multiplicateur, de l'huile du multiplicateur, des bobinages de la génératrice, du palier de la génératrice et du liquide de refroidissement est assurée continuellement et en partie de manière redondante par la commande.

### 1.7.2 Refroidissement du multiplicateur

L'évacuation de la chaleur hors du multiplicateur s'effectue via le circuit d'huile dans un refroidisseur huile-air. Une pompe avec deux niveaux de refoulement pompe l'huile du multiplicateur dans le circuit de refroidissement par une cartouche filtrante combinée. Des filtres grossiers et fins ont pour fonction d'éliminer des matières solides de l'huile du multiplicateur. Le degré d'encrassement de la cartouche filtrante est surveillé par la commande (mesure de la pression différentielle). En option, on peut installer un filtre en dérivation supplémentaire (filtre très fin 5 µm) et un compteur de particules métalliques.

Si la température de fonctionnement optimale n'a pas encore été atteinte, un by-pass thermique réachemine directement l'huile du multiplicateur déjà chauffée dans le multiplicateur. Si la température de travail optimale de l'huile est dépassée, l'échangeur thermique huile-air est actionné et l'huile est refroidie. L'échangeur thermique est en outre équipé d'un ventilateur à deux niveaux qui en fonction de la température de l'huile est mis en marche et à l'arrêt.

De manière ciblée, l'huile refroidie est acheminée vers les composants exposés à une forte sollicitation thermique via un système de tuyaux trouve qui se trouve à l'intérieur du multiplicateur.

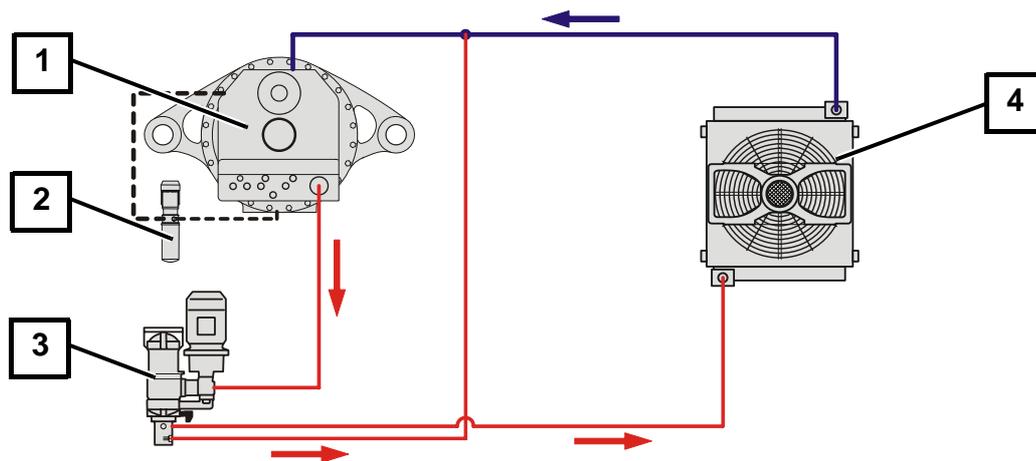


Fig. 11 Dessin schématique du refroidissement du multiplicateur

- 1 Multiplicateur
- 2 Filtre en dérivation
- 3 Pompe et filtre
- 4 Refroidisseur huile-air

### 1.7.3 Refroidissement de la génératrice

L'évacuation de la chaleur hors de la génératrice s'effectue via un circuit de refroidissement à eau. Comme liquide refroidissement, on utilise un mélange eau-glycol qui résiste au gel. Dans la génératrice, la chaleur est transmise à l'eau de refroidissement via un refroidissement à air intégré. Au moyen d'une pompe centrifuge qui ne nécessite aucun entretien, l'eau de refroidissement est acheminée vers un échangeur thermique eau-air.

La pompe s'enclenche dès que la température des composants de la génératrice dépasse une valeur définie et elle refroidit l'eau de refroidissement et ainsi la génératrice pour atteindre la température de fonctionnement optimale. L'échangeur thermique est en outre équipé d'un ventilateur à deux niveaux qui en fonction de la température de l'eau est mis en marche et à l'arrêt.

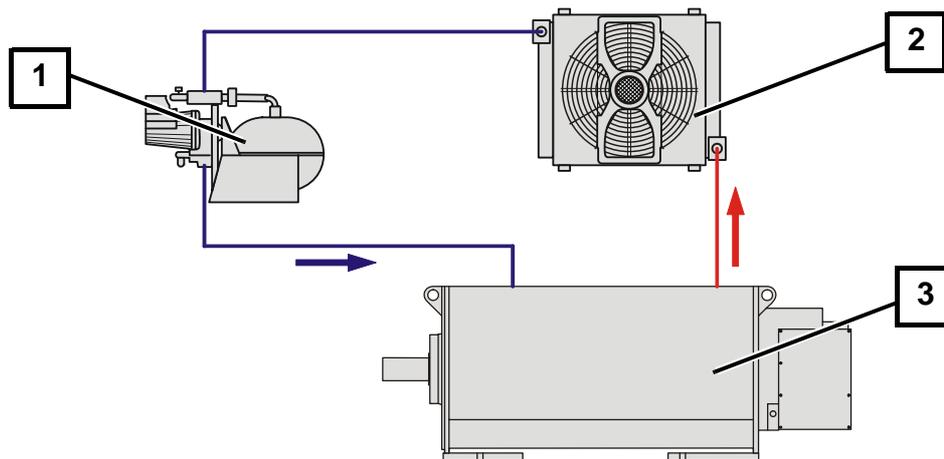


Fig. 12 Dessin schématique du refroidissement de la génératrice

- 1 Pompe
- 2 Refroidisseur eau-air
- 3 Génératrice

#### 1.7.4 Refroidissement du convertisseur

Le convertisseur principal de l'éolienne est intégré dans l'armoire de distribution, dans le pied du mât. Dans le mât, il se trouve sur une plateforme spéciale. Le convertisseur principal est aussi bien refroidi par air que par eau. Comme liquide refroidissement, on utilise un mélange eau-glycol qui résiste au gel. Une pompe refoule l'eau de refroidissement à travers le convertisseur principal et achemine l'eau chauffée vers un échangeur thermique eau-air. Dans le cas de températures définies des composants du convertisseur, la pompe s'enclenche et évacue la chaleur vers l'extérieur. L'échangeur thermique est en outre équipé d'un ventilateur à deux niveaux qui en fonction de la température de l'eau est mis en marche et à l'arrêt.

