



REPUBLIQUE DU BENIN



\*\_\*\_\*\_\*\_\*

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

\*\_\*\_\*\_\*\_\*

UNIVERSITE D'ABOMEY-CALAVI

\*\_\*\_\*\_\*\_\*

ECOLE POLYTECHNIQUE D'ABOMEY-CALAVI

\*\_\*\_\*\_\*\_\*

CENTRE AUTONOME DE PERFECTIONNEMENT

\*\_\*\_\*\_\*\_\*

**MEMOIRE DE FIN DE FORMATION POUR L'OBTENTION DU  
DIPLOME DE LICENCE PROFESSIONNELLE**

**OPTION :** Sciences et Techniques Industrielles

**SPECIALITE :** Maintenance Industrielle

**THEME :**

**CONTRIBUTION A L'AMELIORATION DE LA MAINTENANCE  
DES ALTERNATEURS DE PUISSANCE DE GROUPE  
ELECTROGENE DE BENIN TERMINAL**

**Présenté et soutenu par :**

Nourou ADAM

**Tuteur du stage :**

Monsieur Barnabé Bignon AHOUANSOUHA

Assistant Chef d'Equipe de la Centrale Electrique  
de Bénin TERMINAL

**Superviseur :**

Docteur Toussaint Codjo KOSSOU

Enseignant à l'EPAC

**Membres du Jury**

**Président :** Pr SEMASSOU Clarence, Enseignant à l'EPAC

Docteur Toussaint Codjo KOSSOU, Enseignant à l'EPAC

Ir NOUNAGNON Hector, chercheur à l'EPAC

***Année académique : 2022-2023***

## DEDICACE

Je dédie ce travail de recherche à ma petite famille pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire. Que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux et le fruit de votre soutien infaillible, Merci d'être toujours là pour moi !!!

Nourou ADAM

## REMERCIEMENTS

- ❖ Nous adressons nos sincères remerciements à tous ceux qui ont contribué de quelque manière que soit à la rédaction de ce mémoire. Nous saluons particulièrement :
- ❖ Professeur Guy Alain ALITONOU, Professeur Titulaire des universités du CAMES, Directeur de l'EPAC ;
- ❖ Docteur KOSSOU Toussaint Codjo, pour avoir accepté de diriger ce travail et pour ses conseils très pertinents ;
- ❖ A toute l'équipe dirigeante de l'Ecole Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC), en particulier celle du département de Génie Mécanique et Energétique (GME) pour la qualité de notre formation ;
- ❖ Monsieur Armand HOUNDENOU, Chef d'Equipe Electricité à Bénin Terminal
- ❖ Tous les enseignants et techniciens des laboratoires de l'EPAC et en particulier du département de Génie Electrique de l'EPAC, pour tous les efforts consentis pour notre formation ;
- ❖ Vous, honorables membres du jury, c'est un honneur que vous nous rendez en acceptant de juger ce travail. Nous restons persuadés que vos critiques et suggestions contribueront à un apport de qualité ;
- ❖ Monsieur Jean-François ALIAS, Directeur Technique de Bénin Terminal ;
- ❖ Monsieur Claude LISSANON, Directeur Technique Adjoint de Bénin Terminal ;
- ❖ Monsieur Romuald HOUANNOU, Chef Service Roulant ;
- ❖ Tous les collègues et amis pour leur assistance et soutien.

## SOMMAIRE

DEDICACE.....	ii
REMERCIEMENTS.....	iii
LISTE DES SIGLES, ACRONYMES ET ABREVIATIONS .....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
<u>LISTE DES FIGURES</u> .....	vi-7
RESUME ET ABSTRACT .....	viii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
PREMIERE PARTIE : .....	3
PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DEROULEMENT DU STAGE .....	3
CHAPITRE 1 : EXPERIENCES PROFESSIONNELLES A BOLLORE TRANSPORT LOGISTICS .....	4
DEUXIEME PARTIE .....	32
<i>TRAVAIL DE FIN D'ETUDE</i> .....	32
PROTOCOLE DE RECHERCHE .....	33
CHAPITRE 2 : CONNAISSANCE DES GROUPES ELECTROGENES .....	35
CHAPITRE 3 : ETUDE DE L'ALTERNATEUR D'UN GROUPE ELECTROGENE .....	54
CHAPITRE 4 : PRINCIPE ET PROCEDURE DE LA MAINTENANCE A BENIN TERMINAL .....	71
BIBLIOGRAPHIE .....	96
WEBOGRAPHIE.....	96
ANNEXES .....	a

## **LISTE DES SIGLES, ACRONYMES ET ABREVIATIONS**

**kWc:** Kilowatt Crête

**kWh :** Kilowattheure

**LMP :** Lithium Métal Polymère

**GE :** Groupe Electrogène

**EPAC :** Ecole Polytechnique d'Abomey Calavi

**SBEE :** Société Béninoise d'Energie Electrique

**BT :** Basse Tension

**HTA :** Haute Tension Catégorie A

**PV :** Photo Voltaïque

**ATS :** Automatic Tranfer Switch

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Calendrier de déroulement du stage.....	22
Tableau 2 : Les principales fréquences de vibration produites par l'alternateur .....	59
Tableau 3 : Valeur du moment de flexion .....	60
Tableau 4 : Localisation des défauts (en cas de pannes) : R438.....	78
Tableau 5 : Tableau des suggestions.....	93

## LISTE DES FIGURES

Figure 1: Hacheur MSC .....	15
Figure 2 : AFE.....	15
Figure 3: Clim Shelter AFE .....	16
Figure 4 : Intérieur Shelter .....	16
Figure 5 : Arrivée PV .....	16
Figure 6 : Bus DC.....	16
Figure 7: Protection PV .....	16
Figure 8: Shelter Batterie .....	16
Figure 9 : Batterie.....	16
Figure 10 : Hacheur Nidec .....	16
Figure 11 : AFE.....	17
Figure 12: Champ PV.....	17
Figure 13: Shelter AFE avec inverseur manuel .....	18
Figure 14 : Réservoir (Tanks) .....	18
Figure 15 : Photo de l'ensemble des GE.....	18
Figure 16 : Photo du groupe Electrogène SDMO .....	18
Figure 17: Groupe électrogène 2250 kVA dépouillé, nettoyé, enchemisé et en cours de remontage.....	29

Figure 18 : Démontage et nettoyage de filtre à gasoil du groupe électrogène 2250 kVA .....	30
Figure 19 : Vérification de l'entrefer entre le stator et le rotor du groupe électrogène 2250 kVA.....	30
Figure 20 : Remise en état de la valve de commande électrique pour le levier d'inverseur du MANITOU M-X30-2.....	31
Figure 21 : Batteries du groupe de moteur 1250 kVA.....	48
Figure 22 : Vue d'un rotor.....	55
Figure 23 : Vue des encoches et des enroulements.....	56
Figure 24 : Photo de l'alternateur de puissance de 2050 kVA .....	57
Figure 25 : Disjoncteur du groupe électrogène 2250 kVA .....	69
Figure 26 : Filtre à huile du moteur SDMO (2250kVA) .....	77
Figure 27 : Régulateur de tension .....	81
Figure 28 : Tableau de commande et de contrôle des grandeurs électriques.....	81
Figure 29 : Entretien lors des travaux de stage .....	d
Figure 30 : Travaux effectués avec les blancs .....	e

## LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : organigramme de BENIN Terminal.....	a
Annexe 2 : Synoptiques avant et après du système solaire photovoltaïque .....	b
Annexe 3 : Synoptique du système solaire photovoltaïque sans batteries.....	c
Annexe 4 : Quelques photos prises pendant le stage .....	d

## Résumé

Dans une vision d'assurer le bon fonctionnement de ses ouvrages électriques et palier aux multiples pannes pouvant entraîner des perturbations voire la rupture de l'énergie électrique, la Société Bénin TERMINAL de BOLLORE GROUPE a initié un planning annuel de maintenance préventive de ses installations. Mais force est de constater qu'en cas de pannes planifiées ou non du réseau national ; les groupes ne répondent pas comme prévu pour des raisons de maintenance et d'entretien. Cette défaillance du système de maintenance cause d'énormes pertes économiques pour l'unité de production de Bénin TERMINAL. Face à ce constat et le souci de participer à la bonne gestion de la maintenance de la centrale de secours de ladite société, nous avons orienté nos recherches sur le thème : contribution à l'étude et à l'amélioration de la maintenance des alternateurs de groupe électrogène de Bénin TERMINAL. Les résultats de nos travaux permettront la réduction du taux de panne gage d'un meilleur rendement économique pour Bénin TERMINAL.

**Mots clés** : maintenance, groupe électrogène

## Abstract

With the vision of ensuring the proper functioning of its electrical structures and mitigating the multiple failures that could lead to disruptions or even disruption of electrical energy, the Company Benin TERMINAL's of BOLLORE GROUP has initiated an annual preventive maintenance schedule for its facilities. But it is clear that in the event of planned or unplanned outages of the national network ; groups do not respond as expected for maintenance and upkeep reasons. This failure of the maintenance system causes enormous economic losses for Benin TERMINAL's production unit. The results of our work will allow the reduction of the failure rate, guaranteeing better economic performance for Benin TERMINAL's.

**Keywords** : maintenance, generators



## **INTRODUCTION GENERALE**

Les projets du Groupe Bolloré entendent être exemplaires en matière d'environnement et de consommation d'énergie. Au Bénin, l'expérience a commencé avec la « Blue Zone » de Zongo et a continué avec le « Canal Olympia » de Wologuèdè. Sur les deux sites, l'ensemble des bâtiments est alimenté en énergie par 432 panneaux solaires pour une puissance totale de 142 kWc afin de subvenir aux besoins en énergie de la salle de cinéma du Canal Olympia en journée et recharger des batteries LMP de « Blue Solutions » de 360 KWh qui permettent notamment de restituer la nuit l'énergie solaire stockée pendant la journée. Ce système est accompagné d'un groupe électrogène de 110 kVa. La maintenance et l'entretien de ces équipements à la pointe de la technologie est assurée par les équipes de la direction technique.

Depuis son ouverture au public, il y a trois (03) ans, le Canal Olympia Wologuèdè s'emploie à maintenir le standard qui fait aujourd'hui de lui, l'un des centres récréatifs privilégiés pour la jeunesse de Cotonou. Le secret des performances de cette entreprise, se trouve dans la qualité de ses équipements qui bénéficient d'un entretien et d'une maintenance sans précédent. « Les équipements dont nous disposons sont à la pointe de la Technologie et représentent ce qui se fait de mieux en termes de technologie dans ce domaine car nous nous sommes amusés à faire le tour de nombreuses installations solaires et nous n'avons pas vu meilleur que ce qui est installée chez nous ». Confie Jean François ALIAS, Directeur Technique de Bénin Terminal.

Nous avons constaté au cours de notre stage que ce système dont Blue Solutions est en charge connaît certaines défaillances liées à la refacturation élevée au client qu'est le Canal Olympia car derrière ce système, les entretiens et coûts des batteries sont très élevés. Ainsi pour améliorer le système et faire moins de mécontents, nous avons décidé de travailler sur le thème :

**« CONTRIBUTION A L'ETUDE ET A L'AMELIORATION DE LA  
MAINTENANCE DES ALTERNATEURS DE PUISSANCE DE GROUPE  
ELECTROGENE DE BENIN TERMINAL »**

Cette étude va permettre à Blue Solutions de réduire le coût en matière de refacturation et d'offrir un service de qualité aux consommateurs. Pour ce faire, nous présenterons, dans un premier temps, la structure d'accueil et le déroulement du stage. La deuxième partie sera consacrée au travail d'étude du nouveau système solaire photovoltaïque sans batteries.

**PREMIERE PARTIE :**

**PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET  
DEROULEMENT DU STAGE**

## **CHAPITRE 1 : EXPERIENCES PROFESSIONNELLES A BOLLORE TRANSPORT LOGISTICS**

### **Introduction partielle**

Ce chapitre est consacré à la présentation de BOLLORE TRANSPORT LOGISTICS dont la direction technique est Bénin Terminal. Société française qui a le monopole dans le transport et la logistique, le pétrole, le gaz la télévision numérique, le cinéma, l'énergie. L'accent est mis sur l'énergie en particulier sur le système solaire photovoltaïque du groupe Bolloré dont Bénin Terminal a été le service d'accueil de notre stage.

### **1.1 Historique**

Fondé par la famille BOLLORE en 1822 près de Quimper en Bretagne (France), le Groupe BOLLORE est un groupe industriel français diversifié et indépendant qui intervient dans des domaines comme le transport et la logistique. Il figure parmi les 500 plus grandes compagnies mondiales et est présent dans 150 pays dont 50 en Afrique.

A partir des années 1980, le Groupe BOLLORE diversifie ses activités et s'occupe des métiers de transport international (organisation du transport multimodal des marchandises par voie aérienne, maritime et terrestre, agence maritime et logistique portuaire, transit portuaire et aéroportuaire, stockage, entreposage et distribution...). Il débute en Afrique en 1927 avec la création des activités de la SCAC/SOCOPAO, entités rattachées à Suez en 1986.

Pour étendre son réseau et ses activités, BOLLORE rachète, en 1991, la Société DELMAS spécialisée dans les transports depuis et vers l'Afrique. En 1993, DELMAS et SOCOPAO sont fusionnées donnant naissance à SDV. En 1997, il opère une offre publique d'achat (OPA) hostile sur le Rivaud, vestige du capitalisme du colonial, qui possède 10000 hectares de plantation en Asie et en Afrique. Le groupe rachète également SAGA en 1997, Transintra et Ami en 1999,

puis l'armateur Otal et son réseau terrestre Antrak en 2000. En 2006, DELMAS et Otal sont revendus à l'armateur CMA CGM.

## 1.2 Mission

En 2008, les activités africaines du Groupe sont regroupées au sein de la nouvelle marque BOLLORE AFRICA LOGISTICS (BAL). En 2016, le Groupe est restructuré et renommé, BOLLORE TRANSPORT & LOGISTICS (BTL) et quatre pôles sont alors déclinés comme suit : « **Bolloré Logistics** », « **Bolloré Railways** », « **Bolloré Energy** » et « **Bolloré Ports** ».

- **Bolloré Logistics** : Acteur global de la supplychain, qui propose une gamme de services dans cinq (05) domaines : transport multimodal, douane et conformité réglementaire, logistique, global supplychain et projets industriels. Il comprend les fonctions commission de transport et Solutions Logistiques ;

- **Bolloré Railways** : Spécialisé dans la construction et l'exploitation de chemin de fer en Afrique (Bénirail au Bénin) ;

- **Bolloré Energy** : Acteur majeur de la distribution et de la logistique pétrolière en France et en Europe ;

- **Bolloré Ports** : Acteur global de l'activité portuaire opérant dans 21 concessions dans le monde dont 16 sur le Continent Africain. Son savoir-faire s'articule autour de trois (3) principaux domaines d'expertise que sont : la gestion de concession portuaire, la manutention portuaire et la consignation maritime.

BENIN TERMINAL, filiale du Groupe BTL est une entreprise française. Elle a été conçue le 1<sup>er</sup> juillet 2013 pour l'exploitation des portiques de quai. Elle a été fondée sur la base des besoins du Port de Cotonou en équipement de manutention maritime et depuis sa création, est restée centrée sur la modernisation de la plateforme portuaire. Il n'a cessé de s'enrichir en intégrant les innovations technologiques afin de pouvoir répondre aux besoins de ses clients et d'être toujours en avance dans un monde en perpétuelle mouvance.

Depuis le démarrage de ses activités, BENIN TERMINAL assure la gestion du terminal à conteneurs du Port de Cotonou pour une durée de 25 ans renouvelable. Après investissement en infrastructures et équipements, il est aujourd'hui le point de passage privilégié des marchandises conteneurisées à destination du Bénin, du Nigéria et des pays de l'hinterland.

### **1.3 Activités**

BENIN TERMINAL est une société privée à vocation commerciale qui fait preuve de compétence dans le Port de Cotonou. Ses activités se situent uniquement au niveau de la manutention. Il opère seulement sur les navires portes conteneurs. Il assure la conception, le financement, la construction, l'opération, la maintenance et la promotion de terminaux portuaires en les dotant d'infrastructures de qualité, d'équipements de pointe, de technologies modernes et de professionnels formés aux métiers portuaires. BENIN TERMINAL offre à ses clients :

- La manutention bord, encore appelé stevedoring, qui regroupe toutes les opérations exécutées sur les navires porte-conteneurs en répondant aux besoins du marché grâce à son organisation et aux partenariats internationaux ou locaux passés avec les acteurs majeurs du marché. Le stevedoring désigne donc l'ensemble des opérations de débarquement des marchandises, du navire au sous-palan et l'embarquement de ces dernières du sous-palan aux navires.

- La manutention terre ou acconage, qui constitue le déplacement des marchandises à l'aide d'un moyen de transport du sous-palan au magasin ou sur les terre-pleins sans oublier leur réception, leur reconnaissance, leur garde puis leur transfert ou livraison au lieu de vente.

Il intervient dans le secteur tertiaire qui constitue un secteur économique primordial en améliorant le niveau de vie par l'emploi de plus d'une centaine de salariés.

## 1.4 RESSOURCES

Les ressources dont dispose BENIN TERMINAL sont entre autres :

- Un effectif de plus de 400 employés ;
- Une longueur totale des quais : 546 m ;
- Un tirant d'eau : 13.5 m à 15m ;
- Des parcs à conteneurs : plus de 20 hectares répartis en 03 zones ;
- Des équipements modernes : quatre portiques de quai capables de réaliser 26 à 30 mouvements/heure ;
- Des grues mobiles : deux grues de 100 tonnes de capacité de levage ;
- Dix portiques de parc Rubber Tyred Gantry Grane (RTG) ;
- Douze Reach stackers (RS) ;
- Quarante Tugmasters ;
- Une capacité de stockage des conteneurs pleins : 20.000 EVP ;
- Une capacité annuelle théorique : 950 000 EVP ;
- Cinq grand bus et trois minis bus (pour les navettes) ;
- Deux engins à fourche de 4 Tonnes ;
- Trois chariots élévateurs de 16 Tonnes ;
- Trois parcs à conteneurs : parc BT ; parc SMIC ; parc ZONE MER ;
- Un ensemble d'outils informatiques efficaces dans la mesure où ils servent de canal d'échanges et d'ouverture du marché et permettent un suivi attentif des progrès techniques. Il s'agit de :
  - IPAKI qui est une base de données théorique (progiciel) qui renseigne sur l'ensemble des factures standard (clients), administratif (factures pas encore formalisé), stevedoring (pour l'armateur). Système sécurisé et traçable ;
  - IPAKI IES : système de facturation externalisé, Les clients privilégiés (BTL, DAMCO par exemple) effectuent eux-mêmes la facturation qui

se valide dans le système et leur permet de payer directement à la banque pour éviter la tracasserie aux comptoirs documentaires ;

- OSCAR qui est un progiciel du système d'exploitation graphique qui matérialise à la fois le conteneur, le terminal et le navire. Permet de mesurer, de suivre, et de piloter l'ensemble des mouvements sur le terminal ; de maintenir la fluidité des opérations, Montre le plan de tout l'air de stockage, ainsi que toutes les travées qui la composent, permettant ainsi de voir l'emplacement exact de chaque conteneur sur le yard ;
- TEMBO : est un progiciel d'archivage de tous les documents reçus au comptoir (pas de perte de facture, fiable) ;
- TOS: et un système d'exploitation, élément clé de la chaîne d'approvisionnement qui vise principalement à contrôler le mouvement et le stockage de divers types de fret dans et autour du terminal ou du port.

