

Dédicaces.....	2
Remerciement.....	3
Sommaire.....	4
Liste des figures.....	7
Liste des tableaux.....	9
Liste des abréviations.....	10
Introduction.....	11
<b>Chapitre I Présentation de l'entité d'accueil « ONEE ».....</b>	<b>12</b>
I-Organisme d'Accueil.....	13
1- Principales Missions de L'ONEE –BE.....	13
2- L'activité de l'ONEE-BE.....	13
3- Structure organisationnelle.....	16
II- Présentation de la Division Exploitation de Fès.....	17
1- Historique.....	17
2- Structure de la division.....	18
III- Energie éolienne.....	19
1- Energie éolienne au Maroc.....	19
2- Les différents types d'éolienne.....	20
<b>Chapitre II : Présentation du parc éolien 140MW Tanger.....</b>	<b>22</b>
I- Etude théorique.....	23
1- Principe de fonctionnement des éoliennes.....	23
1.1- Chaîne de transformation énergétique.....	23
1.2- Théorie de Betz.....	24
II- Emplacement du projet.....	25
III- Description aérogénérateurs de plate-forme G52-850KW.....	26
1- La nacelle.....	27
2- Rotor.....	30
3- Tour et fondation.....	31
4- Transformateur et Cellule Moyenne Tension.....	32
5- Les Capteurs.....	32
IV- Poste 33/225KV.....	33
1- Transformateur de puissance 100MVA.....	34
2- Disjoncteur de travée 225KV.....	34
3- Transformateur de tension.....	34
4- Transformateur du courant.....	35

## Sommaire

---

5- Transformateur des services auxiliaires (TSA).....	35
6- Réactance.....	35
7- Parafoudre.....	35
8- Cellule du circuit arrivée éolienne.....	36
9- Cellule de réactance.....	36
10- Cellule de mesure.....	36
11- Cellule du départ TSA (Transformateur de service auxiliaire).....	37
12- Cellule de l'arrivée transfo 33/225KV.....	37
V - Systèmes de supervision du parc.....	37
1- Système SICAM.....	37
2- Système SCADA « Système de Contrôle et Acquisition de Données ».....	38
<b>Chapitre III : Généralité sur la maintenance des éoliennes du Parc 140 MW</b>	
<b>Tanger.....</b>	<b>40</b>
I- Description de la maintenance.....	41
1- Types de maintenance du parc éolien.....	41
2- Maintenance du rotor.....	42
3- Maintenance de la nacelle.....	43
4- Maintenance du transformateur.....	48
II- Analyse critique de la maintenance actuelle du parc éolien de Tanger.....	49
<b>Chapitre IV : Outils de gestion de la maintenance.....</b>	<b>51</b>
I- Présentation du projet.....	52
1- Problématique.....	52
2- Définir le projet.....	52
3- Cahier des charges.....	52
II- les outils de gestion de la maintenance.....	53
1- la méthode AMDEC : Analyse des modes de défaillance, de leurs effets Et de leur criticité.....	53
2- diagramme de PARETO.....	55
3- Tableau de bord.....	56
III- Application de l'analyse PARETO et AMDEC sur les équipements de l'aérogénérateur.....	59
1- Application de l'analyse PARETO.....	59
2- Application de l'AMDEC.....	60
2.1- Échelles de Cotation.....	60
2.2- Grille AMDEC sur les machines critiques.....	62
<b>Chapitre V : Solutions proposées et amélioration.....</b>	<b>66</b>
I- Les actions à suivre pour réduire la réapparition des pannes.....	67
1- Réalisation d'un rapport d'intervention de maintenance sous le système informatique « C-Sharp ».....	67

## Sommaire

---

2- Recommandations.....	70
3- Pilotage de la performance par la mise en place du tableau de bord.....	71
II- Solutions techniques.....	73
1- Pompe à engrenage.....	73
1.1- Définition et fonctionnement.....	73
1.2- Le rôle de la pompe.....	74
2- le contacteur.....	74
2.1- Définition et fonctionnement.....	74
2.2- Les différents types des défauts du contacteur.....	75
2.3- Solution proposée.....	76
3- Huile.....	78
3.1- Problématique.....	79
3.2- Solution proposée.....	79
Conclusion.....	82
Bibliographie & webographie.....	83
Annexes.....	84

Figure 1 : Structure organisationnelle.....	17
Figure 2 : L'organigramme de la Division Exploitation Fès.....	18
Figure 3 : carte de vent du Maroc.....	19
Figure 4 : les parcs éoliens réalisés, en cours de développement et les programmes Intégrés.....	20
Figure 5 : Eoliennes Darrieus et Savonius.....	20
Figure 6 : éoliennes classique les plus utilisée à 3 pales.....	21
Figure 7 : rotor d'une éolienne dans un courant d'air.....	24
Figure 8 : Courbe de puissance.....	25
Figure 9 : Plan du parc.....	25
Figure 10 : Les éléments d'une éolienne G52-850KW.....	26
Figure 11 : Présentation technique de la nacelle G52-850KW.....	27
Figure 12 : Carénage.....	27
Figure 13 : vue générale et localisation du châssis dans la nacelle.....	27
Figure 14 : vue générale et localisation de l'arbre principal dans la nacelle.....	28
Figure 15 : vue générale et emplacement de multiplicateur dans la nacelle.....	28
Figure 16 : Vue générale et emplacement du frein dans le multiplicateur.....	28
Figure 17 : arbre rapide.....	28
Figure 18 : Vue générale et emplacement du générateur dans la nacelle.....	29
Figure 19 : Vue générale et emplacement du système d'orientation (YAW) dans la nacelle..	29
Figure 20 : Vue générale et emplacement du système hydraulique dans la nacelle.....	29
Figure 21 : les composants des pales.....	30
Figure 22 : vue générale et emplacement du cône sur l'aérogénérateur.....	30
Figure 23 : vue générale et emplacement du système de roulement de pale dans le rotor.....	31
Figure 24 : vue générale et emplacement du système de changement de pas (pitch) dans le rotor.....	31
Figure 25 : vue du tronçon inférieur de la tour.....	31
Figure 26 : Armature et Bétonnage de la fondation.....	32
Figure 27 : Schéma du poste 33/225KV.....	33
Figure 28 : transformateur de puissance 100 MVA.....	34

## Liste des figures

---

Figure 29 : disjoncteur de travée.....	34
Figure 30 : transformateur de tension.....	34
Figure 31 : transformateur du courant.....	35
Figure 32 : transformateur des services auxiliaires.....	35
Figure 33 : Réactance.....	35
Figure 34 : Parafoudre.....	36
Figure 35 : Cellule du circuit d'arrivée.....	36
Figure 36 : Cellule de réactance.....	36
Figure 37 : Cellule de mesure.....	36
Figure 38 : Cellule de départ TSA.....	37
Figure 39 : Cellule de l'arrivée transfo 33/225K.....	37
Figure 40: Système contrôle SCADA.....	39
Figure 41 : Technicien réalise la maintenance préventive.....	41
Figure 42 : Technicien réalise la maintenance corrective.....	41
Figure 43 : étapes à suivre pour la maintenance préventive du transformateur.....	48
Figure 44 : étapes pour procéder au changement du transformateur.....	49
Figure 45 : les étapes d'une étude AMDEC.....	54
Figure 46 : graphe de PARETO.....	56
Figure 47 : Les étapes de conception d'un tableau de bord.....	57
Figure 48 : Diagramme PARETO de l'éolien.....	60
Figure 49 : graphe du tableau de bord.....	73
Figure 50 : pompe à engrenage.....	73
Figure 51 : Emplacement de la pompe dans le groupe hydraulique.....	74
Figure 52 : les composants du contacteur ABB 26-30-10.....	75
Figure 53 : limiteur de surtension.....	76
Figure 54 : Schéma fonctionnel de limiteur de surtension.....	77
Figure 55 : les composants d'un relais thermique.....	78
Figure 56 : Emplacement du relais thermique.....	78
Figure 57 : les étapes de contrôle des machines à l'aide du monitoring.....	80

### *Liste des tableaux*

---

Tableau 1 : la puissance totale installé par l'ONEE.....	15
Tableau 2 : ventes par catégorie de clients ainsi que leurs évolutions.....	16
Tableau 3 : potentiel éolien estimé au Maroc.....	19
Tableau 4 : programme de maintenance préventive des pales.....	42
Tableau 5 : programme de maintenance préventive du cône.....	42
Tableau 6 : programme de maintenance préventive du système de rotation à 4 mâchoires actives et 4 mâchoires passives.....	43
Tableau 7 : programme de maintenance préventive du motoréducteur.....	44
Tableau 8 : programme de maintenance préventive du multiplicateur.....	45
Tableau 9 : programme de maintenance préventive du générateur.....	46
Tableau 10 : programme de maintenance préventive du système hydraulique.....	47
Tableau 11 : Une méthode en 5 étapes et 15 outils.....	58
Tableau 12 : Analyse PARETO.....	59
Tableau 13: Echelle defréquence.....	61
Tableau 14 : Echelle de Gravité.....	61
Tableau 15: Echelle de Non-Détection.....	61
Tableau 16 : Echelle de la criticité.....	62
Tableau 17 : Grille AMDEC de système d'orientation (YAW) .....	63
Tableau 18 : Grille AMDEC du groupe hydraulique (YAW) .....	65
Tableau 19 : tableau de bord .....	73
Tableau 20 : Caractéristiques du contacteur ABB 26-30-10.....	75
Tableau 21: les défauts du contacteur et leurs conséquences.....	76
Tableau 22 : les caractéristiques et le fonctionnement des capteurs de monitoring FMM.....	81

### *Liste des abréviations*

---

- ONEE-BE : Office Nationale d'Electricité et de l'Eau potable-Branche Electricité.
- STEP : Station de Transfert d'Energie par Pompage.
- HT : Haute Tension.
- MT : Moyen Tension.
- BT : Basse Tension.
- MDP : Mécanisme pour un Développement Propre.
- KFW : Kreditanstalt Für Wiederaufbau (banque allemande).
- CCU : Converter Control Unit.
- CPU : Central Processing Unit (Unité centrale de traitement).
- PLC : Programmable Logic Controller (Automate Programmable Industriel).
- THT : Transformateur Haute Tension.
- TSA : Transformateur des services auxiliaires.
- HW : Hardware
- SW : Software
- SCADA : Supervisory Control and Data Acquisition (Système de Contrôle et Acquisition de Données).
- SGIPE : Gestion Intégré des Parcs Eoliens
- AMDEC : Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité.
- AFNOR : Association Française de NORmalisation.
- HSI : HYDAC Sensor Interface.

Le changement climatique et la raréfaction des ressources sont maintenant bien présents dans tous les esprits. Il est nécessaire de changer nos habitudes et de mettre en avant toutes les démarches vertueuses pour inverser les tendances.

Dans le domaine de l'énergie, les économies sont bien entendu indispensables, mais les sources d'énergies renouvelables devront également connaître une croissance sans précédent dans les prochaines décennies.

En particulier, parmi toutes les ressources possibles (biomasse, soleil, vent, houle, etc.), l'énergie éolienne est aujourd'hui la plus accessible en termes de technologie et de coûts. Elle est donc tout naturellement appelée à prendre une place importante dans le « mix » énergétique mondial.

D'ailleurs, avec 47 GW installés en Europe entre 2000 et 2007, l'éolien arrive désormais en deuxième position (derrière les centrales au gaz) en termes de nouvelles capacités électriques installées, et cette tendance ne va pas s'infléchir au cours des prochaines années !

Aujourd'hui, et dans le cadre du Mécanisme pour un Développement Propre (MDP), conformément à la politique de l'ONEE-branche électricité visant le développement des énergies propres et la réduction des émissions de gaz à effet de serre, le Maroc construit des Parc Eoliens de capacités assez grandes tel que celui du Dhar Saadane et Beni Mejmel de Tanger (puissance totale de 140MW et une productibilité moyenne annuelle de 526 GWh), et lance gigantesquement la construction d'autres parcs aussi récents et bien développés, l'insinuation et a l'occurrence adressé à celui de Taza.

Dans ce rapport on représente une vue plus ou moins récapitulatif de notre travail faite qui s'intitule sur l'élaboration d'un manuel de suivi de la réalisation de la maintenance du parc éolien Tanger dont on trouvera cinq chapitres :

La première partie contient une présentation de l'ONEE-Branche électricité en général et de la division exploitation de FES en particulier.

La seconde partie décrit le fonctionnement du parc éolien de Tanger ainsi que ses principaux constituants, puis une vision général sur le parc, les caractéristiques des aérogénérateurs utilisés et une description du poste 33/225 kV adossé au poste de Melloussa.

La troisième partie de ce rapport est destinée sur la description et l'analyse critique de la maintenance actuelle.

Une analyse des historiques des pannes pour voir la fiabilité des équipements de l'aérogénérateur est bien explicitée dans La quatrième partie à travers des outils de gestion de la maintenance mais avant ça une description du sujet de PFE en spécifiant ses objectifs, son cahier de charge et les outils de travail. Cette partie s'intéresse à sortir les éléments critiques des éoliennes suivant le diagramme PARETO, ensuite l'application de l'AMDEC sur ces éléments, dans laquelle nous traitons les modes de défaillance, leurs causes et leurs effets.

Concernant la dernière partie de notre rapport en parlera de l'élaboration d'un manuel de surveillance de la maintenance à l'aide de plusieurs actions ainsi quelques suggestions de solutions techniques.

## *Chapitre I*

### *Présentation de l'entité d'accueil « ONEE »*

*Ce chapitre est une présentation de l'entité d'accueil « ONEE ». Il commence par la présentation de l'ONEE-Branche électricité en général et de la division exploitation de FES en particulier. Ainsi que l'énergie éolienne au Maroc.*

Le secteur de l'électricité au Maroc se caractérise par une diversité d'acteurs à la fois publics et privés opérant dans les différentes activités nécessaires pour satisfaire des besoins en électricité des clients.

Au cœur d'un service public stratégique et essentiel pour la compétitivité du pays, L'Office National de l'Electricité et de l'Eau potable (BE) est l'opérateur de référence du secteur électrique au Maroc.

#### **Historique**

L'Office National de l'Electricité et de l'eau potable (ONEE) est placé sous la tutelle du Ministère de l'Energie et des Mines. Il a été créé en 1963 par Dahir lui réservant tous les droits de production et de distribution de l'électricité dans le Royaume.

Ainsi, l'ONE est un établissement public à caractère industriel et commercial doté de l'autonomie financière. Il est chargé de gérer la production, le transport et la distribution de l'électricité et l'eau potable au Maroc.

Après la fusion entre ONE et ONEP, régis respectivement par Dahir n° : 1-63-226 du 14 Rabii I (5 août 1963) et le Dahir n° : 1-72-103 du 18 Safar 1392 (3 Avril 1972), tels qu'ils ont été modifiés et complétés, sont regroupés au sein d'un même établissement public doté de la personnalité morale de l'autonomie financier, dénommé « Office Nationale de l'Electricité et de l'Eau potable ».



La distribution de l'énergie électrique est assurée, soit directement par l'ONEE-BE, notamment en zone rurale et dans plusieurs centres urbains, soit par des régies municipales ou intercommunales, placées sous la tutelle du ministre de l'Intérieur pour les grands centres urbains ou encore par la délégation de service public à des organismes privés.

#### **I- Organisme d'Accueil**

##### **1- Principales Missions de L'ONEE –BE**

L'Office National de l'Electricité et de l'Eau Potable/ Branche Electricité est l'opérateur de référence du secteur électrique au Maroc et o pour principales missions :

- Assurer le service public de la production et du transport de l'énergie électrique ainsi que celui de la distribution de l'énergie électrique dans les zones où l'Office intervient.
- Gérer la demande globale d'énergie électrique du Royaume.
- Satisfaire la demande en électricité du pays en énergie électrique dans les meilleures conditions de coût et de qualité de service.
- Gérer et développer le réseau de transport.
- Généraliser l'extension de l'électrification rurale.

##### **2- L'activité de l'ONEE-BE**

L'ONEE-BE assure la production de l'énergie électrique, il assure également le transport de cette énergie à partir des usines de production jusqu'à agglomérations et également la distribution de l'énergie électrique dans plusieurs provinces du royaume notamment au milieu rural.

### 2.1- Production

Face à un environnement énergétique mondial en profonde mutation, les principaux défis de l'ONEE sont :

- Assurer l'approvisionnement du pays en énergie électrique.
- Réduire le poids des importations d'énergie primaire sur la balance commerciale.
- Favoriser l'implication du secteur privé dans l'investissement pour l'électricité.
- Mobiliser les énergies renouvelables en tant qu'énergies nationales.

Et donc l'électricité disponible dans l'ONEE provient des énergies renouvelables, parmi lesquelles on cite ses principaux types :

- **Hydraulique** : le fonctionnement d'une centrale hydraulique ou barrage consiste à utiliser l'énergie donnée par une quantité d'eau en mouvement pour pouvoir faire tourner une turbine qui est reliée à un alternateur qui va produire de l'électricité.
- **Eolienne** : la force du vent met en mouvement les pales de la turbine éolienne qui sont-elles même tourner le générateur grâce à un multiplicateur. Le générateur à son tour transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.
- **Thermo-solaire** : les centrales solaires thermodynamiques utilisent une grande quantité de miroirs qui font converger les rayons solaires vers un fluide caloporteur chauffé à haute température. Pour ce faire, les miroirs réfléchissants doivent suivre le mouvement du soleil afin de capter et de concentrer les rayonnements tout au long du cycle solaire quotidien. Le fluide produit de l'électricité par le biais de turbines à vapeur ou à gaz.

À fin 2014, la puissance totale installée du parc de production électrique de l'Office s'élève à 7994 MW, contre 7 342,2 MW en 2013.

32% de la puissance installée est de source renouvelable

Centrales	Puissance installée en MW
usines hydrauliques	1 306
STEP	464
centrales thermiques vapeur	3 145
charbon (y compris JLEC)	2 545
fioul	600
Centrales turbines à gaz	1 230
Cycle combinés	850
Thermique Diesel	202

Total Thermique	5 427
Eolie	797
<b>Total ONEE</b>	<b>7 994</b>

Tableau 1 : la puissance totale installé par l'ONEE

### 2.2- Transport

Le Maroc ayant pour mission d'assurer le transport de l'énergie électrique et la sécurité d'alimentation du pays. L'ONEE développe et renforce son réseau de transport qui couvre la quasi-totalité du territoire national.

D'une longueur totale de **23 332 km en 2014**, le réseau de transport national est interconnecté aux réseaux électriques espagnol et algérien, dans l'objectif de :

- Renforcer la fiabilité et la sécurité d'alimentation,
- Bénéficier de l'économie potentielle sur le prix de revient du kWh,
- Intégrer le marché électrique national dans un vaste marché euro maghrébin.

Il a été procédé en 2006 au doublement de la capacité de transit de l'interconnexion électrique entre le Maroc et l'Espagne de 700 à 1400 MW. L'ONEE a également mis sous tension en septembre 2009. Le renforcement de l'interconnexion Maroc-Algérie augmentant ainsi la capacité de transit de 700 à 1400 MW.

Avec le renforcement de l'interconnexion, le Maroc est devenu un carrefour énergétique entre les deux rives de la Méditerranée et offre l'infrastructure de base à l'émergence d'un véritable marché de l'électricité.

Pour répondre aux besoins de pays en énergie électrique, l'ONEE a lancé un vaste programme de développement du réseau national de transport et de mise en place de véritables « autoroutes de l'électricité » vers les pays voisins. Ce programme comprend :

- L'extension et le renforcement des lignes 400 KV, 225 KV et 60 KV.
- Un nouveau dispatching national pour assurer une meilleure gestion techno-économique des moyens de production et de transport.
- La mise en place de la télégestion des centrales.

### 2.3- Distribution

La satisfaction de la clientèle et le service public constituent deux axes prioritaires de L'ONEE-BE qui œuvre en permanence pour l'amélioration de la qualité de service sur le plan technique et commercial

- Le premier distributeur d'électricité au Maroc avec une part de marché de 55%
- L'ONEE dispose de 10 directions régionales sur tout le territoire
- Plus de 5,1 millions de clients dans tout le monde rural et plusieurs agglomérations urbaines. Le reste de la clientèle étant gérée par des Régies de distribution publiques ou des Distributeurs privés qui sont eux-mêmes clients Grands Comptes de la Branche Electricité

## Chapitre I : Présentation de l'entité d'accueil « ONEE »

- Un réseau commercial de 25 Directions Provinciales et 192 Agences de Service dont 66 Agences de service provinciales

L'ONEE couvre toutes les activités nécessaires à la gestion et au développement réseaux moyenne et basse tension de distribution sur le territoire nationale

Les réseaux de distribution de L'ONEE comprennent l'ensemble des postes HT/MT, des lignes a moyen tension (MT). Des postes MT/BT et des lignes Basse Tension (BT) qui desservent directement les clients BT.

Les ventes d'énergie électrique (en volume) ont atteint 28 825 GWh, à fin 2014, soit une hausse de 3,8% par rapport à 2013. La ventilation de ces ventes par catégorie de clients ainsi que leurs évolutions, sont données au niveau du tableau ci-après

	Nombre de Clients			Ventes en GWh		
	2013	2014	%	2013	2014	%
<b>Distributeurs</b>	55	54	-1,8%	11 718	12 094	3,2%
<b>Industrie</b>	40 304	40 995	1,7%	6 759	6 924	2,4%
<b>Tertiaire</b>	430 590	445 539	3,5%	1 863	1 981	6,3%
<b>Administratif</b>	67 539	71 088	5,3%	892	943	5,7%
<b>Résidentiel</b>	4 339 409	4 540 930	4,6%	4 787	5 075	6,0%
<b>Agricole</b>	39 870	42 368	6,3%	1 750	1 808	3,3%
<b>TOTAL</b>	<b>4 917 767</b>	<b>5 140 974</b>	<b>4,5%</b>	<b>27 769</b>	<b>28 825</b>	<b>3,8%</b>

Tableau 2 : ventes par catégorie de clients ainsi que leurs évolutions

### 3- Structure organisationnelle

L'ONEE-BE est constituée de plusieurs services et directions, qui ont comme direction commune la direction générale. Les différents services et directions sont présentés dans l'organigramme ci-dessous :

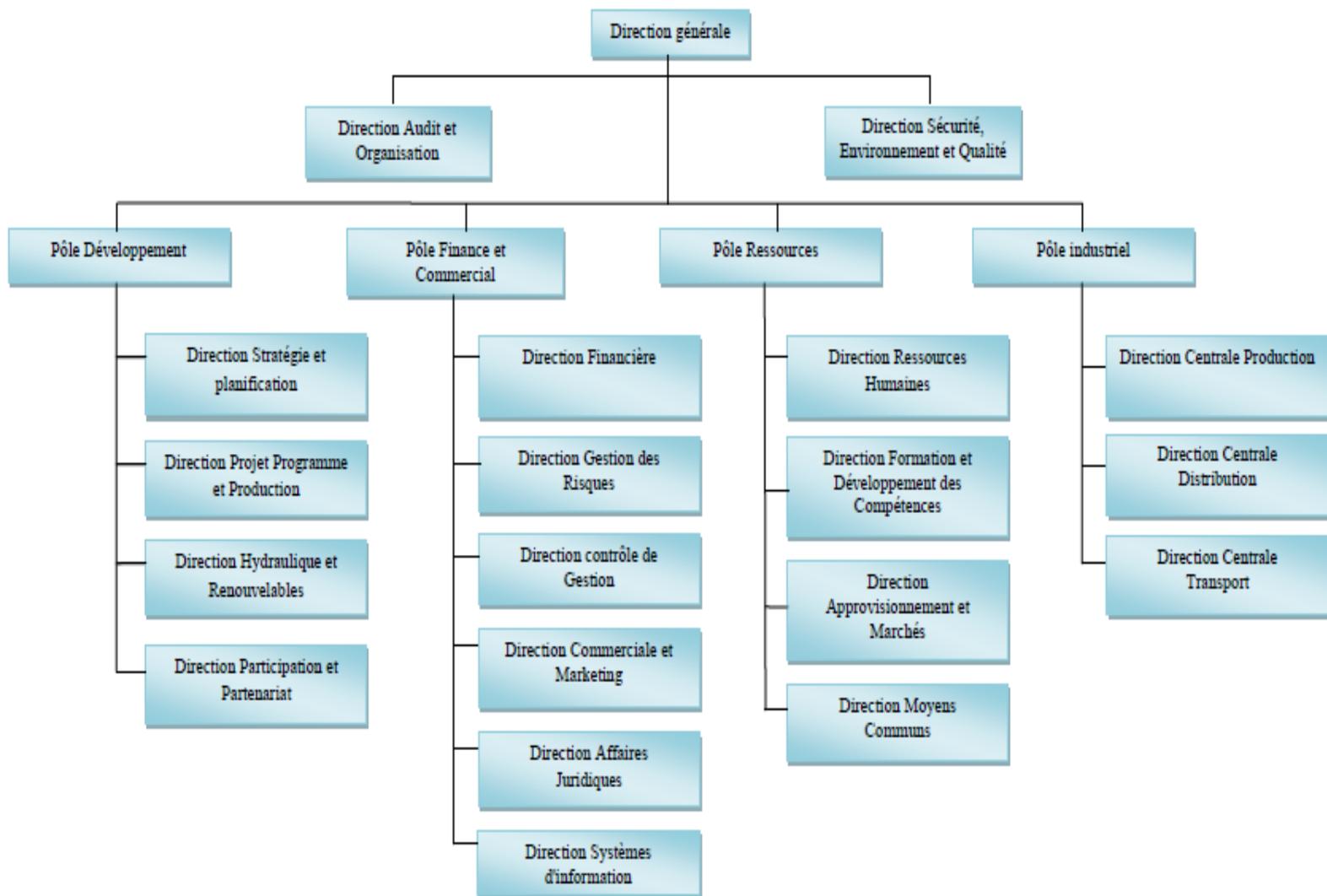


Figure 1 : Structure organisationnelle

## II-Présentation de la Division Exploitation de Fès

La Direction Centrale Production est l'une des directions opérationnelles relevant du pôle industriel, elle dispose d'importantes installations de production, que ce soit de type thermique, turbine à gaz ou renouvelable (hydroélectrique, éolien).