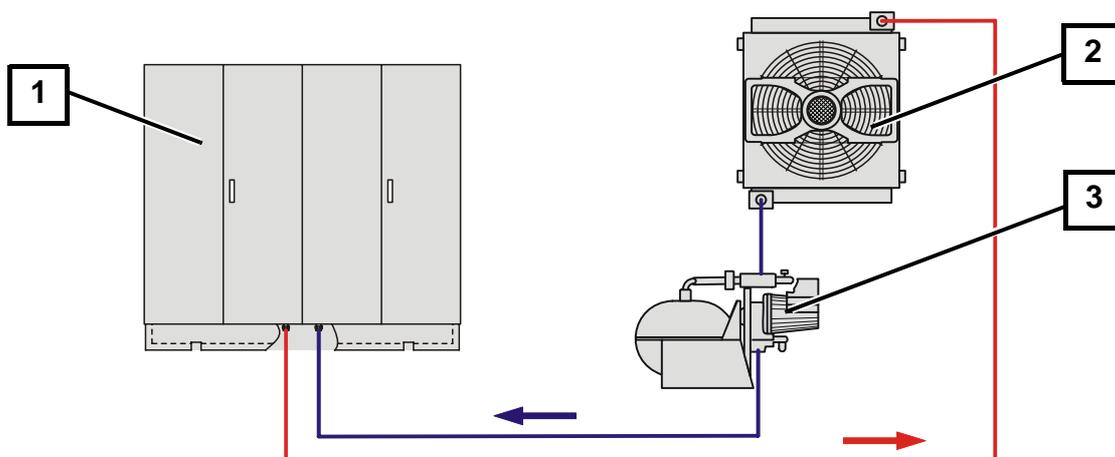


Fig. 13 Dessin schématique du refroidissement du convertisseur

- 1 Armoire du convertisseur
- 2 Refroidisseur eau-air
- 3 Pompe

### 1.7.5 **Système hydraulique**

Lors du fonctionnement, le groupe hydraulique fournit la pression d'huile nécessaire pour le frein de rotor et les freins du système d'orientation. Le blocage hydraulique du rotor peut être ouvert ou fermé manuellement.

### 1.7.6 **Systèmes de lubrification**

Les composants suivants sont équipés de systèmes de lubrification automatiques, indépendants, ceux-ci acheminant le produit lubrifiant nécessaire :

- le palier de rotor
- le multiplicateur
- les deux paliers de la génératrice
- l'engrenage des trois paliers de calage des pales
- l'engrenage du palier à rotule azimut

Ainsi assure-t-on une lubrification suffisante et continue, l'entretien s'en trouvant considérablement facilité.

Au niveau du multiplicateur, le circuit d'huile assure simultanément le refroidissement et la lubrification forcée des engrenages et des paliers. Un système de tuyaux dans le multiplicateur achemine l'huile de manière ciblée vers les composants exposés à une forte sollicitation thermique et mécanique.

Les engrenages des paliers à rotule sont respectivement alimentés par un pignon lubrifiant distinct avec le produit lubrifiant.

### 1.7.7 **Climatisation**

Les armoires de distribution au niveau du moyeu de rotor, de la nacelle et dans le pied du mât de l'éolienne disposent de sondes de température. En cas de sous-dépassements ou de dépassements des limites de température définies, les radiateurs/les appareils de climatisation se mettent en marche afin de maintenir la température de l'air régnant dans l'armoire de distribution dans le domaine de fonctionnement.

### 1.7.8 **Radiateurs**

Si dans le cas de températures ambiantes basses, l'éolienne est refroidie, certains composants doivent être chauffés avant de pouvoir entrer en activité. Les composants suivants sont équipés de radiateurs, ceux-ci se mettant, le cas échéant, en marche automatiquement :

- Multiplicateur
- Génératrice
- Groupe hydraulique
- Différentes armoires de distribution
- Nacelle

### **1.7.9 Grues de bord**

Dans la nacelle, un palan électrique installé de manière fixe sert au levage d'outils, de composants et d'autres matériels du sol vers la nacelle. Un second pont roulant, mobile, sert à déplacer les matériels à l'intérieur de la nacelle.

La capacité de les deux grues de bord est, en fonction de la hauteur de mât, jusqu'à 1000 kg.

### **1.7.10 Dispositif d'ascension**

Dans le mât de l'éolienne se trouve un dispositif d'ascension, équipé d'une échelle. Il peut transporter des personnes et du matériel de la plateforme d'accès jusque sous la nacelle. Le dispositif d'ascension sert en même temps à la sécurité des personnes et assure la rentabilité sur l'ensemble de la durée de vie de l'éolienne.

## **1.8 Commande et sécurité**

### **1.8.1 Commande de l'éolienne**

La commande de l'éolienne se fait au moyen d'un ordinateur de gestion du fonctionnement et du logiciel Nordex Control 2 (NC2). La commande de l'éolienne est entièrement automatique. Elle interroge en permanence tous les capteurs reliés, analyse leurs évaluations et constitue à partir du résultat les paramètres de commande pour l'éolienne.

L'éolienne opère avec deux appareils de mesure, destinés à saisir les données éoliennes. Le premier appareil sert à la commande, le second appareil surveillant le premier. En cas de défaillance d'un appareil, c'est l'autre qui est utilisé pour la commande.

Sur un écran de contrôle de l'ordinateur, et ce aussi bien dans l'éolienne qu'à distance, on peut observer et vérifier toutes les données d'exploitation ainsi que commander des fonctions, comme le démarrage, l'arrêt et l'orientation.

On prévoit une télésurveillance de l'éolienne. L'éolienne peut signaler des erreurs à un centre de commande que l'on peut choisir. La transmission des données et des signaux s'effectue par une liaison réseau et un navigateur Internet. Une fois par nuit, la télésurveillance interroge les données de l'éolienne sauvegardées pendant la journée.

La commande de l'éolienne dispose d'une alimentation en courant sans interruption. Conjointement avec les accumulateurs dans le système de calage des pales, l'éolienne est arrêtée de manière sûre en cas de panne de réseau. L'alimentation en courant sans interruption assure le fonctionnement de la commande de l'éolienne, y compris la sauvegarde de données et la communication vers l'extérieur pendant environ dix minutes. Mais à partir de la vitesse nominale, et en fonction du programme de freinage, l'éolienne a cependant uniquement besoin entre une et deux minutes pour s'arrêter. Ainsi il est possible de surveiller l'état de l'éolienne pendant ce laps de temps et la

commande de l'éolienne peut transmettre et analyser ultérieurement d'autres données jusqu'à ce que l'éolienne s'arrête.

## 1.8.2 Systèmes de sécurité

Les éoliennes de Nordex disposent de vastes équipements et dispositifs, destinés à la protection de personnes et de l'éolienne et garantissant un service durable.

Toutes les fonctions importantes pour la sécurité sont surveillées de manière redondante et en cas d'urgence, elles peuvent déclencher un arrêt rapide de l'éolienne via les fonctions de sécurité, celles-ci primant sur la gestion, et ce également sans l'ordinateur de gestion de fonctionnement et une alimentation externe en courant électrique. Les fonctions de sécurité incluent également les interrupteurs d'arrêt d'urgence.