## **1.5 Organe de Gestion de BOLLORE TRANSPORT LOGISTICS**

BENIN TERMINAL est une société privée qui, à l'instar de toutes les sociétés privées responsable, s'est dotée d'une administration hiérarchisée avec à la tête de chaque département un Directeur ou un Responsable.

### **1) STRUCTURE ORGANISATIONNELLE**

#### **a- La Direction Générale**

La Direction Générale assure non seulement la supervision du travail effectué par la direction administrative et financière, mais aussi la mission accomplie par l'ensemble des départements de la société. Elle est chargée de l'élaboration de la politique générale de l'entreprise et de la coordination de ses activités. Elle est également chargée de l'exécution et du suivi de certaines décisions reçues du siège général.



### **b- La Coordonnatrice QHSE**

La Coordonnatrice QHSE s'occupe de toutes les questions relatives au management de la qualité, de l'hygiène, de la sécurité et l'environnement. Ses actions s'étendent à toutes les activités déployées sur les différents sites d'exploitation de l'entreprise.

### **c- Le Responsable Commercial**

Le Responsable Commercial est le garant du chiffre d'affaires et de la marge commerciale sur le périmètre qui lui est attribué. Il peut participer à la définition de la stratégie commerciale et à la responsabilité de la conduire. Il fixe Les objectifs et les axes prioritaire des actions commerciales.

### **d- La Direction Administrative et Financière**

La Direction Administrative et Financière a pour fonction la gestion des moyens généraux et celles des ressources humaines, le pilotage des tâches administratives et l'assurance de la régularité, de la sincérité ainsi que du traitement des opérations de comptabilité et financières.

### **e- La Direction des Ressources Humaines**

La Direction des Ressources Humaines a pour rôle l'application de la politique de gestion des ressources humaines fixée par la direction. Aussi d'analyser les besoins humains de l'entreprise. Et enfin d'assurer le suivi administratif des salariés (congrés, contrats, paie, maladie, formation etc....).

### **f- La Direction des Systèmes d'Information**

Le service informatique de BENIN TERMINAL est très important dans la célérité et la bonne marche de l'entreprise. En effet elle assure l'accès à l'internet sur tout le terminal ainsi que dans les bureaux.

### **g- La Direction Juridique et du Contentieux**

Le service juridique et du contentieux est chargé de la gestion des différents contrats et conventions, la gestion des litiges et contentieux, les formalités pour la création d'entreprises, les assemblées générales et la mise à jour de registres de commerces ; etc...

### **h- Le Responsable Communication**

Le Responsable Communication supervise la rédaction de communiqués et dossiers de presse. Il choisit et conçoit les supports de communication et étudie les moyens de réalisations ; veille à la relance des journalistes et supports presse lorsque des opérations sont organisées afin que le nom de l'entreprise soit diffusé au maximum. Le responsable communication est une personne qui doit être avenante et douée pour les relations publiques,

### **i- La Direction d'Exploitation**

La Direction d'Exploitation est un membre de l'équipe de la direction de BENIN TERMINAL. Dans sa fonction, il doit assurer la direction du périmètre de production qui lui est confié. Pour réussir sa mission, des ressources productives (compétences humaines, matérielles, logicielles, etc..) lui sont allouées. Il en a la gestion et le management des activités.

### **j- Le Service Infrastructures**

Le Service Infrastructures est l'ensemble des services fournis pour répondre à des exigences d'ordre général, comprenant les solutions technologiques et logicielles, y compris un cadre d'interopérabilité européen, la sécurité, les logiciels intermédiaires et les services réseau.

## **k- La Direction Technique**

La fonction première de la Direction Technique est d'encadrer et de diriger toute l'activité technique au sein de BENIN TERMINAL. Travaillant directement en collaboration avec la Direction Générale, il gère en réalité les ressources et les moyens techniques.

### **2) Les différents services**

L'exploitation au cœur de BENIN TERMINAL regroupe sept (7) services que sont :

#### **a- Le Service Facturation Bord**

Le Service Facturation Bord est le service qui se charge de la récupération de la documentation signée des agents maritimes à la fin de chaque escale mais aussi la facturation des colis spéciaux. Il facture directement les agents maritimes.

#### **b- Le Service Facturation Terre**

Le Service Facturation Terre est le service qui assure la facturation des opérations terrestres. Il facture directement les clients Importateurs.

#### **c- Le Service Client**

Le Service Client reçoit les demandes diverses des clients importateurs et exportateurs, procède au contrôle documentaire des bookings délivrés par les agences maritimes et édite les différents documents d'accès au terminal. Il reçoit et oriente les plaintes des clients vers les services adéquats.

#### **d- Le Service Système d'Exploitation**

Le Service Système d'Exploitation est le service en charge du contrôle du système de fonctionnement du terminal en relation avec la Direction des Solutions

Informatiques. Il définit et crée le profil et les options de chaque utilisateur en fonction de ses tâches et s'assure de la régularité des opérations faites dans le système ainsi que la mise à jour et l'édition des statistiques, Il produit les statistiques opérationnelles du terminal.

#### **e- Le Service de Gestion des Accès**

Le Service de Gestion des Accès gère l'organisation des accès au terminal pour les camions venus charger ou décharger des conteneurs. Le service accès procède au contrôle de la validité des documents d'accès, à l'entrée des camions sur le parc et au contrôle de conformité à la sortie du terminal entre les informations contenues sur les documents d'accès et les conteneurs chargés.

#### **f- Le Service Opération**

Bras armé de l'exploitation, le Service Opération assure l'exécution des différentes missions organisées par le service planification, mais aussi gère le personnel dédié aux activités maritimes et terrestres. La gestion des équipements de manutention, l'embauche des équipes spécialisées et l'affectation des engins de manutention conformément aux différentes missions programmées, constituent le dernier volet de sa mission.

#### **g- Le Service Planification**

Le Service Planification est le service en charge de l'élaboration des plans de travail des activités quotidiennes des navires. La prochaine section est consacrée à l'environnement de BENIN TERMINAL et aux remarques du stage.

#### **Concurrents**

BENIN TERMINAL se trouve en situation de concurrence avec deux autres sociétés que sont :

- La société COMAN SA, filiale du groupe MAERSK, qui est une entreprise privée de taille importante disposant de trois (3) grues mobiles. Concurrente n°1 de BENIN TERMINAL, elle traite les navires du groupe MAERSK ;
- La Société Béninoise de Manutention Portuaire (SOBEMAP) : Etablissement Public à caractère commercial, a le monopole de la manutention conventionnelle.

### **Clientèle**

La clientèle constitue l'ensemble des personnes physiques ou morales se rapprochant de BENIN TERMINAL pour bénéficier de ses prestations de service en manutention. BT offre ses prestations à plusieurs catégories de clients à savoir :

- Les clients du groupe : SAGA ; SOCOPAO et d'autres filiales du groupe dans le monde.
- Les clients ordinaires : LA ROCHE ; ESPACE BATIR ; SOBEPEC ; EREVAN, AGRO Plus ; ATRAL ; CFAO MOTORS.
- Les clients amateurs: CMA-CGM, PIL, MSC, COSCO, HAPAG LLOYD, ZIM, ARKAS LINE, ONE, EVERGREEN, MAERSKLINE.

### **Entreprise en coopération**

BENIN TERMINAL a plusieurs partenaires d'affaires que sont : PAC, SEGUB, BENIN CONTROL, DOUANE BENINOISE, CNCB, DAMCO, BTL, ECOBANK, BOA, SGB.

## **3- Le macro-environnement**

Il étudie les structures générales, les grandeurs et les variables globales (contexte économique, contexte politique, contexte technique).

### **1- Contexte économique et social**

Le port de Cotonou permet de desservir les pays de l'hinterland tels que le Niger (il fut son premier pont de transit), le Burkina Faso, le Mali et le Tchad,

Dans la sous-région, il est le port de relais et de transbordement le plus proche vers le Nigeria. Compte tenu de ses atouts et de sa position géographique, le trafic maritime n'avait cessé de croître avec pour impact direct l'intensification des activités portuaires. Mais avec la crise économique et le port togolais concurrent, la fréquence des activités portuaires a baissé,

BENIN TERMINAL, est en relation permanente avec des opérateurs économiques diversifiés et contribue de ce fait au développement économique du pays grâce à la situation géographique du port de Cotonou, noyau central de l'économie nationale.

Elle a une capacité d'adaptation très rapide face aux changements de données du marché ; ce qui constitue pour elle un atout considérable sur ses concurrents.

Au plan social, c'est une société qui accueille les stagiaires nationaux comme étrangers et favorise leur épanouissement en apportant un plus à leurs expériences professionnelles.

## **2- Contexte géographique**

La société BENIN TERMINAL exerce ses activités au port de Cotonou situé entre les ports de Lomé (135km) au Togo et de Lagos (115km) au Nigeria. Sa proximité directe avec ces deux pays ainsi qu'avec le Burkina-Faso et le Niger offrant des possibilités d'ouverture sur le Mali et le Tchad rendent l'emplacement géographique du port exceptionnel.

## **3- Contexte politique**

BENIN TERMINAL étant une société privée, sa gestion n'est influencée en aucune manière par l'Etat. Mais certaines décisions prises par l'autorité portuaire, le PAC (propriétaire du terrain), influencent ses activités et l'obligent à prendre régulièrement de nouvelles dispositions stratégiques pour y faire face.

La stabilité politique dont jouit la République du Bénin depuis l'avènement de la démocratie en février 1990 a fait bénéficier au Port Autonome de Cotonou, le programme MCA (Millenium Challenge Account) initié par les USA pour une meilleure compétitivité. Aussi, l'instabilité politique survenue en Côte-d'Ivoire en 2002 a également contribué au développement du Port de Cotonou puisqu'une bonne partie du trafic maritime destiné à ce pays, était convoyé au Bénin. Tout ceci a contribué à une meilleure productivité des activités de BT.

### 1.6. Présentation du système solaire photovoltaïque du groupe Bolloré

Nous avons effectué notre stage de fin de formation à la direction technique de Bolloré Transport Logistics situé dans l'enceinte portuaire. Le système solaire photovoltaïque du groupe étant situé hors de l'enceinte du port, sous l'autorité de la direction technique, nous nous déplaçons sur le site solaire du groupe situé à sainte Rita derrière la mairie de Wologuèdè. L'implantation du système solaire photovoltaïque a commencé depuis juin 2015 avec la Blue Zone située derrière la mosquée centrale de Zongo et l'expérience a continué avec le Canal Olympia en septembre 2018. D'une énergie totale de 360 KWh, le système solaire photovoltaïque est composé de 432 panneaux solaires de 327Wc chacun, des batteries pouvant fournir jusqu'à 45 kW et d'un groupe électrogène de 110 KVA. L'énergie produite est évacuée sur la ligne de l'utilisation du Canal Olympia.



Figure 2: Hacheur MSC



Figure 1 : AFE



Figure 3 : Intérieur Shelter  
AFE

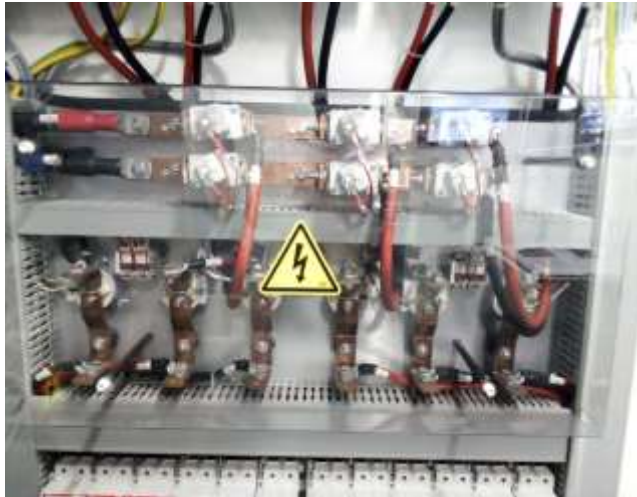


Figure 4: Clim Shelter AFE



Figure 6 : Bus DC



Figure 5 : Arrivée PV



Figure 7: Protection PV

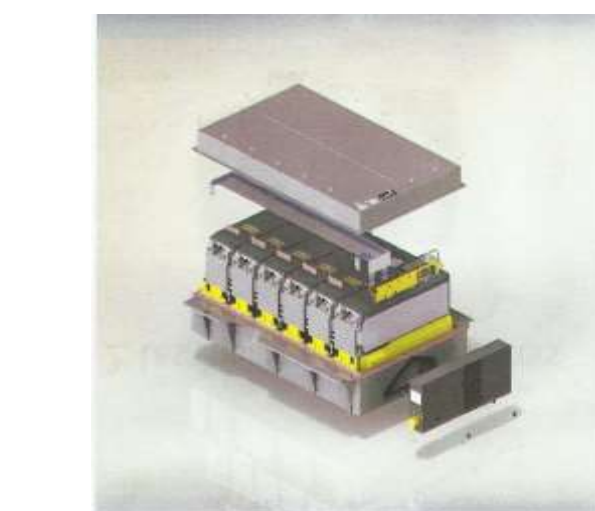


Figure 8: Shelter Batterie



Figure 9 : Batterie

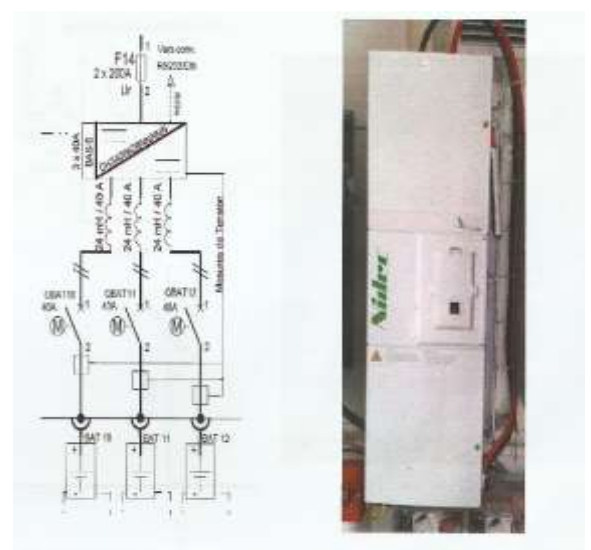
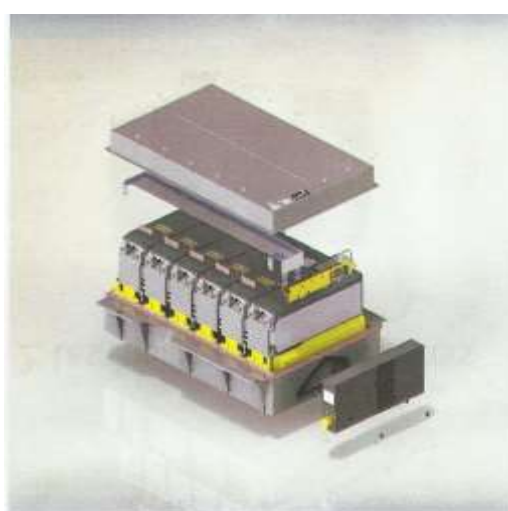


Figure 10 : Hacheur Nidec



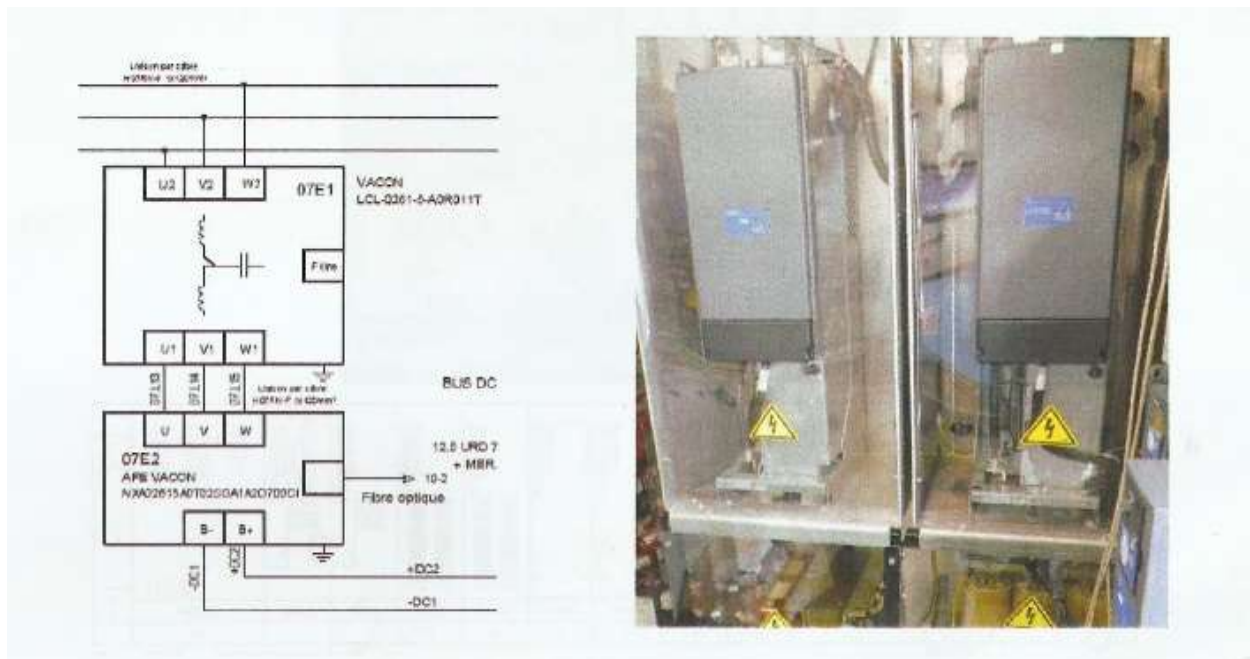


Figure 11 : AFE

Dans la cour du système solaire photovoltaïque sur une superficie de 720 m<sup>2</sup>, on y trouve

- Le champ PV
- Les shelters
- L'inverseur de source manuel
- Le groupe électrogène
- Un réservoir (tanks) d'une capacité de 3000 litres où est stocké le combustible servant à l'alimentation du groupe électrogène.