### 1- Historique

Créée en Mars 2010, à l'issue de la réorganisation structurelle de l'Office, elle contient cinq directions d'exploitation et une division, à savoir :

- Division Etudes et Maintenance.
- Direction Exploitation Thermique Mohammedia.
- Direction Exploitation Thermique Kenitra.
- Direction Exploitation Thermique Jerada.
- Direction Turbine à gaz.
- Direction Exploitations Renouvelables.

La Division Exploitation Fès est l'une des divisions relevant de la direction Exploitations Renouvelables, créée en 1996, avec un effectif global actuel de 129 agents (Cadres : 23, Maîtrises

: 77, Exécutions : 29) Son rôle est la gestion des usines hydroélectriques du nord du Royaume, ainsi que les deux parcs éolien de Tanger et Abdelkhalek Torres situé à Ksar Sghir.

### 2- Structure de la division

La figure ci-après présente l'organigramme de la Division Exploitation Fès :

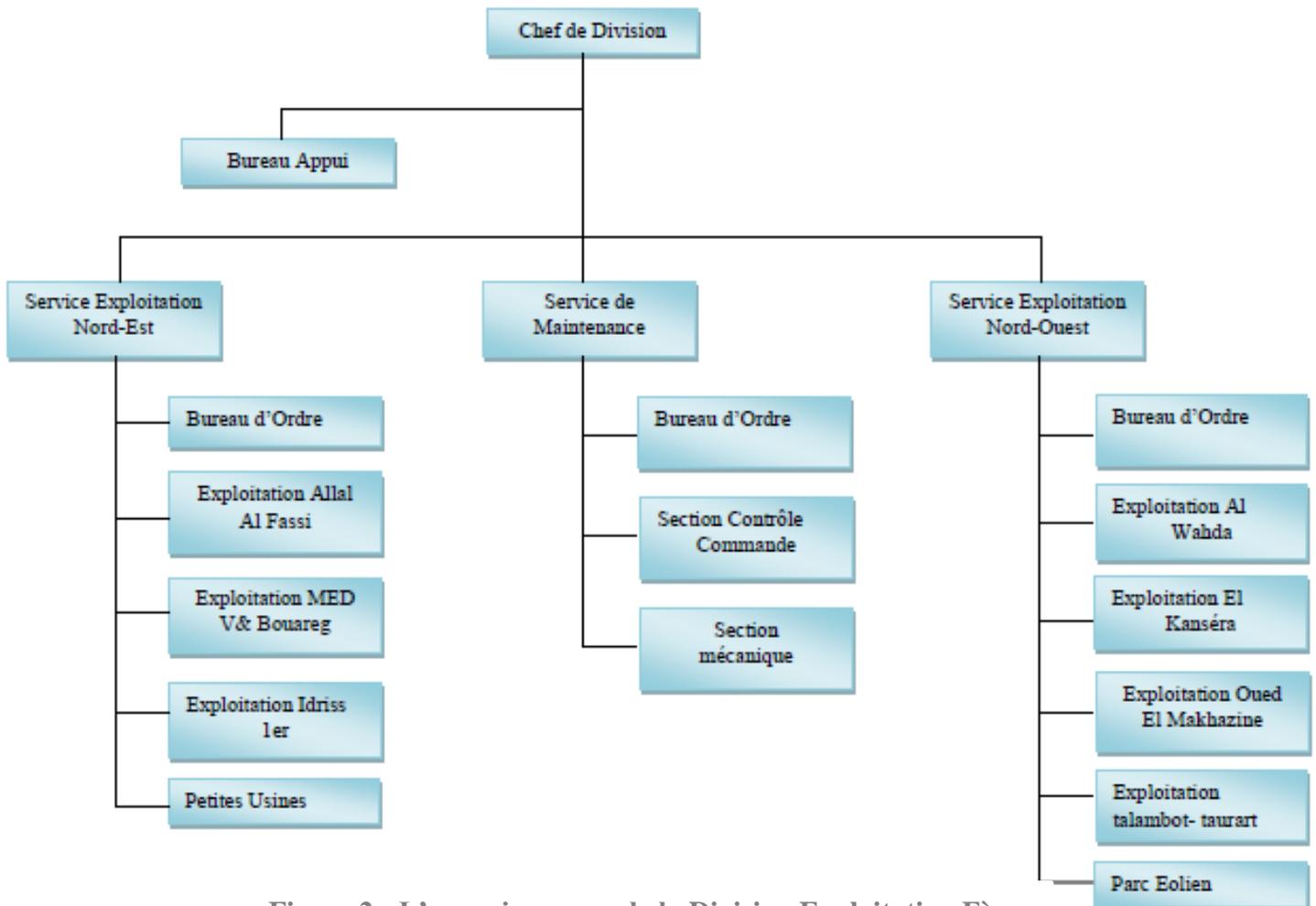


Figure 2 : L'organigramme de la Division Exploitation Fès

#### 2.1- Service Maintenance

Son rôle est l'entretien des centrales hydroélectriques. Il dispose à cet effet de deux équipes spécialisées : Equipe contrôle commande ; chargée de l'entretien des appareils électroniques de protection et de commande, équipe électromécanique ; chargée de l'entretien des moteurs, des turbines et des alternateurs.

#### 2.2- Service Exploitation Nord-est

Ce centre gère les usines suivantes : Usine Allal Al Fassi, usine Idriss 1er, usine Mohamed V, usine Bou Areg et 3 petites usines hydroélectriques : Séfrou, Taza et Fès Aval.

#### 2.3- Service Exploitation Nord-ouest

Ce centre gère l'usine Al Wahda, usines Talambot et Taurart, usine El Kansera, usine Oued El Makhazine et les parcs éoliens de Tanger et de Abdelkhalek Torres <sup>[1]</sup>.

### III- Energie éolienne

#### 1- Energie éolienne au Maroc

Dans le cadre de l'élargissement de son secteur énergétique, le Maroc s'engage dans un vaste programme éolien, pour accompagner le développement des énergies renouvelables et de l'efficacité énergétique dans le pays.

Le Projet Marocain Intégré de l'Energie Eolienne, s'étalant sur une période de 10 ans, permettra au pays d'élever la puissance électrique installée, d'origine éolienne, de 291 MW en 2012 à 2000 MW à l'horizon 2020. L'investissement total de ce projet est estimé à une valeur de 31,5 milliards de dirhams.

##### 1.1- potentiel éolien estimé au Maroc

Les dernières études élaborées ont démontré la présence d'un potentiel très important sur le sol marocain, le potentiel technique a été quantifié à 1.632.030 MW. Toutefois, ce potentiel est limité principalement par la capacité d'intégration au réseau électrique. Cette limite peut être atténuée par de nouveaux investissements visant à renforcer le réseau électrique

Potentiel réalisable en 2010	Potentiel réalisable en 2012	Potentiel estimé en 2020
563 MW	1.065 MW	3.258 MW

Tableau 3 : potentiel éolien estimé au Maroc

Le Maroc, avec une puissance installée d'environ 1157 MW répartis en 15 parcs, a pris la première place sur le continent africain.

##### 1.2- Carte de vent du Maroc

Grâce à sa situation géographique (3.500 km de côtes), le Maroc dispose de nombreux sites où les conditions de vent sont très favorables.

C'est sur ces régions que la plus part des projets éoliens ont vu/verront le jour, dont on cite : le site de Houma, Tarfaya, Akhfenir, Laâyoune, Tanger I, Tanger II [2].

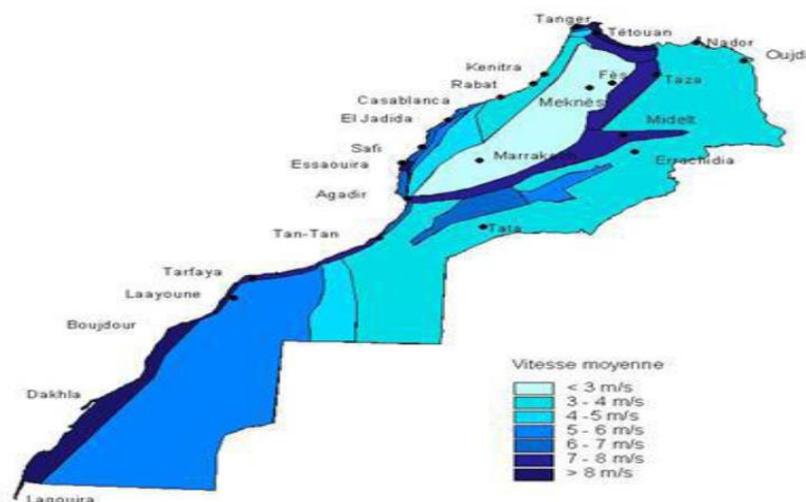


Figure 3 : carte de vent du Maroc

### 1.3- Les parcs éoliens au Maroc

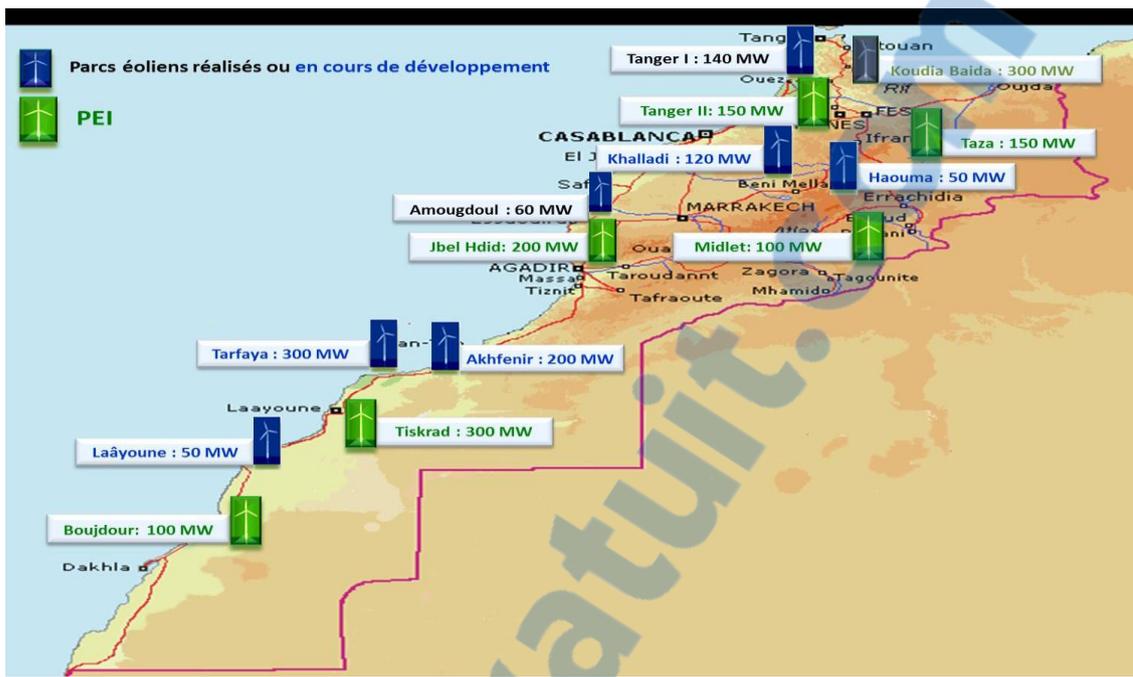


Figure 4 : les parcs éoliens réalisés, en cours de développement et les programmes Intégrés

### 2- Les différents types d'éolienne

Il existe deux grands types d'éolienne, les éoliennes à axe vertical et horizontal.

#### 2.1- Eoliennes à axe vertical

Les éoliennes à axe vertical, dont l'axe de transmission est perpendiculaire au sol, ne disposent pas d'un système d'orientation par rapport au vent. Elle possède plusieurs avantages de pouvoir capter des vents très faibles, ce qui en fait un excellent moteur pour le pompage de l'eau. En revanche, en ce qui concerne la production électrique, elle est moins rapide que les modèles à axe horizontal. Les deux modèles les plus connus sont le type "Darrieus" et le type "Savonius".



Figure 5 : Eoliennes Darrieus et Savonius

#### 2.2- Eoliennes à axe horizontal (les plus courantes sont à hélices)

Les éoliennes à axe horizontal, dont l'axe de rotation est placé horizontalement par rapport au sol. Elles sont montées sur pylône et possèdent un système d'orientation par rapport au vent. Elles ont également deux types de rotation : Lente (multipâles) qui ne servent quasiment qu'au pompage de l'eau et rapide (aérogénérateur) qui sont les plus utilisées pour produire de l'électricité « Les systèmes à trois pales sont les plus répandus ».

L'avantage de ce type d'aérogénérateur est qu'il possède un bon rendement. Le principal inconvénient c'est qu'il est moins résistant aux vents forts que les modèles à axe vertical<sup>[3]</sup>.



Figure 6 : éoliennes classique les plus utilisées à 3 pales

---

### *Conclusion*

Ce chapitre nous a permis d'identifier d'une manière générale l'entité d'accueil l'ONEE-Branche électricité et la division exploitation de FES en particulier, puis nous avons présenté l'énergie éolienne au Maroc, et les différents types des éoliennes.

Dans ce qui suit nous commencerons par une étude théorique de l'éolien, ensuite on va présenter le parc éolien de Tanger 140MW, les caractéristiques de l'aérogénérateur G52-850KW, et la description du poste 33/225KV.

## **Chapitre II**

### *Présentation du parc éolien 140MW Tanger*

*Cette partie du rapport est destinée  
une présentation du parc éolien de  
Tanger, en premier lieu nous allons  
effectuer une étude théorique  
concernant le principe de  
fonctionnement de l'éolienne.  
Ensuite nous allons présenter le parc  
éolien, les caractéristiques des  
aérogénérateurs utilisés, et une  
description du poste 33/225 KV.*

Une éolienne est un dispositif permettant de transformer l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique.

L'énergie éolienne est une forme indirecte de l'énergie solaire. L'absorption du rayonnement solaire dans l'atmosphère engendre des différences de température et de pression qui mettent les masses d'air en mouvement, lorsque deux points de l'espace ont des pressions différentes, l'air circule de l'endroit où la pression est la plus élevée **H (l'anticyclone)** vers celui où la pression est la plus basse **B (la dépression)**.

Les aérogénérateurs de la plate-forme Gamesa G52-850 kW sont équipés d'un rotor à trois pales face au vent et fournissent une puissance nominale de 850 kW. La hauteur de ces aérogénérateurs varie selon leurs emplacements sur le site du parc. On dispose de trois hauteurs 49m, 55m et 65m et avec un diamètre du rotor commun de 52m.



### I- Etude théorique

Sous l'effet du vent, le rotor tourne. Dans la nacelle, l'arbre principal entraîne un alternateur qui produit l'électricité.

La vitesse de rotation du rotor doit être augmentée par un multiplicateur de vitesse comprise entre 900 et 1800 tour/minute, vitesse nécessaire au bon fonctionnement de l'alternateur. Des convertisseurs électroniques de puissance ajustent la fréquence du courant produit par l'éolienne à celle du réseau électrique auquel elle est raccordée (50 Hz). Tout en permettant au rotor de l'éolienne de tourner à vitesse variable en fonction du vent, la tension de l'électricité produite par l'alternateur, de l'arbre de 690 volts, est ensuite élevée à travers un transformateur de puissance, situé à l'intérieur du rotor, jusqu'à un niveau de 33 KV. Ce niveau de tension permet de véhiculer l'électricité produite par chacune des éoliennes d'une centrale éolienne jusqu'à point de raccordement au réseau électrique public (33/225 KV), à travers deux transformateurs élévateurs de 100 MVA, chacun situé dans le poste 33/225 KV adossé au poste MALLOUSSA.

#### 1- Principe de fonctionnement des éoliennes

La fabrication d'électricité par une éolienne est réalisée par la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie électrique. De nombreux étapes sont nécessaires à cette transformation, qui fait appel à des technologies très diverses.

##### 1.1- Chaîne de transformation énergétique

Une éolienne transforme l'énergie du vent en énergie électrique. Cette transformation se fait en plusieurs étapes :

##### a. La transformation de l'énergie par les pales

## Chapitre II : Présentation du parc éolien 140 MW Tanger

Les pales fonctionnent sur le principe d'une aile d'avion : la différence de pression entre les deux faces de la pale crée une force aérodynamique, mettant en mouvement le rotor par la transformation de l'énergie cinétique du vent en énergie mécanique.

### b. L'accélération du mouvement de rotation grâce au multiplicateur

Les pales tournent à une vitesse relativement lente, de l'ordre de 14,6 à 30,8 tours par minute, d'autant plus lente que l'éolienne est grande. La plupart des générateurs ont besoin de tourner à très grande vitesse (de 900 à 1800 tours/minute) pour produire de l'électricité .c'est pour cela le mouvement lent du rotor est accéléré par un multiplicateur.

### c. La production d'électricité par le générateur

L'énergie mécanique transmise par le multiplicateur est transformée en énergie électrique par le générateur. Le rotor du générateur tourne à grande vitesse et produit de l'électricité à une tension d'environ 690 V.

### d. Le traitement de l'électricité par le convertisseur et le transformateur

Cette électricité ne peut pas être utilisée directement, elle est traitée grâce à un convertisseur, puis sa tension est augmentée à 33 KV par un transformateur.

L'électricité est alors acheminée à travers un câble enterré jusqu'à un poste de transformateur, pour être injectée sur le réseau électrique, puis distribuée aux consommateurs les plus proches.

## 1.2- Théorie de Betz

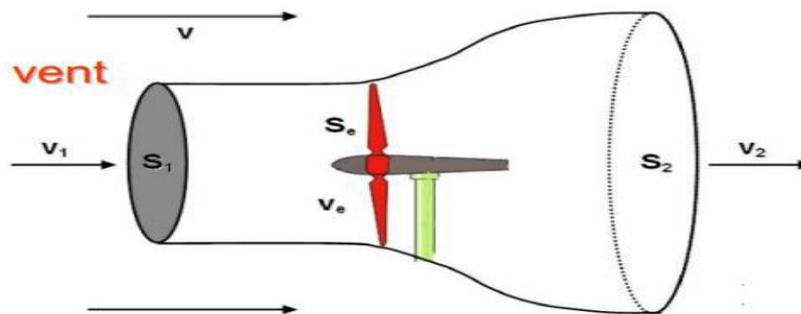


Figure 7 : rotor d'une éolienne dans un courant d'air

Lorsque le vent souffle, son mouvement lui donne une certaine énergie appelé énergie cinétique. Pour un cylindre de section S, la puissance du vent est :

$$P_{\text{cinétique}} = \frac{\rho \cdot S \cdot V^3}{2}$$

L'éolienne ne peut récupérer qu'une partie de cette puissance. Théoriquement, le rendement maximal est :

$$P_{\text{max}} = \frac{16}{27} \cdot P_{\text{cinétique}} [3]$$

## Chapitre II : Présentation du parc éolien 140 MW Tanger

La courbe du graphique ci-dessous est appelée la courbe de puissance. Elle donne la puissance fournie par l'éolienne en fonction de la force du vent. On voit qu'en dessous de 3 m/s (10,8 km/h) l'éolienne ne produit rien : le vent est trop faible. Et au-delà de 25m/s (90km/h) l'éolienne ne produit plus car le vent est trop fort et risque de l'endommager [3].

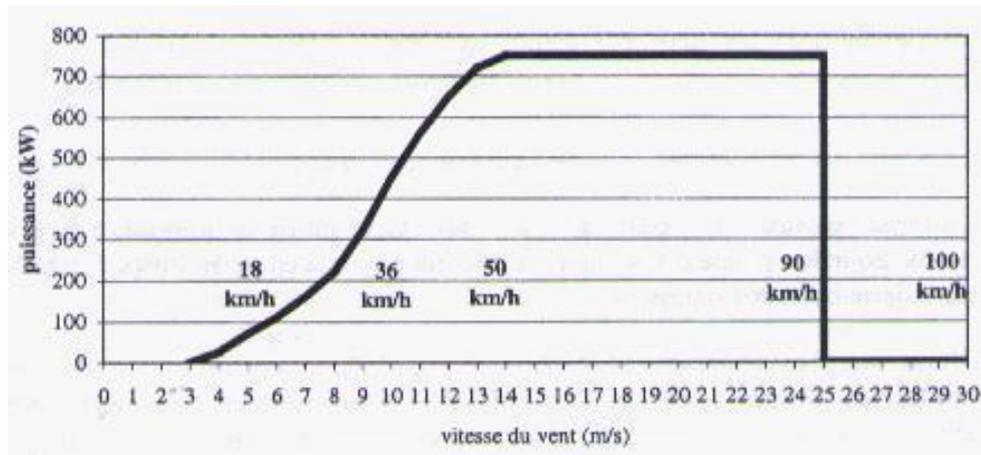


Figure 8 : Courbe de puissance

## II- Emplacement du projet

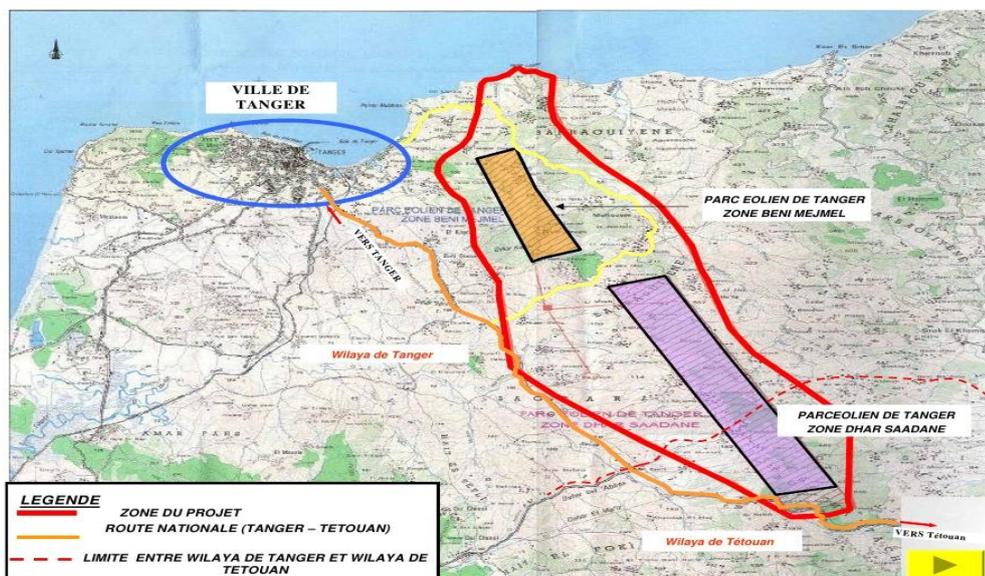


Figure 9 : Plan du parc

Situé à 22 km au sud-est de Tanger, sur une crête montagneuse chevauchant sur Dhar Saadane « zone 1 » (3400ha : 17kmx2 km) et Beni Mejmél « zone 2 » (1500ha : 7,5km x 2km), ce parc éolien d'une puissance de 140MW et d'une productibilité moyenne annuelle de 510 GWh, permettra les renforcements des moyens de production d'origine éolienne et du réseau d'interconnexion de la région du Nord.