Le calage des pales du rotor sert de système de freinage primaire. Le système de calage des pales réunit trois entraînements du système de calage des pales qui sont indépendants les uns des autres. Malgré la défaillance d'un entraînement du système de calage des pales, il est possible de mettre l'éolienne dans un état sûr.

Les paramètres de fonctionnement sont adaptés de telle sorte que les contraintes mécaniques et électriques exercées sur l'éolienne restent le plus faible possible et garantissent malgré tout au client un rendement maximal et une longue durée de vie.

Toutes les marches sont recouvertes d'un revêtement antidérapant. L'équipement de sécurité des employés est vérifié en permanence et est toujours mis à jour. L'ensemble des dispositifs de sécurité de l'éolienne font régulièrement objet d'une vérification. Ainsi le service a affaire à un poste de travail sûr et ergonomique.

La télésurveillance Nordex est occupée vingt-quatre heures sur vingt-quatre. Plusieurs fois par jour, chaque éolienne transmet par e-mail son état de fonctionnement. Le cas échéant, les employés de la télésurveillance peuvent intervenir directement ou informer le service sur place.

Environ tous les six mois a lieu un entretien préventif.

## 1.8.3 Dispositifs de sécurité

### Interrupteurs d'arrêt d'urgence

Au niveau de l'éolienne, il existe des interrupteurs d'arrêt d'urgence en plusieurs endroits. Ils servent à arrêter le plus rapidement possible l'éolienne en cas de danger.

Les interrupteurs d'arrêt d'urgence se trouvent aux emplacements suivants :

- sur l'armoire électrique du bas, selon le fournisseur du convertisseur principal, 1 ou 2
- sur la Topbox

- sur le boîtier transfo
- sur l'entrée dans la nacelle
- sur le terminal de commande mobile
- sur la paroi insonorisante du refroidisseur

Actionner un interrupteur d'arrêt d'urgence a pour effet de déclencher un freinage d'urgence, c'est-à-dire que les pales de rotor sont ajustées par rapport à la direction du vent, le convertisseur et la génératrice sont coupés du réseau, l'interrupteur principal passe dans la position ARRET et le frein du rotor est activé.

### **Fonctions de sécurité**

Les fonctions de sécurité se composent de différents appareils de surveillance. Si l'un de ces appareils de surveillance se déclenche, l'éolienne est immédiatement mise à l'arrêt.

Outre les interrupteurs d'arrêt d'urgence, la fonction de sécurité englobe les appareils suivants :

- le déclencheur de surintensité de l'interrupteur principal (déclencheur thermique ou magnétique du commutateur)
- le contrôleur de vitesse pour la vitesse du rotor et de la génératrice
- deux capteurs de vibrations (vibrations du mât)

Le déclenchement des fonctions de sécurité ont pour effet de freiner l'éolienne. Les deux appareils cités en dernier ne provoquent cependant pas un arrêt de l'interrupteur principal.

### **Protection contre la torsion des câbles**

La protection des câbles qui passent de la nacelle à le mât nécessite l'installation d'un dispositif anti-torsion. Dans le cadre du fonctionnement automatique, la gestion contrôle en permanence la position de la nacelle par rapport à le mât. Après environ deux rotations, la nacelle repart automatiquement dans l'autre sens.

Cet automatisme est sécurisé par un interrupteur de fin de course supplémentaire. En cas de dépassement de la torsion définie, l'alimentation électrique des entraînements de système d'orientation est interrompue et le système génère un message d'erreur.

### **Phase de mise en route du multiplicateur**

Au niveau des multiplicateurs, les corps de galet dans les paliers du multiplicateur et les flancs de dent doivent d'abord se mettre en route pour pouvoir ultérieurement assurer un fonctionnement sûr et durable. Pour cette raison, on limite dans un premier temps lors de la mise en service la puissance en fonction du rendement. En fonction du vent, la phase de mise en route du multiplicateur dure quelques jours.

## Protection contre les contacts/protection des marches

Toutes les pièces tournantes du train d'entraînement doivent être protégées contre les contacts par l'installation de couvercles. Ce sont le disque de blocage du rotor, l'arbre du rotor, le disque de frein et l'accouplement.

Tous les composants menacés, en particulier au niveau de l'accès à la nacelle sont protégés contre des endommagements. Cela signifie qu'ils sont disposés sous des marchepieds ou bien ils sont protégés contre des endommagements par des couvercles. Ce sont les capteurs, les conduites hydrauliques, les câbles électriques ainsi que différents groupes, comme une pompe à huile, le pignon lubrifiant, des lampes, etc.

Les composants électriques et les câbles se trouvent dans des armoires de distribution fermées ou des canaux de câbles.

## Des dispositifs de sécurité complémentaires

Certains dispositifs de sécurité sont décrits plus en détail dans d'autres chapitres :

- alimentation électrique sans interruption de la commande
  - voir « Commande de l'éolienne » à la page 24
- alimentation électrique de secours des entraînements du système de calage des pales
  - voir « Système de calage des pales » à la page 15
- blocage du rotor
  - voir « Arbre de rotor » à la page 16
- mise à la terre, protection contre la foudre
  - voir « Mise à la terre » à la page 30
  - voir « Protection contre la foudre et la surtension » à la page 28
- systèmes de lubrification automatiques
  - voir « Systèmes de lubrification » à la page 23
- équipement de protection contre la chute, points de levage
- voie d'évacuation/descendeur
- extincteur, trousse de premiers secours, éclairage de secours, protection contre le bruit, etc.
- surveillance de la température des câblages

En option :

- capteur de glace, système de détection de glace des pales de rotor, système de dégivrage
- protection anti-incendie, système de détection et d'extinction d'incendie
- Condition Monitoring System (système de surveillance), système de détection d'éclairs
- détecteur de chauve-souris
- système anti-intrusion

## 1.8.4 Protection contre la foudre et la surtension

La protection contre la foudre et la surtension de l'éolienne est basée sur le concept de zone de protection contre la foudre CEM, des mesures de protection intérieure et extérieure selon la norme IEC 61400-24.

La classe de protection contre la foudre I est conçue pour les éoliennes. Tous les composants de la protection intérieure et extérieure contre la foudre et la surtension doivent être mesurés selon la classe de protection I.

L'éolienne avec ses équipements électriques, ses éléments consommateurs et sa technologie de mesure, de commande, de régulation, de protection, d'information et de télécommunication satisfait les exigences CEM de la norme IEC 61400-1, point 10.11.

## 1.9 Installation électrique

L'éolienne est équipée d'un système de convertisseur de génératrice à vitesse variable. Associé au calage électrique des pales, le train d'entraînement à vitesse variable offre d'excellents résultats en termes de sollicitation mécanique et de qualité électrique du réseau. Dans une large mesure, le système évite les impulsions de courant et les pics de charge. En charge partielle, la gestion permet de produire une puissance utile lisse, les variations étant très faibles. En charge nominale, il est possible d'exploiter l'éolienne à vitesse constante.