Figure 12: Champ PV



Figure 13: Shelter AFE avec inverseur manuel



Figure 14 : Réservoir (Tanks)



Figure 15 : Photo de l'ensemble des GE



Figure 16 : Photo du groupe  
Electrogène SDMO

### 1.6.1. Organe de pilotage

Le service de pilotage du système solaire photovoltaïque de Bolloré est situé à Paris en France. Ce service nous aide à distance pour la prise de mains et des travaux en ligne.

## 1.7. Rapport des expériences professionnelles

Dans le cadre de la rédaction de notre rapport de fin de formation, nous avons effectué un stage pratique. Ce chapitre renseigne principalement sur les travaux effectués au cours du stage. La théorie sur la maintenance a été rappelée.

### **1.7.1. Gestion de la maintenance des équipements**

La maintenance est l'ensemble des actions permettant de maintenir ou de rétablir un bien en service.

Une bonne maintenance de l'équipement et des installations assure la qualité des services offerts ainsi que la sécurité des opérateurs. On distingue trois types de maintenance : la maintenance curative, la maintenance préventive et la maintenance corrective.

#### **1.7.1.1. La maintenance curative**

Elle est souvent utilisée pour remettre en état de fonctionnement un équipement arrêté ou qui ne fonctionne pas correctement. C'est un type de maintenance qui intervient toujours après une panne imprévisible ou accidentelle. Pour pallier ces pannes, l'entreprise doit avoir :

- L'équipement de secours en stock, prêt à entrer en tout instant en fonction en cas de panne de l'équipement présent ;
- Une importante équipe de maintenance compétente, très équipée en outils pour remettre en un bref temps l'équipement en état de fonctionnement ;

On peut donc minimiser le taux de panne et offrir un fonctionnement correct des équipements en adoptant une maintenance appropriée.

#### **1.7.1.2. La maintenance préventive**

Elle regroupe les travaux effectués de façon anticipée sur un équipement afin d'éviter que celui-ci ne subisse une défaillance plus ou moins grave pouvant occasionner d'importantes pertes. Il existe deux types de maintenance préventive : la maintenance préventive systématique et la maintenance préventive conditionnelle.

- **La maintenance préventive systématique**

Elle consiste à changer les pièces jugées usées et ne coûtant pas chères suivant un échéancier établi. Cette forme de maintenance préventive nécessite de connaître les modes de dégradation et le temps moyen de bon fonctionnement entre deux pannes.

**Domaines d'application**

– Il faut connaître le comportement du matériel, les urnes, les modes de dégradation et le temps moyen de bon fonctionnement entre 2 avaries.

- Cas d'application :

- Équipements soumis à la réglementation (appareils de lavage, extincteurs, réservoirs sous pression, monte-charge, ascenseurs...) ;
- Équipements à haut risque : transports en commun...
- Équipements ayant un coût de défaillance élevé ;
- Équipement dont les dépenses de fonctionnement deviennent anormalement élevées.

- **La maintenance préventive conditionnelle**

C'est la forme de maintenance préventive subordonnée à un type d'évènement prédéterminé (information d'un capteur, mesure d'une usure, autodiagnostic). Elle s'applique généralement à des matériels coûteux en remplacement et se prêtant à être surveillés par des méthodes non destructives.

- **Domaine d'application**

- Mise en évidence des points faibles (surveillance) ;
- Tous les matériels sont concernés (mesures pertinentes sur le matériel en fonctionnement) ;
- Niveau et qualité d'une huile : les températures et les pressions, la tension et l'intensité des matériels électriques, vibrations et jeux mécaniques, etc.

### **1.7.1.3. La maintenance corrective**

La maintenance corrective permet d'améliorer la maintenabilité d'un équipement afin d'avoir une remise neuve. On entend par maintenabilité, la facilité d'un équipement à être facilement entretenu. Pour cela il faut :

- La disponibilité des pièces de rechange ;
- La facilité d'atteindre les différents éléments sans avoir à démonter tout l'équipement ;

### **Les concepts de la maintenance :**

Les pratiques de la maintenance industrielle reposent sur trois grands concepts : la fiabilité, la maintenabilité et la disponibilité.

Selon l'Association Française de Normalisation, ces concepts se définissent comme suit :

- Fiabilité : c'est l'aptitude ou la probabilité d'un dispositif à accomplir une fonction requise dans des conditions données et pour une période de temps déterminée.
- Maintenabilité : c'est l'aptitude d'un dispositif à être maintenu ou rétabli dans un état dans lequel il peut accomplir sa fonction requise.
- Disponibilité : elle est l'aptitude à être en état de fonctionner dans des conditions données en supposant que la fourniture des moyens extérieurs nécessaires est assurée. C'est le point de concours de la fiabilité et de la maintenabilité.

### **1.8. Travaux effectués**

Le stage de trois mois à la direction technique de Bénin Terminal s'est déroulé suivant un calendrier dûment élaboré par le Directeur Technique Adjoint : Un (01) mois (du 02 Juin au 05 Juillet 2021) au service électrique du groupe Bolloré et deux (02) mois (du 06 Juillet au 06 Septembre 2021) dans l'équipe de maintenance du système des mécaniciens du groupe Bolloré. Le tableau 1 résume le programme du stage.

**Tableau 1 : Calendrier de déroulement du stage**

<b>Période de stage</b>	02 Juin au 05 Juillet 2024	06 Juillet au 06 Septembre 2024
<b>Secteur</b>	Equipe électricité	Equipe mécanique

Durant notre stage, nous avons effectué un certain nombre d'activités avec le personnel du service technique. Ces différents travaux effectués sont relatifs au secteur dans lequel nous nous trouvons conformément au calendrier présenté dans le tableau 1. Ainsi, les travaux effectués dans les différents services se présentent comme suit :

#### **1.8.1. Le Service Levage**

La section levage est composée des équipes mécaniques, spreader, dépanneurs, électrique et l'équipe power park de la centrale électrique. Elle fonctionne 24h/24h grâce à l'équipe de dépannage. Les autres équipes travaillent de 07h à 12h30min et de 14h à 17h00. Les informations reçues sur le système solaire photovoltaïque du groupe Bolloré sont les suivantes :

- **Le champ PV**

Le système solaire photovoltaïque du groupe Bolloré est un système hybride composé de 432 panneaux solaires monocristallins de 327 WC chacun. Ces panneaux solaires sont installés sur une superficie de 720m<sup>2</sup> protégés par des grilles afin d'éviter l'accès facile aux personnes non-habilités. Ils sont tous connectés à la terre par des structures en aluminium au sol bien scellés sur des longrines béton et les griffes malt. Ces panneaux sont répartis sur un lot de 12 tables (432 panneaux : 12 = 36) ce qui nous donne 36 panneaux solaires par table et 6 coffrets de protection pour le champ PV (2 tables pour 1coffret). Le champ



PV étant divisé en deux lots afin d'intervenir facilement en cas de pannes électriques, Chaque demi-champ PV comporte 216 panneaux solaires (432 panneaux solaires soit 2 x 216). L'association de deux tables nous donne une ligne et chaque ligne est protégée par des strings, un disjoncteur DC, des parafoudres, les Bobines MX.

Les panneaux solaires utilisés sont de la marque SUN POWER Model : SPR-E20-327. La tension aux bornes de chacun est de : 54,7v ; le courant débité de 5,98 A. En circuit ouvert, la tension d'un panneau solaire est de 64,9v et son courant en court-circuit est de 6,46 A. Il est protégé par un fusible de 20A. La tension maximale tolérée dans un champ dans lequel ces panneaux peuvent être installés est de 1000V DC. La tension de sortie du champ PV est de 492,3 V et sa puissance totale est de 141,264 kWc.

L'association des panneaux solaires est faite par des câbles de diamètre 6mm<sup>2</sup> avec les fiches MC4 mâle et femelles.

#### **Tension d'une série de 9**

Soit  $V_9$  cette tension

$$V_9 = 54,7 \times 9 = 492,3 \text{ V} \quad (1)$$

<b><math>V_9 = 492,3\text{V}</math></b>
---

Cette tension est la Tension Totale de chaque table et représente ainsi la Tension totale du champ PV. Soit  $P_{Tt}$  la puissance d'une table et  $P_{TT}$  La puissance Total du champ PV

$$P_{Tt} = 327\text{W} \times 36 = 11.772 \text{ kWc} \quad (2)$$

$$P_{TT} = P_{Tt} \times 12 = 141,264 \text{ kWc}$$

<b><math>P_{TT} = 141,264 \text{ kWc}</math></b>
--

- **Le shelter AFE**

En association avec le groupe électrogène, le shelter AFE est un conteneur électrique de 10 pieds fixé sur des longrines béton. Le groupe électrogène de 110KVA est connecté directement au conteneur électrique de 10 pieds dans lequel se trouvent la commande et le couplage du GE, les hacheurs MSC, un onduleur pour les auxiliaires, les AFE GE et utilisation, un climatiseur pour aérer le local, un ATS pour la priorité GE-Shelter. Il est constitué aussi d'un IHM (Ecran Tactile) donnant accès aux différentes commandes, pour la prise de main à distance. Le PC box à l'intérieur du conteneur donne accès à toutes les fonctions du système. Les arrêts d'urgences sur le système permettent de le mettre automatiquement à l'arrêt en cas d'urgence, d'accident ou d'incident pour éviter ou limiter les dégâts causés par le courant électrique.

- **Le shelter 360 KWh**

C'est un conteneur de 10 pieds à l'intérieur duquel se trouve les batteries LMP d'une tension entre 300V et 432V, d'une puissance de 26KW allant jusqu'à 45KW. Elles peuvent supporter entre - 20 à +65°C de température. Il est aussi composé d'un écran tactile (IHM), facile d'accès pour tous types de maintenance ; des arrêts d'urgences, un climatiseur de 02 chevaux toujours sous tension pour aérer le local à cause de la température élevée des batteries. Il comporte aussi des ventilateurs de secours en cas de défaillance du climatiseur, des registres, des hacheurs nidec pour batteries et des hacheurs MSC pour PV.

- **Le groupe électrogène**

Il est d'une puissance apparente de 110kVA avec à ses bornes une tension triphasée de 380V de marque SDMO moteur JOHN DEER. En plein régime, sa consommation par heure est :

Soit C la consommation du GE en plein régime et S sa puissance apparente  
$$C = S/5 \quad (3)$$



$$C = 110/5$$

$$C = 22 \text{ litres}$$

Son intensité maximale est :

Soit I cette intensité

$$S = UI\sqrt{3} \leftrightarrow I = S/ U\sqrt{3} \quad (4)$$

$$I = 110/(380 \times 1,732)$$

$I = 167 \text{ A}$
---------------------

Sensiblement égale à 170 A

### 1.8.2. La Maintenance du système solaire photovoltaïque du groupe Bolloré

A ce niveau, nous avons procédé comme suit

- **Le Champ PV**

- Vérification état des structures
- Serrage des structures si possible
- Serrage des panneaux solaires
- Nettoyage superficie du champ
- Nettoyage des PV
- Nettoyage des structures
- Contrôle visuelle des passages de câbles
- Câbles attachés par collier de serrage
- Contrôle des serrages des connexions hors tension
- Vérification visuelle absence de points chauds sur les équipements
- Vérification de la continuité des liaisons équipotentielles
- Test des bobines MX
- Vérification des parafoudres

- **Le Shelter AFE**

- Contrôle d'ouverture des portes d'accès avant et arrière
- Contrôle du fonctionnement des cadenas
- Contrôle du fonctionnement des portes d'accès et poignées
- Etat de l'infrastructure du shelter intérieur et extérieur
- Nettoyage shelter plus dépoussiérage
- Vérification de présence de documentation technique dans le shelter
- Présence de raticide (pièges et appâts)
- Absence de stockage de matériel dans le shelter
- Contrôle visuel de passage de câbles
- Câbles attachés par colliers de serrage
- Teste des disjoncteurs différentiels
- Contrôle des serrages des connexions hors tension
- Vérification visuelle absence de point chauds sur les équipements
- Vérification de la continuité de liaisons équipotentielle des équipements
- Vérification de la continuité de liaisons équipotentielles des liaisons inter shelters
- Test de la chaîne d'arrêt d'urgence shelter 360 KWh, GE, PV
- Test de la détection incendie
- Présence des extincteurs plus de contrôle
- Test sirène plus lampes vérines
- Test onduleur
- Test 12V et 24V
- Vérification état climatiseur et ventilateurs

- **Le Shelter 360 KWh**

- Contrôle d'ouverture des portes d'accès aux packs
- Contrôle du fonctionnement des cadenas

- Contrôle du fonctionnement des portes d'accès et poignés
- Etat de l'infrastructure du shelter intérieur et extérieur
- Nettoyage shelter et dépoussiérage
- Vérification de présence de documentation technique dans le shelter
- Présence raticide (pièges et appâts)
- Absence de stockage de matériel dans le shelter
- Lavage filtres registres
- Remplacement filtres
- Vérification fonctionnement des registres
- Contrôle de fonctionnement des extincteurs
- Soufflage et évacuation des condensats
- Nettoyage façade climatiseurs
- Lavage des filtres de la climatisation
- Lavage de la turbine
- Contrôle pression gaz frigo
- Vérification de la consigne du climatiseur
- Contrôle visuel des passages de câbles
- Nettoyage et contrôle des ventilateurs
- Test des disjoncteurs différentiels
- Test BCU
- Test hacheur
- Contrôle des serrages hors tension
- Vérification d'absence de point chaud sur les équipements
- Vérification détection incendie
- Test sirène plus lampes vérines
- Affichage réglementaire shelters
- Test onduleur
- Test 12V et 24V

- Dépoussiérage ventilateurs
- Contrôle de l'état du fonctionnement du chargeur autonome
- Contrôle du PC du chargeur autonome
  - **Le GE**
- Vérification niveau huile à moteur (moteur à l'arrêt)
- Vérification niveau du liquide de refroidissement (moteur à l'arrêt et froid)
- Vérification tension batterie
- Vérification tension courroie
- Vérification arrêt d'urgence
- Vérification visuelle des filtres à huile, à gasoil, à air et du préfiltre à gasoil
- Entretien radiateur, remplacement liquide de refroidissement et du filtre à air chaque 1000 heures
- Remplacement filtre à gasoil, préfiltre à gasoil, filtre à huile et de l'enduro 600 toutes les 250 heures.

#### **1.8.4. Travaux effectués à BENIN TERMINAL**

La Société BENIN TERMINAL est alimentée à partir du transformateur 20 kVA de la SBEE installée à proximité des murs de ladite société. La Société dispose également de cinq groupes électrogènes de 2250 kVA ; 500kVA et 600kVA respectivement pour garantir la continuité en énergie. En cas de disparition brusque de tension du réseau conventionnel, les GE prennent le relais pour faire fonctionner les portiques en 20000V.

#### **1.8.5. Présentation des groupes électrogènes**

Situés à 50 mètres des engins à cause de la pollution, la salle des groupes contient cinq groupes électrogènes de marque **SDMO**. Ils sont installés pour

renforcer la disponibilité en énergie électrique à BENIN TERMINAL afin de pallier aux délestages intempestifs. La maintenance des groupes électrogènes est assurée par des agents qualifiés et expérimentés de la société. Chaque groupe a son armoire de commande. La salle de commande est séparée de celle des groupes. Les groupes alimentent tous les équipements de production y compris le circuit lumière et climatisation. Ces groupes peuvent fonctionner en mode automatique, semi ou dégradé. Il s'agit des groupes de moteur **V-16**, refroidi par eau concentré DCA4 à quatre temps.

#### **1.8.6. Autres travaux effectués**

Nous avons effectué également plusieurs travaux à savoir :

- Contrôle du niveau d'eau de refroidissement des groupes électrogènes,
- Contrôle du niveau d'eau distillée des batteries,
- Contrôle de fuite de carburant ou d'huile,
- Relevée de compteur des groupes électrogènes,
- Vidange des groupes électrogènes,
- Entretien des filtres à air des groupes électrogènes.
- Le contrôle de l'entrefer
- Le contrôle des ventilateurs d'air de refroidissement



Figure 17: Groupe électrogène 2250 kVA dépouillé, nettoyé, enchemisé et en cours de remontage



Figure 18 : Démontage et nettoyage de filtre à gasoil du groupe électrogène 2250 kVA



Figure 19 : Vérification de l'entrefer entre le stator et le rotor du groupe électrogène 2250 kVA





Figure 20 : Remise en état de la valve de commande électrique pour le levier d'inverseur du MANITOU M-X30-2

### **Conclusion partielle**

Dans ce premier chapitre, nous avons présenté Bolloré Transport Logistics et particulièrement notre lieu de stage, le système solaire photovoltaïque du groupe Bolloré à travers ses différents composants et son organisation structurelle. Les différents travaux effectués au cours de notre stage nous ont permis de comprendre le fonctionnement du groupe Bolloré. Nous avons assisté aux grands travaux de maintenance des équipements lors de l'entretien 250 heures du groupe électrogène et aux différentes interventions sur le système solaire photovoltaïque. Cette expérience a été enrichissante pour nous car nous avons pu concilier la théorie avec la pratique, de même que pour la réalisation de notre travail de fin d'étude.

**DEUXIEME PARTIE**  
***TRAVAIL DE FIN D'ETUDE***

CONTRIBUTION A L'ETUDE ET A L'AMELIORATION DE LA  
MAINTENANCE DES ALTERNATEURS DE PUISSANCE DE  
GROUPE ELECTROGENE DE BENIN TERMINAL



## Protocole de recherche

### Problématique :

Pour pallier l'indisponibilité de l'énergie électrique non programmé, BENIN TERMINAL a réalisé une installation de groupe électrogène qui peut être mise en fonctionnement à tout moment en cas de rupture de fourniture du réseau électrique. Mais force est de constater qu'en cas de pannes planifiées ou non du réseau national ; les groupes ne répondent pas comme prévu pour des raisons de maintenance et d'entretien de l'équipement de fourniture de l'énergie électrique. Cette défaillance du système de maintenance cause d'énormes pertes économiques pour l'unité de production.