## Chapitre II : Présentation du parc éolien 140 MW Tanger

Le projet était réalisé par l'ONEE tant que maître d'ouvrage qui assurera son exploitation, tandis que sa construction était confiée au groupe espagnol **GAMESA-EOLICA** retenu après appel à la concurrence.

Ce projet s'intègre dans le cadre de la stratégie énergétique nationale visant la diversification des sources d'approvisionnement, la promotion des énergies renouvelables et la réduction de la facture énergétique.

Il est développé sur deux zones :

- La première est située à Dhar Saadane, étalée sur une superficie de 3400 ha avec 126 éoliennes et une puissance installée de 107 MW.
- La seconde est située à Beni Mejmél, étalée sur une superficie de 1500 ha avec 39 éoliennes et une puissance installée de 33 MW.

Ce projet entre dans le cadre du mécanisme pour un développement propre (MDP) conformément à la politique de l'ONEE visant le développement des énergies propres et la réduction des émissions des gaz à effet de serre. Ce projet permet d'éviter l'émission de 470.000 tonnes par an de CO<sub>2</sub>, et d'économiser 120.000 de fioul par an.

Le projet nécessite une enveloppe budgétaire estimée à 2,75 Milliards de dirhams. Son financement est assuré par la Banque Européenne d'Investissement à hauteur de 80 millions d'euros, la banque allemande KfW avec 50 millions d'euros, un financement espagnol de 100 millions euros et des fonds propres à l'ONEE.

### III- Description aérogénérateurs de plate-forme G52-850KW

Les aérogénérateurs de la plate-forme sont régulés par un système de changement de pas collectif par actionnement hydraulique de pale et avec un système d'orientation actif. Le système de contrôle permet de faire fonctionner l'aérogénérateur à une vitesse variable en optimisant en permanence la puissance produite et en minimisant les charges et le bruit.

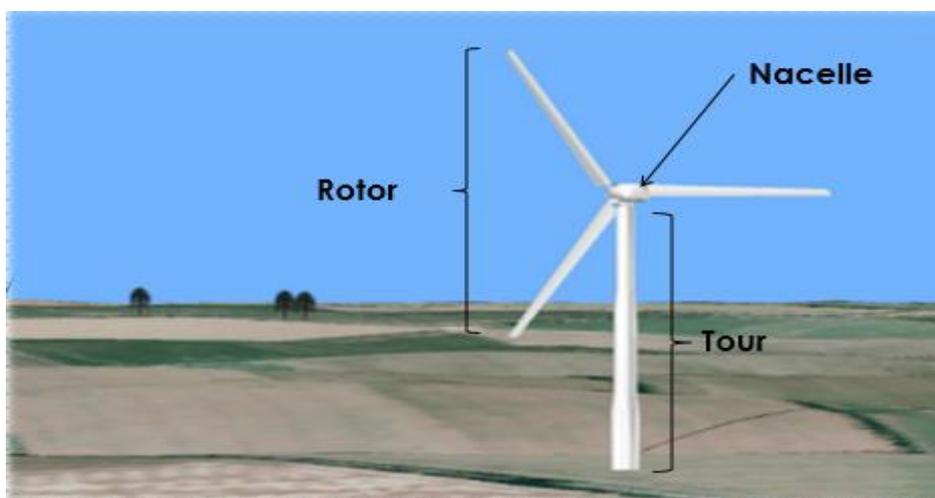


Figure 10 : Les éléments d'une éolienne G52-850KW

## Chapitre II : Présentation du parc éolien 140 MW Tanger

Une éolienne est composée de 3 parties la tour, la nacelle, et le rotor

### 1- La nacelle

La Nacelle est le logement contenant les machines, placée dans la partie supérieure de la tour de l'aérogénérateur.

Elle est composée des éléments suivant :

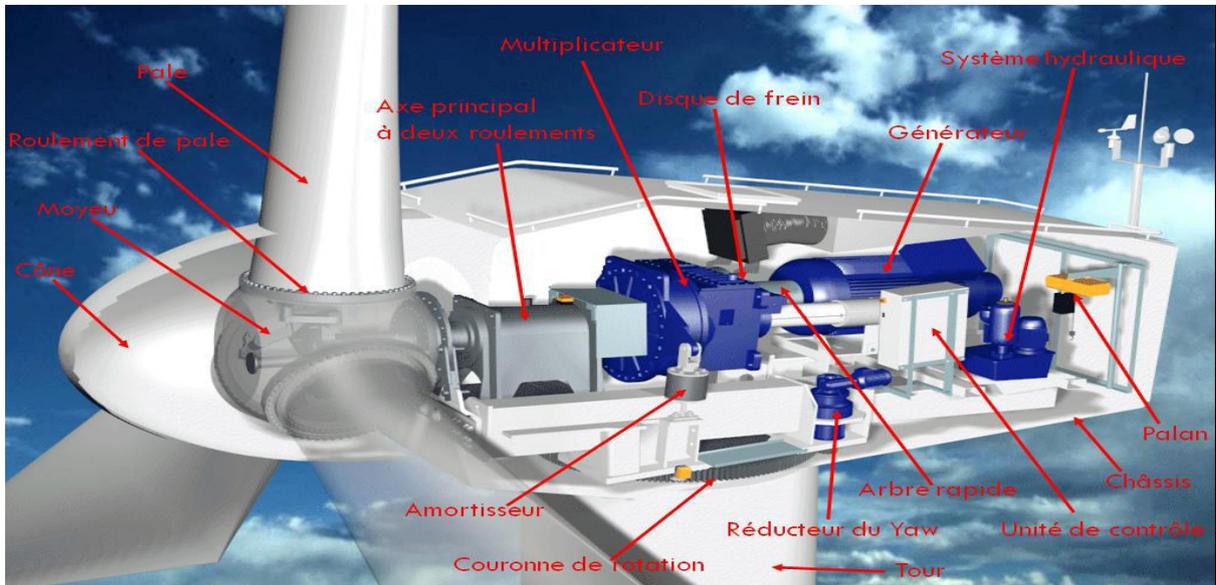


Figure 11 : Présentation technique de la nacelle G52-850KW

#### 1.1- Carénage

Le carénage est l'enveloppe qui protège les composants de l'aérogénérateur qui se trouvent dans la nacelle face aux agents météorologiques et aux conditions environnementales externes. Il est composé d'une pièce inférieure, de deux latérales planes, d'une pièce arrière et d'une toiture. Son matériau est un polymère synthétique renforcé par la fibre de verre.



Figure 12 : Carénage

#### 1.2- Châssis

Il se divise en trois parties :

- Le châssis avant est une pièce fondue où se fixent l'arbre principal, le multiplicateur, le groupe hydraulique et le système de rotation.
- Le châssis arrière est composé de 2 poutres mécano soudées indépendantes, vissées chacune à l'arrière du châssis avant. Elles soutiennent le générateur, le palan et l'armoire Top.

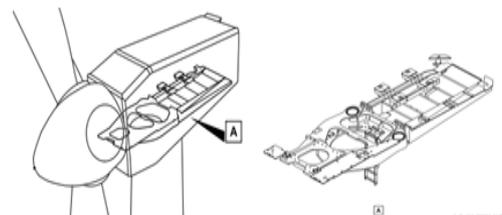


Figure 13 : vue générale et localisation du châssis dans la nacelle

### 1.3- Arbre principal

Le couple moteur que produit le vent sur le rotor se transmet jusqu'au multiplicateur à travers l'axe principal. L'arbre est raccordé au moyeu avec une bride vissée. La jonction avec l'entrée de basse vitesse du multiplicateur est obtenue par une bride conique de serrage qui transmet le couple par friction.

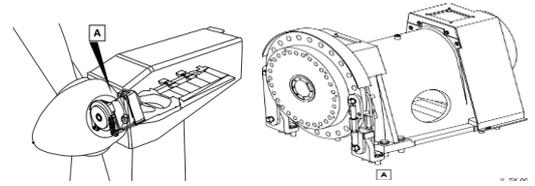


Figure 14 : vue générale et localisation de l'arbre principal dans la nacelle

### 1.4- Multiplicateur

Il transmet la puissance de l'arbre principal au générateur. La denture du multiplicateur est conçue de manière à obtenir une efficacité maximale avec un niveau réduit d'émission de bruit.

L'arbre rapide est relié au générateur grâce à un branchement flexible.

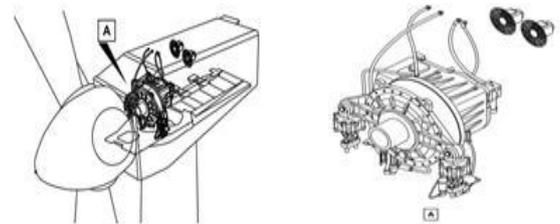


Figure 15 : vue générale et emplacement de multiplicateur dans la nacelle

Le multiplicateur a un système de lubrification principal avec un système de filtrage d'huile associé à l'arbre principal. L'huile est refroidie dans un radiateur grâce à l'air extérieur. Son moto ventilateur s'active en fonction des besoins d'échange de chaleur.

### 1.5- Système de freinage

Le frein primaire de l'aérogénérateur est aérodynamique par la mise en drapeau des pales.

Le frein mécanique secondaire est un frein à disque, activé hydrauliquement et qui est monté à la sortie de l'arbre rapide du multiplicateur. Son utilité principale est d'appliquer le frein de stationnement empêchant le démarrage de la rotation une fois à l'arrêt.

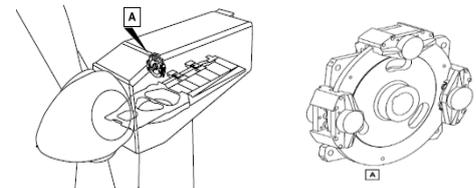


Figure 16 : Vue générale et emplacement du frein dans le multiplicateur

### 1.6- L'arbre rapide

L'arbre rapide transmet la rotation de l'arbre de sortie du multiplicateur au générateur.

L'arbre rapide tourne à environ 1500 tours par minute et entraîne la génératrice électrique. L'arbre rapide est l'inverse de l'arbre lent, c'est-à-dire que le moment après être passé dans le multiplicateur voit son couple diminué mais sa vitesse augmenté pour l'alternateur.



Figure 17 : arbre rapide

### 1.7- Le générateur

Le générateur est de type asynchrone, avec 4 pôles, il est doublement alimenté avec un rotor bobiné et des bagues collectrices.

La fonction du générateur est de générer de l'électricité à partir des mouvements rotatifs de l'arbre. Il est constitué d'un rotor (partie tournante) et d'un stator (partie fixe), l'électricité produite par la génératrice correspond à un courant alternatif de fréquence 50 Hz avec une tension de 400 à 690 V.

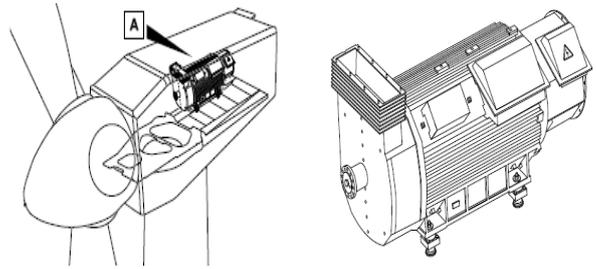


Figure 18 : Vue générale et emplacement du générateur dans la nacelle

### 1.8- Système d'orientation (YAW)

Le système d'orientation permet la rotation de la nacelle autour de l'arbre de la tour.

Les fonctions principales du système de YAW sont :

- Permettre la rotation de la nacelle face à l'écoulement du vent.
- Maintenir la position de la nacelle par rapport au vent incident.
- Permettre de faire une rotation contrôlée de la nacelle lors des opérations de maintenance.

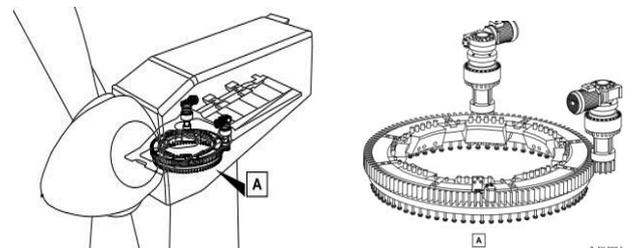


Figure 19 : Vue générale et emplacement du système d'orientation (YAW) dans la nacelle

### 1.9- Système hydraulique

Le système hydraulique fournit le débit d'huile à la pression nécessaire (entre 180 et 200 bar) pour l'actionnement :

- Du système de changement de l'angle de pas de la pale.
- Du frein du système d'orientation
- Du frein mécanique de l'arbre rapide.

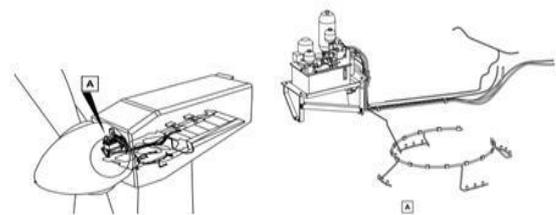


Figure 20 : Vue générale et emplacement du système hydraulique dans la nacelle

### 1.10- Armoires électriques

L'éolienne contient deux armoires électriques :

- **Système de contrôle GROUND**

C'est un système de basse tension, et il se trouve à la base de la tour. Il réalise les fonctions suivantes :

- Le contrôle de la puissance active et réactive produites par l'aérogénérateur ainsi que la distribution de l'alimentation pour les actionneurs électriques présents sur l'aérogénérateur.

## Chapitre II : Présentation du parc éolien 140 MW Tanger

- La protection du personnel éventuellement présent sur l'aérogénérateur contre les défauts et erreurs de manipulation de l'armoire elle-même ou du reste de l'installation électrique protégée par celle-ci.
- La protection de l'aérogénérateur et des équipements présents à l'intérieur contre les défauts sur le Réseau Électrique.

L'armoire Ground contient 2 systèmes intelligents reliés entre eux afin de réaliser leurs fonctions auprès de l'aérogénérateur :

- 1 convertisseur de puissance avec son système de contrôle (CCU et CPU).
- 1 PLC pour contrôler l'aérogénérateur.

- **Armoire électrique TOP :**

Elle est de basse tension et se trouve dans la nacelle, et réalise les fonctions suivantes :

- Le contrôle de tous les capteurs et actionneurs électriques présents sur la nacelle de l'aérogénérateur, elle permet aussi la communication avec l'armoire Ground.
- Le logement de la connexion des câbles de puissance provenant du stator du générateur et de ceux de branchement de l'armoire TOP-GROUND de la partie statorique.
- La protection du personnel (et des appareils) éventuellement présents sur l'aérogénérateur contre les défauts et erreurs de manipulation de l'armoire TOP elle-même ou du reste de l'installation électrique protégée par le TOP.

### 2- Rotor

Le rotor de l'aérogénérateur est un rotor à trois pales raccordées à un moyeu sphérique par l'intermédiaire des roulements de pale.

Il est constitué des éléments suivants :

#### 2.1- Les pales

Les pales des aérogénérateurs sont fabriquées dans un matériau constitué de matrice organique avec un renfort en fibre de verre. Elles ont un système de changement de pas sur leur envergure complète qui leur permet de maximiser la production énergétique, réduire les charges avec la réduction conséquente de poids et réduire le bruit émis.

La longueur des pales est de 25,3 m (Gamesa G52-850 kW).

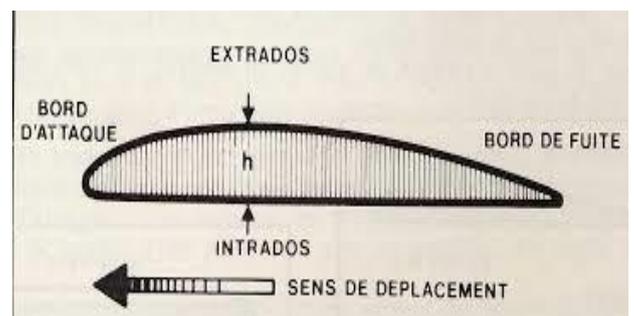


Figure 21 : les composants des pales

#### 2.2- Cône

Le cône est fabriqué dans un matériau composé de fibre de verre et de polyester, il sert à protéger le moyeu et les roulements de pale des conditions ambiantes.

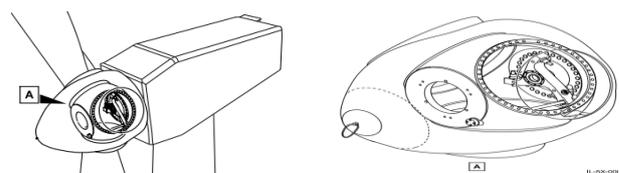


Figure 22 : vue générale et emplacement du cône sur l'aérogénérateur.

### 2.3- Le moyeu

Le moyeu raccorde les pales avec l'arbre lent de la machine, il a pour rôle de supporter les pales autour de leur axe. Il permet aussi d'orienter les pales de l'éolienne pour réguler la vitesse de rotation.

### 2.4- Roulement de pale

Les roulements de la pale relient la pale au moyeu et permettent le mouvement de changement de pas de celle-ci.

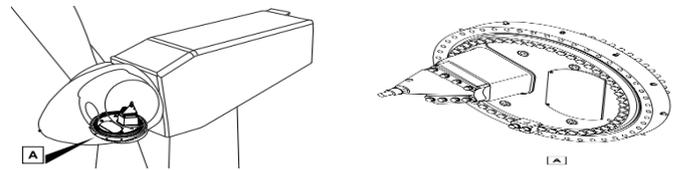


Figure 23 : vue générale et emplacement du système de roulement de pale dans le rotor.

### 2.5- Système de changement de pas (pitch)

Le système de changement de pas est de type collectif actionné hydrauliquement, c'est-à-dire qu'un seul cylindre hydraulique fait tourner les trois pales à la fois, et fournit une capacité de rotation de  $-5^\circ$  à  $90^\circ$ .

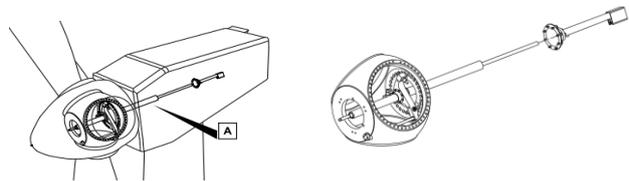


Figure 24 : vue générale et emplacement du système de changement de pas (pitch) dans le rotor.

### 2.6- Système de protection contre la foudre

Les aérogénérateurs sont protégés contre la foudre grâce à un système conducteur qui recueille les décharges électriques via des récepteurs situés sur la pale. Il transmet les décharges par un câble de cuivre qui est installé longitudinalement le long de la pale, jusqu'à sa base. La foudre passe à travers la structure de la nacelle et de la tour jusqu'à la terre.

## 3- Tour et fondation

### 3.1- Tour

La tour de l'aérogénérateur est tubulaire en acier, de forme tronc-conique, formée de deux ou trois sections modulaires démontables, selon la hauteur totale. Elle inclut des plates-formes intérieures, une échelle d'accès intérieure et un éclairage de service d'urgence. Elle abrite à sa base la cellule de moyenne tension ainsi que le transformateur.

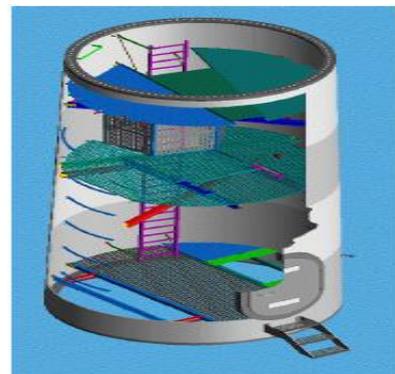


Figure 25 : vue du tronçon inférieur de la tour

### 3.2- Fondation

Les fondations standard sont de type dalle avec bride d'attache. Elles sont calculées en supposant des charges certifiées et un terrain standard. Si les hypothèses utilisées varient, les valeurs définies ne seront pas valables et il sera nécessaire de réexaminer les fondations.



Figure 26 : Armature et Bétonnage de la fondation

## 4- Transformateur et Cellule Moyenne Tension

### 4.1- Transformateur

De type triphasé, sec encapsulé, il est le produit 33kV et une puissance apparente spécifiée de 1 000 kVa.

Le transformateur se trouve sur la partie inférieure de la tour, sur une plate-forme grillagée à environ 5 mètres de la base de la tour.

### 4.2- Cellule de Moyenne Tension

La configuration électrique de l'aérogénérateur G52 de Gamesa Eolica nécessite l'installation d'une cellule de moyenne tension. Ce composant ne dépend généralement pas de Gamesa Eolica.

La cellule recommandée est de type interrupteur et fusible et elle devra s'adapter à la gamme de tension de transformation.

Il existe trois types de configurations de cellule en fonction de l'emplacement de l'aérogénérateur :

- ✓ De ligne
- ✓ De bifurcation
- ✓ Fin de ligne

## 5- Les Capteurs

Les aérogénérateurs de la plate-forme Gamesa G52-850 kW sont équipés de plusieurs capteurs qui contrôlent de manière permanente différents paramètres.

Les différents capteurs qu'on trouve dans une éolienne sont :

### 5.1- Capteurs de vent

L'aérogénérateur dispose d'un système de mesure de vitesse et de direction du vent afin d'améliorer la disponibilité. Il s'agit d'un anémomètre à coupelles et d'une girouette. Ils se trouvent à l'extérieur de la carcasse sur la partie arrière.

### 5.2- Capteurs thermiques

Situés sur les différents composants principaux de l'aérogénérateur (bobinages du stator du générateur, roulements du générateur, huile du multiplicateur, huile du groupe hydraulique, ainsi que les bobinages du transformateur).

### 5.3- Autres capteurs

-Capteurs de niveau : de l'huile du multiplicateur et de la centrale hydraulique.



- Capteurs de pression** : pour connaître les valeurs sur plusieurs points du système hydraulique.
- Capteurs de sécurité** : comme verrouillages cellule moyenne tension - transformateur, compte-tours nacelle, câbles enroulés, vitesse du rotor, etc.
- Capteurs inductifs** : de vitesse du rotor, de position du pitch <sup>[19]</sup>.

### IV- Poste 33/225KV

Le poste de transformation a pour rôle de transformer la tension des circuits des arrivées des éoliennes de 33KV à 225 KV pour débiter cette tension dans le poste de transport Malloussa. Le poste assure la protection de ces différents équipements contre tous types de menaces tels le risque d'incendie, risques électriques, etc....

La connexion du parc au réseau national est assurée par deux transformateurs THT/MT (100 MVA, 33/225KV).

Le poste compose plusieurs équipements électriques pour assurer son propre but.