Les principaux composants électroniques se trouvent dans l'armoire de distribution, dans le pied du mât. L'armoire de distribution contient de manière distincte dans des champs différents, un convertisseur de fréquences, l'ordinateur de gestion du fonctionnement, un écran de contrôle, l'interrupteur principal, les fusibles ainsi que les raccords pour la communication et les câbles de puissance.

### 1.9.1 Génératrice et convertisseur

La génératrice est conçue comme une génératrice asynchrone à double alimentation avec bague collectrice et un convertisseur en aval pour une récupération de la puissance dissipée. Indépendamment de la vitesse du rotor, la tension et la fréquence sont maintenues constantes. Ainsi il est possible d'assurer un fonctionnement à vitesse variable, tout en réduisant les réactions du réseau.

La caractéristique optionnelle de pouvoir également produire une puissance réactive permet de procéder à une gestion ciblée de la puissance réactive. Cela permet de faire l'économie de la compensation de la puissance réactive qui est habituellement requise.

En charge partielle, l'éolienne opère dans une plage de vitesse avec un angle de pale fixe. Ce faisant, la caractéristique du couple de la vitesse du système de la génératrice est prescrite. Si les vitesses du vent sont supérieures à la vitesse nominale du vent, l'éolienne est exploitée avec une régulation combinée pour le système de la génératrice et le calage des pales. Ce faisant, la génératrice est a priori maintenue sur un couple constant, et les variations de la vitesse qui en

résultent sont régulées avec le calage des pales. Pour ce faire, on dispose d'une plage de vitesse.

Dans le cas de mises à l'arrêt de sécurité, par exemple, une panne de réseau, l'éolienne est coupée du réseau et les pales de rotor sont tournées hors du vent.

### **1.9.2 Forme de réseau**

Dans l'éolienne, il y a deux réseaux de basse tension. Le réseau de 660 V transporte le courant produit vers le point d'alimentation dans le réseau de distribution via le transformateur moyenne tension. Le réseau de 400 V alimente tous les systèmes électriques de l'éolienne.

En tant que réseau isolé, le réseau de basse tension de la génératrice (660 V) n'a pas de conducteur neutre (réseau IT) et le réseau basse tension pour les besoins propres (400 V) est un réseau TN-S.

Comme dispositif de protection, on utilise une surveillance d'isolation.

### **1.9.3 Transformateur moyenne tension et installation de commutation moyenne tension**

Pour relier chaque éolienne au réseau moyenne tension, il faut un transformateur moyenne tension et une installation de commutation moyenne tension.

Le point de jonction avec le réseau d'alimentation est établi par une station moyenne tension.

En fonction du nombre d'éoliennes, on installe des sous-stations supplémentaires au niveau des éoliennes, celles-ci étant reliées entre elles sur le niveau de tension respectif du réseau d'alimentation. Le dispositif de mesure, y compris le transformateur doit également être installé conformément aux conditions de raccordement locales et constitue la limite de propriété du poste de transfert.

L'équipement du poste de transfert et la conception technique du point d'interconnexion dépendent du projet. Si c'est Nordex qui a été chargée de la réalisation, l'équipement et la conception du poste de transfert sont concertés avec l'opérateur du réseau.

Si le transformateur est installé dans le mât (= option), on utilise un transformateur à sec. Dans la sous-station externe, on utilise le plus souvent un transformateur à huile. En fonction du fabricant, du niveau de tension requis et des conditions ambiantes, les données techniques pour le transformateur et l'installation de commutation moyenne tension peuvent varier.

### **1.9.4 Câblage**

Dans les fondations, on installe des tuyaux vides pour pouvoir poser les câbles de puissance, de communication et de commande. En règle générale, tous les câbles dans un parc éolien sont posés sous terre.

Entre l'armoire de distribution dans le pied du mât et le transformateur dans le mât, on pose des câbles pour basse tension et haute intensité. Sur demande, il est possible de poser des câbles de commande pour basse tension pour transmettre les signaux du transformateur à l'éolienne.

### **1.9.5 Mise à la terre**

L'installation de mise à la terre est requise pour la compensation du potentiel entre les composants de l'installation électrique et elle constitue un composant important du système de protection contre la foudre.

L'installation de mise à la terre est fabriquée conformément à la norme et aux dessins des fondations.

L'installation de mise à la terre englobe l'éolienne et la sous-station distincte (si toutefois celle-ci existe). La résistance de terre de l'éolienne ne doit pas dépasser  $10 \Omega$ . Elle est mesurée et consignée. Sur demande, on peut soumettre à l'opérateur du réseau le compte rendu de la résistance avant la mise en service.

### **1.9.6 Raccordement au réseau**

L'alimentation de l'énergie électrique provenant d'éoliennes s'effectue normalement dans le réseau moyenne tension de l'opérateur de réseau régional. Dans le cas de conditions de réseau défavorables ou de capacités d'injection élevées, il est possible qu'il faille procéder à une intégration dans un réseau haute tension et donc à la construction d'une sous-station.

La connexion de l'éolienne au réseau s'effectue via un convertisseur IGBT, conformément au principe de la machine asynchrone à double alimentation. Via une présélection de paramètres avec le convertisseur IGBT, on peut dans certaines conditions librement régler la compensation de puissance réactive (régulation  $\cos\phi$ ) dans une certaine plage. Avec ce système, il est possible lors de la connexion au réseau de réaliser avec les courants de commutation des facteurs d'un ordre de grandeur de 1, c'est-à-dire que la connexion au réseau est absolument synchrone et ainsi exempte d'impulsions.

Il est possible d'équiper l'éolienne avec un package élargi de raccordement au réseau. À cette fin, il existe pour de nombreuses directives de raccordement au réseau respectivement un document distinct.

## 1.9.7 Surveillance du réseau

L'éolienne est équipée de différents dispositifs de sécurité.

- Le relais de protection du réseau dispose d'une surveillance de surtension et de sous-tension, il reconnaît des augmentations et des reculs de fréquences et surveille le saut de vecteur.
- La protection contre les courts-circuits et la surcharge est assurée par l'interrupteur principal.

Les valeurs et les temps de déclenchement peuvent être paramétrés et sont adaptés par Nordex aux conditions respectives de raccordement au réseau.

En cas de dépassement ou de dépassement négatif des valeurs limites paramétrées, la commande coupe l'éolienne du réseau et l'arrête.

Si l'erreur réseau a été supprimée, l'éolienne repasse de nouveau dans le mode de fonctionnement automatique.

## 1.9.8 Besoins propres de l'éolienne

Le besoin en termes de puissance de l'éolienne en 'mode veille' se compose de la consommation individuelle des composants suivants :

- commande (ordinateur de gestion du fonctionnement et convertisseur)
- système d'orientation
- système de calage des pales
- groupe hydraulique
- pompes de circulation des systèmes de refroidissement
- radiateurs et ventilateurs
- systèmes auxiliaires (dispositif d'ascension, feux de balisage, options, etc.)