Ainsi, dans l'optique d'éviter les arrêts précoces de la production suite à une indisponibilité soudaine de puissance ; il urge de contribuer à la maintenance des groupes électrogènes de BENIN TERMINAL.

### **Objectif général**

Contribuer à l'amélioration permanente du rendement de la production de l'énergie électrique des groupes électrogènes de BENIN TERMINAL.

### **Objectifs spécifiques**

Ce rapport vise à :

- Faciliter la maintenance des groupes électrogènes dans l'unité de production et contribuer à l'amélioration de la qualité et surtout de la stabilité de l'énergie électrique en temps de non disponibilité de l'énergie électrique national.

### **Méthodologie :**

Pour atteindre ces objectifs que nous nous sommes fixés, nous avons choisi faire notre stage pratique à BENIN TERMINAL. Ce stage nous permettra de suivre régulièrement les différents travaux de maintenance du réseau d'alimentation électrique de la société. La méthodologie envisagée se présente comme suit :

- ✓ Aborder les éléments constitutifs et le fonctionnement d'un groupe électrogène en général et en particulier certains éléments sensibles des groupes électrogènes de BENIN TERMINAL.
- ✓ Proposer une amélioration du planning de maintenance existant pour assurer un relais efficace de cette centrale de secours.
- ✓ Présenter les résultats de notre travail afin de contribuer à la maintenance des groupes électrogènes de notre société d'accueil qui est BENIN TERMINAL.

### **Résultats attendus :**

- Continuité de la production en temps de non disponibilité de l'énergie électrique conventionnelle ;
- Stabilisation de la tension électrique ;
- Accroissement du rendement de production.

## **CHAPITRE 2 : CONNAISSANCE DES GROUPE ELECTROGENES**

### **Introduction**

Les groupes électrogènes sont depuis toujours une alternative de production d'énergie électrique tant en milieux industriel que domestique.

### **2.1- Définitions**

Un groupe générateur d'électricité ou normalement groupe électrogène est une machine constituée de deux parties essentielles :

- Une partie motrice qui fournit l'énergie mécanique,
- une seconde partie appelée génératrice qui convertit, en énergie électrique l'énergie mécanique recueillie sur l'arbre issue de la partie motrice.

En définitive, la connaissance du groupe électrogène, tel que retenue dans le langage courant classique s'effectuera suivant les deux parties ainsi présentées.

### **2.2- Les éléments constitutifs d'un moteur de groupe électrogène**

Les moteurs thermiques à combustion interne sont constitués d'organes mécaniques fixes et d'organes mécaniques mobiles ainsi que des systèmes annexes requis pour son fonctionnement normal.

#### **2.2.1- Les organes mécaniques fixes du moteur diesel**

Il s'agit des carters : inférieur et supérieur, de la culasse et du cylindre que nous aborderons dans cette section.

##### **2.2.1.1- Les carters de protection inférieure et supérieure**

Il s'agit des couvercles qui ferment les différentes parties du moteur.

- Le carter inférieur est une pièce en forme de cuvette qui abrite le vilebrequin et les têtes de bielles et qui contient la réserve d'huile de graissage. Pour la plupart

il est en tôle emboutie. Il peut être en alliage léger moulé avec des nervures extérieures pour assurer un bon refroidissement de l'huile échauffée par son passage dans le moteur. L'étanchéité entre le carter moteur et le carter inférieure doit être parfaite. Pour cela elle est assurée par un joint plat en liège ou bien par un joint cylindrique, en caoutchouc synthétique, logé dans une gorge.

- Le carter de distribution, assure l'alimentation matérialisée par une liaison mécanique entre le vilebrequin et l'arbre à cames. Cette liaison est protégée par un carter étanche en tôle ou en alliage léger, appelé le carter de distribution.

- Le couvre culasse : il ferme la culasse des moteurs à soupapes en tête. Il est parfois en alliage léger et est un couvercle de protection étanche par joint comme le carter inférieur.

- Les collecteurs : le collecteur d'admission regroupe les conduits qui amènent les gaz frais aux soupapes d'admission et le collecteur d'échappement contient ceux qui emmènent les gaz brûlés depuis les soupapes d'échappement. Ils sont généralement en pièces moulées, en alliage léger pour l'admission et en fonte pour l'échappement.

### **2.2.1.2- La culasse**

Elle assure la fermeture des cylindres dans leur partie supérieure, constituant la chambre de combustion, en assurant : l'arrivée et l'évacuation des gaz ; la mise en position des éléments de distribution et d'une partie d'allumage ; l'évacuation rapide des calories, le point le plus chaud du moteur étant précisément la chambre de combustion. La culasse est aussi en fonte ou en alliage d'aluminium moulé. Les contraintes mécaniques étant moins importantes que pour le bloc-moteur, les constructeurs ont quasiment abandonné la fonte au profit d'aluminium, en raison de sa légèreté et sa très bonne conductibilité thermique. Un réseau de conduits

d'eau et d'huile est pratiqué dans la culasse, l'étanchéité de l'ensemble bloc culasse est assurée par le joint de culasse.

### **2.2.1.3- Le cylindre**

Le cylindre est une pièce moulée et alésée souvent loger dans un bloc (pour les moteurs à plusieurs cylindres), et servant de guide aux pistons. Sa partie supérieure forme avec la culasse la chambre de conversion dite « chambre de combustion ».

Les cylindres peuvent- être de trois types :

- alésés directement dans la fonte d'acier du bloc : on parle donc de bloc non chemisé. Cette technique a été utilisée par les sociétés Fiat et Simca et présente l'avantage d'offrir un maximum de rigidité au bloc. L'inconvénient est qu'elle ne permet pas assez de réalésages et qu'après, il faut changer tout le bloc-cylindres.
- chemisés à sec : le bloc est alésé à une côte supérieure à celle que l'on désire, puis on emmanche à force un tube appelé chemise qui sera usiné pour obtenir la côte voulue. Beaucoup d'avantages sont offerts puisqu'on peut non seulement réalésé cette chemise mais on peut aussi la remplacer lorsqu'on est hors cote de rectification. On retrouve généralement cette technique sur les moteurs à refroidissement par air. L'inconvénient est que la surface de contact entre le bloc et la chemise n'est jamais parfaite, favorisant une oxydation qui peut être préjudiciable au bon refroidissement de la chemise, d'où des points de chauffe qui peuvent entraîner une déformation de la chemise, voire le fendillement de cette chemise avec pour conséquence principale le grippage du piston.
- Chemises humides : le bloc- cylindres se comporte comme un simple carter rempli d'eau dans lequel on dispose des chemises qui sont en contacts direct avec le liquide de refroidissement et ne sont maintenues qu'en haut et en bas, la partie inférieure étant par ailleurs usinée pour parfaire son centrage. Ces chemises sont

nettement plus épaisses que dans le cas précédent et sont généralement en fonte d'acier ou acier spécial ayant subi un traitement thermique qu'est la nitruration ou la carbonitruration. Et elles peuvent être montées dans un bloc-cylindres en alliage léger. Là encore, l'avantage réside dans le fait que l'on peut réalésier ces chemises ou les remplacer.

L'inconvénient : la rigidité du bloc est moins bien réalisée et l'étanchéité n'est pas toujours parfaite si l'on ne respecte pas scrupuleusement les consignes de montage qui dépendent le plus souvent de l'écrasement d'un joint d'appui.

Le bloc- cylindres est une pièce généralement massive comme l'indique son nom, donc lourde, qui regroupe l'ensemble des cylindres lorsque le moteur comporte plusieurs cylindres. Il représente le bâti pour le moteur.

Sa forme est variable en fonction du nombre de cylindres : on distingue des blocs moteurs en ligne, en V, ou à plat, etc., et avec une cylindrée qui peut être petite moyenne ou grosse. Le bloc-cylindres assure la liaison rigide de tous les cylindres. Il reçoit les différents organes du moteur et doit résister aux variations de pression, de température, puis aux frottements de piston. On y aménage, souvent un orifice, muni d'une jauge, destiné à la vérification de niveau d'huile à moteur. Sur le bloc-cylindres est aussi aménagé un orifice débouchant dans le carter inférieur et muni d'un tube destiné :

- soit simplement à l'aération du carter, et de ce fait, le tube communique avec l'atmosphère ;
- soit à la mise en dépression et alors, le tube est connecté au filtre à air ou à la base du carburateur ou simplement au collecteur d'admission.

### **2.2.2- Les organes mécaniques mobiles du moteur**

Les quatre principaux organes mobiles habituellement admis comme tels sont : le piston, la bielle, le vilebrequin, et le volant d'inertie. On peut s'intéresser

aussi à l'arbre à cames, car tous les moteurs n'en possèdent pas. Dans un moteur à combustion interne à cylindre vertical et piston, il y a une multitude de pièces et organes en mouvement.

#### **2.2.2.1- Le piston**

Le piston est un organe qui a la forme d'un cylindre creux, fermé à une extrémité et jouant le rôle de la partie mobile de la chambre de combustion. Le piston coulisse librement dans le cylindre. C'est lui qui permet de récupérer l'énergie potentielle de pression, développée par les gaz de combustion, pour la transmettre à la bielle. Il est muni de segments d'étanchéité et d'un axe qui permet de le fixer au pied de la bielle. Les segments permettent d'assurer l'étanchéité de la chambre de combustion aux gaz brûlés et d'éviter que l'huile remonte dans la chambre de combustion.

#### **2.2.2.2- Bielle**

C'est une tige qui lie le piston au vilebrequin, par la tête de la bielle qui décrit un mouvement circulaire, tandis que le pied ou la queue décrit un mouvement rectiligne ; ce qui fait dire que la bielle fait un mouvement alternatif de battement. Autrement dit, le système bielle manivelle ou bielle vilebrequin transforme le mouvement rectiligne alternatif du piston en mouvement de rotation continue du vilebrequin. Les têtes de bielle portent des coussinets qu'il faut graisser en permanence pour éviter leur grippage.

#### **2.2.2.3- Vilebrequin**

Le vilebrequin est un arbre coudé, appelé encore « arbre manivelle », qui transforme le mouvement rectiligne alternatif du piston, par l'intermédiaire de la bielle (battement), en mouvement circulaire continu recueilli en ses deux bouts. Il est constitué de :

- Tourillons, parties où le vilebrequin est retenu sur les paliers,

- Manetons, parties où il est articulé sur les têtes de bielle ;

Ces deux parties portent les coussinets qui sont des pièces d'usure mais servent également de support.

Il est aussi muni :

- ✓ à son extrémité avant, de pignons ou de poulies permettant d'entraîner certains organes du système de refroidissement des courroies de ventilateur ou d'alternateur ou de compresseur de climatisation ;
- ✓ à son extrémité arrière, de volant d'inertie habituellement appelé volant moteur.

#### **2.2.2.4- Volant moteur**

Le volant moteur est une masse métallique d'inertie centrée sur l'axe du vilebrequin. Il assure la régularité du couple moteur et aussi l'équilibrage statique et dynamique. En effet, le volant d'inertie permet de stocker par temps actifs ou temps moteur, l'énergie mécanique utile pour vaincre les temps résistants, favorisant ainsi la régularité du couple de rotation de l'arbre vilebrequin. Le volant porte une couronne dentée dans laquelle vient s'engrener le pignon lanceur du démarreur permettant de lancer le moteur au démarrage.

Notons que beaucoup de petits organes appartenant au moteur sont également mobiles mais ne sont pas souvent cités, dans les organes mobiles principaux du moteur. Il en est de même pour les organes principaux fixes du moteur. D'autres différents organes se rangent dans la catégorie des organes auxiliaires du moteur.

#### **2.2.2.5- L'arbre à cames et soupapes**

Un arbre à cames est un dispositif mécanique permettant de transformer un mouvement rotatif en mouvement longitudinal et réciproquement. Aujourd'hui, l'arbre à cames est une pièce essentielle du moteur automobile : il transforme le



mouvement rotatif issu du moteur en mouvement longitudinal actionnant les soupapes.

L'arbre à cames est une pièce mécanique utilisée dans les moteurs thermiques à combustion interne à quatre temps pour la commande synchronisée des soupapes. Il est composé d'une tige cylindrique portant autant de cames que de soupapes à commander indépendamment ou par groupe glissant sur la queue de soupape, ou sur un renvoi mécanique.

En disposant l'arbre à cames en tête, c'est-à-dire en haut du moteur, ses tiges ne sont plus nécessaires, mais la synchronisation de l'arbre se fait par transmission, autorisant un décalage de l'axe de rotation. L'arbre à cames peut être entraîné par une chaîne, une courroie crantée, un arbre ou une cascade de pignons et même par mouvement bielle-manivelle, pour attaquer directement les soupapes ou par l'intermédiaire des culbuteurs.

La soupape est montée de manière que sa tête se trouve à l'intérieur de la chambre de combustion. Son ouverture s'obtient lorsqu'une pression s'exerce sur la queue de la soupape. La fermeture est réalisée par un puissant ressort de rappel qui ramène la tête de la soupape dans sa position initiale (son siège). Sa queue coulisse dans un guide réalisé dans la culasse (ou dans le bloc cylindre).

Notons toutefois que les soupapes sont actionnées par des tiges et des petits leviers, les culbuteurs et qu'à chaque soupape correspond un bossage de donné dans l'arbre à cames et qu'elle possède une commande propre. Il y a pratiquement deux soupapes par cylindre et donc le dispositif de distribution sera soulagé si la course des soupapes est courte.

Pour conserver une section d'ouverture suffisante et une grande turbulence, on est parvenu à la multiplication des soupapes : 3, 4, 6, 7... par cycle. Si la distribution est un peu plus complexe, l'inertie est diminuée par la division des masses et

tandis que les contraintes mécaniques sont moindres la soupape par ailleurs dissipe mieux la chaleur.

Il existe aussi des moteurs à deux arbres à cames en têtes : l'un pour les soupapes d'admission et l'autre pour les soupapes d'échappement. Les arbres sont entraînés par une ou plusieurs chaînes à maillons doubles ou triples et à partir du vilebrequin. Chaque chaîne est maintenue en tension par un tendeur à ressort à portée en caoutchouc.

### **2.2.3- Les systèmes constitutifs du moteur diesel**

On appelle système, tous ensembles d'organes d'un appareil permettant d'assurer une certaine fonctionnalité partielle ou totale dudit appareil. Un moteur comporte un nombre variable de systèmes en fonction du dispositif d'équipage. Nous étudierons dans ce cadre les systèmes habituellement rencontrés sur les moteurs de groupe électrogènes.

Ces systèmes sont d'une part, constitués d'organes courants contribuant au fonctionnement d'un moteur normal, et d'un certain nombre de systèmes permettant au moteur d'assurer la fonction particulière exigée par un groupe électrogène, d'autre part. Ce sont des systèmes destinés à assurer :

- La distribution par ouverture et par fermeture des soupapes ;
- L'alimentation en air et en carburant ;
- L'allumage pour les moteurs à explosion ou de types essence ;
- Le graissage des organes en mouvement relatif (mobiles) ;
- Le refroidissement du moteur par l'air et par l'eau ;
- Le démarrage du moteur ;
- Et la charge de la batterie d'accumulateur.

Dans la suite nous étudierons les principes et les fonctions des différents systèmes énumérés.

### **2.2.3.1- Le système de distribution**

Le système de distribution du moteur est l'ensemble des organes dont le fonctionnement concourt à l'ouverture et la fermeture des soupapes ainsi qu'à l'entraînement de certains organes tels que la pompe à huile, la pompe à gasoil, la pompe d'injection (pour les moteurs diesel) ou la pompe à essence et le distributeur de l'allumage (pour les moteurs à essence). Sa constitution varie selon le mode de la transmission de puissance adopté, par le constructeur.

Pour l'illustrer, on considère un moteur à soupapes en tête dont l'arbre à cames est disposé au voisinage non immédiat du vilebrequin, et à distribution par pignons. Dans ce cas on y rencontre les organes cités ci-dessous :

- Le pignon de transmission de puissance situé sur le vilebrequin ;
- Le pignon intermédiaire de transmission de puissance ;
- Le pignon de l'arbre à cames ;
- L'arbre à cames ;
- Les poussoirs ;
- Les tiges de poussoirs ;
- Les culbuteurs assemblés sur leur rampe ;
- Les soupapes (avec leurs doubles ressorts, guide, coupelles de retenue, et éventuellement la pastille d'usure et le siège).

### **2.2.3.2- Le système d'alimentation en air, en carburant**

Le système d'alimentation fournit à chaque cylindre une quantité bien déterminée de carburant mais aussi d'air pris à l'atmosphère filtrés parfaitement.

Dans le cas du moteur diesel, on distingue dans le système d'alimentation en carburant, compte tenu de la valeur en pression deux circuits principaux :

- Le circuit de basse pression communément appelé par abus de langage de circuit d'alimentation (ignorant la suite dans le système),

- Et le circuit de haute pression ou d'injection.

### **Le circuit d'alimentation en air**

L'air atmosphérique contient de diverses impuretés. Mais il doit servir à l'état pur dans la chambre du moteur. Pour cela, il est aspiré au travers d'un ensemble de filtres, constitués de pré filtre à grosses mailles et de filtre proprement dit à mailles relativement fines, le tout agencé dans un boîtier pouvant contenir ou pas une certaine quantité d'huile prévue pour piéger les impuretés en ce sens qu'elle sert à retenir les poussières et autres particules solides diverses. Le filtre à air débarrasse ainsi l'air de ses impuretés avant son entrée dans les cylindres du moteur. Entre pré filtre et /ou filtre(s) et collecteur d'aspiration, on prévoit un raccordement par tuyauterie et l'ensemble de ces éléments forme le circuit d'alimentation en air destiné à purifier l'air admis dans les cylindres du moteur.

### **Le circuit d'alimentation en carburant**

C'est le circuit basse pression, il comporte le réservoir à carburant, un pré filtre et/ou un pré filtre muni d'un décanteur, une tuyauterie et un ou plusieurs filtres à combustible. Son rôle est d'acheminer le carburant jusqu'à la pompe d'injection. Soulignons que le filtre permet de débarrasser le gasoil des impuretés diverses et d'éliminer les particules d'eau, notamment par le décanteur. C'est le circuit de basse pression d'alimentation.