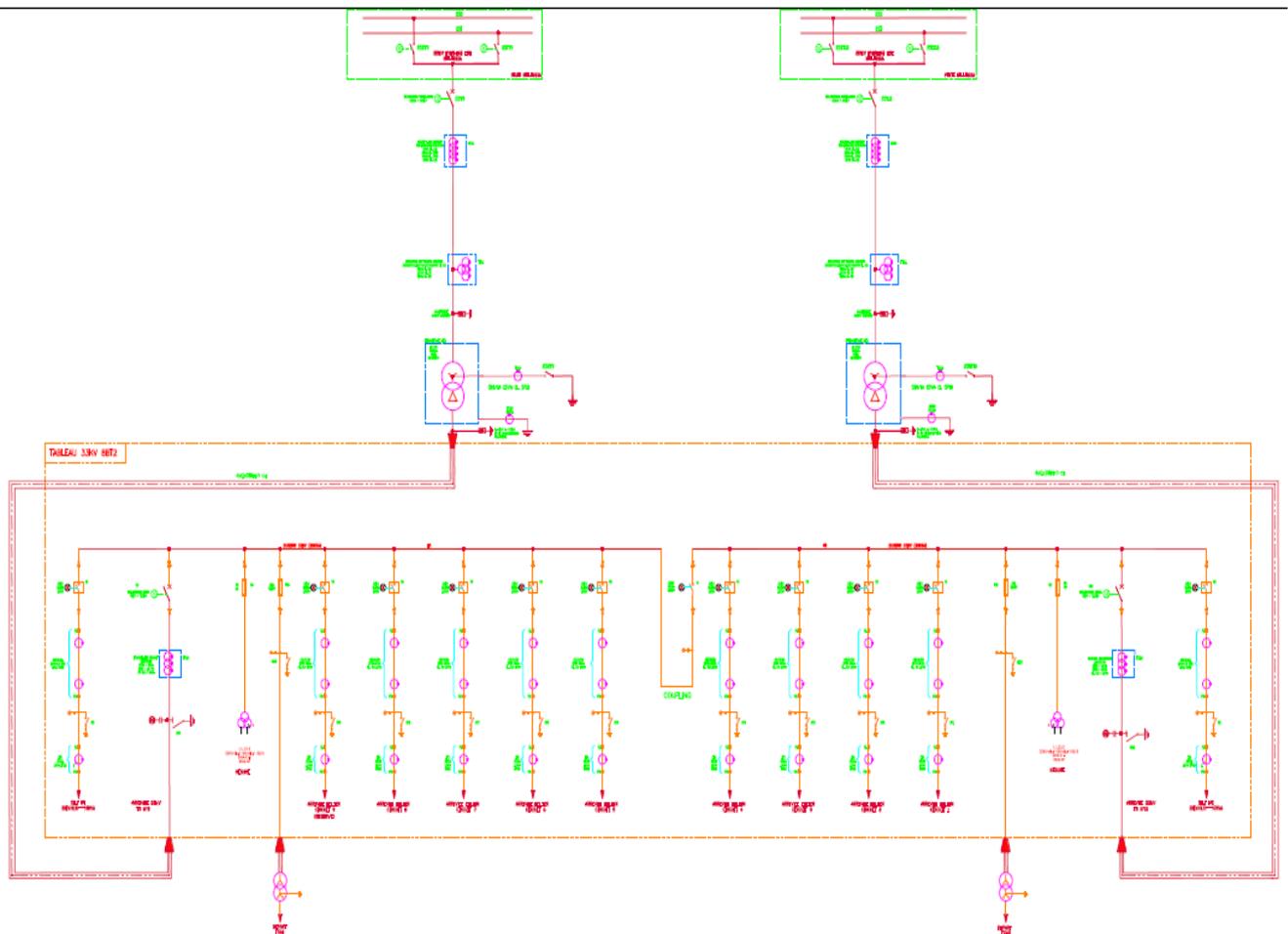


Figure 27 : Schéma du poste 33/225KV

### 1- Transformateur de puissance 100MVA

Le poste 33/225 KV contient deux transformateurs qui servent à transformer la tension d'une valeur de 33KV à une valeur de 225KV. Ces deux derniers possèdent un système de refroidissement qui comprend un radiateur et deux ventilateurs.

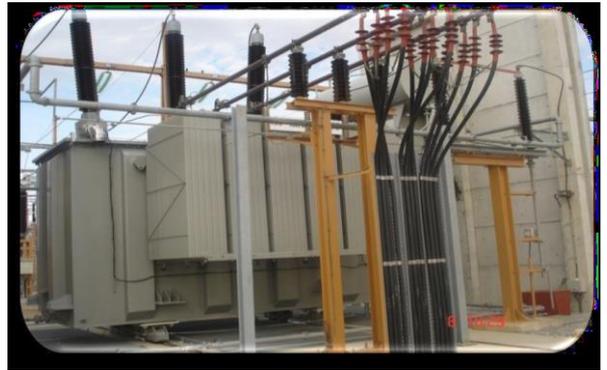


Figure 28 : transformateur de puissance 100 MVA

### 2- Disjoncteur de travée 225KV

Un disjoncteur est un dispositif électromécanique de protection dont la fonction est d'interrompre le courant électrique en cas d'incident sur un circuit électrique. Il est capable d'interrompre un courant de surcharge ou un courant de court-circuit dans une installation. Suivant sa conception ; il peut surveiller un ou plusieurs paramètres d'une ligne électrique. Sa principale caractéristique par rapport au fusible est qu'il est prévu pour ne subir aucune avarie lors de son fonctionnement.



Figure 29 : disjoncteur de travée

### 3- Transformateur de tension

Ce transformateur est l'un des moyens pour mesurer des tensions alternatives élevées. Il s'agit d'un transformateur qui a la particularité d'avoir un rapport de transformation étalonné avec précision, mais prévu pour ne délivrer qu'une très faible charge au secondaire, correspondant à un voltmètre. Le rapport de transformation permet de mesurer des tensions primaires s'exprimant en kilovolts. On le rencontre en THT.



Figure 30 : transformateur de tension

### 4- Transformateur du courant

C'est un appareil utilisé pour la mesure de forts courants électriques. Il sert à faire l'adaptation entre le courant élevé circulant dans le circuit et l'instrument de mesure. Il possède une spire au primaire, et plusieurs spires secondaires. Le rapport de transformation permet l'usage d'un ampèremètre classique pour mesurer l'intensité au secondaire.



Figure 31 : transformateur du courant

### 5- Transformateur des services auxiliaires (TSA)

Ce transformateur permet de transformer la tension de 33KV en une tension de 400V pour alimenter les auxiliaires de poste qui utilisent les tensions de 400V et 220V.

Il existe deux transformateurs, en cas d'un défaut au niveau d'un transformateur l'autre le remplace pour maintenir l'alimentation des auxiliaires



Figure 32 : transformateur des services auxiliaires

### 6- Réactance

Dans le poste il existe deux réactances chaque une est constituée de trois enroulements pour contrôler et commander la production de l'énergie réactive débitée dans le réseau selon les besoins et pour améliorer la qualité d'énergie produite par le parc.



Figure 33 : Réactance

### 7- Parafoudre

En générale le parafoudre est un dispositif de protection des appareillages électriques agit contre les foudres.



Figure 34 : Parafoudre

### 8- Cellule du circuit arrivée éolienne

Cette cellule est constituée d'un disjoncteur de protection qui fait le raccordement entre le jeu de barre 33KV et le circuit éolien, les éléments de contrôle, de commande et de mesure. Dans le cas normal le circuit éolien débite une puissance fournie par les éoliennes dans le jeu de barre mais il se peut aussi que les éoliennes soient alimentées par le jeu de barre.

Dans le poste il existe 8 cellules pour les circuits d'arrivées éoliennes et une de réserve.



Figure 35 : Cellule du circuit d'arrivée

### 9- Cellule de réactance

Cette cellule est constituée d'un disjoncteur qui fait la protection et la connexion entre le jeu de barre 33KV et le réacteur.



Figure 36 : Cellule de réactance

### 10- Cellule de mesure

Cette cellule est constituée d'un fusible de protection et d'un transformateur de tension qui transforme la tension nominale 33KV en une faible valeur de 100V pour la protection et la mesure du jeu de barre 33KV.



Figure 37 : Cellule de mesure

### 11- Cellule du départ TSA (Transformateur de service auxiliaire)

Cette cellule est constituée d'un fusible de protection, elle fait le raccordement entre le jeu de barre de 33 KV et le TSA pour alimenter les auxiliaires alternatifs du poste.



Figure 38 : Cellule de départ TSA

### 12- Cellule de l'arrivée transfo 33/225KV

La cellule sert pour la protection et la liaison entre le jeu de barre et l'arrivée du transformateur 33KV, composée d'un disjoncteur 2500A avec commande à distance et commande manuel, un transformateur de courant et d'autres éléments de contrôle et protection pour protéger la cellule contre les risques électriques.



Figure 39 : Cellule de l'arrivée transfo 33/225KV

## V- Systèmes de supervision du parc

Le parc éolien de Tanger comprend en plus des 165 aérogénérateurs et du poste de transformation 33/225KV, un bâtiment de service. On trouve dans ce dernier, une salle de commande qui permet de superviser, contrôler et commander tous les équipements du parc. Et cela à travers de deux logiciels, le SCADA pour la supervision et la télésurveillance des aérogénérateurs, et le SICAM pour la supervision et télécontrôle du poste 33/225KV.

### 1- Système SICAM

Le système SICAM est une solution de contrôle commande, convient à la conduite du poste électrique à partir d'un ordinateur de poste (Station Unit), de même qu'en combinaison avec d'autres SICAM.

La communication entre ordinateurs est basée sur la technologie standard et performante : Réseau LAN Ethernet.

Dans le parc éolien de Tanger, le système est utilisé pour la supervision du poste électrique 33/225KV, et il réalise les fonctions suivantes :

- Permettre au personnel de conduite du poste d'optimiser les activités de conduite et de surveillance, et d'accéder rapidement à l'objet et donne une vue rapide des états des organes du poste électrique.

- Contrôler et enregistrer toutes les données des équipements du poste, grâce aux Protocoles de communication qu'il supporte.

- Offrir des fonctions intégrées de test et diagnostic.
- Simplifier l'installation et le paramétrage des équipements, grâce à son interface utilisateur intuitive.

### 2- Système SCADA « Système de Contrôle et Acquisition de Données »

Le système SCADA se compose d'une série d'équipement (HW) et d'une série d'application ou service (SW).

Le Système de Gestion Intégré des Parcs Eoliens (SGIPE) est un développement du SCADA commercial Citect, il réalise les fonctions suivantes :

#### ☞ Fonctions principales :

- Visualiser et garder les états des aérogénérateurs.
- Réaliser les commandes de marche, pause.
- Visualiser et garder les alarmes.
- Visualiser et garder graphiques de tendance des valeurs des aérogénérateurs.
- Visualiser et garder les valeurs de production et disponibilité.
- Visualiser les graphiques de comparaison des aérogénérateurs.

#### ☞ Fonctions additives :

- Alarmes, données des graphiques de tendances.
- Un enregistrement de données chaque dix minutes.
- Montrer et garder les données de la Station Météorologique.
- Commander des ordres.
- Régulation de la Puissance Active du Parc Éolien.
- Régulation de la Puissance Réactive du Parc Éolien.
- Un contrôle de bruit du Parc Éolien.
- Mettre en marche progressif du Parc Éolien ou des quelques aérogénérateurs.
- Synchronisation de l'heure du PLC du Parc Éolien <sup>[19]</sup>.

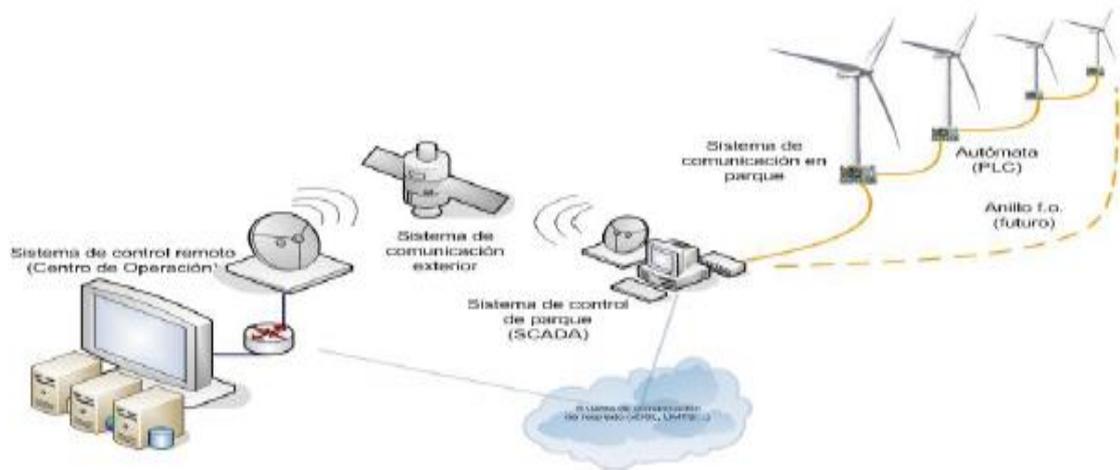


Figure 40: Système contrôle SCADA

## *Conclusion*

Dans ce chapitre, nous avons présenté le parc éolien de Tanger 140MW, les caractéristiques de l'aérogénérateur G52-850KW et une description du poste 33/225KV, ainsi une étude théorique sur le principe de fonctionnement de l'éolienne.

Le chapitre suivant concerne une étude de la maintenance actuelle, et son analyse critique.

## **Chapitre III**

### *Généralité sur la maintenance des éoliennes du Parc éolien 140 MW Tanger*

*Pour mettre en situation critique de notre projet, on va commencer par une description générale de la maintenance actuelle, puis déduire son analyse critique.*

La maintenance regroupe les actions de dépannage et de réparation, de réglage, de révision, de contrôle et de vérification des équipements matériels ou même immatériel.

Un service de maintenance peut également être amené à participer à des études d'amélioration du processus industriel, et doit prendre en considération de nombreuses contraintes comme la qualité, la sécurité, l'environnement, le coût, etc.

Le service maintenance doit mettre en œuvre la politique de maintenance définie par la direction de l'entreprise ; cette politique devant permettre d'atteindre le rendement maximal des systèmes de production. Tous les équipements n'ont pas le même degré d'importance Il faut donc définir des stratégies Les mieux adaptées.

Vu qu'il est essentiel que les éoliennes soient performantes et pérennes. Donc pour accompagner ces projets de long terme, il faut absolument mettre en place une stratégie pour l'exploitation de la maintenance du parc éolien afin de garder la maîtrise totale de la production.

L'entretien d'un parc éolien met en jeu plusieurs prestations de maintenance. Dans le cas du parc éolien de Tanger, la maintenance est effectuée par la société sous-traitante GAMESA qui a effectué également l'installation du parc.

## I- Description de la maintenance

### 1- Types de maintenance du parc éolien

Il existe deux types de maintenance d'un parc éolien :

- **La maintenance préventive :** Elle a pour but de réduire les coûts d'interventions. En effet, grâce à la maintenance préventive, les arrêts de maintenance sont programmés et optimisés afin d'intervenir sur les pièces d'usure avant que n'intervienne une panne.
- **La maintenance corrective :** ce type de maintenance est aléatoire car elle dépend du degré de l'importance de la panne. Elle comprend :

- Les travaux de correction mineurs.
- Les travaux de correction majeurs.

Les travaux de correction les plus courants sont :

- Remplacement du motoréducteur.
- Remplacement du cylindre hydraulique.
- Remplacement des accumulateurs



Figure 41 : Technicien réalise la maintenance préventive



Figure 42 : Technicien réalise la maintenance corrective

- Remplacement des plaquettes de frein.
- Alignement du générateur.
- Remplacement des éléments filtrants.

### 2- Maintenance du rotor

#### 2.1- Maintenance des pales

##### a- Consignes de maintenance préventive

Le Tableau ci-dessous présente le programme de maintenance préventive de la pale.

COMPOSANT	OPERATION	Jusqu'à 2 ans après la mise en service	Après 2 ans de mise en service
		Contrôles	Intervalle
Pale	Inspection visuelle	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Pale	Inspection visuelle en hauteur	Tous les 3 ans	
Pale	Notification d'anomalies	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Raccords vissés	Inspecter le couple de serrage	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Butées d'équilibrage	Vérifier l'absence de rupture ou de décollement	6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois

Tableau 4 : programme de maintenance préventive des pales

##### b- Consigne de maintenance corrective

###### • Remplacement du rotor

S'il est nécessaire de remplacer le rotor, il faudra le plus d'opérations de montage possible du nouveau rotor avant de descendre celui endommagé, de sorte qu'une fois ce dernier démonté, le nouveau rotor soit installé dans les plus brefs délais possibles.

#### 2.2- Maintenance du cône

##### a. Consignes de maintenance préventive

Le Tableau ci-dessous présente le programme de maintenance préventive du cône.

Composant	Opération	Jusqu'à 2 ans après la mise en service	Après 2 ans de mise en service
		Contrôles	Intervalle
Support du cône	Contrôle des vis	3/6/12/18/24 mois	Semestrielle
Colliers	Contrôle du serrage	6/12/18/24 mois	Semestrielle
Cône	Vérifier	6/12/18/24 mois	Semestrielle
Fibre de verre	Contrôle des vis	3/6/12/18/24 mois	Semestrielle

Tableau 5 : programme de maintenance préventive du cône

##### b. Consignes de maintenance corrective

Au cas où la maintenance d'un composant de ce système s'avérerait nécessaire, les techniciens de maintenance doivent contacter le bureau technique de GAMESA EOLICA SERVICIOS qui se charge d'effectuer cette opération.

### 3- Maintenance de la nacelle

#### 3.1- Maintenance du système de rotation

##### a. Consignes de maintenance préventive

Le programme de maintenance préventive du système de rotation est indiqué dans ces deux tableaux :

Élément	Opération	Jusqu'à 2 ans après la mise en service	Après 2 ans de mise en service
		Contrôles	Intervalle
Dents Couronne de rotation	Lubrifier	6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Vis de fixation des secteurs de la couronne	Vérifier le couple de serrage	6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Coussinet de rotation (Plaques de glissement axial et radial)	Lubrifier	6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Garniture Ferodo à mâchoire active	Vérification de l'épaisseur	12/24 mois	Annuel
Mâchoire active	Détection de fuites	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Plaques PETP à mâchoire passive	Vérification de l'épaisseur	12/24 mois	Annuel
Plaques de glissement radial	Vérification de la mesure	12/24 mois	Annuel
Plaques de glissement axial	Vérification de la mesure	12/24 mois	Annuel

Tableau 6 : programme de maintenance préventive du système de rotation à 4 mâchoires actives et 4 mâchoires passives

Élément	Opération	Jusqu'à 2 ans après la mise en service	Après 2 ans de mise en service
		Contrôles	Intervalle
Motoréducteur	Vérification de l'état	6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Vérification des vis d'assemblage moteur et réducteur ISO 4017 M8x25 8.8 Dacromet 500A	6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Vérification des vis d'assemblage tête et corps DIN 6921 M10x25 8.8 Dacromet 500A	6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Vérification des vis d'assemblage motoréducteurs sur châssis ISO 4762 M16x140 10.9 Dacromet 500A	6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Vérification des fuites des bagues-joints inférieures	6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Vérification du niveau d'huile	12/24 mois	Annuel
	Vérification de l'usure des disques de frottement	12/24 mois	Annuel

Tableau 7 : programme de maintenance préventive du motoréducteur

### **b. Consignes de maintenance corrective**

Les opérations de maintenance corrective définies pour le système de rotation sont :

- Remplacement des éléments du motoréducteur.
- Remplacement des plaques de glissement radial et horizontal.
- Remplacement des garnitures et des joints du système de frein.
- Remplacement de la couronne.
- Remplacement des mâchoires actives, passives et hybrides.
- Remplacement de la plaque de glissement PETP horizontal.

## **3.2- Multiplicateur**

### **a. Consignes de maintenance préventive**

S'il y a des fuites, après les avoir localisées, bien nettoyer toutes les surfaces de travail et d'appui avant de commencer un travail à fin de réduire le risque de glissade et de chute. Pendant la maintenance préventive du multiplicateur, procéder à une inspection visuelle ainsi qu'une révision de tous les composants principaux et élémentaire à fin d'assurer un fonctionnement correct à cet élément fondamental de l'aérogénérateur.

La maintenance préventive du multiplicateur comprend les tâches suivant :

- Inspection des fuites.
- Vérification de l'indicateur magnétique, du niveau, de l'état et du bouchon de vidange d'huile.
- Changement d'huile.

- Vérification du filtre à air, les vibrations, les bruits lors du fonctionnement.

Élément	Opération	Jusqu'à 2 ans après la mise en service	Après 2 ans de mise en service
		Contrôles	Intervalle
Bras de couple / amortisseurs	Contrôle visuel	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Vérifier couple de serrage	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Contrôle visuel des boulons	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Vérification de l'usure des rotules	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Bride du multiplicateur	Vérifier le couple de serrage ou l'absence de fuites	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Vérifier la peinture	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Multiplicateur	Inspection visuelle : usure des composants	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Inspection de fuites	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Indicateur magnétique	Vérification de l'état	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Huile du multiplicateur	Vérifier le niveau	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Vérification de l'état	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Prise d'échantillon	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Vérifier le bouchon de vidange	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Remplacer	Tous les 2 ans (huile minérale) Tous les 3 ans (huile synthétique)	
Filtre à air	Vérification de l'état	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Remplacement	Si nécessaire et tous les 6 mois dans le cas de la machine pour MILIEUX DÉSERTIQUES	
Multiplicateur	Vérifier les vibrations	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Vérification de bruits lors du fonctionnement	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Vérifier le jeu dans le fuselage	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois

Tableau 8 : programme de maintenance préventive du multiplicateur

Le système de refroidissement est aussi important. Pour vérifier le fonctionnement correct de ce système il faut réaliser les opérations suivantes :

- Vérification initiale et de l'échangeur et les capteurs de température.
- Recherche d'éventuelles fuites au niveau des tuyaux de refroidissement.
- Vérification du filtre à huile in-line, du fonctionnement du capteur de filtre, de la soupape thermostatique, de la vanne presso-statique et de la pompe mécanique.

### **b. Consignes de maintenance corrective**

En cas de dommage, la maintenance corrective du multiplicateur consiste à remplacer :

- Les amortisseurs.
- Le multiplicateur.
- Les éléments du système de refroidissement.

### 3.3- Maintenance du générateur

#### a. Consignes de maintenance préventive

ÉLÉMENT	OPÉRATION	Jusqu'à 2 ans après la mise en service	Après 2 ans de mise en service
		Contrôles	Intervalle
Roulements	Vérification	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Graissage	6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Remplacer	5 ans	
Flexible de ventilation	Vérification	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Silentblocs	Vérification	12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Jeu de barres de puissance TOP	Vérification des raccords	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Boîtes à bornes	Serrage des bornes	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Vérification de l'état général	12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Jeu de bagues	Nettoyage	6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Vérification des bagues	Annuel	
	Mise au point	4 ans	
Balais	Contrôle visuel	6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Remplacement	Annuel	
Isolation du stator et du rotor	Vérification	6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Filtre	Nettoyage	6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Remplacement	Si nécessaire	
Générateur d'impulsions (ENCODEUR)	Vérification	Annuel	
Capteurs de température PT-100	Vérification	Annuel	

Tableau 9 : programme de maintenance préventive du générateur

Les opérations suivantes doivent être réalisées lorsque le générateur est à l'arrêt, déconnecté du réseau et que le rotor est bloqué.

- **Opération préventive du générateur**

Cette opération est basée sur les procédures suivantes :

- Vérification et graissage des roulements.
- Entretien du corps des bagues.
- Inspection et nettoyage des balais.
- Isolation du rotor et du stator.
- Nettoyage et remplacement du filtre.
- Vérification des sondes de températures.

#### b. Consignes de maintenance corrective

Toutes les opérations de maintenance corrective doivent être réalisées avec l'aérogénérateur à l'arrêt, le générateur débranché du réseau et le rotor immobilisé.

Avant de commencer les opérations de changement du générateur il faut suivre les instructions précédemment citée.