En raison de l'expérience opérationnelle disponible, on peut admettre un facteur de simultanéité de 0,5 et un facteur de puissance ( $\cos \phi$ ) de 0,85.

En tenant compte des facteurs précités, la puissance de raccordement s'élève à maximum 55 kW. Si un système de dégivrage est intégrée, la puissance de raccordement est nettement supérieur.

Sur un site présentant une vitesse moyenne du vent, le besoin énergétique annuel (puissance soutirée au réseau) s'élève à environ 15.000 kWh/a. Le besoin énergétique annuel dépend cependant fortement du site et doit être défini de manière spécifique.

## 1.9.9 Communication

### Communication au sein d'une éolienne

L'ordinateur de gestion du fonctionnement est relié au convertisseur principal et au système de calage des pales via Interbus. L'échange de signaux pour toutes les fonctions principales de la gestion se fait selon une cadence de 10 ms. En font, entre autres, partie la commande du convertisseur et la saisie de signaux.

L'échange de signaux entre le pied du mât et la nacelle dans l'éolienne se fait via Ethernet avec des fibres optiques. Ainsi évite-t-on des perturbations dues à des influences électromagnétiques.

### Communication au sein du parc éolien

Comme en règle générale, un parc éolien regroupe plusieurs éoliennes, la communication vers l'extérieur d'une éolienne passe toujours par le « Wind Farm Portal »<sup>®</sup>. C'est un serveur de parc éolien auquel toutes les éoliennes d'un parc éolien sont reliées, la plupart du temps en forme d'étoile. Le serveur d'un parc éolien assure la fonction d'un système SCADA (**S**upervisory **C**ontrol **A**nd **D**ata **A**cquisition). Il sert à surveiller, à piloter, à analyser, à archiver les données, à utiliser et à assurer la télésurveillance d'un parc éolien. En font également partie d'autres systèmes spécifiques à des projets qui ont été installés, comme des mâts météorologiques, un poste de transformation, des installations de compensation, etc.

L'échange de signaux au sein du parc éolien est via Ethernet.

### Communication vers l'extérieur

La communication entre une éolienne ou un parc éolien et des centres externes, par exemple, la télésurveillance ou le client est de type Internet et elle est indépendante du site. Aucun logiciel spécial n'est requis. La communication se fait par l'intermédiaire d'au moins une connexion DSL. Pour des raisons liées à la sécurité du fonctionnement, un parc éolien doit disposer d'au moins deux raccords de communication.

Pour communiquer avec le parc éolien, les adresses IP distinctes peuvent être fournis pour le client. Nordex donne des mots de passe et un nom d'utilisateur. Avec ces données d'accès, on détermine l'autorisation personnelle pour un parc éolien.

### Échange de données

Dans chaque éolienne, toutes les données d'exploitation sont stockées au niveau local sur l'ensemble de la durée de vie de l'éolienne. Les principales données sont en permanence transmises au serveur du parc éolien et y sont également sauvegardées. Chaque éolienne peut régulièrement envoyer toutes les 24 heures un e-mail de données à une adresse définie, par exemple, à la télésurveillance. Le mail de données contient des valeurs moyennes sur 10 minutes, des enregistrements d'alarme, des messages d'évènements et un

grand nombre d'autres données, destinées à l'évaluation du comportement opérationnel. Ainsi peut-on représenter les chiffres de la production et analyser le déroulement du fonctionnement de l'éolienne.

Par ailleurs, des personnes autorisées peuvent via le Wind Farm Portal® se connecter à n'importe quelle éolienne et exporter en fonction des besoins des chiffres de production, des messages d'erreurs, des états de fonctionnement, des données météorologiques, etc.

## **1.10 Gestion**

### **1.10.1 Gestion de l'éolienne**

La principale mission de la gestion d'éoliennes (ordinateur de gestion du fonctionnement + logiciel Nordex Control 2) consiste à respecter les paramètres d'exploitation sauvegardés dans la commande de l'éolienne dans le cadre du fonctionnement courant. À cet effet, on utilise une commande de temps réel qui interroge en permanence toutes les données pertinentes et qui les analyse. Les paramètres sont définis par Nordex et ils sont adaptés au site respectif. Ainsi assure-t-on le fonctionnement automatique et sûr de l'éolienne dans toutes les situations.

En-dessous de la vitesse du vent de démarrage, l'éolienne est au repos (mode économique), c'est-à-dire que seul fonctionne l'ordinateur de gestion du fonctionnement, celui-ci saisissant les données (météorologiques). Les autres systèmes sont uniquement actionnés en cas de besoin, consommant ainsi dans la mesure du possible peu de courant électrique. Les exceptions sont les fonctions importantes pour la sécurité, par exemple, le système de frein (pompe hydraulique). Le rotor est en roue libre.

Lorsque la vitesse du vent de démarrage est atteinte, l'éolienne passe à l'état « opérationnelle ». À présent, tous les systèmes sont testés et la nacelle s'oriente selon le vent. Si le vent devient plus fort, le rotor commence à tourner plus rapidement. Si une certaine vitesse de rotation est atteinte, la génératrice est reliée au réseau et l'éolienne produit du courant électrique.

Pendant le fonctionnement, la nacelle suit la direction du vent. Si une valeur limite pour la torsion du câble du mât est dépassée, l'éolienne est arrêtée et la nacelle repart dans l'autre sens, c'est-à-dire que les câbles du mât sont détordus, voir « Orientation (système d'orientation) » à la page 18 et voir « Protection contre la torsion des câbles » à la page 26. Après l'éolienne démarre de nouveau automatiquement.

Si les vitesses du vent sont faibles, l'éolienne fonctionne en charge partielle. Ce faisant, les pales de rotor restent au maximum tournées dans le vent, ce qui a pour effet que les pales de rotor opèrent en permanence avec la meilleure aérodynamique et avec une efficacité optimale. La vitesse du rotor évolue en-dessous de la vitesse nominale. À présent, la puissance produite par l'éolienne dépend de la vitesse du vent.

Après avoir atteint la vitesse nominale, l'éolienne passe en charge nominale. Si la vitesse du vent augmente, la commande modifie l'angle des pales de rotor de telle sorte que la vitesse de rotation du rotor est dans une large mesure maintenue de manière constante à la vitesse nominale et que l'éolienne produise en permanence une puissance nominale.

En cas de dépassement de la vitesse de vent de coupure, l'éolienne s'arrête, c'est-à-dire que les pales de rotor sont tournées d'environ 90° par rapport à la direction du vent. Le rotor freine. Il est en roue libre jusqu'à ce que le vent repasse à nouveau sous la vitesse du vent de redémarrage. Ainsi peut-on considérablement réduire les contraintes qui s'exercent sur l'éolienne par temps orageux.