### **Circuit d'injection ou de haute pression**

Il est composé de :

- La pompe d'injection (en ligne ou rotative),
- Tuyauteries de haute pression (appelées araignées ou pattes d'araignées à cause de sa forme) ;

- Injecteurs qui constituent les organes terminaux du système d'injection. Outre la pompe d'injection, les injecteurs sont aussi les organes les plus délicats de ce système. Ces derniers contrôlent le débit de combustible à l'intérieur du cylindre et déterminent le rendement du moteur. La pompe d'injection refoule à un moment très précis une quantité bien déterminée de combustible sous pression à travers un circuit comprenant les soupapes, le conduit et l'injecteur. Alors que l'injecteur pulvérise directement et très finement le gasoil à une pression élevée dans la chambre de combustion.

### **Le circuit de retour de carburant**

Les excédents de carburant aussi bien au niveau des injecteurs, que de la pompe d'injection et éventuellement d'autres organes, sont acheminés dans des conduites, sous faible pression (BP) :

- Soit directement dans le réservoir ;
- Soit vers le filtre à carburant,
- Soit encore vers l'admission de la pompe d'injection.

C'est le circuit qu'on appelle de retour de fuite (du carburant non utilisé pour une réutilisation) qui permet d'économiser du carburant.

### **2.2.3.3- Le système de graissage**

Le graissage consiste à éliminer totalement (aspect idéal) ou partiellement le contact métal contre métal entre les pièces en mouvement relatif par l'aide d'une substance appelée lubrifiant. Les organes constitutifs du système de graissage sont en général, un réservoir d'huile (carter inférieur), de l'huile à moteur, une pompe à huile, des conduits externes (tuyaux) et internes (forés dans les organes), des filtres, soupapes de « by- pass », et dispositif témoin de bon fonctionnement. On y prévoit un orifice pour le remplissage en huile et un orifice pour la vidange de l'huile épuisée.

Le graissage permet de :

- Diminuer le frottement des pièces en mouvement les unes contre les autres ;
- Absorber les chocs entre les pièces ;
- Constituer un joint d'étanchéité entre les pièces coulissantes ;
- Favoriser le refroidissement de l'huile et assurer sa propreté.

L'huile utilisée pour le graissage d'un moteur doit être conforme aux spécifications du constructeur du moteur, car elle est choisie par le constructeur suivant les conditions déterminées qui assurent le bon fonctionnement du moteur.

#### **2.2.3.4- Le système de refroidissement du moteur**

Le système de refroidissement a pour fonction d'évacuer une partie de l'importante quantité de chaleur dégagée par la combustion et le transfert par conduction et convection par les parois des cylindres et culasse, mais aussi par les frottements des pièces en mouvement. Ce système se compose de : le radiateur, de pompe à eau, du ventilateur, des durites, de l'eau, du thermostat, du manomètre de température et d'air. De façon classique et générale, la température de fonctionnement du moteur est de 80° C. Deux techniques sont souvent utilisées : le refroidissement par l'air et le refroidissement par l'eau.

- Les organes utilisés dans le cas du refroidissement par l'eau regroupent la pompe à eau entraînée par le moteur, le radiateur ou échangeur de chaleur, les conduites ou durites d'eau, les chambres ou poches d'eau qui entourent les parties chaudes du moteur. Le liquide de refroidissement est de l'eau. Le ventilateur est ajouté, hors circuit pour accélérer l'évacuation de la chaleur par l'air.
- Dans le cas du refroidissement par l'air, l'air atmosphérique simple ou l'air accéléré par le ventilateur est glissé sur les organes à refroidir que sont la

culasse, le cylindre, le carter d'huile, tous munis d'ailettes de refroidissement évacuant ainsi la chaleur perdue par les parois ou née des frottements.

### **2.2.3.5- Système de démarrage et de charge et auxiliaires**

#### **A- Le système de démarrage**

Le système de démarrage a pour fonction de lancer certains moteurs pour les mettre en marche. Ces groupes électrogènes utilisent généralement la batterie pour leur démarrage. C'est donc le démarreur électrique qui y est souvent utilisé. Il transforme l'énergie électrique en énergie mécanique. Il doit vaincre le couple résistant qui provient notamment de la compression des gaz, en entraînant, par l'intermédiaire d'un pignon, la couronne dentée emmanchée sous pression sur le volant du moteur. Toutefois, il faut un coupleur électromagnétique dans le circuit de démarrage électrique des groupes électrogènes diesel de moyennes et grosses puissances. Son fonctionnement est sensiblement analogue à celui des relais électriques : lorsqu'on agit sur le bouton de démarrage, une bobine est mise en circuit et le plongeur entraîne un ensemble de contacts mobiles assurant le couplage requis. Un ressort puissant le ramène à sa position initiale et assure des contacts francs.

Pour les groupes électrogènes de très grandes puissances, il faut faire recours à un système de démarrage à air comprimé, donc disposer un groupe compresseur d'air.

#### **B- Système de charge des batteries**

Il existe deux types de systèmes de charge de batteries : par dynamo et par alternateur. Le premier fournit directement du courant continu requis pour la charge, mais ce système n'est pas puissant et a fini par être délaissé. Quant au système de charge avec alternateur, son rôle consiste à fournir de l'énergie

électrique alternative, qui sera ensuite redressée à travers un pont de diodes pour recharger la batterie mais aussi assurer le fonctionnement des différents éléments qui constituent les charges électriques notamment lorsque la batterie est complètement chargée.

### **C- Circuit de préchauffage (réchauffeurs ou bougies de départ à froid)**

On dispose parfois sur la culasse de certains moteurs diesel (moteurs à anti-chambre, ou à chambre de précombustion), des bougies de préchauffage à filament débouchant près de l'orifice de l'injecteur. Les bougies sont alimentées par l'une des batteries d'accumulateurs sous 12 volts, même si le moteur était équipé de batteries de 24 volts ou 48 volts.

Le préchauffage a pour but d'échauffer progressivement la culasse et la chambre de combustion, et donc l'air du premier cycle. En mettant ce filament en circuit pendant 1 à 3 minutes, on porte sa température à 1000°C. Ainsi, l'air admis dans le cylindre atteint également une température suffisante pour enflammer le gasoil.



Figure 21 : Batteries du groupe de moteur 1250 kVA



## **2.3- Etude du fonctionnement du moteur diesel**

Dès que le moteur se met en marche, le gasoil s'écoule du réservoir vers le filtre à combustible sous l'action de l'aspiration et refoulement de la pompe à carburant. Puis, il arrive à la pompe d'injection où il est porté à une haute pression et envoyé dans l'injecteur. L'injecteur en retour, pulvérise le gasoil dans le cylindre où l'air chaud comprimé est prêt pour l'inflammation et la réaction chimique de combustion. A cet effet, un ensemble d'opérations se succèdent dans la chambre de combustion qu'on appelle : les phases du cycle de fonctionnement du moteur. Ces phases du cycle moteur peuvent être regroupées de façon à avoir un moteur fonctionnant à deux ou quatre temps.

### **2.3.1- Principe de fonctionnement du moteur diesel à quatre temps**

Pour mieux comprendre le fonctionnement d'un moteur thermique à combustion interne, on considère une certaine masse d'air (généralement un kilogramme), que l'on suit dans son évolution à travers le moteur.

Dans un moteur diesel à quatre temps, les différentes opérations se déroulent de la façon suivante :

- ✓ Premier temps : admission ou aspiration d'air

Pendant cette phase, la soupape d'admission s'ouvre et la soupape d'échappement reste fermée, le piston part du point mort haut (PMH) au point mort bas (PMB) créant une dépression et permettant ainsi l'aspiration de l'air frais à l'intérieur du cylindre.

- ✓ Deuxième temps : compression de l'air admis

Les deux soupapes sont fermées et le piston repart du point mort bas au point mort haut. Dans son ascension (mouvement de montée) le piston comprime l'air

qui occupe déjà la chambre de combustion. La pression en fin de compression étant devenue forte, l'air est porté à une température très élevée.

✓ Troisième temps : combustion- détente

Le carburant (souvent le gasoil) est injecté dans l'air chaud, juste avant l'arrivée du piston au point mort haut : il y a auto inflammation du mélange et sa combustion. Les gaz brûlés résultant de la combustion se détendent dans le cylindre, transmettant leur énergie cinétique au piston. Le piston sous l'effet de la force pressante subie, quitte le point mort haut, se déplace vers le point mort bas en transmettant au vilebrequin, par l'intermédiaire de la bielle, de l'énergie durant toute cette course : c'est le temps moteur. C'est ce temps qui est la source fondamentale de l'énergie récupérée en bout de vilebrequin. Une partie de l'énergie issue de la combustion et transmise au piston sert à couvrir les besoins énergétiques des trois autres temps du cycle, les temps résistants, car ils sont de purs consommateurs d'énergie.

✓ Quatrième temps : Echappement des gaz brûlés

La soupape d'échappement s'ouvre, celle d'admission restant fermée. Les gaz brûlés, encore à une pression relativement élevée en fin de détente, s'échappent à l'atmosphère. Le piston partant du point mort bas (PMB), remonte ensuite en évacuant une bonne partie des gaz brûlés restants.

Les quatre temps ainsi décrits sont accomplis en quatre demi-tours du vilebrequin correspondant à quatre courses piston. Le moteur à quatre temps devrait normalement être désigné par « moteur à courses de piston ». En effet, la notion de temps devra être bien comprise : un temps peut être la combinaison de plusieurs phases thermodynamiques (exemple de la combustion- détente), comme il peut se réduire en bref (exemples : admission, compression, échappement). Dans les moteurs dits « à deux temps », toutes les phases précédemment décrites pour les moteurs à quatre temps se déroulent aussi mais l'ensemble du cycle

s'effectue en un tour de vilebrequin. Ce qui correspond seulement à deux courses de piston et ces moteurs devraient en réalité être désignés « moteurs à deux courses de piston ».

#### **A- Etude du cycle de fonctionnement du moteur diesel à pression constante**

Les moteurs diesel fonctionnent initialement suivant le cycle de Diesel Rudolph, c'est-à-dire un cycle à pression constante qui comprend les phases suivantes :

- Une phase d'aspiration à pression théoriquement constante de 0 à 1 ;
- Une phase de compression adiabatique de 1 à 2 ;
- Une phase d'apport de chaleur à pression constante (isobare) de 2 à 3 ;
- Une phase de détente adiabatique de 3 à 4 ;
- Une phase d'échappement ou refroidissement à volume constant (isochore) de 4 à 1,
- Une phase d'échappement ou refroidissement à pression constante (isobare) de 1 à 0.

Ce cycle est désormais réservé aux moteurs à régimes lents tels les moteurs de gros navires pour lesquels les vitesses de rotation ne dépassent pas 750 trs/min.

#### **B- Etude du cycle du moteur Diesel à volume constant**

Les moteurs Diesel fonctionnent suivant le cycle de Diesel, c'est-à-dire un cycle à pression constante qui comprend les phases suivantes :

- Une aspiration à pression théoriquement constante de 0 à 1 ;
- Une compression adiabatique de 1 à 2 ;
- Un apport de chaleur à volume constant (isochore) de 2 à 3
- Une détente adiabatique de 3 à 4 ;
- Un échappement ou refroidissement à volume constant (isochore) de 4 à 1,

- Un échappement ou refroidissement à pression constante (isobare) de 1 à 0.

C'est un cycle semblable à celui des moteurs de type à essence. La différence réside dans la forte pression qui règne dans les moteurs types Diesel par comparaison avec les moteurs types essence. Les moteurs Diesel actuels rapides (régimes élevés) fonctionnent suivant le cycle mixte appelé cycle de SABATHE.

### **C- Etude du cycle Diesel mixte dit de SABATHE**

Le cycle mixte de SABATHE est une combinaison entre le cycle initial de Diesel, à pression constante, et le cycle à volume constant. Il comprend les phases :

- Une aspiration à pression théoriquement constante de 0 à 1,
- Une pression adiabatique de 1 à 2 ;
- Un apport de chaleur à volume constant de 2 à 3 ;
- Un apport de chaleur à pression constante de 3 à 4 ;
- Une détente adiabatique de 4 à 5 ;
- Un échappement à volume constant de 5 à 4 ;
- Un échappement ou refroidissement à pression constante (isobare) de 1 à 0.

Le volume constant permet d'avoir la rapidité et la pression constante pour obtenir de la force.

### **2.3.2- Conditions réelles de fonctionnement du moteur**

Les cycles étudiés ci- dessus sont des cycles théoriques car les différentes phases ci- dessus décrites ne se réalisent pas exactement ainsi pour des raisons diverses.

En effet, l'analyse minutieuse de chacune des phases du cycle de fonctionnement d'un moteur montre que l'on s'écarte dans la réalité des lois théoriques utilisées dans le cycle théorique. Cela se justifie par le fait que :

- L'aspiration d'air pour le moteur Diesel (ou l'admission de mélange air+ essence pour le moteur à essence) ne s'effectue pas à pression constante égale à la pression atmosphérique comme cela est stipulé dans le cycle théorique ; il existe une dépression créée par le déplacement du piston dans le cylindre sans laquelle aucune entrée d'air ou de mélange ne pourrait se réaliser ;
- La détente n'est pas adiabatique en réalité, car il y a une perte de chaleur à travers les parois et une partie est aussi emportée par l'eau de radiateur ou l'huile à moteur ;
- L'injection (dans le moteur Diesel) ou l'étincelle (dans le moteur à essence) n'arrive pas très exactement au point du cycle théorique : l'inflammation du combustible n'est pas instantanée et la combustion n'est pas souvent régulière ;
- L'échappement est imparfait car les résistances offertes par les soupapes au passage des gaz ne permettent pas aux gaz brûlés de s'échapper le plus vite possible. Mieux, la température atteinte en fin d'échappement, dans le cycle réel, est plus élevée que celle prévue par le cycle théorique.

L'étude des cycles théoriques et pratiques de ces deux moteurs de types Diesel pouvait être complétée par celle du moteur Diesel à volume constant. Cependant, le cycle Diesel mixte montre déjà qu'une portion de la combustion est effectuée à volume constant de 2 à 3 et la seconde portion est réalisée à pression constante 3 à 4. Pour retrouver le diagramme du cycle de fonctionnement du moteur Diesel à volume constant, il suffit d'arrêter la combustion à la fin de la première portion (2-3) et d'effectuer la détente ; ce qui supprimerait le chiffre 5 et le remplacerait par 4. Ce cycle correspond à celui de Rochas pour les moteurs de type à essence.

### **Conclusion partielle**

Dans ce chapitre, nous retenons qu'il existe plusieurs cycles de fonctionnement des groupes électrogènes.

## CHAPITRE 3 : ETUDE DE L'ALTERNATEUR D'UN GROUPE ELECTROGENE

### Introduction partielle

Le groupe électrogène est un ensemble constitué du moteur et de la génératrice. La génératrice (alternateur) quant à elle est une machine électromagnétique qui transforme l'énergie mécanique qui lui est fournie par le moteur en énergie électrique. Toute génératrice, qu'elle soit à courant continu ou à courant alternatif est constitué d'une partie rotative appelée rotor et d'une partie fixe appelée stator. Les forces électromotrices sont issues de la variation du champ magnétique ( $\mathbf{e} = -\frac{d\phi}{dt}$ ) (5) à l'intérieur du stator : c'est le phénomène d'induction magnétique.

### 3.1- Alternateur

Une génératrice à courant alternatif est simplement toute machine produisant du courant alternatif. Le champ est installé sur le rotor et le bobinage de sortie fixé au stator. Les machines de ce genre sont appelées des alternateurs.

#### 3.1.1- Constitution d'une génératrice à courant alternatif

Elle est constituée de stator et rotor

##### 3.1.1.1- Rotor

C'est l'élément mobile de la machine. Il est formé d'un ensemble d'électroaimants alternativement nord et sud dont les bobinages magnétiques sont parcourus par un courant continu d'excitation. Son rôle est de produire le champ magnétique à partir de ses électroaimants.

Le courant d'excitation est fourni par auto excitation ou à partir d'une génératrice auxiliaire à courant continu ou alternatif.





Figure 22 : Vue d'un rotor

### 3.1.1.2- Stator

L'induit représente la partie fixe de l'appareil. Il est composé d'un noyau en tôles d'acier muni d'encoches destinés à recevoir les conducteurs formant les enroulements de l'induit. Les lignes de force traversent radicalement les entrefers étroits qui séparent l'induit des pôles du rotor.

On y trouve également des organes mécaniques tels que la carcasse les enroulements etc.



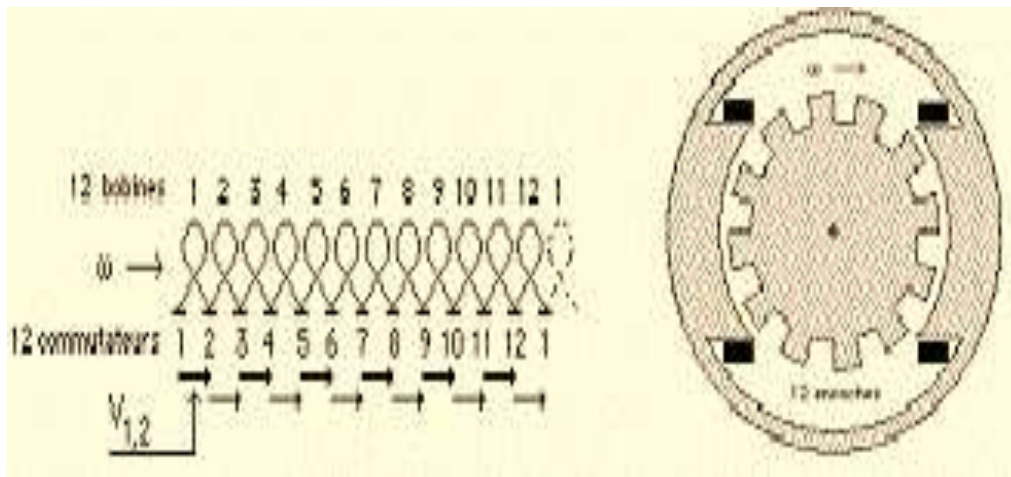


Figure 23 : Vue des encoches et des enroulements

### 3.1.2- Les différents types d'alternateurs

Les alternateurs généralement utilisés sont les alternateurs monophasés ou triphasés.

L'alternateur monophasé est utilisé pour les circuits d'éclairage et de petites installations. Il est constitué d'un bobinage inducteur, d'un bobinage de l'induit et de deux bagues collectrices.