→ Changement du générateur :

Le changement de ce composant nécessite :

- Préparation de la machine.
- Démontage des protections de couplage, de freins.
- Démontage du générateur.
- Pré-montage du générateur.
- Montage du générateur.
- Montage du couplage et des protections.
- Procédures d'alignement du générateur.

### 3.4- Maintenance du groupe hydraulique

#### a. Consignes de maintenance préventive

Composant	Opération	Jusqu'à 2 ans après la mise en service	Après 2 ans de mise en service
		Contrôles	Intervalle
Groupe hydraulique	Vérification de la présence de bruits	6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Huile	Vérification du niveau	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Vidange	5 ans	5 ans
	Vérification de la température	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Fuites	Contrôle des fuites	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Filtre à air	Vérification de l'état	6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
	Vidange	Lorsque cela s'avère nécessaire Pour la machine pour ENVIRONNEMENTS CORROSIFS Semestrielle	
Pompe	Test	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Soupape de sécurité	Vérification	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Pression manométrique - Panneau de service	Vérification des valeurs de pression	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Accumulateur de pitch	Mesure de la pression de précharge	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Système de freinage	Mesure de la pression	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Accumulateur frein	Mesure de la pression de précharge	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Pressostat	Vérification de la pression	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Soupape de sécurité du circuit de frein	Vérification de la pression	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois
Frein de rotation	Test de pression	3/6/12/18/24 mois	Tous les 6 mois

Tableau 10 : programme de maintenance préventive du système hydraulique

#### b. Consignes de maintenance corrective

En cas de dommage, la maintenance corrective du groupe hydraulique est nécessaire qui consiste à:

- Changer le groupe hydraulique
- Remplacer les composants
  - Accumulateurs
  - Moteur électrique
  - Pompe
  - Sonde de température
  - pressostats

### 4- Maintenance du transformateur

#### a. Consignes de maintenance préventive

Avant de débiter les travaux de maintenance préventive du transformateur il faut suivre les étapes suivantes :

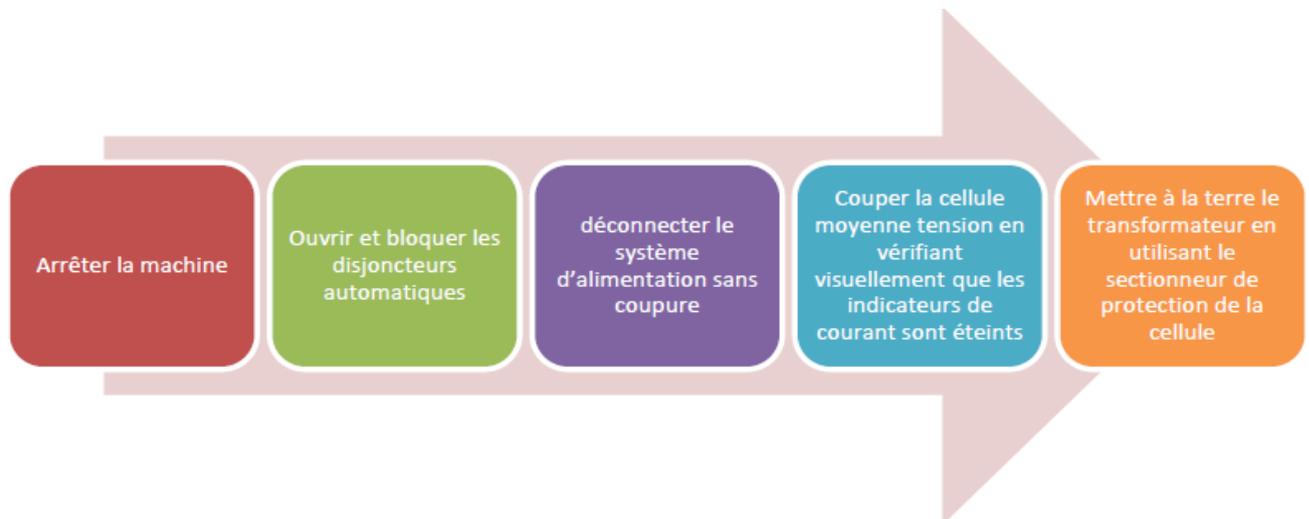


Figure 43 : étapes à suivre pour la maintenance préventive du transformateur

Les opérations minimales de maintenance préventive à réaliser sur le transformateur sont décrites ci-dessous

- Inspection visuelle et nettoyage.
- Vérification des connexions.
- Parafoudres : Une vérification des parafoudres est nécessaire ainsi que les couples de serrage.
- Sondes de température : Une vérification du signal des sondes du transformateur et du câblage.
- Mise en marche de la machine

 Une fois la maintenance terminée, la machine doit être mise en marche.

#### b. Consignes de maintenance corrective

##### • Remplacement du transformateur

Pour procéder au changement du transformateur il faut suivre les étapes suivantes :

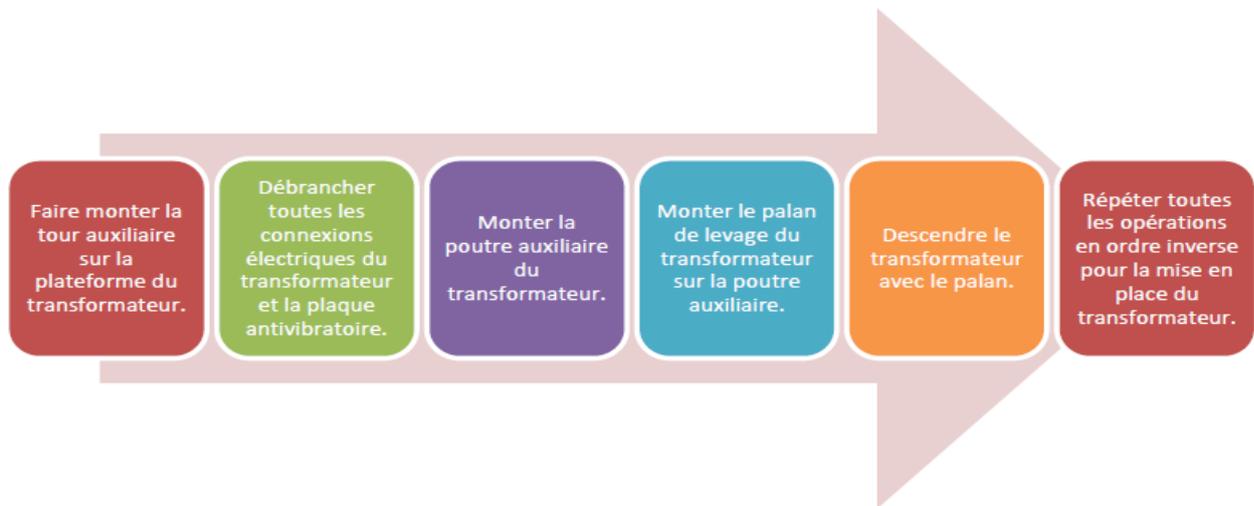


Figure 44 : étapes pour procéder au changement du transformateur

- ⚠ Une fois que toutes les connexions du nouveau transformateur soient réalisées, il faut fermer la grille et nettoyer les éventuels déchets provoqués sur l'aérogénérateur.
- ⚠ Avant de débiter les travaux de maintenance il faut arrêter la machine et bloquer le rotor [20].

### II- Analyse critique de la maintenance actuelle du parc éolien de Tanger

D'après la politique de la maintenance actuelle (manuel de maintenance de constructeur GAMESA) et la maintenance réalisé par les techniciens de l'ONEE on constate que les causes principales des pannes sont les suivants :

- **Les difficultés d'obtention de pièces de rechange :**

Ces difficultés sont liées à l'insuffisance des budgets d'entretien ou de maintenance avec parfois une inexistence des services après-vente. Ces situations entraînent un manque de stocks.

- **L'absence de formation des techniciens de maintenance et des utilisateurs des équipements de l'éolienne :**

Selon nos constats, il n'existe aucun plan de formation des techniciens de maintenance et des utilisateurs des équipements.

Pour les techniciens de maintenance les formations se limitent à leur participation aux séminaires et ateliers consacrés à la gestion de la maintenance.

La formation des utilisateurs se limite très souvent à celle réalisée par le fournisseur des équipements lors de l'installation de ceux-ci, ce qui entraîne des pannes fréquentes d'équipements résultant des erreurs de manipulation. Pour cela nous notons que la formation est indispensable pour une bonne fonctionnalité des équipements.

- **Dépassement de la durée et négligence de quelques taches de maintenance préventive :**

Certain techniciens ne respectent pas le planning de maintenance préventive d'un équipement, ils ne sont pas sérieux à propos de la durée de chaque action, cela entraîne une augmentation de la probabilité d'apparition d'une défaillance.

- **Manque de suivi de la maintenance**

Il n'existe aucun suivi pour la vérification de la maintenance réalisé (aucun rapport de la maintenance effectué)

- **Le cout**

- Pour une panne hors contrat, surcoût pour l'ONEE
- Délai entre réponse et intervention : augmentation de l'indisponibilité et des coûts.

---

### *Conclusion*

Cette partie du rapport consacré à la description générale de la maintenance actuelle ainsi que son critique.

Dans ce qui suit, nous expliciterons la problématique en se basant sur la méthode QQQQCP. Puis nous définirons le plan selon le cahier de charge. Et enfin nous entamerons une présentation des outils de travail et leur application.

## **Chapitre IV**

### *Outils de gestion de la maintenance*

*Dans ce chapitre on va expliciter la problématique par la méthode QQQQCP, description du sujet de PFE en spécifiant ses objectifs, son cahier de charge, puis nous allons présenter un recueil succinct sur les outils utilisés au cours de ce stage avec leur application sur notre parc.*

Afin d'améliorer la disponibilité technique, il est naturel de se focaliser sur les pannes des éoliennes les plus pénalisantes en terme d'arrêt ou d'indisponibilité technique. Ceci réduira considérablement le champ d'investigation tout en garantissant l'atteinte des performances.

Pour cela on va mener une analyse PARETO puis une analyse AMDEC.

L'analyse de Pareto permet de classer les pannes selon les effets qu'elles génèrent. En effet, on construit un tableau qui classe les pannes selon un critère bien choisi.

L'analyse AMDEC permet d'identifier les composants les plus critiques et de proposer alors les actions et les procédures pour y remédier. Cette activité d'interprétation des résultats et de mise en place de recommandations constitue la dernière étape de l'AMDEC.

### I- présentation du projet

#### 1- Problématique

Le parc a rassemblé plusieurs problèmes au niveau de gestion de la maintenance. Il a subi dernièrement des graves conséquences suite à cette mauvaise gestion. Par conséquent une perte de production due à l'organisation, manque de fiabilité des équipements, et la méthode de suivi de la maintenance.

#### 2- Définir le projet

L'application de la méthode **QQOQCP** va nous permettre de bien cadrer et définir le problème pour faciliter la maîtrise de notre sujet afin de trouver des bonnes solutions.

Cette méthode consiste à répondre d'une manière successive aux questions suivantes :

**QUOI ?** Etudier la durée et le nombre des pannes des machines de l'éolienne, les problèmes qui mènent à la dégradation de la production et faire des propositions d'amélioration de la fonction de la maintenance.

**QUI ?** Le problème concerne au premier lieu service maintenance et production.

**OU ?** Parc éolien de Tanger.

**QUAND ?** Depuis une année.

**COMMENT ?** Chercher les causes possibles et principales qui présentent un obstacle à la bonne démarche de la maintenance.

**POURQUOI ?** Pour optimiser la production et le coût de la maintenance et avoir un bon fonctionnement de service maintenance

#### 3- Cahier des charges

- **Objet :** Amélioration et optimisation du plan de la maintenance de la machine critique et proposition des solutions pour les éoliennes au sein du parc éolien de Tanger.

- **Mission :**

1. Analyser l'état actuel de l'éolien et détecter les problèmes de disponibilité.
2. Justifier le choix de la machine critique à étudier, en se basant sur le calcul des indicateurs de la maintenance.
3. Appliquer la méthode AMDEC.

### 4. Réalisation d'un suivi de la maintenance et proposition des solutions.

## II- les outils de gestion de la maintenance

### 1- la méthode AMDEC : Analyse des modes de défaillance, de leurs effets Et de leur criticité

#### 1-1 définition

L'AMDEC est l'acronyme de « Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité » est une technique d'analyse prévisionnelle de la fiabilité, de la maintenabilité et de la sécurité des produits et des équipements

L'association française de normalisation (AFNOR) définit l'AMDEC comme étant « une méthode inductive qui permet de réaliser une analyse qualitative et quantitative de la fiabilité ou de la sécurité d'un système ». La méthode consiste à examiner méthodiquement les défaillances potentielles des systèmes (Analyse des modes de défaillance), leurs causes et leurs conséquences sur le fonctionnement de l'ensemble (les effets). Après une hiérarchisation des défaillances potentielles, basée sur l'estimation du niveau de risque de défaillance, selon la criticité, des actions prioritaires sont déclenchées et suivies.

#### 1-2 but de L'AMDEC

L'AMDEC est une technique qui vise à :

- Evaluer et garantir la sûreté de fonctionnement (sécurité, fiabilité, maintenabilité et disponibilité).
- Obtenir au meilleur coût le rendement global maximum des équipements de production
- Définir les actions à entreprendre pour éliminer ces défaillances, réduire leurs effets et pour en empêcher ou en détecter les causes.
- Prioriser les interventions d'amélioration continue.
- Réduire les risques les plus grands.
- Elaborer des plans d'actions et allouer les ressources de façon rationnelle.
- Déterminer les points faibles d'un système et apporter des remèdes.
- Prévenir les pannes.
- Réduire le temps d'indisponibilité après défaillance.

#### 1-3 Les types d'AMDEC

Il existe globalement trois types d'AMDEC :

- **AMDEC procédé** : on identifie les défaillances du procédé de fabrication dont les effets agissent directement sur la qualité du produit fabriqué (les pannes ne sont pas prises en compte).
- **AMDEC moyen de production** : on identifie les défaillances du moyen de production dont les effets agissent directement sur la productivité de l'entreprise. Il s'agit donc de l'analyse des pannes et de l'optimisation de la maintenance.
- **AMDEC produit** : Analyse de la conception d'un produit pour améliorer sa qualité et sa fiabilité [12]

#### 1-4 Démarche pratique de l'AMDEC moyen

Une étude AMDEC comporte 4 étapes successives [13] :

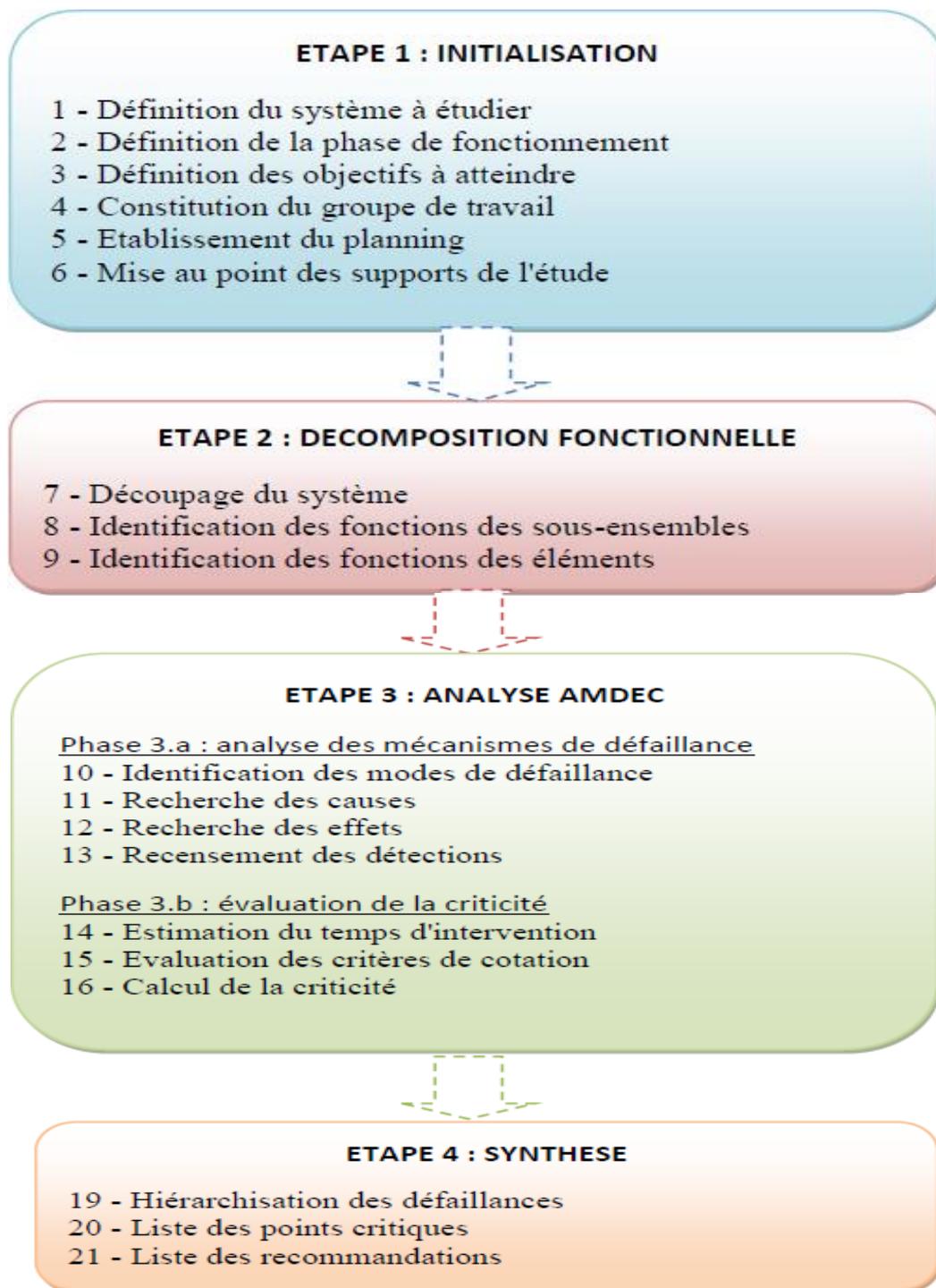


Figure 45 : les étapes d'une étude AMDEC

### 1-5 Terminologie

- **Défaillance**

D'après la norme AFNOR X 60-500, une défaillance est la cessation de l'aptitude d'un élément à accomplir une fonction requise.

- **Mode de défaillance**

Un mode de défaillance est la manière dont le système peut s'arrêter de fonctionner ou fonctionner anormalement. Le mode de défaillance est relatif à chaque fonction de chaque élément. Il s'exprime en termes physiques.

- **Cause de défaillance**

Une cause de défaillance est l'anomalie initiale pouvant conduire à la défaillance, par l'intermédiaire du mode de défaillance. La cause de défaillance d'un élément peut être interne ou externe à celui-ci. A un mode de défaillance peuvent correspondre plusieurs causes et réciproquement.

- **Effet de défaillance**

L'effet d'une défaillance est, par définition, une conséquence subie par l'utilisateur. Un même mode de défaillance peut engendrer plusieurs effets simultanés qui peuvent se cumuler et s'enchaîner. De même, plusieurs modes peuvent avoir le même effet

- **Détection**

La détection est un phénomène ou paramètre physique, anomalie ou symptôme, pouvant être observé, détecté ou mesuré de manière précoce et traduisant l'apparition, la propagation ou l'évolution d'un mécanisme de défaillance.

- **Indice de Fréquence « F »**

Il représente le risque que la cause potentielle de défaillance survienne et qu'elle entraîne le mode potentiel de défaillance considéré. De ce fait, la notion de fréquence est relative à une combinaison cause mode. Finalement, la fréquence s'exprime par le nombre de défaillances de l'élément sur une période donnée

- **Indice de Gravité « G »**

Il se réfère à la gravité (ou sévérité) de l'effet de chaque défaillance, tel que ressenti par l'utilisateur. Ainsi, la notion de gravité est directement liée à l'effet de la défaillance. Par ailleurs, la gravité peut s'exprimer sous les divers aspects suivants :

- Dégradation matérielle du moyen de production
- Taux de disponibilité de la machine ou de la ligne (durée d'arrêt)
- Non-conformité du produit fabriqué
- Coût de la maintenance
- Sécurité des opérateurs
- Répercussion sur l'environnement

- **Indice de Non Détection « D »**

Il représente la probabilité que la cause (et/ou le mode) de défaillance supposée apparue atteigne l'utilisateur. La probabilité de non détection dépend d'une part de l'existence d'une anomalie observable de manière suffisamment précoce et d'autre part des moyens de détection mis en œuvre (ou envisagés) au moment de l'étude.

- **Criticité**

Pour chaque cause de défaillance, le produit des trois indices de fréquence, gravité et non détection est effectué. Le résultat donne l'indice de Criticité <sup>[12]</sup> :

$$C = F \times G \times D$$

## 2- diagramme de PARETO

### 2-1 définition

L'analyse de Pareto ou méthode des 20/80, ou méthode ABC permet de classer les causes selon les effets qu'elles génèrent. En effet, on construit un tableau classifiant les pannes selon un critère bien choisi.

L'outil « Pareto » a pour but de sélectionner, dans une population, les sujets les plus représentatifs en regard d'un critère mesurable. Généralement cette sélection sera effectuée pour simplifier l'étude d'un problème en ne retenant que les éléments les plus significatifs.

### 2-2 Fonction

Suggérer objectivement un choix, c'est-à-dire classer par ordre d'importance des éléments (Produits, machines, pièces...) à partir d'une base de connaissance d'une période antérieure (historique de pannes par exemple). Les résultats se présentent sous la forme d'une courbe appelée courbe ABC dont l'exploitation permet de détecter les éléments les plus significatifs du problème à résoudre et de prendre les décisions permettant sa résolution [14].

### 2-3 Méthodologie : Démarche

- 1- Historique.
- 2- Définition des éléments et des critères.
- 3- Collecte des valeurs du critère et classement par ordre décroissant.
- 4- Cumul des valeurs du critère pour les éléments à classer.
- 5- Calcul des pourcentages des valeurs cumulées.
- 6- Tracer la courbe et fixer les seuils des classes A, B, C
- 7- Interpréter [15].

### 2-4 Construire le graphique

Ce graphe fera apparaître les constituants sur la situation étudiée.

Il s'agit de délimiter sur la courbe obtenue des zones à partir de l'allure de la courbe.

En général la courbe possède deux cassures, ce qui permet de définir trois zones :

- La partie droite de la courbe **OM** détermine la zone **A**.
- La partie courbe **MN** détermine la zone **B**.
- La partie assimilée à une droite **NP** détermine la zone **C** [16].

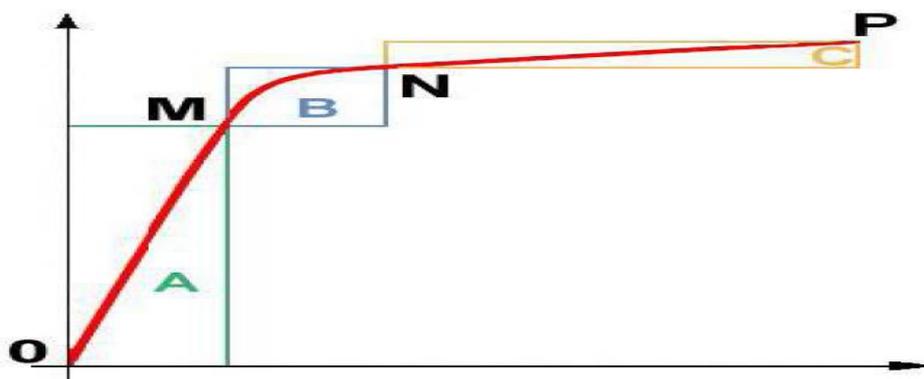


Figure 46 : graphe de PARETO

## 3- Tableau de bord

### 3.1- Définition et intérêt

Le tableau de bord est un ensemble d'indicateurs de pilotage, construit de façon périodique, à l'intention du responsable, afin de guider ses décisions et ses actions en vue d'atteindre les objectifs

## Chapitre IV : Outils de gestion de la maintenance

de performance. Il doit offrir une structure claire et signifiante. Les indicateurs peuvent prendre la forme d'écart (comparaison des réalisations aux objectifs), de taux, de représentation graphique ou de clignotant (le responsable doit intervenir).