Sur tous les systèmes et un grand nombre de composants de l'éolienne se trouvent des capteurs, ceux-ci transmettent l'état respectif à la commande. Pour chaque point de mesure, il existe des valeurs de consigne (paramètres de fonctionnement), celles-ci devant être respectées. Si une valeur réelle s'écarte, la commande réagit en conséquence.

En cas de dépassement de certaines valeurs limites de la température, on lance par exemple d'abord la pompe du circuit de refroidissement. Si une certaine valeur de consigne est de nouveau atteinte, la pompe s'arrête. En cas de dépassement d'une autre valeur limite, le système envoie un avertissement à la télésurveillance.

La télésurveillance de Nordex décide de la marche à suivre sur la base des données d'exploitation actuelles. Si la température repasse de nouveau sous une certaine valeur limite, l'avertissement est supprimé. En cas de dépassement d'une troisième valeur limite, l'éolienne s'arrête immédiatement. Cette troisième valeur limite est choisie de telle sorte que l'éolienne ne subit encore aucun dommage.

Dans cet exemple, un point de mesure de température se voit attribuer six valeurs limites, trois valeurs limites élevées et trois valeurs limites basses.

En cas de dépassement de certaines limites d'exploitation, l'éolienne est immédiatement arrêtée, par exemple, en cas de dépassement de la vitesse de vent de coupure ou de chute de pression dans le système hydraulique. Si les causes sont externes, comme une vitesse de vent excessive ou une erreur de réseau, l'éolienne est freinée en douceur. En cas de causes importantes pour la sécurité, on procède à un freinage d'urgence, celui-ci étant destiné à immobiliser le rotor le plus rapidement possible.

À partir des données éoliennes, la commande établit des valeurs moyennes sur 3 secondes. À partir de ces valeurs moyennes, on forme des valeurs moyennes sur 30 secondes, celles-ci servant à leur mât à établir des valeurs moyennes sur 10 minutes. Ces valeurs sont utilisées pour régler l'éolienne. Pour la commande, on fait appel à la valeur moyenne sur 10 min. de la vitesse du vent puisqu'en raison de la turbulence du vent, on mettrait l'éolienne trop souvent ou trop tôt à l'arrêt. Mais pour que même de fortes bourrasques passagères, celles-ci étant lissées dans une valeur moyenne ne provoquent aucun dommage, on tient en outre compte de la valeur moyenne sur 3 sec. Ainsi l'éolienne s'arrête si la valeur moyenne sur 10 min. dépasse 25 m/s ou si la valeur moyenne sur 3 sec. dépasse 32 m/s. Ainsi garantit-on une mise à l'arrêt complète en cas de tempête.

Après chaque arrêt, le système prévoit pour des raisons de sécurité une certaine temporisation avant que l'éolienne puisse de nouveau démarrer.

En cas de températures basses, l'éolienne démarre après que les différents composants ont été chauffés à leur température de démarrage. La durée du préchauffage dépend de la situation initiale. Moins les différents composants se sont refroidis plus la durée de préchauffage est courte. Une procédure de démarrage à déclenchement thermique ménage les composants lors du démarrage de l'éolienne jusqu'à ce que les températures de fonctionnement optimales aient été atteintes.

Afin de préserver la chaleur de l'éolienne en cas de températures basses, il existe ce que l'on appelle « la roue libre rapide ». Cela permet de maintenir le train d'entraînement en mouvement à faible vitesse. Ainsi utilise-t-on la puissance dissipée des composants mécaniques afin d'éviter que l'éolienne ne se refroidisse et d'accélérer considérablement le redémarrage.

Tous les composants importants de la machine sont assortis de températures de fonctionnement maximales qui sont surveillées. Avant que l'une de ces limites de températures soient atteintes, l'éolienne réduit sa puissance et peut continuer à fonctionner.

## 1.10.2 Gestion du parc éolien

Dans un parc éolien, on utilise le Wind Farm Portal<sup>®</sup> Nordex Control 2. Celui-ci offre de vastes possibilités pour surveiller et piloter un parc éolien (voir « Communication » à la page 32).

Les deux principales missions du pilotage d'un parc éolien sont :

- répondre de manière optimale aux prescriptions d'alimentation de l'opérateur du réseau
- de mettre à disposition la puissance maximale encore possible du parc éolien en cas d'erreur (interne ou externe)

Les missions précitées peuvent, entre autres, être exécutées par les mesures suivantes :

- démarrage et arrêt échelonnés des différentes éoliennes
- limitation de la puissance active
- gestion de la puissance réactive
- une répartition intelligente des valeurs de consigne, c'est-à-dire la prescription pour par exemple une limitation de la puissance active est répartie sur toutes les éoliennes selon des règles définies, en fonction de la disponibilité des éoliennes en termes de puissance.
- la prescription de valeurs de consigne se fait selon des valeurs fermement définies ou via une entrée externe de signaux.

## 1.11 Remarques complémentaires

Nordex est certifiée conformément à la norme ISO 9001. Le système de gestion de la qualité et ainsi également les processus de production répondent aux exigences prévues par la norme ISO 9001.

Pour tous les composants principaux, Nordex travaille avec plusieurs sous-traitants qualifiés.

Dans le contexte de l'optimisation continue de nos éoliennes, nous nous réservons des modifications techniques.

### 1.11.1 États et modes de fonctionnement spéciaux

Des écarts par rapport aux conditions de fonctionnement présentées peuvent avoir un impact négatif sur le fonctionnement de l'éolienne. Il peut en particulier se produire des réductions de la puissance.

En cas de givre, il convient de mettre l'éolienne à l'arrêt.

Si l'on souhaite avoir un fonctionnement avec une puissance nominale avec des températures se situant en dehors des conditions ambiantes standard, des extensions techniques supplémentaires sont disponibles.

En raison des densités atmosphériques plus élevées dans le cas de températures très basses, les charges qui s'exercent dans l'éolienne augmentent. Afin de respecter les conditions de conception de l'éolienne, on peut, le cas échéant, légèrement réduire la puissance nominale et la vitesse de vent de coupure. Cet ajustement devient seulement effectif en dessous d'une limite de température, celle-ci étant réglée manuellement. Cette limite de température est spécifique au site, elle dépend de la hauteur d'installation et se situe en-dessous de -10 °C.

Dans le cas de températures supérieures aux conditions de conception, un fonctionnement à puissance réduite est possible, en fonction des conditions ambiantes et de la charge thermique qui s'exerce sur différents composants de l'éolienne.

Dans le cas de certaines combinaisons de vitesses élevées du vent et de températures, de densités atmosphériques ou de tensions extrêmes, il peut se produire une réduction de la puissance afin de respecter les conditions de conception des composants de l'éolienne.