L'alternateur triphasé comporte un bobinage inducteur, trois bobinages de l'induit et deux bagues collectrices. Il est utilisé pour la distribution de l'énergie électrique. Dans ce cas, l'induit comporte trois enroulements indépendants ayant le même nombre de brins actifs chacun d'eux utilisant le tiers des encoches de l'armature d'induit. Ces enroulements sont décalés entre eux d'un angle électrique de  $2\pi/3$ . Les forces électromotrices engendrées par les trois enroulements indépendants seront donc régulièrement déphasées de  $2\pi/3$ .

### 3.1.3- Description d'un alternateur



Figure 24 : Photo de l'alternateur de puissance de 2050 kVA

#### 3.1.3.1- Emplacement du numéro de série

Chaque alternateur est identifié individuellement par un numéro de série estampillé sur la partie supérieure de l'entretoise de la carcasse côté accouplement. Deux étiquettes adhésives rectangulaires ont été placées à l'intérieur de la boîte à bornes, chacune reprenant le numéro d'identification spécifique de l'alternateur. Une des étiquettes est collée sur la face interne de la tôle de la boîte à bornes ; l'autre est collée sur la carcasse principale de l'alternateur.

#### 3.1.3.2- La plaque signalétique

L'alternateur est fourni avec une étiquette auto – adhésive correspondant à sa plaque signalétique, étiquette qui est utilisée après montage final et peinture. Cette étiquette est collée à l'extérieur de la boîte à bornes, côté opposé à l'accouplement. La surface sur laquelle l'étiquette est collée est parfaitement plane et propre, après séchage complet de la peinture.

### **3.1.3.3- Description générale de l'alternateur LEROY SOMER**

Les alternateurs ont été conçus pour une utilisation à température ambiante maximale de 40°C et à une altitude inférieure à 1000m au-dessus du niveau de la mer, selon la norme BS5000. Des températures supérieures 40°C et des altitudes supérieures à 1000m sont envisageables avec un déclassement ; il faut vérifier la plaque signalétique pour les caractéristiques nominales et les températures autorisées. Si l'alternateur doit fonctionner à des températures ambiantes supérieures à celles énoncées sur la plaque signalétique ou à des altitudes supérieures à 1000m au-dessus du niveau de la mer, il faut consulter le constructeur. Lorsque l'appareil est installé dans un abri fermé, la température de l'air de refroidissement ne doit en aucun cas dépasser la température autorisée par les caractéristiques nominales. L'abri doit être conçu de telle sorte que l'entrée d'air du moteur dans l'abri est séparée de l'entrée d'air de l'alternateur, plus particulièrement lorsque le ventilateur de refroidissement du radiateur doit aspirer l'air dans l'abri. De plus, l'entrée d'air de l'alternateur dans l'abri doit être conçue pour empêcher toute introduction d'humidité, en utilisant de préférence un filtre double couche.

Au moment de la commande on demande le montage sur l'alternateur de filtre à air. Il s'agit alors de filtres métalliques imprégnés d'huile qui doivent être résistants au moment de l'installation.

Toute réduction de la circulation de l'air de refroidissement ou une mauvaise protection de l'alternateur peut endommager et entraîner un mauvais fonctionnement des enroulements.

L'équilibrage dynamique du rotor de l'alternateur est effectué en usine conformément à la norme BS6861 partie 1, classe 2,5 pour les limites de vibration de l'alternateur en conformité avec la norme BS4999, partie 142.

Les principales fréquences de vibration produites par l'alternateur sont les suivantes :

**Tableau 2 : Les principales fréquences de vibration produites par l'alternateur**

Alternateur	Vitesses	Fréquences
Tétra polaire	1500trs/min	25Hz
	1800trs/min	30Hz
Hexa polaire	1000trs/min	16,7Hz
	1200trs/min	20Hz

Toutefois les vibrations induites par le moteur sont complexes et contiennent des fréquences pouvant atteindre 1,5 fois, 3 fois, 5 fois voire plus, la fréquence de vibration de base. Ces fréquences induites peuvent entraîner des niveaux de vibration supérieurs à ceux produits par l'alternateur lui – même. Il incombe donc au metteur en groupe de vérifier que l'alignement et la rigidité de la plaque d'assise et des montages maintiennent les vibrations dans les limites définies par la norme B.S.5000, partie 3.

Dans le cas d'équipements de secours pour lesquels le temps de fonctionnement est limité et la durée de vie de l'installation peut être plus courte, des niveaux de vibration supérieurs à ceux spécifiés par cette même norme peuvent être tolérés jusqu'à 18mm/sec au maximum. Pour un alignement précis, les alternateurs bipolaires nécessitent une plaque d'assise plus importante avec des patins de montage pour le moteur et l'alternateur. Un accouplement rigide du moteur sur l'alternateur peut accroître la rigidité de l'ensemble. Un accouplement flexible adapté à la configuration spécifique de l'ensemble moteur/ alternateur est conseillé afin de minimiser les forces de torsion. L'alignement correct des alternateurs mono paliers est primordial et des vibrations peuvent se produire du

fait du flambement des brides situées entre le moteur et l'alternateur. Dans ce cas, une plaque d'assise importante avec des patins de montage pour le moteur et l'alternateur doit être utilisé.

Lors de la conception du groupe électrogène, le moment de flexion au point d'accouplement du carter- volant du moteur et de l'adaptateur de l'alternateur ne doit pas dépasser les valeurs suivantes :

**Tableau 3 : Valeur du moment de flexion**

<b>Carcasse</b>	<b>Moment de flexion</b>
4/5	140kN.m (1000ft.ibs.)
6/7	275kN.m (2000ft.ibs.)

Le moment de flexion maximum de la bride du moteur doit être vérifié auprès du fabricant du moteur.

Des vibrations tensionnelles se produisent dans tous les systèmes à arbre entraînés par un moteur et peuvent être d'une importance telle qu'elles endommagent l'équipement à certaines vitesses critiques. Par conséquent, il faut analyser l'impact des vibrations tensionnelles sur l'arbre et sur les accouplements de l'alternateur.

Il est de la responsabilité du metteur en groupe de vérifier la compatibilité des appareils électriques ; à cette fin, des plans côtés des arbres avec les moments d'inertie des rotors sont à la disposition des utilisateurs qui doivent les fournir aux fabricants des moteurs. Pour les alternateurs mono paliers les données des accouplements sont également incluses.

Soulignons tout de même qu'une incompatibilité en matière de vibrations tensionnelles ou de niveaux excessifs peut endommager ou perturber le fonctionnement de l'alternateur ou de certains éléments du moteur.

La boîte à bornes standard inclut une ouverture pour câbles sur la droite vue du côté opposé à l'accouplement de l'alternateur. Au moment de la commande on peut spécifier une ouverture pour câbles sur la gauche.

La boîte à bornes comprend des panneaux amovibles qui permettent le montage aisé de presse-étoupes la boîte à bornes inclut des bornes isolées pour le raccordement au réseau et au neutre ainsi qu'à la terre. Des bornes de terre supplémentaires sont situées sur les pattes de l'alternateur.

Aucun raccordement de mise à la terre n'est effectué sur l'alternateur, la mise à la terre de l'installation doit s'effectuer en fonction de la réglementation en vigueur. Une mise à la terre incorrecte ou une mauvaise protection peut entraîner des blessures ou la mort accidentelle.

### **3.2- Le principe de fonctionnement de l'alternateur**

Le principe de fonctionnement de tout alternateur est basé fondamentalement sur l'induction électromagnétique. En effet, lorsqu'on déplace un conducteur dans un champ magnétique de façon à couper les lignes de champ, ou encore lorsqu'on déplace un champ magnétique au voisinage d'un conducteur, il apparaît une différence de potentielle entre les extrémités du conducteur : une tension est ainsi induite dans le conducteur.

### **3.3- Expression de la force électromotrice induite**

On note  $\Phi$  le flux produit au rotor. En supposant que ce flux est une grandeur variable sinusoïdale on écrit :  $\Phi(t) = \Phi_{\max} \cdot \cos(\omega t)$  (6) ; avec  $\Phi_{\max}$  le

flux maximal et  $\omega$  sa pulsation. La force électromotrice induite est en fonction de ce flux et s'exprime par la loi de LENZ : « Heinrich LENZ »

$$e = -n. \frac{d\Phi}{dt} \quad (7)$$

$$\frac{d\Phi}{dt} = -\omega. \Phi_{\max}. \sin(\omega t) \quad (8)$$

$$e = n. \omega. \Phi_{\max}. \sin(\omega t) \quad (9)$$

$$e = E_{\max}. \sin(\omega t) = E\sqrt{2}. \sin(\omega t) \quad (10)$$

Avec E la valeur efficace de la force électromotrice induite. A partir des équations (3) et (4), nous déduisons :  $E = \frac{n.\omega.\Phi_{\max}}{\sqrt{2}}$  (11) avec  $\omega = 2\pi f$  : vitesse angulaire de rotation en radian par seconde (rad/s) ; f : représente la fréquence de la tension induite. Cette fréquence est fonction du nombre de pôles et de la vitesse de rotation, qui est exprimée par la formule :  $f = \frac{p.(N)}{120}$  ; (12)

Avec p le nombre de pôles de l'alternateur et N la vitesse de rotation des pôles.

$$\text{Alors E devient : } E = \frac{n.2\pi.p.(N).\Phi_{\max}}{120\sqrt{2}} \quad (13)$$

Pour un alternateur triphasé, il se produit un système de trois courants alternatifs sinusoïdaux décalés les uns par rapport aux autres de la période T sur trois, soit T/3 ou  $2\pi/3$ . Chacun des trois courants est une phase et le courant unique obtenu dans une des trois bobines est un courant simple dit monophasé. De la même façon que nous avons écrit l'expression de la f-é-m induite, on écrit les expressions des intensités et des tensions respectivement comme suit :

$$v_1 = V_{\max} \sin(\omega t) ; \quad (14)$$

$$v_2 = V_{\max} \sin(\omega t + 2\pi/3); \quad (15)$$



$$v_3 = V_{\max} \sin(\omega t - 2\pi/3). \quad (16)$$

$$i_1 = I_{\max} \sin(\omega t - \varphi); \quad (17)$$

$$i_2 = I_{\max} \sin(\omega t + \frac{2\pi}{3} - \varphi); \quad (18)$$

$$i_3 = I_{\max} \sin(\omega t - \frac{2\pi}{3} - \varphi). \quad (19)$$

Avec  $\varphi$  le retard du courant sur la tension.

La somme algébrique des intensités des trois phases est nulle. Il y a des systèmes triphasés équilibrés (si les intensités dans les trois phases sont égales) et déséquilibrés (si les intensités sont différentes).

### 3.4. Alternateurs à auto- excitation à régulateur automatique de tension

Le stator principal fournit la puissance d'excitation au champ de l'excitatrice par l'intermédiaire du régulateur automatique de tension SX440 ou (SX421), ce dernier contrôlant le niveau d'excitation fournit au champ de l'excitatrice. Le régulateur automatique de tension réagit à un signal de détection de tension dérivée de l'enroulement statorique principal. En contrôlant la basse puissance du champ de l'excitatrice, on contrôle les besoins en haute puissance du champ principal par la sortie redressée de l'induit de l'excitatrice. Le régulateur automatique de tension SX440 détecte la tension moyenne sur deux phases, garantissant une précision de régulation élevée. En outre il détecte la vitesse de rotation du moteur et régule la baisse de tension en fonction de la vitesse si celle-ci devient inférieure à un seuil prédéfini (Hz). On évite ainsi toute surexcitation aux vitesses réduites du moteur et on limite les effets des impacts de charge pour soulager le moteur.

Le modèle SX421 de régulateur automatique de tension intègre toutes les fonctionnalités et caractéristiques du SX440 avec en plus une détection de la tension efficace triphasée et une protection contre les surtensions lorsqu'il est utilisé avec un disjoncteur externe (monté sur l'armoire de contrôle – commande).

### **3.5- Alternateurs à excitatrice à aimants permanents (PMG) et régulateur automatique de tension**

L'excitatrice à aimants permanents (PMG) fournit la puissance d'excitation aux champs de l'excitation par l'intermédiaire du régulateur de tension MX341 ou (MX321), ce dernier contrôlant le niveau d'excitation fournit au champ de l'excitatrice. Le régulateur de tension réagit à un signal de détection de tension envoyé par l'enroulement statorique principal et transmis par l'intermédiaire d'un transformateur d'isolement. En contrôlant la basse puissance du champ de l'excitatrice, on contrôle les besoins en haute puissance du champ principal par la sortie redressée de l'induit de l'excitatrice. L'excitatrice à aimants permanents (PMG) fournit une source de puissance d'excitation constante indépendante de la charge du stator principal et assure une puissance de démarrage très élevée pour le moteur ainsi qu'une protection contre la distorsion de l'onde de tension à la sortie du stator principal provoquée par des charges variables, ce qui est notamment le cas pour un moteur à courant continu commandé par des thyristors. Le régulateur de tension MX341 détecte la tension moyenne sur deux phases, garantissant une précision de régulation élevée. En outre, il détecte la vitesse de rotation du moteur et régule la baisse de tension en fonction de la vitesse si celle-ci devient inférieure à un seuil prédéfini (HZ). On évite ainsi toute surexcitation aux vitesses réduites du moteur et on limite les effets des impacts de charge pour soulager le moteur. Ce régulateur de tension intègre également une protection contre la surexcitation qui intervient après un délai donné pour désexciter l'alternateur en cas de tension excessive dans le champ de l'excitatrice.

Le modèle MX321 intègre les mêmes fonctions de protection et de délestage momentané du moteur que le modèle MX341 avec en plus une détection de la tension efficace triphasée et une protection contre les surtensions.

### **3.6- Les accessoires pour les régulateurs automatiques de tension**

Les régulateurs de tension SX440, MX341 et MX321 comportent des circuits qui lorsqu'ils sont utilisés avec certains accessoires, permettent le fonctionnement en parallèle avec la régulation de statisme ou astatique, la commande VAR/FP et, dans le cas du modèle MX321, la limitation du courant de court-circuit.

- Les régulateurs de tension externe (tous les modèles de régulateurs automatiques de tension)

Un régulateur de tension externe (potentiomètre de réglage fin) peut être monté.

Ce potentiomètre externe sera raccordé aux bornes 1 et 2 du régulateur automatique de tension. Lorsqu'un potentiomètre externe de réglage fin est utilisé, la liaison 1-2 doit être retirée.

Dans le cas des régulateurs de tension SX440 et MX341, la liaison 1-2 se situe sur le bornier. Dans le cas des régulateurs de tension SX421 et MX321, la liaison 1-2 se trouve sur les bornes de ces mêmes régulateurs.

### **3.7- La marche en parallèle**

Il est indispensable de comprendre les quelques explications suivantes sur la marche en parallèle avant de monter ou de régler le kit de statisme. Lors de la marche en parallèle avec d'autres alternateurs ou le réseau, l'ordre de phases des alternateurs à coupler doit impérativement correspondre à celui de la barre collectrice et les conditions suivantes doivent être réunies avant que le disjoncteur de l'alternateur à coupler ne soit fermé sur la barre collectrice (ou l'alternateur en fonctionnement)

- 1- La fréquence doit correspondre dans les limites très étroites.
- 2- Les tensions doivent correspondre dans les limites très étroites.

3- L'angle de phase des tensions doit correspondre dans les limites très étroites.

Plusieurs techniques allant des simples lampes de synchronisation aux synchronisateurs entièrement automatiques, peuvent être utilisées pour vérifier que ces conditions sont réunies.

Après la mise en parallèle, des niveaux minimums doivent être mesurés pour chaque alternateur avec les instruments suivants :

Voltmètre, ampèremètre, wattmètre (mesure de la puissance totale) et un fréquencemètre. Ces valeurs doivent servir au réglage du moteur et de l'alternateur pour répartir les kilowatts en fonction des caractéristiques nominales du moteur et les kVARS en fonction des caractéristiques nominales de l'alternateur.

Si une des trois conditions n'est pas satisfaite lors de la fermeture du disjoncteur, des contraintes mécaniques et excessives peuvent endommager l'équipement.

Il est important de savoir que :

- 1- Les kilowatts sont fournis par le moteur et ce sont les caractéristiques du régulateur de vitesse qui déterminent la répartition des kilowatts entre les groupes.
- 2- Les kVA sont fournis par l'alternateur et ce sont les caractéristiques de la commande d'excitation qui déterminent la répartition des kVARS.

Il faut consulter la notice technique du metteur en groupe pour les réglages du régulateur de vitesse.

### 3.8- Le statisme

La méthode la plus couramment utilisée pour la répartition des kVARS consiste à créer une caractéristique de tension de l'alternateur qui chute avec un facteur de puissance décroissant (augmentant les kVARS). Pour cela, on utilise un transformateur de courant qui fournit un signal dépendant de l'angle de phase du courant (c'est-à-dire le facteur de puissance) au régulateur automatique de tension.

Le transformateur de courant dispose d'une résistance de charge située sur la carte du régulateur de tension, un pourcentage de tension de la résistance de charge venant s'ajouter dans le circuit du régulateur de tension. Pour augmenter le statisme, on tourne le potentiomètre DROOP dans le sens horaire.

Cet accessoire est conçu comme système d'excitation de secours, à utiliser en cas de défaillance d'un régulateur automatique de tension. Alimenté par la sortie de l'excitatrice à aimants permanents (PMG), cet accessoire est activé manuellement, mais régule automatiquement le courant d'excitation, indépendamment de la tension ou la fréquence de l'alternateur. Il peut être utilisé en trois modèles de fonctionnement : MANUEL, OFF et AUTO.

#### ✓ MANUEL

Lorsque ce mode de fonctionnement est sélectionné, l'excitation est connectée à la sortie du régulateur manuel de tension. La sortie de l'alternateur est alors contrôlée par l'opérateur qui ajuste le courant d'excitation.

#### ✓ OFF

En sélectionnant OFF, on déconnecte l'excitation à la fois du régulateur manuel de tension et du régulateur automatique de tension normale.

## ✓ AUTO

Lorsque ce mode de fonctionnement est sélectionné, l'excitation est connectée au régulateur automatique de tension normale et la sortie de l'alternateur est asservie de la tension pré définie pour le fonctionnement avec régulateur automatique de tension.

Il est à souligner que la sélection de l'un des trois modes de fonctionnement se fera lorsque le groupe serait à l'arrêt. Pour éviter toute pointe de courant sur la charge connectée, bien qu'aucun des deux régulateurs de tension (manuel et automatique) ne sera endommagé si la sélection se fait avec le groupe électrogène en fonctionnement.