### 3.2- Propriétés

- Il permet le contrôle gestion de la maintenance en mettant en évidence les performances réelles et potentielles et les dysfonctionnements.
- Il est un support de communication entre responsables.
- Il favorise la prise de décision, après analyse des valeurs remarquables, et la mise en œuvre des actions correctives ou préventives.
- Il peut être un instrument de veille permettant de déceler les opportunités et risques nouveaux.

La difficulté d'élaboration du tableau de bord réside dans la sélection d'indicateurs parmi la quantité des informations fournies par le contrôle et la gestion de maintenance.

### 3.3- Méthodologie d'élaboration du tableau de bord

Suite aux orientations assez pertinentes du fameux « L'essentiel Du Tableau De Bord », nous avons opté pour la méthode des 5 étapes et 15 outils pour élaborer un tableau de bord assez conforme au suivi de la performance de la maintenance du parc éolien. Et vu qu'un management participatif reste dès l'antiquité un outil aussi primordial à l'évolution et l'amélioration de n'importe quel projet.

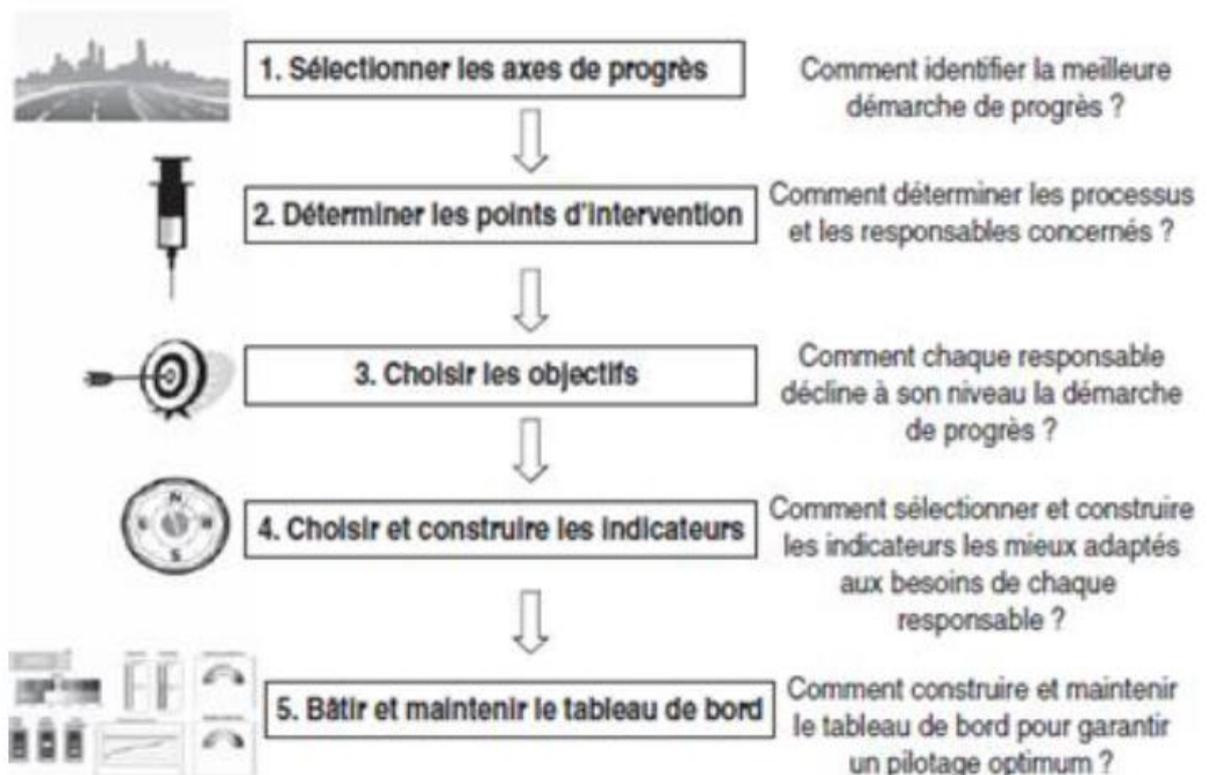


Figure 47 : Les étapes de conception d'un tableau de bord

Le tableau 1 résume ces 5 étapes et présente les 15 outils à adapter pour chaque étape :

<p><b>Etape 1</b> Sélectionner les axes d'action</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifier les principales sources de revenus</li> <li>• Situer l'entreprise sur son marché</li> <li>• Evaluer les attentes des clients</li> <li>• Repérer les principaux leviers</li> <li>• Evaluer et choisir les axes de progrès</li> </ul>	<p>Outil n°1  Outil n°2 Outil n°3 Outil n°4 Outil n°5</p>
<p><b>Etape 2</b> Déterminer les points d'intervention</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifier les activités et les processus critiques</li> </ul>	<p>Outil n°6</p>
<p><b>Etape 3</b> Sélectionner les objectifs</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Choisir les objectifs</li> <li>• Mesurer les risques</li> <li>• Elaborer les plans d'action</li> </ul>	<p>Outil n°7 Outil n°8 Outil n°9</p>
<p><b>Etape 4</b> Sélectionner les indicateurs</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Choisir les indicateurs</li> <li>• Présenter les indicateurs sur le poste de travail</li> </ul>	<p>Outil n°10 Outils n°11</p>
<p><b>Etape 5</b> Structurer le tableau de bord</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Adopter les principes ergonomiques de conception des interfaces visuelles</li> <li>• Construire le tableau de bord (vue de signalisation)</li> <li>• Organiser le tableau de bord (vues d'analyse et de prospection)</li> <li>• Maintenir le tableau de bord (continuité de la cohérence)</li> </ul>	<p>Outil n°12  Outil n°13  Outil n°14  Outil n°15</p>

Tableau 11 : Une méthode en 5 étapes et 15 outils

### 3.4- Indicateurs de performance

Un indicateur est défini en relation avec les objectifs du projet, donc c'est une donnée quantitative qui permet de caractériser une situation évolutive (par exemple l'état d'un produit), une action ou les conséquences d'une action, de façon à les évaluer et à les comparer à leur état à différentes dates.

Les caractéristiques d'un bon indicateur sont :

- **La fidélité** : il doit refléter le sens et l'importance du phénomène observé.
- **La clarté** : il doit être bien compris par les utilisateurs, c'est d'ailleurs une des raisons de l'implication des responsables opérationnels dans le processus d'élaboration de tableaux de bord.
- **L'absence de biais** : un indicateur ne doit pas facilement être manipulable.
- **La prédictivité** : l'indicateur doit alerter le décideur sur l'émergence d'un problème et ne pas être seulement un indicateur constat qui n'autorise qu'un traitement curatif du problème.

### III- Application de l'analyse PARETO et AMDEC sur les équipements de l'aérogénérateur

#### 1- Application de l'analyse PARETO

On va faire l'analyse PARETO en se fixant pour l'instant sur la recherche des éléments critiques, qui rendent le système défaillant et qui diminuent la disponibilité de la machine.

Pour bien sélectionner les composants critiques, on va réagir sur l'historique des pannes de l'éolien durant 2015 [21].

Elément	nombre de pannes par an (2015)	%	Cumul en %
Système d'orientation (YAW)	313	23,03%	23,03%
groupe hydraulique	306	22,52%	45,55%
système mesure du vent	210	15,45%	61,00%
Multiplicateur	104	7,65%	68,65%
Transformateur	92	6,77%	75,42%
Générateur	91	6,70%	82,12%
les armoires	58	4,27%	86,39%
Palan	50	3,68%	90,07%
Système de changement de pas (pitch)	47	3,46%	93,52%
Système de freinage	42	3,09%	96,62%
Rotor	41	3,02%	99,63%
Arbre rapide	5	0,37%	100,00%
<b>Total</b>	<b>1359</b>		

Tableau 12 : Analyse PARETO

D'après le tableau ci-dessus « l'analyse PARETO » on trace le diagramme PARETO pour déterminer les éléments les plus critiques de l'éolienne.

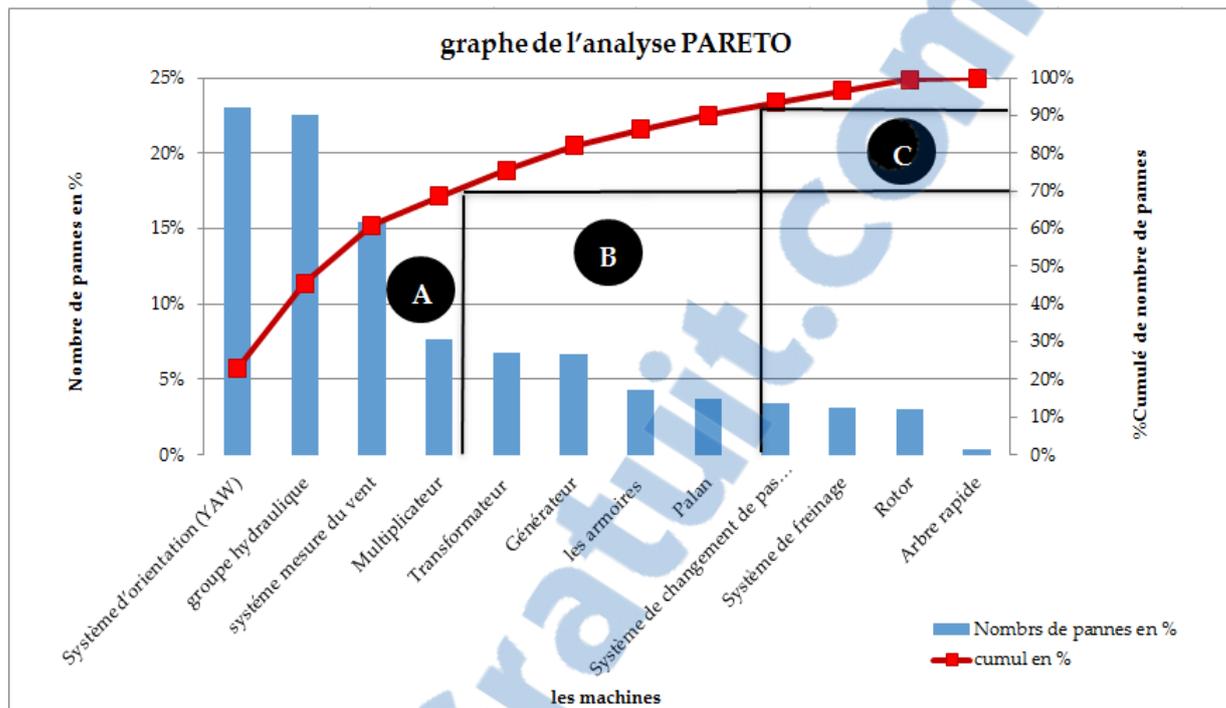


Figure 48 : Diagramme PARETO de l'éolien

• **Interprétation de la courbe :**

La courbe PARETO est composée de trois zones

- **Zone A :** 33% des machines cumulent 70% des pannes.
- **Zone B :** 33% (33% - 66%) % des machines cumulent 21 % (70-91) des pannes.
- **Zone C :** 34 % (66% - 100%) des machines cumulent 9% (91% - 100%) des pannes.

D'après l'analyse de l'historique des pannes, nous avons remarqué que les éléments les plus critiques sont : Système d'orientation (YAW), groupe hydraulique.

Alors l'étape suivante portera sur l'étude AMDEC de ces machines en relevant ses sous-ensembles critiques.

**2- Application de l'AMDEC**

**2.1- Échelles de Cotation**

Pour rendre l'étude homogène, la criticité des défaillances de toutes les machines sera évaluée suivant une même échelle de cotation, à partir de trois critères indépendants : la fréquence ou la probabilité d'occurrence (**F**), la gravité (**G**) et la probabilité de non détection (**D**).

A chaque critère nous avons associé une échelle de cotation définie selon les niveaux en s'appuyant sur : l'historique des arrêts du département de maintenance et l'expérience du personnel.

En effet, l'échelle de cotation est basée principalement sur le temps de l'indisponibilité ainsi que le nombre de défaillances des machines.

**a. Fréquence**

Fréquence d'une défaillance due à une cause particulière.

Niveau de fréquence	Indice	Définition
Fréquence très faible	1	Défaillance rare : Moins d'une défaillance par 8 mois
Fréquence Faible	2	Défaillance possible : Une défaillance par mois
Fréquence moyenne	3	Défaillance fréquente : Plus d'une défaillance par mois
Fréquence forte	4	Défaillance très fréquente : Plusieurs défaillances par semaine

Tableau 13: Echelle de fréquence

### b. Gravité

C'est la gravité des effets de la défaillance :

- Pertes de productivité (arrêt de production).
- Coût de la maintenance.
- Sécurité, environnement.

Niveau de gravité	Indice	Définition
Gravité très faible	1	N'engendre pas d'arrêt du système
Gravité faible	2	Arrêt du système (5 min et 1 heures)
Gravité moyenne	3	Arrêt du système (1 heures et 6 heures)
Gravité catastrophique	4	Arrêt du système (6 heures et 72 heures)

Tableau 14 : Echelle de Gravité

### c. Non-Détection

Niveau de non détection	Indice	Définition
Détection évidente	1	Défaillance facilement détectable : La détection est visible sur le système SCADA
Détection possible	2	Défaillance détectable
Détection improbable	3	Défaillance difficilement détectable
Détection impossible	4	Défaillance indétectable

Tableau 15 : Echelle de Non-Détection

### d. Criticité

Elle permet de discriminer les actions à entreprendre et les calculer à partir de la gravité, la fréquence et la défaillance de non détection.

Niveau de criticité	Définition
$1 \leq C < 10$ criticité négligeable	Aucune modification Maintenance corrective
$10 \leq C < 18$ Criticité moyenne	Amélioration Maintenance préventive systématique
$18 \leq C < 27$ Criticité élevé	Surveillance particulière Maintenance préventive conditionnelle
$27 \leq C < 64$ Criticité interdite	Remise en cause complète de l'équipement

Tableau 16 : Echelle de la criticité

### 2.2- Grille AMDEC sur les machines critiques

Les tableaux suivant présentent les modes de défaillance des éléments constituant le système d'orientation (YAW), groupe hydraulique, Leurs effets ainsi que leurs valeurs de criticité.

- Le système d'orientation (YAW)

Système : nacelle      sous-système : système de rotation					Date de l'analyse : 2015					
Composante	Fonction	Mode de défaillance	Effet de défaillance	Cause du défaut	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	D	C	
Moteur- Réducteur	Actionne la rotation et l'orientation de la nacelle	Défaut de réalimentation sens horaire	Arrêt de l'aérogénérateur	Activation du moteur de rotation dans le sens horaire pendant plus de 5 s et on ne reçoit pas le signal de confirmation	Visuelle (sur système SCADA)	1	3	1	3	Aucune modification Maintenance corrective
		Défaut de réalimentation sens anti horaire	Arrêt de l'aérogénérateur	Activation du moteur de rotation dans le sens anti horaire pendant plus de 5 s et on ne reçoit pas le signal de confirmation	Visuelle (sur système SCADA)	4	3	1	12	Amélioration Maintenance préventive systématique
		Thermique du moteur de rotation	Arrêt de l'aérogénérateur	Le signal des thermiques des moteurs de rotation n'est pas détecter pendant plus de 5 s	Visuelle (sur système SCADA)	4	3	1	12	Amélioration Maintenance préventive systématique
		Défaut de moteur de rotation	Arrêt de l'aérogénérateur	Retard de rotation de la nacelle à cause de frottement	Visuelle (sur système SCADA)	3	4	2	24	Amélioration Maintenance préventive systématique
		Contacteur de système rotation actif	Arrêt de l'aérogénérateur	Aucune demande des moteurs du système de rotation et réception du feedback pendant une durée supérieur 60 s	Visuelle (sur système SCADA)	1	4	1	4	Aucune modification Maintenance corrective



## Chapitre IV : Outils de gestion de la maintenance

Couronne	Permet la rotation de la nacelle	Déroulement automatique	Ralentissement de rotation		Visuelle (sur système SCADA)	1	1	1	1	Aucune modification Maintenance corrective
		Erreur de déroulement	Arrêt de l'aérogénérateur	Le capteur twist sens horaire est sur 1, la machine se déroule et il est demandé de tourner dans le sens horaire ou Le capteur twist sens anti-horaire est sur 1 et il est demandé de tourner dans le sens horaire	Visuelle (sur système SCADA)	1	4	1	4	Aucune modification Maintenance corrective
		Temps maximal de déroulement	Avertissement	La machine est en déroulement et il y'a une seule confirmation des moteurs de sens horaire ou anti-horaire pendant plus de 4950 s	Visuelle (sur système SCADA)	4	1	1	4	Aucune modification Maintenance corrective
Frein hydraulique	Permet le freinage de la nacelle	Pression du frein de rotation basse	Arrêt de l'aérogénérateur	Pas de demande d'orientation de la nacelle et la pression du frein de rotation est inférieur à 100 bar pendant plus de 5 s	Visuelle (sur système SCADA)	4	3	1	12	Amélioration Maintenance préventive systématique
		Durée maximale du groupe hydraulique	Arrêt de l'aérogénérateur	L'état de fonctionnement de la machine set supérieur à Arrêt	Visuelle (sur système SCADA)	1	2	1	2	Aucune modification Maintenance corrective
		Usure du frein de rotation	Avertissement	Activation du signal d'usure pendant plus de 60 s	Visuelle (sur système SCADA)	1	1	1	1	Aucune modification Maintenance corrective
		En cours d'orientation la pression du frein de rotation est basse	Arrêt de l'aérogénérateur	Lorsque le système d'orientation est en cours d'orientation et la pression du frein de rotation est inférieur à 2 bar pendant plus de 5 s	Visuelle (sur système SCADA)	1	3	1	3	Aucune modification Maintenance corrective
		Pression de frein de rotation élevée	Arrêt de l'aérogénérateur	Pas de demande d'orientation de la nacelle et la pression du frein de rotation est supérieur à 240 bar pendant plus de 5 s	Visuelle (sur système SCADA)	4	3	1	12	Amélioration Maintenance préventive systématique
		En cours d'orientation la pression du frein de rotation est élevée	Arrêt de l'aérogénérateur	Lorsque le système d'orientation est en cours d'orientation et la pression du frein de rotation est supérieur à 50 bar pendant plus de 5 s	Visuelle (sur système SCADA)	1	3	1	3	Aucune modification Maintenance corrective

Tableau 17 : Grille AMDEC de système d'orientation (YAW)

- Groupe hydraulique

## Chapitre IV : Outils de gestion de la maintenance

Système : nacelle <b>Sous Système : Groupe Hydraulique</b>					Date de l'analyse : 2015					
Composante	Fonction	Mode de défaillance	Effet de défaillance	Cause du défaut	Détection	Criticité				Action corrective
						F	G	D	C	
Jauge de niveau	Indiquer le niveau d'huile	Faible niveau d'huile du groupe hydraulique.	Arrêt de l'aérogénérateur	Le non détection du signal de capteur de niveau	Visuelle (sur système SCADA)	1	3	1	3	-Retirer la pression des circuits hydraulique du pitch et disque de frein et vérification des fuites
		Niveau d'eau bas	Arrêt de l'aérogénérateur	Le non détection du signal de capteur de niveau	Visuelle (sur système SCADA)	1	3	1	3	
Sonde PT 100	Donner le signal de sortie en fonction de la température de l'huile.	Température minimale du groupe hydraulique.	Arrêt de l'aérogénérateur	La température de l'huile est inférieure à -20°C	Visuelle (sur système SCADA)	1	3	1	3	Vérifier manuellement la température du réservoir d'huile. Au contact du réservoir, la main doit pouvoir supporter la température sans risquer de se brûler
		Haute température de l'huile hydraulique	Arrêt de l'aérogénérateur	La température de l'huile filtrée est supérieure à 65°C		3	3	1	9	
		Température d'alarme du groupe hydraulique	Avertissement	La température du groupe hydraulique est supérieure à 60°C		1	1	1	1	
Bloc de soupapes	-Réduire la pression. -Charger l'accumulateur. -Activer ou désactiver les freins	Erreur d'actionnement du frein	Arrêt de l'aérogénérateur	Aucune confirmation n'est reçue concernant l'application du frein de rotation de la nacelle	Visuelle (sur système SCADA)	1	2	1	2	-Mesure de la pression du système de frein à l'aide d'un manomètre -Mesure de la pression dans le pressostat. (le pressostat détecte l'application ou non du frein de rotation)
		Faible pression circuit de frein	Arrêt de l'aérogénérateur	Diminution de la pression pendant une durée supérieure à 2 s	Visuelle (sur système SCADA)	1	4	1	4	
Filtre à huile	Filtrer de l'huile.	Filtre hydraulique sale	Arrêt de l'aérogénérateur	Le signal du filtre n'a pas été reçu après l'activation de la pompe	Visuelle (sur système SCADA)	1	4	1	4	-Mettre la machine en état d'urgence, en installant la machine en position sûre et avec le rotor bloqué -Ouvrir les robinets du système de pitch et du système de frein -Ouvrir le boîtier métallique du filtre -Retirer la cartouche sale et vider/nettoyer le verre complètement -Introduire la nouvelle cartouche dans la tête de filtrage -Réinstaller le boîtier métallique très soigneusement en appuyant avec la main -Resserrer à l'aide de la clé anglaise
Pompe	Pomper de l'huile	Faible pression groupe hydraulique	Arrêt de l'aérogénérateur	La pression de l'huile est inférieure à 160 bar pendant plus de 0,2 s	Visuelle (sur système SCADA)	3	4	1	12	-Démarrer la pompe du groupe hydraulique en mode automatique. -Vérifier que la pression au démarrage de la pompe est de 180 bar -Vérifier que la pression à l'arrêt de la pompe est de 200 bar.
		Déclenchement protections groupe hydraulique	Arrêt de l'aérogénérateur	Le non détection de signal du magnétothermique de la pompe du GH	Visuelle (sur système SCADA)	4	3	1	12	
		Echec actionnement pompe GH	Arrêt de l'aérogénérateur	Défaut du contacteur	Visuelle (sur système SCADA)	3	4	2	24	

Transducteur	Donner le signal de démarrage et celui de l'arrêt au moteur-pompe.	Temps de pompage maximal	Arrêt de l'aérogénérateur	La pression d'huile du GH est inférieure à 180 bar et la pompe est en cours d'activation pendant plus de 60 s	Visuelle (sur système SCADA)	1	2	1	2	<p>comparer la pression mesurée sur le manomètre avec celle affichée sur l'écran et si l'écart est supérieur à 4 bar, on va remplacer le transducteur et pour cela on suit ces étapes :</p> <p>-Retirer le connecteur électrique.</p> <p>-Dévisser le transducteur du bloc avec la clé fixe de 27 et placer le nouveau transducteur sans mordre le joint.</p> <p>-Replacer de nouveau le connecteur électrique</p>
		Suppression dans le groupe hydraulique	Arrêt de l'aérogénérateur	Une pression supérieure à 250 bar pendant plus de 10 s est détectée dans le GH	Visuelle (sur système SCADA)	1	2	1	2	
		Grand nombre de démarrages du groupe hydraulique	Avertissement	Présence de fuites d'huile sur le circuit ou la présence de vents en rafales forçant la charge – décharge du groupe	Visuelle (sur système SCADA)	1	1	1	1	

Tableau 18 : Grille AMDEC du groupe hydraulique

- **Interprétation :**

D'après l'analyse de l'AMDEC « Analyse des Modes de Défaillances, de leurs Effets et de leur Criticité », nous avons remarqué que les composants les plus critiques celui qui ont une criticité élevé "24" :

- Pompe du groupe hydraulique
- Moteur réducteur du système d'orientation

Pour réduire la criticité il faut réduire les trois facteurs qui sont la fréquence, la gravité et la non-détection par les méthodes suivantes :

- Réduire la fréquence par la maintenance préventive.
- Réduire la gravité par une bonne préparation avant l'intervention à travers les gammes et la préparation des ressources.
- Réduire la non-défectabilité par la planification des contrôles avec les moyens de mesures adéquats (analyse des huiles, analyse vibratoire...)