En fonction des exigences spécifiques à un parc éolien, il est possible de mettre en œuvre dans la gestion des éoliennes des prescriptions techniques ou administratives spéciales. Cela peut par exemple prendre la forme d'une réduction partielle ou d'une mise à l'arrêt. L'éolienne peut par exemple être exploitée avec un faible niveau sonore ou avec une puissance réduite si la puissance d'alimentation du réseau d'alimentation est limitée. Des modes de fonctionnement limités sont également possible, ceux-ci étant imposés par le cadre temporel ou dépendant de la direction du vent, par exemple, le module de projection d'ombres ou le module anti-chauve-souris).

### 1.11.2 Code couleur des composants extérieurs

Composant	Code couleur
Mât	RAL 7035 (gris clair)
Nacelle	
Moyeu de rotor	
Pales de rotor	

Si le marquage de jour pour les pales de rotor est obligatoire, on a prévu les couleurs suivantes :

De la pointe de la pale vers l'intérieur	Code couleur
6 m	RAL 3020 (rouge signalisation)
6 m	RAL 7035 (gris clair)
6 m	RAL 3020 (rouge signalisation)
Longueur restante	RAL 7035 (gris clair)

Autres marquages sont disponibles sur demande.

### 1.11.3 Degré de réflexion

Toutes les couleurs utilisées pour les pales de rotor présentent un degré de brillance (ratio de réflexion) inférieur à 30%. Ainsi elles sont considérées comme mattes ou satinées.

## 1.12 Spécifications techniques

Données de projet climatiques de la version standard	
Température ambiante de survie	Standard -20 °C...+50 °C CCV -40 °C...+50 °C
Puissance nominale	Standard -10 °C*...+40 °C CCV** -30 °C...+40 °C
Arrêt	Standard -10 °C, redémarrage à -8 °C CCV -30 °C, redémarrage à -28 °C
Hauteur max. au-dessus du niveau de la mer	1.000 m (en option jusqu'à 2.000 m)***
Certificat	Catégorie 2a, conformément à la norme CEI 61400-1

\* En option, l'éolienne standard peut être conçue de telle sorte qu'elle produise également de la puissance à des températures ambiantes de -20 °C. Dès lors, le redémarrage de l'éolienne se situe à -18 °C.

\*\* voir « États et modes de fonctionnement spéciaux » à la page 36

\*\*\* Réduction possible de la puissance à partir de 1.000 m, en fonction de l'emplacement.

Conception technique	
Type	Rotor à 3 pales avec axe horizontal Dispositif côté vent
Régulation de la puissance	Calage individuel actif des pales
Puissance nominale	2 500 kW
Puissance nominale à partir de la vitesse du vent (avec une densité atmosphérique de 1,225 kg/m <sup>3</sup> )	env. 13,0 m/s
Plage de vitesse du rotor	9,6...16,8 min <sup>-1</sup>
Vitesse du vent de démarrage	env. 3 m/s
Vitesse du vent de coupure*	25 m/s
Vitesse de redémarrage	22 m/s
Durée de vie calculée	20 ans

\* voir « États et modes de fonctionnement spéciaux » à la page 36

<b>Rotor</b>	
Diamètre du rotor	99,8 m
Surface balayée	7 823 m <sup>2</sup>
Puissance nominale/surface	320 W/m <sup>2</sup>
Angle d'inclinaison de l'arbre de rotor	5°
Angle de cône des pales de rotor	3,5°
Poids total	env. 58 t ou 61 t (en fonction du constructeur)

<b>Moyeu de rotor</b>	
Matériau	Fonte à graphite sphéroïdal EN-GJS-400-18U-LT
Poids total, avec système de calage des pales	env. 28,6 t

<b>Pale de rotor</b>	
Matériau	Plastique renforcé de fibres de verre
Longueur totale	48,7 m
Poids total par pale	env. 9,8 t ou 11,2 t (en fonction du constructeur)

<b>Arbre de rotor/palier de rotor</b>	
Type	Arbre creux forgé
Matériau	42CrMo4 ou 34CrNiMo6
Poids	environ 10,3 t
Type de palier	Roulement à rotule sur rouleaux
Lubrification	Manière continue et automatique avec de la graisse
Matériau du carter du palier du rotor	Fonte à graphite sphéroïdal EN-GJS-400-18U-LT

Multiplicateur	
Type	Engrenage planétaire à plusieurs niveaux + train de pignon ou engrenage différentiel
Puissance nominale	2 775 kW
Rapport de transmission	50 Hz : 1 : 77,5 60 Hz : 1 : 93,2
Lubrification	Lubrification forcée
Quantité d'huile avec circuit de refroidissement	env. 450-550 l (en fonction du constructeur)
Type d'huile	CLP-HC (PAO), conformément à la norme DIN 51517-3 ; viscosité ISO VG 320
Température max. de l'huile	75 °C
Changement d'huile	Contrôle semestriel, changement en fonction des besoins
Poids	env. 18,5 t à 20,0 t (en fonction du constructeur)

Installation électrique	
Puissance nominale $P_{nG}$	2 500 kW
Tension nominale	3 x AC 660 V $\pm$ 10 %
Courant nominal $I_{nG}$ avec $S_{nG}$	2300 A
Puissance apparente nominale $S_{nG}$ avec $P_{nG}$	2 630 kVA
Facteur de puissance avec $P_{nG}$	1,00 en réglage standard 0,95 en sous-réglage (inductif) possible jusqu'à 0,95 en sur-réglage (capacitif)
Fréquence	50 ou 60 Hz



#### REMARQUE

La puissance nominale est soumise à des tolérances définies par le système. Dans le cas de la puissance nominale, elles s'élèvent à  $\pm$  75 kW. La pratique montre que des variations négatives surviennent rarement et qu'elles s'élèvent le plus souvent à < 20 kW. Afin de respecter exactement des prescriptions de performance externes, il est possible de paramétrer de manière appropriée la puissance nominale des différentes éoliennes. De manière alternative, il est possible de paramétrer de manière appropriée le parc éolien via le Wind Farm Portal®.