### - **Disjoncteur de désexcitation en cas de surtension, régulateurs automatiques de tension SX421 et MX321**

Cet accessoire coupe directement la puissance d'excitation en cas de surtension provoquée par une perte de détection ou des défauts internes aux régulateurs automatiques de tension, y compris le dispositif de puissance de sortie.

Dans le cas du modèle MX321 cet accessoire est livré à part pour être monté sur le panneau de commande.

Dans le cas du modèle SX421, le disjoncteur est toujours fourni et est normalement monté dans l'armoire de contrôle- commande.



Figure 25 : Disjoncteur du groupe électrogène 2250 kVA

### **3.9- Réarmement du disjoncteur**

En cas de déclenchement du disjoncteur, signalé par la perte de la tension de sortie de l'alternateur, on doit le réarmer manuellement. Lorsqu'il est déclenché, le levier du disjoncteur est en position OFF. Pour le réarmer, il faut placer le levier en position ON.

Lorsqu'il est monté dans l'alternateur, l'accès au disjoncteur se fait en ouvrant le panneau d'accès du régulateur de tension.

Le disjoncteur est monté sur le support, de fixation du régulateur de tension à gauche ou à droite de ce dernier en fonction de son emplacement. Après avoir réarmé le disjoncteur, il faut refermer le panneau d'accès du régulateur de tension avant de remettre le groupe électrogène en marche.

### **3-10- Limiteur de courant – régulateur automatique de tension MX321**

Cet accessoire fonctionne en liaison avec les circuits du régulateur de tension pour limiter le niveau de courant en cas de défaut. Un transformateur de

courant par phase est inclus pour limiter le courant en cas de défaut entre phase-phase ou phase – neutre.

### **3.11- Régulateur de facteur de puissance (PFC3)**

Cet accessoire est conçu principalement pour les alternateurs destinés à fonctionner en parallèle avec le réseau. Le régulateur n'est pas protégé contre les pertes de tension, d'alimentation ou d'excitation de l'alternateur. Il incombe donc au metteur en groupe de prévoir ce type de protection.

### **Conclusion partielle**

Dans ce chapitre, nous avons montré le fonctionnement des groupes électrogènes et leurs principes de fonctionnement. Ces alternateurs peuvent être de type monophasé, triphasé voire type polyphasé.



## **CHAPITRE 4 : PRINCIPE ET PROCEDURE DE LA MAINTENANCE A BENIN TERMINAL**

### **Introduction**

Il existe différents types de maintenance : maintenance préventive ; maintenance préventive systématique ; maintenance préventive conditionnelle ; maintenance corrective. Dans ce chapitre nous proposerons des démarches pour une bonne maîtrise des pannes au niveau des groupes électrogènes de Bénin TERMINAL.

### **4.1- Définition**

La maintenance est l'ensemble des actions permettant d'entretenir ou de rétablir un bien en service ; selon l'Association Française de Normalisation (AFNOR). On distingue deux grands types de maintenance à savoir : la maintenance préventive et la maintenance corrective

### **4.2- La maintenance préventive**

La maintenance préventive consiste à apporter des solutions aux matériels avant qu'ils ne soient totalement défectueux. Elle se fait lorsqu'il n'y a pas de pannes, ce qui permet d'assurer une longue vie aux matériels. On en distingue de deux sortes : la maintenance préventive systématique et la maintenance préventive conditionnelle.

#### **4.2.1- La maintenance préventive systématique**

Elle consiste à changer les pièces jugées usées et ne coûtant pas trop chères et suivant un échéancier établi. Cette forme de maintenance préventive nécessite de connaître les usures, les modes de dégradation, le temps moyen de bon fonctionnement entre deux pannes

#### **4.2.2- La maintenance préventive conditionnelle**

Cette forme de maintenance préventive est subordonnée à un type d'événements pré déterminés (information d'un capteur, autodiagnostic). Elle s'applique généralement à des matériels coûtants chers en remplacement en se prêtant à être surveillé par des méthodes non destructives.

- La vérification des niveaux d'huile ;
- La vérification du liquide de refroidissement ;
- La vérification de l'eau distillée sur la batterie ;
- La vidange de l'huile à moteur.

#### **4.3- La maintenance corrective**

C'est la forme de maintenance effectuée après défaillance. En effet la défaillance est l'altération ou la cessation de l'aptitude d'un bien à accomplir la fonction requise. Elles sont classées en général en deux catégories :

- Les défaillances cata électriques : elles sont complètes et soudaines, c'est par exemple la rupture brusque d'une pièce mécanique ;
- Les défaillances partielles : ici on voit se propager la dégradation.

Ce sont les phénomènes d'usure en mécanique, l'augmentation de frottements par exemple.

Au cours de notre stage certaines pannes se sont survenues et nous y sommes intervenus, en l'occurrence : batteries du groupe électrogène de 800kVA qui étaient faibles pour le démarrage ; de l'alternateur d'un groupe électrogène de 800 kVA qui ne débitait pas puis l'alternateur STANFORD qui a été grillé et l'un des groupes de 375KVA qui ne démarrait plus.

#### **4.4- Solution aux problèmes pour une bonne marche des équipements**

Concernant les problèmes de charge des batteries nous avons procédé à l'achat de chargeurs manuels pour permettre à l'équipe de surveillance des équipements de faire elle-même la charge des batteries au préalable avant de procéder au démarrage du groupe électrogène. Puis après nous avons procédé au remplacement de ces batteries, c'est la meilleure solution d'ailleurs, puisqu'elles travaillent jusqu'à présent. Pour remédier au problème de l'alternateur de charge qui ne débitait pas, nous avons essayé d'exciter l'alternateur de charge à l'aide d'un fil électrique de section moyenne et la charge de batterie a commencé.

Pour l'alternateur STANFORD qui a été grillé bien plus tard après ces dépannages ci-dessus cités nous avons constaté que c'est un effet de condensation et de dépôt d'humidité qui devraient être séchés par les résistances chauffantes qui ont été défaillantes. Puisque l'embrun marin est élevé dans cette zone et que l'humidité n'est pas éliminée par un autre démarrage, les vernis de l'enroulement se détruisaient petit à petit et les enroulements sont arrivés à entrer en contact puis a provoqué la destruction de l'alternateur. Le rebobinage a été commandé.

Pour le groupe électrogène de 375KVA qui ne démarrait pas, nous avons constaté que c'est plutôt le démarreur lui-même qui est défaillant et nous avons procédé à son remplacement.

En définitive, nous proposons qu'on augmente la fréquence d'entretien des groupes électrogènes pour augmenter leur durée de vie.

Aussi nous proposons d'accélérer les procédures de remplacement d'éventuelles pièces de rechange. Car la lenteur dans les circuits parcourus par les documents administratifs ralentit la réalisation des travaux et toute utilisation avant réparation s'il n'empêche pas trop le fonctionnement du groupe ne fait que compliquer la panne comme le cas des résistances chauffantes.

## **4.5- Etude des modules d'entretien et de maintenance**

Nous étudierons les modules une à une afin de permettre une compréhension plus aisée des parties sensibles d'un groupe électrogène et de faciliter l'intervention. Dans le cadre de l'entretien courant nous conseillons de vérifier périodiquement l'état des enroulements (plus particulièrement lorsque les alternateurs sont restés sans fonctionner pendant une période relativement longue) des filtres à air et des roulements.

### **4.5.1- Etat des enroulements**

L'état des enroulements peut être vérifié en mesurant la résistance d'isolement à la terre.

Avant d'effectuer la mesure, l'on doit déconnecter le régulateur automatique de tension et mettre à la terre toute résistance détectrice de température (RDT). On utilisera un ohmmètre de 500V ou tout instrument similaire. La résistance d'isolement à la terre de tous les enroulements doit être supérieure à 1,0 MΩ. Si elle est inférieure à cette valeur, les enroulements de l'alternateur doivent être séchés.

Pour sécher les enroulements, on peut introduire de l'air chaud dans les entrées et/ ou les sorties d'air de l'alternateur, air chaud fourni par un radiateur soufflant ou un appareil similaire.

Une autre méthode consiste à court-circuiter les enroulements du stator principal de l'alternateur au moyen d'une barre de court-circuitage triphasée boulonnée sur les bornes principales et à faire fonctionner le groupe électrogène avec le régulateur de tension déconnecté des bornes X et XX. Une alimentation en courant continu est raccordée aux fils X et XX (X doit être raccordé au positif de l'alimentation cc et XX au négatif).

L'alimentation en courant continu doit varier de 0 à 24 Volts et pouvoir fournir 1,0 Ampère. Une pince ampèremétrique, à courant alternatif (ou un instrument semblable) doit être utilisée pour mesurer les courants des fils de bobinage.

Régler la tension d'alimentation cc sur zéro. Démarrer le groupe électrogène et augmenter lentement la tension continue pour faire passer le courant dans l'enroulement du stator principal. Le niveau de courant ne doit pas dépasser le courant nominal de l'alternateur.

En réalité trente minutes suffisent normalement pour sécher les enroulements avec cette méthode.

Après le séchage, les résistances d'isolement doivent être revérifiées pour vous rassurer que les valeurs minima précitées soient respectées.

Lors des nouveaux essais, il faut vérifier la résistance d'isolement du stator principal comme suit :

- Séparer les fils neutres.
- Mettre à la terre les phases V et W et mesurer la résistance de la phase U par rapport à la terre.
- Mettre à la terre les phases U et W et mesurer la résistance de la phase V par rapport à la terre.
- Mettre à la terre les phases U et V et mesurer la résistance de la phase W par rapport à la terre.

Si la valeur minimum de 1,0 M $\Omega$  n'est pas obtenue, on doit poursuivre le séchage et recommencer l'essai.

#### **4.5.2- Les roulements**

Tous les roulements sont graissés à vie, mais ils peuvent être engraisés après démontage pour vérification lors d'une révision générale.

De préférence, il faut vérifier périodiquement si le roulement ne fait pas un bruit anormal ou s'il ne chauffe pas anormalement. Des vibrations importantes après une certaine durée de fonctionnement peuvent être dues à un roulement usé ; dans ce cas, vérifier l'état du roulement et le remplacer au besoin.

Dans tous les cas les enroulements doivent être changés après quarante mille heures de service.

En résumé nous dirons ici que :

- La durée de vie des enroulements varie en fonction des conditions d'utilisation et des conditions ambiantes ;
- De longues périodes à l'arrêt dans un environnement soumis aux vibrations peuvent provoquer des méplats sur les billes et rayer les chemins de roulement ;
- Une atmosphère humide ou moite peut émulsifier la graisse et provoquer de la corrosion ;
- Des vibrations axiales importantes provenant du moteur ou un mauvais alignement du groupe électrogène soumettront les roulements à des contraintes supplémentaires ;
- Pour éviter tout graissage excessif susceptible de surchauffer le roulement et de diminuer sa durée de vie, des graisseurs peuvent être montés sur demande ;
- Pour le graissage des roulements, n'utiliser que la graisse à base de lithium du type mobilux N° EP2 ou Shell Alvania R3.

#### **4.5.3- Filtre à air**

La périodicité de l'entretien des filtres varie en fonction des conditions ambiantes. Seul un contrôle à intervalle régulier nous permet de savoir quand les filtres doivent être nettoyés.

#### 4.5.3.1- Nettoyage des filtres

En démontant les éléments filtrants on met à nu les éléments sous tension. Donc il ne faut démonter les éléments filtrants qu'après avoir mis l'alternateur hors tension. Ainsi il faut :

- Démontez les éléments filtrants du cadre ;
- Plonger l'élément filtrant dans un bain de dégraissant ou le rincer au dégraissant jusqu'à ce qu'il soit propre.

Une autre méthode consiste à utiliser un tuyau d'eau haute pression à embout plat et à pulvériser de l'eau dans l'élément filtrant par le côté propre (tamis fin de l'élément filtrant) en maintenant fermement l'embout contre la surface du tamis. De l'eau froide peut donner des résultats satisfaisant en fonction de l'encrassement, de l'eau chaude étant toutefois préférable.

Pour vérifier la propreté de l'élément filtrant, on peut le placer devant une source lumineuse. Un filtre parfaitement propre ne doit comporter aucune trace opaque. Séchez complètement les éléments avant de les ré imprégner d'huile.



Figure 26 : Filtre à huile du moteur SDMO (2250kVA)

#### 4.5.3.2- Imprégnation des filtres d'huile

La meilleure méthode pour imprégner les filtres d'huile consiste à plonger complètement l'élément sec dans un récipient contenant du « filterkote type k » ou une huile de lubrification SAE 20/50. Il est déconseillé d'utiliser des huiles d'une viscosité supérieure ou inférieure.

Laisser les éléments filtrants s'égoutter totalement avant de les remonter dans les cadres et de remettre la machine en marche.

#### 4.6- Localisation des défauts

Avant toute opération de localisation des défauts, vérifiez l'état des câbles et des connexions. Quatre types de systèmes d'excitation, avec quatre modèles différents de régulateurs automatiques de tension, peuvent équiper la gamme d'alternateurs décrite dans ce document. Chaque système d'excitation est identifié par la référence du modèle de régulateur automatique de tension (s'il en est équipé, car tous ne le portent) et le dernier chiffre de la référence de la taille de la carcasse de l'alternateur.

##### 4.6.1- Régulateur automatique de tension : R438

- Localisation des défauts

**Tableau 4 : Localisation des défauts (en cas de pannes) : R438**

Pas de montée en tension lors de la mise en route du groupe	1- Vérifier la liaison K1- K2 2- Vérifier la vitesse 3- Vérifier la tension résiduelle. Suivre la procédure spécifique de contrôle de l'excitation pour vérifier l'alternateur et le régulateur automatique de tension.
Tension instable à vide ou en charge	1- Vérifier la stabilité de la vitesse. 2- Vérifier le réglage de la stabilité.



Tension élevée à vide ou en charge	<ol style="list-style-type: none"> <li>1- Vérifier la vitesse</li> <li>2- Vérifier que la charge de l'alternateur n'est pas capacitive (facteur de puissance capacitif).</li> </ol>
Tension réduite à vide	<ol style="list-style-type: none"> <li>1- Vérifier la vitesse</li> <li>2- Vérifier la continuité de la liaison 1-2 ou des fils du potentiomètre externe de réglage fin</li> </ol>
Tension réduite en charge	<ol style="list-style-type: none"> <li>1- Vérifier la vitesse</li> <li>2- Vérifier le réglage du potentiomètre UFRO. Les symptômes d'un mauvais réglage du potentiomètre sont : <ul style="list-style-type: none"> <li>- Le voyant à LED juste au-dessus du potentiomètre UFRO reste allumé pendant que l'alternateur est en charge.</li> <li>- La régulation de tension en charge est peu précise.</li> </ul> <p>En tournant le potentiomètre dans le sens horaire on diminue la valeur de la fréquence (vitesse) du "point de déclenchement" et on éteint la LED. Lorsque le réglage est optimum, la LED doit s'allumer au moment où la fréquence passe juste au-dessous de la fréquence nominale à savoir 47Hz dans le cas d'un alternateur de 50Hz et 57Hz dans le cas d'un alternateur de 60Hz.</p> </li> <li>3- suivre la procédure spécifique de contrôle de l'excitation pour vérifier l'alternateur et le régulateur automatique de tension.</li> </ol>

#### 4.7- Contrôle de la tension résiduelle

Cette procédure s'applique aux alternateurs équipés d'un régulateur automatique de tension de type SX460, SX440 ou SX421. Après avoir arrêté le groupe électrogène, on ouvre le panneau d'accès au régulateur automatique de tension et on débranche les fils X et XX du régulateur. On met le groupe électrogène en marche et on mesure la tension aux bornes 7-8 du régulateur SX460 ou P2-P3 du régulateur SX440 ou SX421.

On arrête le groupe et on rebranche les fils X et XX sur les bornes du régulateur automatique de tension. Si la tension mesurée est supérieure à 5V, l'alternateur doit fonctionner normalement. Si la tension mesurée est inférieure à 5V, on procède comme suit :

En utilisant une batterie de 12V courant continu, comme source d'alimentation on fixe avec une pince les fils du négatif de la batterie sur la borne XX du régulateur automatique de tension et les fils du positif de la batterie, que l'on fait passer par une diode sur la borne X du régulateur.

Il est impératif d'utiliser une diode pour ne pas endommager le régulateur de tension. Et si la batterie du groupe électrogène est utilisée pour l'amorçage de l'alternateur, le neutre du stator principal de l'alternateur doit être coupé de la terre. On remet le groupe électrogène en marche et on relève la tension de sortie du stator principal qui doit correspondre à approximativement à la tension nominale ou à la tension aux bornes 7 et 8 (modèle SX460) ou P2-P3 (modèles SX440 et SX421) qui doit se situer entre 170V et 250V. On arrête le groupe électrogène et on retire les fils de la batterie des bornes X et XX. On redémarre le groupe électrogène. L'alternateur doit maintenant fonctionner normalement. Si aucune montée en tension n'est obtenue, on peut supposer un défaut de fonctionnement de l'alternateur ou des circuits du régulateur automatique de tension. On exécutera la **procédure spécifique du contrôle d'exécution** pour vérifier les enroulements de l'alternateur, les diodes tournantes et le régulateur automatique de tension.



Figure 28 : Tableau de commande et de contrôle des grandeurs électriques



Figure 27 : Régulateur de tension

#### **4.8- Procédure spécifique de contrôle de l'excitation**

La procédure de contrôle des enroulements de l'alternateur, du pont de diodes et du régulateur automatique de tension est divisée en deux parties :

- Enroulements de l'alternateur, diodes tournantes et excitatrice à aimants permanents (PMG)
- Contrôle de la commande d'excitation.

##### **4.8.1- Enroulements de l'alternateur, diodes tournantes et excitatrice à aimants permanents (PMG)**

Les valeurs de résistances mentionnées s'appliquent aux enroulements standards. Pour des alternateurs caractérisés par des valeurs de tension ou des enroulements différents, consulter le fabricant. Vérifier que tous les fils déconnectés sont isolés et non mis à la terre. Un réglage de vitesse incorrect aura pour conséquence une erreur de tension proportionnelle à l'écart de tension.