## *Conclusion*

Dans ce chapitre nous avons défini la problématique par la méthode QQQQCP, et nous avons spécifié les objectifs, le cahier de charge de notre PFE. En premier lieu on a présenté les outils de travail et ses méthodologies, ensuite nous avons implémenté PARETO et la méthode AMDEC sur l'éolien.

Le chapitre suivant concerne les actions à suivre pour réduire la réapparition des pannes et l'implémentation du tableau de bord pour le contrôle et le pilotage de la maintenance, en plus une présentation de quelques solutions techniques pour remédier les pannes.

## **Chapitre V**

### *Solutions proposées et amélioration*

*Ce chapitre a pour objectif de mettre en place les résultats des études AMDEC. D'abord nous allons commencer par les recommandations pour chaque élément critique, ensuite les enregistrements de rapport d'intervention de maintenance remplis par les opérateurs et l'implémentation du tableau de bord pour le pilotage de maintenance. Et enfin nous allons présenter des solutions techniques de ces pannes.*

D'après l'analyse critique de maintenance actuelle, nous remarquons qu'il s'agit d'une défaillance progressive nécessitant un contrôle de maintenance. L'étude des défaillances a permis d'élaborer un manuel de suivi de maintenance pour faire coïncider la fiabilité entre la maintenance effectuée par les techniciens et le planning de constructeur, ainsi quelques suggestions de solutions techniques.

La démarche de réalisation du manuel de suivi de maintenance a été basée sur les analyses précédentes, avec l'exploitation de l'historique des pannes depuis le début de l'année 2015.

#### **I- Les actions à suivre pour réduire la réapparition des pannes**

##### **1- Réalisation d'un rapport d'intervention de maintenance sous le système informatique « C-Sharp »**

Chaque technicien doit donner un rapport après chaque visite pour la maintenance du parc, ce dernier doit contenir les actions effectuées dans cette visite pour vérifier est ce que la maintenance réalisée est la même qu'il existe dans le planning de maintenance.

Le rapport d'intervention ou compte-rendu d'intervention est un document officiel constitue une description de la procédure de gestion d'un objet de maintenance.

Dans le rapport d'intervention de maintenance, les activités à effectuer dans une intervention sont décrites ainsi que les informations nécessaires à son exécution. Il décrit avec précision les étapes de la réalisation de la tâche, la durée d'accomplissement de chaque étape ainsi que les moyens (compétences, outillage, engins, ...) nécessaires pour effectuer la tâche. Il assure donc une exécution fiable des interventions et une bonne gestion.

Le rapport d'intervention est présenté par un formulaire. Il contient des sections dans lesquelles le technicien saisit des renseignements concernant les équipements et une section destinée à la rédaction d'un sommaire des faits décrivant le déroulement de l'intervention. Le présent fascicule s'intéresse surtout au sommaire des faits, c'est-à-dire à la section rédigée du rapport, qui relate les faits relatifs à l'évènement. Chaque champ du formulaire est conçu pour apporter une information nouvelle, non redondante, dans un espace limité ; ainsi, la section rédigée ne reprend généralement pas les renseignements consignés dans les autres sections. Par ailleurs, comme le rapport constitue un document, il doit fournir tous les renseignements nécessaires à la poursuite du dossier : une omission peut être jugée comme une faute professionnelle. Un bon rapport d'intervention est donc à la fois concis et exhaustif de manière à fournir les renseignements essentiels à la compréhension de l'évènement sans donner de détails superflus.

#### **Application informatique**

On va utiliser une application informatique conçue par « C Sharp » qui regroupe une base de données avec un « wampserver » et une programmation avec « dot.net ». Cette dernière contient des interfaces qui à leur tour se divisent en deux ; le premier où on remplit les données d'un rapport, le deuxième là où on applique une suppression ou une modification.

La mise en place de cette application permet :

- ✓ L'enregistrement et archivage des données en vue d'une analyse ultérieure des incidents.
- ✓ Elle doit permettre de récolter les informations nécessaires à l'amélioration du suivi de la maintenance.

- **Ajouter un rapport**

**Rapport d'intervention**

Rapport N°:       Tanager le : dimanche 22 mai 2016

Service/Local:

**Identification de l'équipement**

Nom:       Modél:

Marque:

**Type d'intervention**

Interne     Curative     Préventive     Externe

**Symptome et anomalies constaté**

**Causes de la défaillances**

**Opération réalisées**

Démontage     Alignement et serrage des pièces     Réglage

Changement des pièces     Changement d'articles de rechange

Graissage     Nettoyage interne     Nettoyage externe

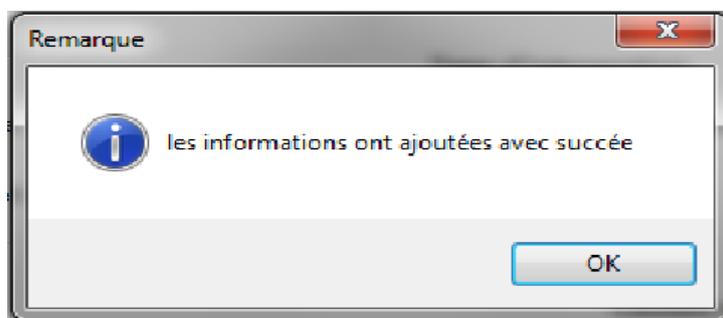
Essais de fonctionnement

**Autres opérations réalisées:**

**Remarques :**

Recherche    Enregistrer    Annuler

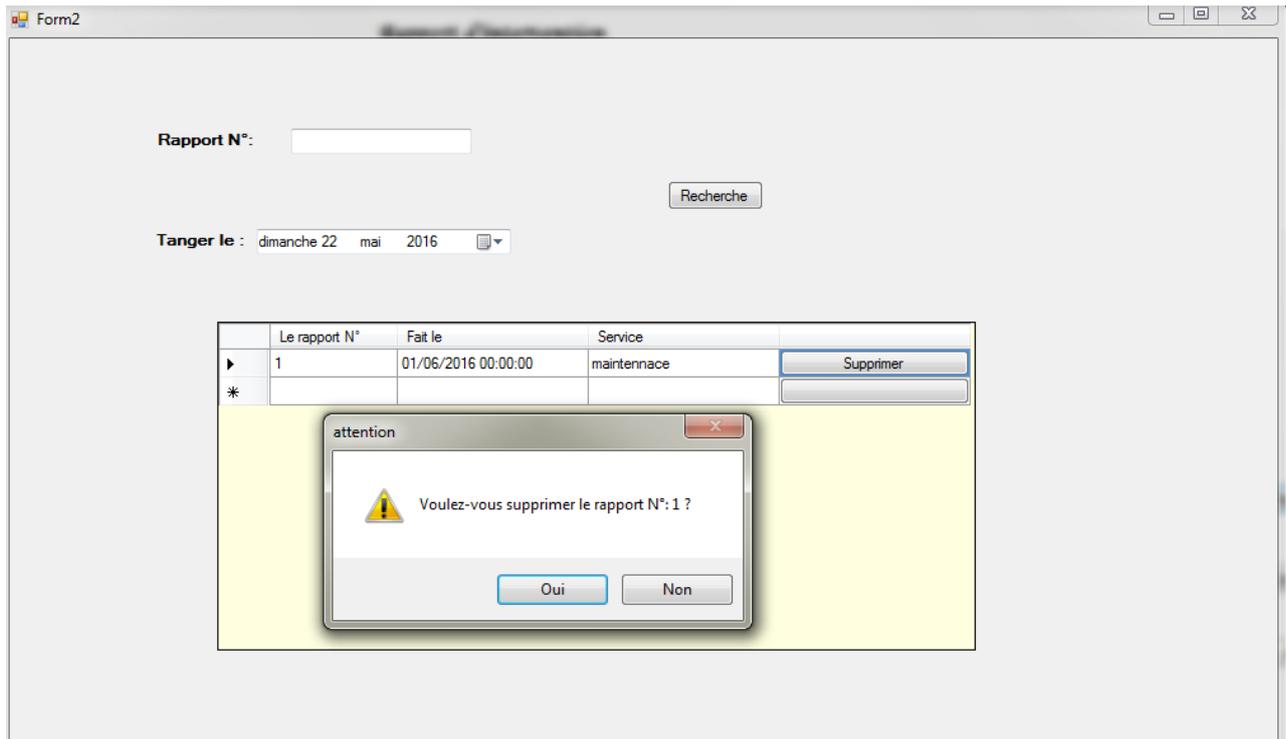
Après avoir remplir le rapport on enregistre en appuyant sur la touche « enregistrer », les informations sont réserver dans la base de données et en même temps ce message s'affiche directement



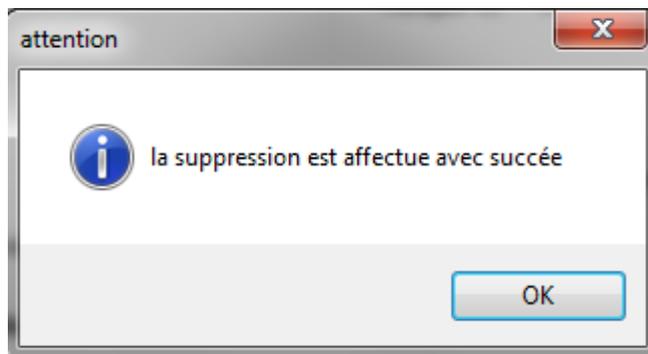
- **Suppression et modification**

Pour supprimer ou/et modifier des informations dans un rapport on clique sur le bouton « recherche », la fenêtre ci-dessous s'affiche.

Si nous voulons supprimer un rapport de la base de données on clique sur le bouton « supprimer », un message (voulez-vous supprimer le rapport n°...) s'affiche sur l'écran qui contient deux propositions, soit de confirmer, soit d'annuler la suppression.



Si on confirme par le bouton `oui` un autre message s'affiche qui nous informe que cette étape a été effectué avec succès.



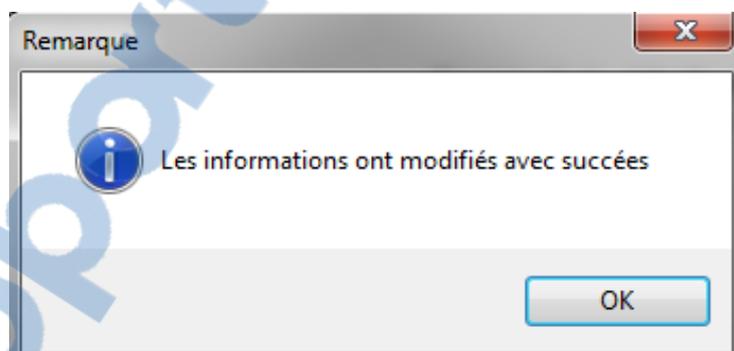
Mais si nous voulons modifier les données d'un rapport on appui sur l'icône «▶» qui se trouve à la ligne du rapport qu'on veut le modifier, quand il s'ouvre nous modifions les informations.

The screenshot shows a window titled "Modifier" with the subtitle "Rapport d'intervention". The form contains the following fields and options:

- Rapport N°: 1
- Tanger le: mercredi 1 juin 2016
- Service/Local: maintenance
- Identification de l'équipement:
  - Nom: nadia
  - Modél: hsk12
  - Marque: portable
- Type d'intervention:
  - Interne
  - Curative
  - Préventive
  - Externe
- Symptome et anomalies constaté: maroc fes
- Causes de la défaillances: payss
- Opération réalisées:
  - Démontage
  - Alignement et serrage des pièces
  - Réglage
  - Changement des pièces
  - Changement d'articles de recharge
  - Graissage
  - Nettoyage interne
  - Nettoyage externe
  - Essais de fonctionnement
- Autres opérations réalisées: on panne
- Remarques : dghaq

Buttons: Modifier, annuler

Puis on clique sur « modifier » pour confirmer la modification et le message ci-dessous s'affiche



### 2- Recommandations

Nous formulons des recommandations qui contribueront à améliorer le service de maintenance

Pour la maintenance de l'élément motoréducteur, on doit procéder à :

- un graissage périodique des paliers et de pignon d'attaque.
- un contrôle de la température des paliers, de pignon et de la couronne.
- un contrôle de la distribution uniforme de la graisse sur la couronne.
- un nettoyage des conduites de graisse pour empêcher l'obstruction.

- vérifier le niveau d'huile et l'état de tous les éléments du moteur

Pour la maintenance des éléments de la pompe, il faut :

- contrôler régulièrement l'alignement pompe-moteur.
- Vérifier l'état de capteurs de fin de course et le contacteur de moteur du groupe hydraulique
- nettoyer le moteur avec l'air comprimé et graisser les paliers régulièrement.
- contrôler le niveau d'huile dans les accumulateurs et respecter la fréquence du changement d'huile.

### 3- Pilotage de la performance

Pour l'amélioration de la maintenance nous proposons faire un tableau de bord pour savoir si la maintenance faite par les techniciens est efficace ou non à travers le degré de la criticité qui dépend de la fréquence, la gravité et la non-détection.

- **Etape 1 : Sélectionner les axes de progrès**

Il s'agira, dans une première étape, de définir les axes de progrès les plus profitables en tenant compte des spécificités de l'entreprise et de son marché ainsi que des moyens disponibles.

A partir de l'analyse de la maintenance du parc éolien on peut identifier ses axes de progrès

#### Les axes de progrès :

- ✓ Minimiser le coût de la maintenance (les heures et les nombres d'arrêt pour la maintenance préventive et corrective)
- ✓ Formation adéquate du personnel intervenant.

- **Etape 2 : Déterminer les points d'intervention**

Dans cette deuxième étape, il s'agira d'identifier exhaustivement les activités et processus critiques au sens des axes de progrès sélectionnés.

Le parc de Tanger est équipé d'un système de surveillance élaboré (type SCADA). Les moyens de communication modernes (Internet ou modem) permettent de se connecter au système de surveillance à distance et de suivre l'état de la production, de la disponibilité et les statistiques de pannes du site.

La fonction principale de l'opérateur est alors de vérifier régulièrement que le parc est en état de fonctionnement optimal. L'opérateur est par ailleurs responsable de vérifier que les travaux de maintenance et de réparation sont conformes aux contrats souscrits et sont effectués rapidement.

#### D'où les principaux activités du parc :

- ✓ Surveiller le bon fonctionnement des éoliennes.
- ✓ Identifier les éoliennes en état de panne.
- ✓ Suivre l'état de la production et la disponibilité.
- ✓ Faire des statistiques des pannes et des états d'arrêt des éoliennes.

### • Etape 3 : Sélectionner les objectifs ou bien le cadrage

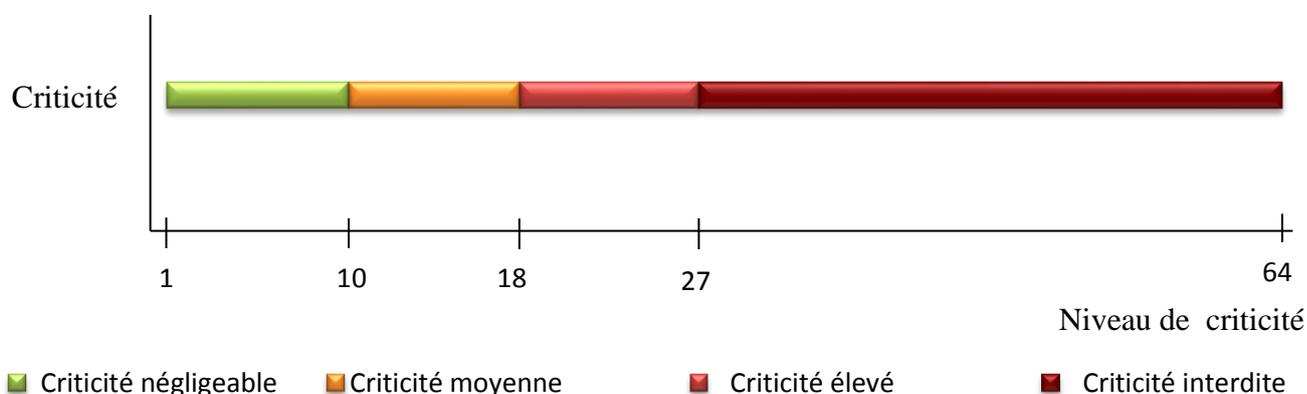
Lors de cette troisième étape, il faudra sélectionner les meilleurs objectifs « tactiques » pour tous les acteurs et groupes d'acteurs concernés par la démarche de progrès.

#### Choisir de bons objectifs :

- ✓ Le suivi de la performance du parc éolien.
- ✓ Analyse constructif des données afin d'avoir une idée sur le rendement.
- ✓ Intervenir au bon moment lors d'une défaillance.
- ✓ Améliorer le rendement du parc.

### • Etape 4 : Sélectionner les indicateurs

Sélectionner les indicateurs les plus pertinents en tenant compte des objectifs à suivre, du contexte et des habitudes de travail du décideur est l'objectif de la quatrième étape.



L'indicateur pertinent à intégrer au tableau de bord est :

- ✓ La criticité : indique l'efficacité de la maintenance effectuée. Calculer à partir de la gravité, la fréquence et la défaillance de non détection.

### • Etape 5 : Structurer le tableau de bord

Dans cette étape nous élaborons un tableau de bord en se basant sur l'indicateur pertinent qui résulte du questionnaire.

La mise en place de ce tableau de bord a permis aux personnels de la division d'exploitation de Fès :

- ✓ La vérification du respect des objectifs fixés par le parc éolien.
- ✓ La possibilité de mesurer les écarts entre les objectifs et le réalisé.
- ✓ L'optimisation du temps d'analyse et d'interprétation des résultats.

A	B	C	D	E	F
Composante	Fréquence	Gravité	Non-Détéction	Criticité	Criticité en %
Moteur-Réducteur	1	2	3	6	9%

Tableau 19 : tableau de bord

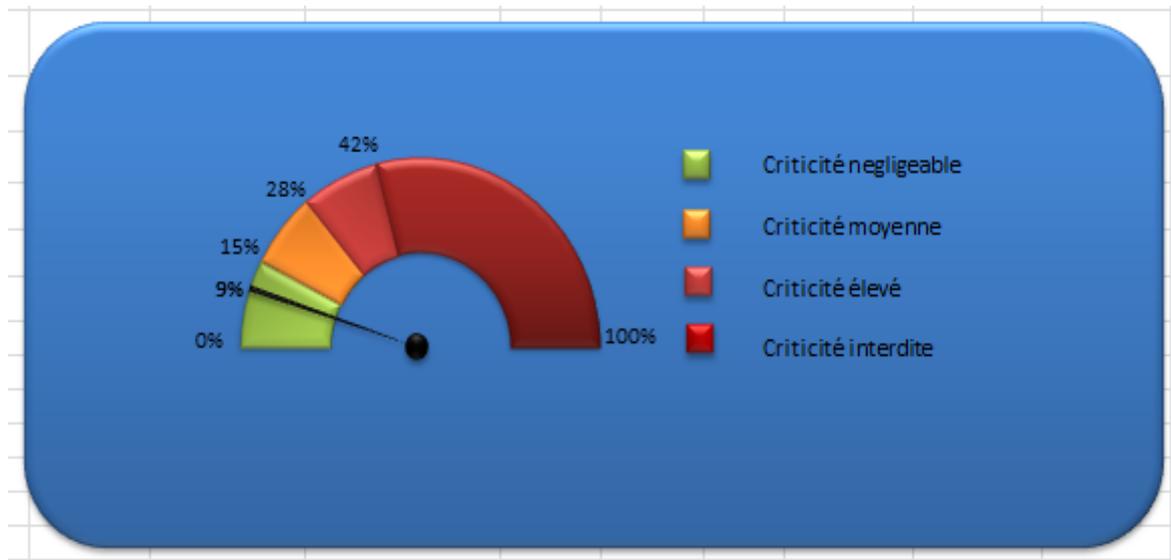


Figure 49 : graphe du tableau de bord

## II- Solutions techniques

Pour remédier aux équipements qui tombent souvent panne on va faire une étude technique de chaque composantes afin de proposer quelques solutions

### 1- Pompe à engrenage

#### 1.1- Définition et fonctionnement

Utilisent le profil combiné de deux roues d'entées pour transvaser et augmenter la pression d'un fluide. Elles sont exclusivement utilisées avec des fluides.

Une pompe à engrenages est une pompe volumétrique dotée de deux engrenages. Ces engrenages tournent dans le même sens et s'emboîtent l'un dans l'autre au niveau du corps de la pompe. Le carter de pompe est muni de deux connexions, l'une pour l'aspiration et l'autre pour le refoulement. L'engrenage central est directement entraîné par le moteur tandis que l'engrenage extérieur est entraîné par le premier. Le liquide est aspiré dans la cavité constituée par le vide entre les deux dents de l'engrenage. Le liquide est ensuite transporté vers l'orifice de refoulement. Lorsque le liquide est à ce niveau, l'espace situé entre les dents des deux engrenages se referme, et le liquide est ensuite évacué vers le côté refoulement.



Figure 50 : pompe à engrenage

### 1.2- Le rôle de la pompe

La pompe consiste en une unité de puissance hydraulique localisée sur le côté gauche du groupe hydraulique, est un élément de charge des accumulateurs (accumulateur de pitch, accumulateur de frein de rotation, accumulateur de rotor).

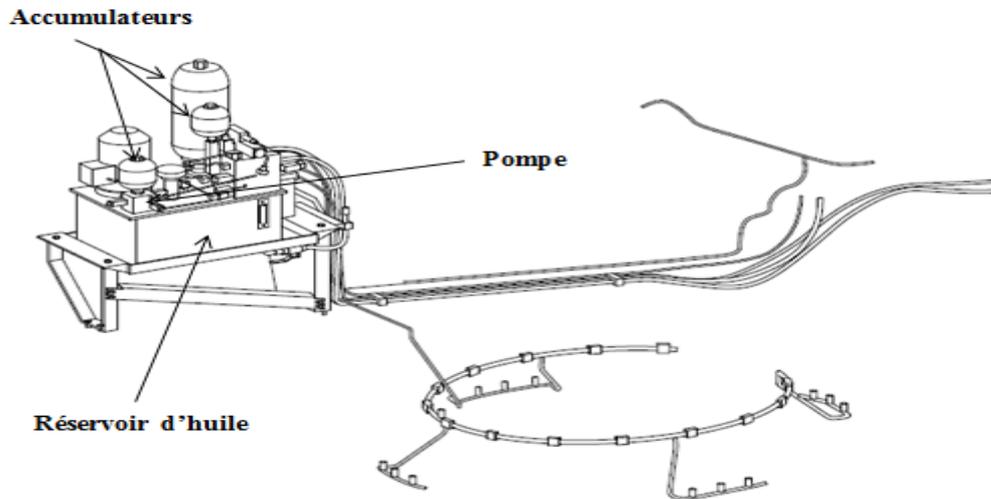


Figure 51 : Emplacement de la pompe dans le groupe hydraulique

#### Remarque :

D'après l'historique des pannes nous avons trouvé que la pompe est parmi les composants du groupe hydraulique qui tombent souvent en panne, et nous avons remarqué d'après les actions de maintenance effectuée que la cause principale de défaillance de la pompe est le contacteur.

### 2- le contacteur

#### 2.1- définition et fonctionnement

Le contacteur est un relais électromagnétique qui permet grâce à des contacts (pôles) de puissance d'assurer le fonctionnement de moteur de la pompe.

##### • Les constituants du contacteur ABB 26-30-10 :

- Une Bobine.
- Un ressort de rappel.
- 3 pôles
- Un circuit magnétique constitué d'un aimant fixe et d'un aimant mobile (armature fixe et mobile).
- Une bague de déphasage qui stabilise les vibrations des bobines alimentées en courant alternatif.