<b>Génératrice</b>	
Type de protection	IP 54
Puissance nominale	2 500 kW
Tension nominale	3 x AC 660 V $\pm$ 10 %
Fréquence	50 ou 60 Hz
Plage de vitesse	50 Hz : 740...1 300 min <sup>-1</sup> 60 Hz : 890...1 560 min <sup>-1</sup>
Pôles	6
Poids	env. 10 t

<b>Refroidissement et filtration du multiplicateur</b>	
Type	Circuit d'huile avec échangeur thermique huile-air et by-pass thermique
Pompe à huile du multiplicateur, 2 niveaux	Standard : 50 Hz : 3,0/4,5 kW 60 Hz : 3,5/5,2 kW CCV : 50 Hz : 3,5/6,0 kW 60 Hz : 4,2/7,2 kW
Débit volumique	Niveau 1 : env. 52 l/min Niveau 2 : env. 105 l/min
Ventilateur au niveau de l'échangeur thermique, 2 niveaux	50 Hz : 0,8/3,0 kW 60 Hz : 1,1/4,1 kW
Filtre	Filtre grossier 50 $\mu$ m Filtre fin 10 $\mu$ m
Filtration en dérivation (option)	5 $\mu$ m

<b>Refroidissement de la génératrice</b>	
Type	Circuit d'eau avec échangeur thermique eau-air
Pompe à eau de refroidissement	50 Hz : 1,3 kW 60 Hz : 1,1 kW
Débit volumique	env. 70 l/min
Liquide de refroidissement	Varidos FSK 45, États-Unis : Intercool LCE-50
Ventilateur au niveau de l'échangeur thermique, 2 niveaux	50 Hz : 0,8/3,0 kW 60 Hz : 1,1/4,1 kW

<b>Refroidissement du convertisseur</b>	
Type	Circuit d'eau avec échangeur thermique eau-air et by-pass thermique
Débit volumique	env. 50 l/min
Liquide de refroidissement	Varidos FSK 45, États-Unis : Intercool LCE-50
Ventilateur au niveau de l'échangeur thermique, 2 niveaux	50 Hz : 1,1/1,8 kW 60 Hz : 1,4/2,2 kW

<b>Frein aérodynamique</b>	
Type	Calage individuel de pale
Activation	électromécanique

<b>Frein mécanique</b>	
Type	Frein à disque actionné activement
Disposition	sur l'arbre rapide
Diamètre du disque	1.030 mm
Nombre d'étriers de freins	1
Matériau des garnitures de frein	Métal fritté

<b>Système de calage des pales</b>	
Palier de calage de pale	Suspension à 4 points en double rangée
Lubrification de l'engrenage	Installation de lubrification automatique avec graisse
Entraînement	Moteur triphasé, y compris un frein à ressorts Engrenage planétaire à plusieurs niveaux
Alimentation électrique de secours	Accumulateurs au plomb

<b>Système hydraulique</b>	
Huile hydraulique	VG 32
Quantité d'huile	env. 20 l
Puissance nominale de la pompe hydraulique	1,5 kW
Protection thermique	PT100 intégrés

<b>Matériau de la nacelle</b>	
Châssis de machine	Fonte à graphite sphéroïdal EN-GJS-400-18U-LT
Matériau du support de la génératrice et de la structure métallique	Acier de construction S235JR
Matériau de l'habillage du carter de la nacelle	Matière plastique, renforcée par des fibres de verre (GRP)

<b>Palier à rotule azimuth</b>	
Type	Palier à rotule
Matériau	42CrMo4
Poids	env. 2,3 t

<b>Entraînement du système d'orientation</b>	
Moteur	Moteur asynchrone
Multiplicateur	Engrenage planétaire à 4 étages
Nombre d'entraînements	4
Lubrification	Huile, ISO VG 620
Quantité d'huile	env. 21 l
Vitesse d'orientation	env. 0,5 °/s

<b>Frein azimuth</b>	
1ere type	Frein à disque avec étriers de freins hydrauliques
Matériau des garnitures de frein	organique
Nombre d'étriers de freins	14
2ème type	Frein à pression par ressorts électrique sur chaque moteur d'entraînement

<b>Hauteur de moyeu *</b>	<b>80 m</b>	<b>100 m</b>
Classe de vent/intensité de la turbulence	CEI 3a	DIBt 2, CEI 3a
Nombre de sections du mât	4	5
Poids avec éléments intégrés	environ 182,3 t	environ 295,2 t

Hauteur de moyeu *	75 m	80 m	100 m
Classe de vent/intensité de la turbulence	CEI 2a	CEI 2a	CEI 2a
Nombre de sections du mât	4	4	5
Poids avec éléments intégrés		env. 189,8 t	env. 294,0 t

Hauteur de moyeu	140 m (RB)	140 m (PH)
Classe de vent/intensité de la turbulence	DIBt 2, CEI 3a	DIBt 2
Nombre de sections du mât	3 + adaptateur	2
Poids avec éléments intégrés	env. 141,0 t* avec adaptateur	env. 78,7 t*

RB : Mât hybride (béton + tube en acier)

\* Uniquement mât tubulaire en acier

PH : Mât hybride (béton de pièces préfabriquées + tube en acier)

Mât en acier tubulaire	
Matériau	Union européenne : S355 États-Unis : A709/A572-50
Protection anticorrosion	Revêtement multicouches de résine époxy
Panier d'ancrage	Le panier d'ancrage est scellé dans le béton des fondations

Mât hybride (partie en béton)	
Matériau • Béton de pièces préfabriquées • Béton localement mixte	Béton armé avec précontrainte externe Éléments de serrage dans la mât
Pied du mât, béton localement mixte	Les fondations et la tour en béton comme une structure monolithique
Pied du mât, béton de pièces préfabriquées	Fondation et béton anneaux fixes par les éléments de serrage

Mât hybride (partie tubulaire en acier)	
Matériau	Union européenne : S355 États-Unis : A709/A572-50
Protection anticorrosion	Revêtement multicouches de résine époxy
Panier d'ancrage	Bride d'adaptation avec boulons d'ancrage vissée sur la tête du mât en béton

<b>Commande</b>	
Type de matériel	Remote Field Controller/API
Type de logiciel	Nordex Control 2
Démarrage automatique :	
- après une panne de réseau	Oui
- après le vent de coupure	Oui

## 2. Index de modifications

Rév.	Date	Modification	AST	Responsable
12	10/03/2016	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chapitre « paratonnerre » dans « Protection contre la foudre et la surtension et CEM » modifié et contenu adapté.</li> <li>• La section « d'autres dispositifs de sécurité » a été complétée par un système anti-intrusion, un système de détection d'éclairs, une surveillance de la température des liaisons par câbles, un capteur de glace, un système de détection de glace pour pale de rotor, un système de dégivrage, un détecteur de chauve-souris et un système de détection et d'extinction d'incendie.</li> <li>• Dans le chapitre « états et modes de fonctionnement spéciaux », le module anti-chauve-souris est ajouté à titre d'exemple.</li> <li>• Kit anémomètre CCV repris dans le chapitre « Orientation (système d'orientation) ».</li> <li>• Le format de la légende de la figure 2 a été modifié</li> <li>• Fig. 2, Fig. 3 et Fig. 4, bulles modifiées</li> <li>• La figure du mât hybride a été supprimée</li> <li>• On utilise désormais la notion « d'arrêt d'urgence »</li> <li>• Positions de l'interrupteur d'arrêt d'urgence modifiées</li> </ul>	9570	B. Nienberg



Nordex Energy GmbH  
Langenhorner Chaussee 600  
22419 Hambourg  
Allemagne  
<http://www.nordex-online.com>  
[info@nordex-online.com](mailto:info@nordex-online.com)