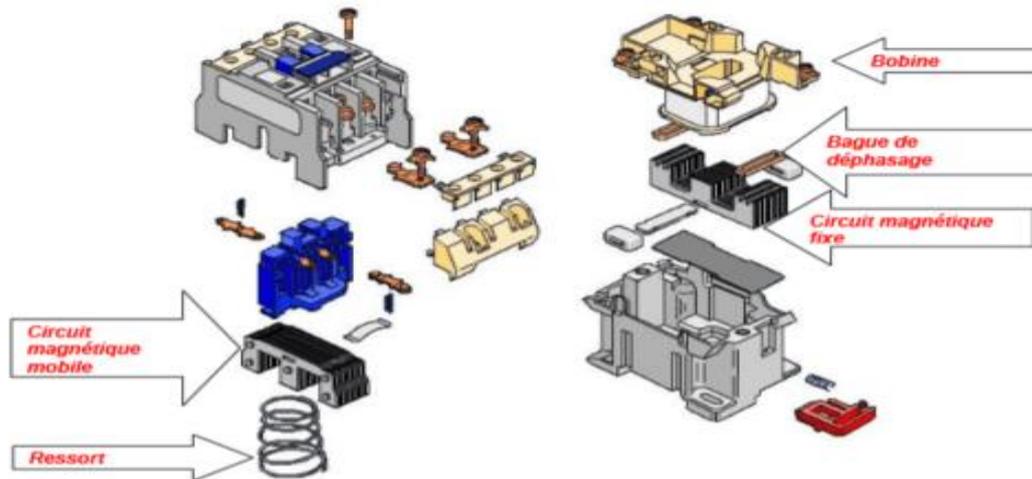
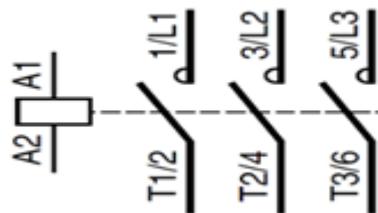


Figure 52 : les composants du contacteur ABB 26-30-10

La bobine du contacteur (bornes A1-A2), est alimentée en courant alternatif (220-230 V), Lorsque la bobine est alimentée, un champ magnétique se forme, la partie mobile de l'armature est attirée contre la partie fixe et les contacts se ferment. Lorsque la bobine n'est pas alimentée, le ressort de rappel sépare les deux parties de l'armature et maintient les contacts de puissance ouverts.



- **Caractéristiques du contacteur ABB 26-30-10 :**

Spécifications techniques	
Tension de bobine	220 → 230 V c.a. / 50 Hz
Nombres de pôles	3(45 A)
Température d'utilisation	-40 → +50 °C
Indice de protection	IP20
contact	NO

Tableau 20 : Caractéristiques du contacteur ABB 26-30-10

### 2.2- Les différents types des défauts du contacteur

Une augmentation ou une diminution anormale des grandeurs nominales constitue un défaut ou une perturbation. Ce sont le plus souvent les variations anormales de la tension, de l'intensité et de la température qui sont à l'origine de ces perturbations.

Les défauts les plus courants sont :

- Surintensité par surcharge.
- Surintensité par court-circuit.
- Surtension.
- La température.

	Définition	Conséquences
<b>La surcharge</b>	Elévation de l'intensité de 1 à 3 In d'un circuit due par exemple à une surabondance du contacteur.	Echauffement lent et progressif des parties actives, des masses métalliques, des isolants
<b>Le court-circuit</b>	Elévation brutale de l'intensité de 10 à 60 In dans un circuit due à une liaison accidentelle de deux points de potentiel différents (PH et N).	Arc électrique, échauffement important pouvant entraîner la fusion des parties actives (soudure des contacts, projection de particule).
<b>La surtension</b>	Augmentation soudaine et importante de la tension (supérieure de sa tension nominale).	Claquage des isolants, par conséquence des courts-circuits éventuels.
<b>La température</b>	Une température trop élevée ou trop basse modifieront ces données (Temps de réaction, courant de rappel, etc.)  Ainsi une température trop élevée indique que la bobine déploie trop d'énergie pour son utilisation normale	Une température trop haute favorise les réamorçages d'arc électrique et durée de vie de la bobine atteinte.  Une température trop basse favorise le soudage.

Tableau 21 : les défauts du contacteur et leurs conséquences

### 2.3- Solution proposée

#### a- Limiteur de surtension

- Définition et fonctionnement

Le limiteur de surtension est un appareil de sécurité dont le rôle est d'empêcher que la tension dépasse un certain seuil en aval de leur point d'installation.

Le limiteur de surtension se compose d'une varistance à oxyde métallique et de deux thyristors antiparallèles, qui sont déclenchés par un système électronique. Cette conception hybride permet une protection optimum contre les surtensions de courte durée à très longues.



Figure 53 : limiteur de surtension

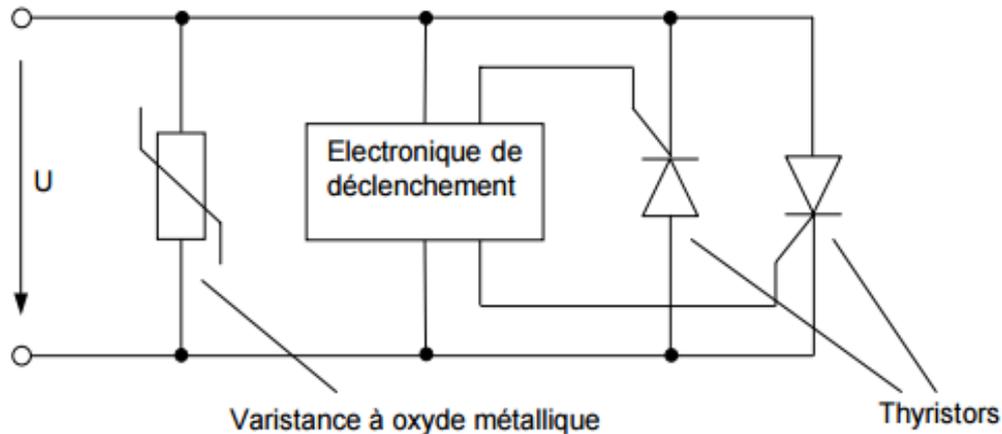


Figure 54 : Schéma fonctionnel de limiteur de surtension

La varistance métal-oxyde modifie sa résistance en fonction de la tension d'entrée  $U$ . Cela est effectué sans retard sensible (de l'ordre de la nanoseconde). La varistance métal-oxyde prend ainsi en charge la protection contre les surtensions de courte durée, comme elles peuvent se produire par exemple dans le réseau à la suite de décharges de foudre ou de manœuvres de couplage. Les surtensions de durée supérieure, dans la plage de la milliseconde jusqu'à plusieurs heures, ne peuvent pas être limitées par la varistance métal-oxyde pour des raisons énergétiques. Pour celles-ci, des thyristors qui peuvent ponter la varistance métal-oxyde avec une temporisation et protègent ainsi contre la surcharge thermique sont mis en œuvre dans le cas présent. La temporisation elle-même dépend de la tension d'entrée  $U$  appliquée au limiteur de surtension et se situe typiquement dans une plage de quelques centaines de microsecondes.

La durée de la surtension est donc le paramètre qui détermine la valeur de la limitation de tension. Si la durée est de l'ordre de plusieurs centaines de microsecondes, alors la courbe caractéristique de la varistance seule définit la limitation de tension. Si la durée de la surtension dépasse la valeur indiquée, un des deux thyristors est alors déclenché (selon la polarité de la surtension) et prend en charge le flux de courant. Cette condition reste en vigueur jusqu'à disparition du courant minimum de tenue du thyristor (entre 10mA et 500mA).

Le limiteur de surtension peut être intégré dans le contacteur et peut aussi être placé dans différentes places dans le contacteur (haut, bas, diagonale...) pour éviter les surtensions arrivées du moteur de la pompe <sup>[18]</sup>.

### b- Relais thermique

- Définition et fonctionnement :

Un relais thermique est un appareil de protection capable de protéger contre les surcharges.

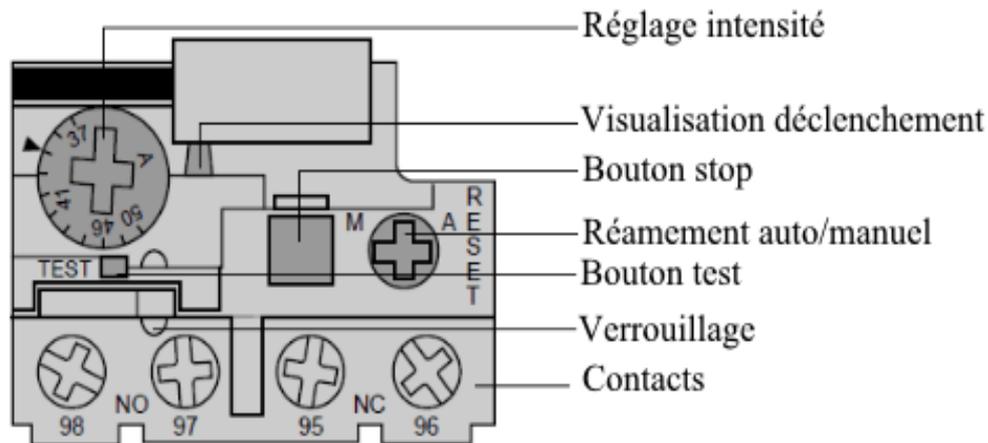


Figure 55 : les composants d'un relais thermique

Le relais thermique est composé de trois bilames constitués chacun de deux métaux (nickel et fer ou chrome et fer) assemblés par laminage à froid et dont le coefficient de dilatation est différent.

Un enroulement résistant et chauffant entoure les bilames et sont raccordés en série sur chacune des phases, l'échauffement causé par le passage du courant permet la déformation du ou des bilames. Cette déformation actionne un contact relié au circuit de commande du contacteur qui alimente le moteur. Une fois les bilames refroidies le réarmement est possible soit manuellement soit automatiquement.

Pour éviter le déclenchement du relais thermique dû à la variation de la température ambiante, un système de compensation est monté sur les bilames [17].

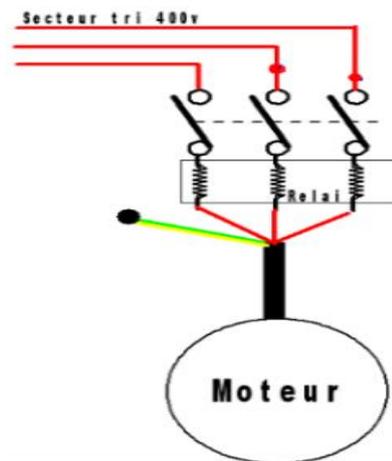


Figure 56 : Emplacement du relais thermique

### • Caractéristiques :

- Plage de réglage de 0,1 à 150A
- Auto-alimentation
- Mémoire thermique
- Sélection de différentes classes de déclenchement
- Réarmement Manuel / Automatique
- Déclenchement : 7 à 10 In (In =10 A) en 20ms maximum

### 3- Huile

### 3.1- Problématique

Durant notre stage et d'après le planning de maintenance, on a constaté que l'équipe de maintenance ont un problème de gestion du temps en ce qui concerne l'analyse d'huile avec lequel il travail car les techniciens envois des échantillons de ce dernier pour être analyser en Espagne afin de confirmer son efficacité, cela peut prendre du temps et par conséquence retentir sur la performance du travail. Pour cela on a suggéré une proposition d'un monitoring qui effectue les analyses d'huile sur le champ et par la suite éviter le gaspillage du temps.

### 3.2- Solution proposée

#### a- Définition de monitoring

Le monitoring électronique est un terme appliqué des technologies d'information et de communication pour collecter et analyser des données sur la performance du travail des employés. Il désigne la saisie des données et l'interprétation des informations d'état des machines, des installations et de leurs composants en vue de planifier les entretiens prévisionnels.

#### b- Le fonctionnement de monitoring

Les données de fonctionnement d'huile sont saisies à l'aide des capteurs pour la pression, le niveau, la température et la contamination des particules, ces derniers doivent être générées et traitées de manière pertinente ,puis sont analysés et interprétés, avec un diagnostic bien plus précis qu'un contrôle conventionnel des valeurs limite.

Pour finir, les informations comprimées au minimum requis concernant l'état d'huile peuvent être transmises à l'opérateur en vue du contrôle ou du pilotage par différents moyens de communication. Les modules d'une stratégie d'analyse systématique des appareils hydrauliques sont naturellement également des appareils de mesure électroniques mobiles pour la surveillance des installations à technique des fluides.

Le monitoring possède les modules et les interfaces nécessaires pour l'intégration du système :

- **Modules de conditionnement mécaniques**
  - raccords,
  - adaptateurs
  - blocs de distribution
  - blocs de commande...etc.
- **Les interfaces**
  - contacts à relais
  - CAN (convertisseur analogique numérique)
  - Ethernet...etc.

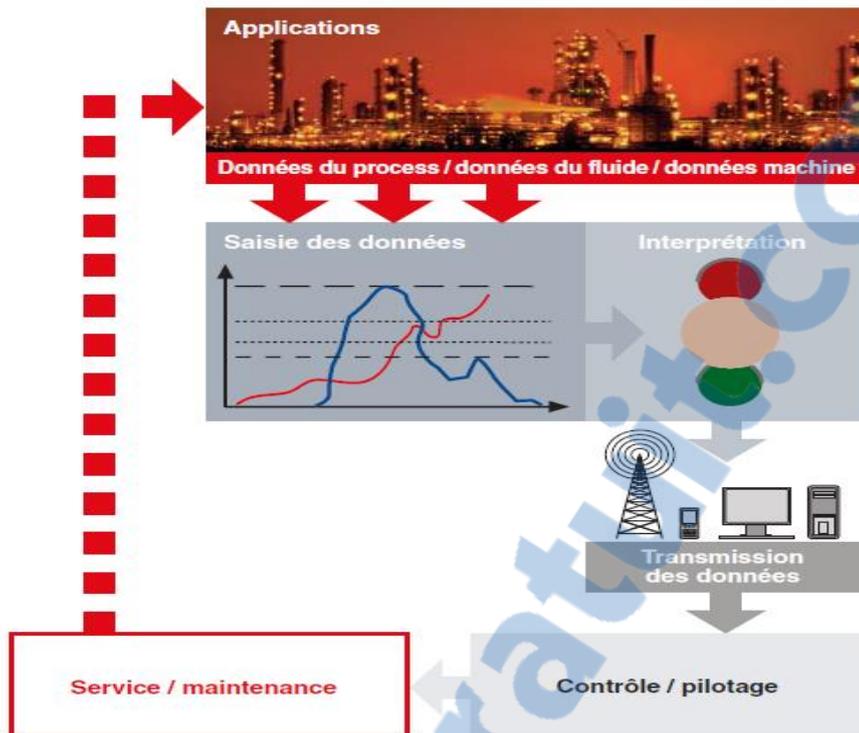


Figure 57 : les étapes de contrôle des machines à l'aide du monitoring

**c- Monitoring FMM**

Nous proposons d'utiliser Les modules de FluidMonitoring de la série FMM qui permet de contrôler les données (la pollution en particules solides, Température, Pression et Variation de viscosité et diélectrique) du système hydraulique,

Ils combinent des capteurs Contamination Sensor CS 1000, HYDACLab, HDA 4000 dans un seul système.

Capteurs	Fonctionnement	caractéristiques
	<p>Le Contamination Sensor CS 1000 est un capteur de particules permettant de mesurer en continu la contamination en particules solides des fluides.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-ISO 4406 (1999/1987), NAS 1638, SAE AS 4059</li> <li>- Signal de sortie : 4 ... 20 mA, 0 ... 10 V, RS 485, sortie relais, HSI</li> <li>- Plage d'utilisation : 0 ... 300 bar, 0 ... 85 °C</li> <li>-Plage de viscosité 1 ... 1000 mm<sup>2</sup>/s</li> </ul>
	<p>Capteur multiple pour l'enregistrement en ligne de l'état de l'huile. Au moyen des grandeurs de mesure que sont la température, l'humidité et l'indice de diélectricité</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Changement réel. de la viscosité : ± 30 % de la valeur initiale</li> <li>- Changement réel. de la constante diélectrique : ± 30 % de la valeur initiale</li> </ul>

		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Humidité relative : 0 ... 100 % saturation</li> <li>- Température : -25 ... 100 °C</li> <li>- Signal de sortie : séquentiel 4 ... 20 mA,</li> <li>- Sortie de communication, HSI</li> <li>- Plage d'utilisation : 0 ... 300 bar</li> </ul>
	<p>Le HDA 4000 est un capteur permet de mesurer en continu la pression d'huile.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Plages de mesure : 1...300 bar</li> <li>- Pression d'éclatement : 350 bar</li> <li>- Température : -25 ... 100 °C</li> <li>-Signal de sortie : 4 ... 20 mA, 0 ... 10 V, RS 485, sortie relais, HSI</li> </ul>

**Tableau 22 : les caractéristiques et le fonctionnement des capteurs de monitoring FMM**

Les blocs de la série FMM sont munis de toutes les connectiques nécessaires et sont ainsi faciles à intégrer dans des circuits hydrauliques existants. Des exécutions sont disponibles pour des circuits de filtration-refroidissement / réchauffement ainsi que des applications pression et haute pression.

- **Avantages du FMM :**

- Solution économique facile à intégrer.
- Anticipation des états critiques de la machine.
- Surveillance continue de l'état de l'huile.
- Planification de maintenance ciblée sur l'état de la machine.

## *Conclusion*

Notre travail consiste à rendre la maintenance plus performante, en premier lieu nous avons présenté des recommandations pour les éléments les plus critiques. Ensuite nous avons proposé quelques solutions techniques pour l'amélioration et le pilotage de la maintenance.

## *Conclusion*

---

Ce rapport est le rendement d'un travail collectif durant la période de notre stage, dans la société ONEE branche électricité, où nous avons pu mettre en pratique nos connaissances théoriques acquises durant notre formation.

Travailler sur ce projet a été une mission d'envergure selon la difficulté de récolter les données sur le terrain pour l'étude d'optimisation du coût de maintenance, ainsi l'augmentation des taux de disponibilité et la durée de vie des équipements de parc éolien de Tanger.

Pour cette raison nous avons essayé de faire dans un premier temps une description détaillée du fonctionnement de l'aérogénérateur, ainsi une analyse globale de la maintenance actuelle, puis nous avons appliqué la méthode PARETO pour savoir les éléments critiques qui tombent souvent en pannes, ensuite nous avons établi une étude AMDEC, ce qui nous a permis de cerner la problématique et de dégager les causes principales qui pénalisent le bon fonctionnement de l'aérogénérateur.

Pour minimiser ces anomalies et augmenter la disponibilité des équipements, nous avons proposé des recommandations sur la maintenance des éléments critiques, une fiche d'intervention pour savoir exactement les actions réalisés pour chaque visite de ce dernier, et pour son pilotage nous avons mis en place un tableaux de bord qui fait une analyse multidimensionnelle de la performance fondée sur l'équilibre entre les ambitions stratégiques à long terme et les contraintes opérationnelles à court terme. En outre nous avons proposé des solutions pour remédier les pannes.

Au terme du stage nous pensons que notre modeste travail avoir contribué à amener une valeur ajoutée pour améliorer la disponibilité des équipements de l'éolien.

## **Webographie**

- [1] : <http://www.one.org.ma/> (15-02-2016)
- [2] : <http://www.mem.gov.ma/SitePages/GrandsChantiers/DEEREnergieEolienne.aspx> (22-02-2016)
- [3] : <http://drømstørre.dk/wpcontent/wind/miller/windpower%20web/fr/tour/wres/betz.htm> (25-02-2016)
- [4] : <http://tpeeoliennefoucauld20092010.wifeo.com/2-les-differents-typesdeoliennes.php> (22-02-2016)
- [5] : <http://www.hbm.com/fr/2338/detection-preventive-des-dommages-sur-les-pales-de-rotor-d-eolienne/> (25-02-2016)
- [6] : <http://doctechno.free.fr/techno/4eme/moulinot/www.talentfactory.dk/fr/kids/intro/intronac.htm> (28-02-2016)
- [7] : [https://fr.wikipedia.org/wiki/Maintenance\\_technique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Maintenance_technique) (02-03-2016)
- [8] : <https://www.youtube.com/watch?v=yBaTRu3qyoo> (07-03-2016)
- [9] : <https://www.youtube.com/watch?v=aitWyWSVPco> (07-03-2016)
- [10] : <https://www.youtube.com/watch?v=ZHPyEgE2UgA> (07-03-2016)
- [11] : <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00152873/document> (15-03-2016)
- [12] : <http://crta.fr/wp-content/uploads/2013/10/04-Méthode-AMDEC.pdf> (03-04-2016)
- [13] : [http://chercheurs.edf.com/fichiers/fckeditor/Commun/Innovation/theses/These\\_Zille\\_vf.pdf](http://chercheurs.edf.com/fichiers/fckeditor/Commun/Innovation/theses/These_Zille_vf.pdf) (18-05-2016)
- [14] : <http://www.ouati.com/pareto1.html> (01-04-2016)
- [15] : <https://www.youtube.com/watch?v=WZvOxy5JJ9o> (15-04-2016)
- [16] : <https://www.youtube.com/watch?v=0rUvWxE44nE> (15-04-2016)
- [17] : <http://fr.slideshare.net/Ondernemersschool/les-constituants-dun-depart-moteur-13045195> (18-05-2016)
- [18] : [https://library.e.abb.com/public/4edcc7dec05f8ef6c1257a9f003c6999/ABB\\_1HC0023892\\_AB\\_FR\\_HVL.pdf](https://library.e.abb.com/public/4edcc7dec05f8ef6c1257a9f003c6999/ABB_1HC0023892_AB_FR_HVL.pdf) (22-05-2016)

## **Documents**

- [19] : G52 MOM : DESCRIPTION GENERALE. (Manuel I, II, III et IV) (Manuel du constructeur GAMESA)
- [20] : G52 MOM : MAINTENANCE. (Manuel I et II) (Manuel du constructeur GAMESA)
- [21] : Historique des pannes(2015).

## Annexe 1 : Etapes clés du projet

- *Avril 2005 – Décembre 2006*      *Développement du projet*
- *09 février 2007*                      *Signature du contrat de réalisation du projet*
- *26 juin 2007*                            *Ouverture du chantier*
- *05 avril 2009*                            *Mise sous tension du poste 33/225KV*
- *07 avril 2009*                            *Mise en service du site éolien Dhar Saâdane (107 MW)*
- *26 novembre 2009*                    *Réception provisoire partielle du site éolien Dhar Saâdane*
- *28 juin 2010*                            *Inauguration du parc par Sa Majesté le Roi Med VI*
- *23 septembre 2011*                    *Mise en service du site éolien Beni Mejmél (33 MW)*
- *25 novembre 2011*                    *Réception provisoire partielle du site éolien Beni Mejmél*
- *Constructeur*                            *GAMESA EOLICA*

## Annexe 2 : Paramètres du parc

- *Type de l'aérogénérateur*                      *GAMESA G52-850KW*
- *Nombre d'éoliennes*                            *165*
- *Puissance nominale de l'éolienne*            *850 KW*
- *Productibilité moyenne / an*                    *526,5 GWh*
- *Vitesse moyenne du vent à 40m d'altitude*    *9 m/s*
- *Coût global du projet*                        *2,75 milliards de dirhams*
- *Economie de fioul*                            *126 000 tonnes/an*
- *Réduction d'émission de gaz CO2*            *368 000 tonnes/an*
- *Hauteur de la tour*                            *49 m – 55 m – 65 m*
- *Diamètre du rotor*                            *52 m*
- *Surface balayée*                            *2124 m<sup>2</sup>*
- *Vitesse du rotor*                            *14,6 - 30,8 tr/min*
- *Poids : Nacelle*                            *23 T*
- *Rotor*                            *10 T*
- *Tour de 65 m*                            *79 T/section*