▪ **Vérification de l'excitation à aimants permanents (PMG)**

On met le groupe électrogène en marche et on le fait fonctionner à vitesse nominale. On mesure les tensions aux bornes P2, P3 et P4 du régulateur automatique de tension. Ces tensions doivent être équilibrées et situées dans les plages suivantes :

- ✓ Alternateur 50Hz- 170 à 180 volts
- ✓ Alternateur 60Hz – 200 à 216 volts.

Si les tensions sont déséquilibrées il faut arrêter le groupe électrogène, démonter la plaque de métal de l'excitatrice à aimants permanents du flasque support côté opposé à l'accouplement et l'on débranche la prise multibroche des fils de sortie de l'excitatrice à aimants permanents. Vérifier la continuité des fils P2, P3 et P4. Vérifier les valeurs de résistance du stator de l'excitatrice à aimants permanents entre les fils de sortie. Elles doivent être équilibrées et correspondre à 2.3 ohms +/- 10%. Si les résistances sont déséquilibrées et/ou leur valeur incorrecte, le stator de l'excitatrice à aimants permanents doit être remplacé. Si les tensions sont déséquilibrées mais faibles et que les résistances d'enroulement du stator de l'excitatrice à aimants permanents sont correctes, c'est le rotor de l'excitatrice qui doit être remplacé.

▪ **Vérification des enroulements de l'alternateur et des diodes tournantes**

Cette procédure s'effectue avec les fils X et XX déconnectés du régulateur de tension ou du pont redresseur de commande du transformateur, et en alimentant les fils X et XX en 12V CC.

- ✓ On met le groupe en marche et on le fait fonctionner à vitesse nominale.
- ✓ On mesure les tensions aux bornes de sortie principales U, V et W.

Si les tensions sont équilibrées et correspondre à +/- 10% de la tension nominale de l'alternateur,

- ✓ On vérifie les tensions aux bornes 6, 7 et 8 du régulateur automatique de tension. Elles doivent être équilibrées et situées entre 160 et 250 volts.

Si les tensions aux bornes principales sont équilibrées mais que les tensions aux bornes 6, 7 et 8 ne le sont pas, il faut vérifier la continuité des fils 6, 7 et 8. Lorsqu'un transformateur d'isolement est monté, (régulateur automatique de tension MX321), il faut vérifier les enroulements du transformateur. S'ils sont défectueux, le transformateur doit être remplacé.

Si les tensions sont déséquilibrées, il y a un défaut au niveau de l'enroulement du stator principal ou des câbles d'alimentation du disjoncteur.

#### **4.8.2- Tension équilibrée aux bornes principales**

Si toutes les tensions aux bornes principales sont équilibrées à 1% près, on peut considérer que tous les enroulements de l'excitatrice, les enroulements principaux, et les diodes tournantes principales sont en bon état et que le défaut se situe au niveau du régulateur automatique de tension ou de la commande par transformateur.

Lire la procédure de vérification en 4-9. Si les tensions sont équilibrées mais faibles, le défaut se situe dans les enroulements d'excitation principaux et dans le pont de diodes tournantes. On procédera comme suit pour localiser le défaut :

##### **➤ Diodes du pont redresseur**

Le bon fonctionnement des diodes du pont redresseur peut être vérifié avec un multimètre. Les fils souples raccordés à chaque diode doivent être débranchés au niveau des bornes et on vérifiera la résistance directe ainsi que la résistance inverse.

- Une diode en bon état présente une résistance très élevée (infinie) dans le sens inverse et une résistance faible dans le sens direct.

- Une diode défectueuse est caractérisée par une déviation maximale de l'aiguille dans les deux sens lorsque l'instrument de mesure est réglé 10.000 ohm ou une valeur infinie dans les deux sens.

Sur un multimètre électronique à affichage numérique, une diode en bon état sera caractérisée par une valeur faible dans un sens et une valeur élevée dans l'autre sens.

### **Remplacement des diodes défectueuses**

Le pont redresseur est constitué de deux plaquettes, une plaquette positive et une plaquette négative, le rotor principal étant relié aux deux plaquettes. Chaque plaquette comporte trois diodes, la plaquette négative comportant des diodes à polarisation négatives et la plaquette positive des diodes à polarisation positive. On doit s'assurer que les diodes de polarité adéquate sont montées sur la plaquette correspondante. Lorsqu'on installe les diodes sur les plaquettes, on doit les serrer suffisamment pour assurer un bon contact mécanique et électrique, sans toutefois trop les serrer. Le couple de serrage conseillé est compris entre 4,06 et 4.74 Nm.

#### **➤ Dispositif de suppression des transitoires**

Le dispositif de suppression des transitoires est constitué d'une varistance métal oxyde raccordé aux deux plaquettes du pont redresseur et conçu pour éviter que les tensions transitoires indirectes élevées dans l'enroulement de champ n'endommagent les diodes. Ce dispositif n'est pas polarisé et présentera une valeur pratiquement infinie dans les deux sens sur un ohmmètre standard. S'il est défectueux, on pourra s'en rendre compte visuellement car il ne se mettra normalement pas en court-circuit et présentera des signes de désintégration. Il faut le remplacer s'il est défectueux.

Notons que les alternateurs HC6/ 7 sont équipés de deux dispositifs de suppression des transitoires qui forment un ensemble. Si un des deux dispositifs est défectueux, l'ensemble doit être remplacé.

➤ **Enroulements d'excitation principaux**

Si après avoir localisé et remédié à tout défaut dans le pont à diodes tournantes, la tension de sortie reste faible avec une excitation séparée, on doit alors vérifier tout défaut éventuel dans le rotor principal, le stator de l'excitatrice et les résistances d'enroulement du rotor (voir tableau des résistances). La résistance du stator de l'excitatrice est mesurée aux fils X et XX. Le rotor de l'excitatrice est relié à six broches de fixation qui comportent également les bornes de raccordement des fils des diodes.

L'enroulement du rotor principal est raccordé aux deux plaquettes du pont redresseur. Les fils respectifs doivent être déconnectés avant d'effectuer les mesures. Les valeurs des résistances doivent correspondre aux valeurs des tableaux ci-dessous +/- 10%.

#### **4.8.3- Tensions non équilibrées aux bornes principales**

Si les tensions sont déséquilibrées, il y a un défaut au niveau de l'enroulement du stator principal ou des câbles d'alimentation du disjoncteur. Un enroulement statorique ou des câbles défectueux peuvent également provoquer un accroissement sensible de la charge sur le moteur au moment de l'excitation. Il faut débrancher les câbles d'alimentation et séparer les fils d'enroulement U1-U2, (U5-U6), V1-V2, (V5-V6), W1-W2, (W5-W6) pour isoler chaque section d'enroulement.

#### 4.9- Essai de vérification de l'excitation

##### ▪ Contrôle de fonctionnement des régulateurs automatiques de tension

Le bon fonctionnement de tous les modèles de régulateurs automatiques de tension peut être vérifié selon la procédure suivante :

- 1- Il faut déconnecter les fils X et XX (F1 et F2) de l'inducteur de l'excitatrice des bornes X et XX (F1 et F2) du régulateur automatique de tension.
- 2- Brancher une baladeuse de 60W/240volts aux bornes X et XX (F1 et F2) du régulateur automatique de tension.
- 3- Tourner à fond dans le sens horaire le potentiomètre VOLTS du régulateur automatique de tension.
- 4- Connecter une alimentation de 12V, 1,0A courant continu aux fils X et XX (F1 et F2) de l'inducteur de l'excitatrice, x(F1) sur le positif.
- 5- Mettre le groupe électrogène en marche et le faire fonctionner à vitesse nominale
- 6- Vérifier que la tension de sortie correspond à  $\pm 10\%$  de la tension nominale.

Les tensions aux bornes 7-8 du modèle SX460 ou aux bornes P2-P3 des modèles SX440 et SX421 doivent se situer entre 170 et 250 volts. Si la tension de sortie aux bornes de l'alternateur est correcte mais que la tension aux bornes 7-8 (ou P2-P3) est faible, vérifier les fils auxiliaires et les raccordements aux bornes principales. Les valeurs aux bornes P2, P3 et P4 des modèles MX341 et MX321 doivent correspondre à celles énoncées au paragraphe 4.5.1. La baladeuse connectée sur X-XX doit s'allumer. Dans les cas des modèles SX440 et SX421, la lampe doit rester allumée en continu. Pour les modèles MX341 et MX321, la lampe doit rester allumée pendant environ huit secondes pour ensuite s'éteindre. Si elle ne s'éteint pas, cela signifie que le circuit de protection est défaillant et que le régulateur de tension doit être remplacé. Lorsque l'on tourne le potentiomètre de réglage volts à fond dans le sens antihoraire, la lampe doit s'éteindre sur tous



les modèles de régulateurs automatiques de tension. Si la lampe ne s'éteint pas, cela signifie que le régulateur de tension est défectueux et qu'il doit être remplacé.

Après cet essai, il est important de tourner le potentiomètre VOLTS dans le sens antihoraire.

#### **4.10- Démontage et remplacement des éléments constitutifs**

Les filtres sont toujours au pas métrique. Lorsque l'on soulève les alternateurs mono paliers, la carcasse de l'alternateur doit impérativement être maintenue à l'horizontale.

En effet, le rotor peut bouger librement dans la carcasse et risque de glisser hors de celle-ci. Un levage effectué de manière incorrecte peut provoquer de graves accidents.

##### **4.10.1- Démontage de l'excitatrice à aimants permanents (PMG)**

1 - démonter le panneau d'accès.

2- débrancher P2, P3 et P4 du connecteur multifilaire à l'intérieur du panneau d'accès.

3 – retirer les 4 vis et les colliers de serrage qui maintiennent le carter du stator (bâti 4,5 et 6) ou le boîtier du stator (bâti 7).

4 – tapoter sur le boîtier ou le carter du stator pour le sortir d'ergot.

Le rotor très magnétisé attirera le noyau du stator ; par conséquent on doit éviter tout contact entre les deux, susceptible d'endommager le bobinage.

5- Retirer le bouton de fixation de l'inducteur d'excitatrice que l'on garde précieusement et on tire fermement sur l'ensemble complet du rotor pour le déloger.

Le rotor doit être conservé propre et à l'abri de la poussière ou des particules métalliques ; l'idéal est de le conserver dans un sac de plastique.

**NB :** l'ensemble rotor ne doit dans aucun cas être démonté.

Remonter dans l'ordre en prenant en compte les deux points suivants :

- 1- Vérifier que l'ensemble rotorique ne comporte aucune poussière ni particules métalliques.
- 2- Lors du montage du boîtier du rotor, il faut faire particulièrement attention à ne pas endommager le bobinage du fait de la forte attraction magnétique.

#### **4.10.2- Résistances de chauffage**

L'alimentation secteur externe de la résistance de chauffage doit être sectionnée avant toute intervention à proximité de la résistance ou avant de démonter le flasque support situé côté opposé à l'accouplement sur lequel est fixée la résistance de chauffage.

#### **4.10.3- Démontage des roulements**

Positionner le rotor principal de telle sorte qu'une face polaire complète du noyau de l'induit se trouve au bas de l'alésage du stator.

Le démontage des roulements peut se faire soit après avoir démonté l'ensemble rotorique, soit plus simplement en retirant le ou les flasques supports. Les roulements sont à ajustage serré et peuvent être démontés de l'arbre au moyen d'un outillage standard, à savoir des extracteurs de roulements manuels ou hydrauliques à 2 ou 3 branches

- 1- Retirer les quatre vis de fixation du couvercle du boîtier de roulement
- 2- Retirer le couvercle.

- 3- Retirer le circlips (alternateurs mono paliers, côté opposé à l'accouplement)  
ou la rondelle de précontrainte (alternateurs bipaliers, coté accouplement).
- 4- Retirer le boîtier complet avec le roulement.
- 5- Séparer le roulement du boîtier.

Si les roulements doivent être remontés. Les roulements et les boîtiers doivent être entièrement dégraissés au dissolvant avant leur remontage.

Lorsque l'on remonte ou remplace les roulements, ils doivent être remplis de graisse comme suit :

Lubrifiant conseillé : graisse à base de lithium mobilux N° EP2 ou Shell Alvania R3. Plage de température : -30°C à 120°C

Quantité :

Carcasse 4 côté accouplement	108cm <sup>3</sup>
Carcasse 4 côté opposé à l'accouplement	108cm <sup>3</sup>
Carcasse 5 côté accouplement	108cm <sup>3</sup>
Carcasse 5 côté opposé à l'accouplement	108cm <sup>3</sup>
Carcasse 6 côté accouplement	162cm <sup>3</sup>
Carcasse 6 côté opposé à l'accouplement	108cm <sup>3</sup>
Carcasse 7 côté accouplement	162cm <sup>3</sup>
Carcasse 7 côté opposé à l'accouplement	162cm <sup>3</sup>

Un tiers de la quantité spécifiée ci- dessus doit être enfoncé dans le roulement, un tiers doit être placé dans la cavité du couvercle du boîtier à roulements et le dernier tiers dans la cavité du boîtier.

#### **4.10.4- Assemblage du rotor principal Alternateur mono palier**

Dans le cas des alternateurs mono paliers, avant de les dégager ou de les remonter sur les moteurs, il faut positionner le rotor de telle sorte qu'une face polaire complète soit au point mort bas.

- 1- Retirer tous les panneaux d'accès et le couvercle de la boîte à bornes
- 2- Déconnecter les fils X et XX de l'excitatrice et les fils P2- P3- P4 de l'excitatrice à aimant permanents aux bornes auxiliaires à l'intérieur de la boîte à bornes.
- 3- Vérifier que ces fils ne sont pas coincés et peuvent être démontés avec le flasque support du côté opposé à l'accouplement.
- 4- Retirer les huit boulons qui maintiennent l'adaptateur côté accouplement sur la carcasse.
- 5- Après avoir passé une élingue autour de l'adaptateur côté accouplement, on tapote sur l'adaptateur pour le dégager de son ergot ; on le sort en le faisant passer au-dessus du ventilateur.
- 6- Retirer les quatre boîtiers qui maintiennent le boîtier du roulement côté opposé à l'accouplement sur le flasque support du même côté (quatre boulons externes).
- 7- Retirer les huit boulons de fixation du flasque support côté opposé à l'accouplement sur le bâti.
- 8- En maintenant le flasque support côté opposé à l'accouplement au moyen d'un dispositif de levage, insérer de boulons M10 dans les deux trous prévus pour le levage (sur la ligne médiane horizontale du flasque support). Visser les boulons jusqu'à dégager l'ergot du flasque support, baisser l'ensemble complet jusqu'à ce que le rotor principal repose dans l'alésage du stator. Alors que le flasque support côté opposé à l'accouplement est toujours maintenu, tapoter dessus pour le dégager du boîtier roulement côté

opposé à l'accouplement (en faisant attention à ce que l'induit d'excitatrice ne dérègle pas les enroulements rotoriques de l'excitatrice) et on le retire.

9- Pour séparer le rotor du stator, le rotor doit être maintenu par une corde cotée accouplement et dégagé du stator jusqu'à ce que la moitié du rotor principal soit sorti du stator. A ce stade, nous conseillons, pour plus de sécurité de relâcher, le poids de l'élingue.

10- Serrer fermement une élingue autour du noyau du rotor et maintenant le côté opposé à l'accouplement du rotor et dégager le stator.

**NB :** l'élingue peut ne pas se trouver au centre de gravité du rotor et les extrémités du rotor doivent être guidées avec beaucoup de précisions. Dès que le rotor est totalement dégagé du stator, le poids du rotor repris dans le tableau ci- dessous doit être entièrement supporté par le dispositif de levage et l'élingue. Si au moment du dégagement, le rotor baisse de plus de quelques milli mètres, il sera en contact avec les enroulements du stator et risque de les endommager.

### **Poids minimum de l'ensemble rotorique**

Carcasse	poids
HC4	473kg
HC5	681kg
HC6- 4 pôles	1093kg
HC6- 6 pôles	1050kg
HC7- 4 pôles	1592kg
HC7- 6 pôles	1790kg

Remonter dans l'ordre inverse.

Avant de réinsérer un rotor mono palier dans le carter d'un stator, il faut vérifier que les disques d'entraînement ne sont pas endommagés ou fissurés et qu'ils ne montrent aucun signe d'usure. Vérifier également l'état des trous des disques dans lesquels sont insérées les vis de fixation de l'entraînement. Tout élément abîmé doit être remplacé.

Pour les contrôles de serrage des boulons de fixation des disques sur le volant on fera recours à la notice technique du moteur.

#### **4.10.5- Alternateurs bipaliers**

On positionne si possible le rotor de telle sorte qu'une face polaire complète soit au point mort bas. La procédure de démontage d'un rotor bi palier est identique à celle des alternateurs mono paliers. Sauf pour les étapes 4 et 5 qui concerne l'adaptateur côté accouplement.

Pour démonter cette pièce on procède comme suit :

- 1- Retirer les huit boulons qui maintiennent l'adaptateur côté accouplement sur la carcasse, et les quatre boulons qui maintiennent le boîtier du roulement sur le flasque support côté accouplement (quatre boulons externes).
- 2- Après avoir placé une élingue autour du bout d'arbre pour soutenir le poids du rotor, tapoter sur l'ergot du flasque support côté accouplement pour le dégager et baisser l'ensemble rotorique pour qu'il repose sur l'alésage du stator.
- 3- On vérifie que l'élingue supporte bien le poids du flasque support côté accouplement et on tapote dessus pour le dégager du boîtier du roulement côté accouplement et le sortir en le faisant passer au-dessus du ventilateur.

On remonte dans l'ordre inverse.

#### 4.11- La remise en service

Après avoir remédié à tout défaut déceler, retirer toutes les connexions d'essais et reconnecter tous les fils du système de régulation.

Il faut redémarrer le groupe électrogène et régler le potentiomètre VOLT du régulateur de tension en le tournant lentement dans le sens horaire jusqu'à obtenir la tension nominale. Il faut refermer tous les panneaux d'accès et couvercles de la boîte à bornes et reconnecter l'alimentation des résistances chauffante. Car des accidents graves voire mortels, peuvent survenir si l'on ne remonte pas tous les dispositifs de protection et panneaux d'accès.

#### 4.12- Tableau de synthèse

Pour une gestion efficiente des groupes électrogènes de BENIN TERMINAL, nous proposons :

**Tableau 5 : Tableau des suggestions**

N°	Suggestions
01	Augmenter les fréquences de maintenance de ces groupes électrogènes afin de leur donner plus vie
02	Accélérer les procédures d'intervention sur ces équipements afin de palier à la lenteur administrative dont le temps ne fait qu'aggraver le mal à corriger sur les équipements
03	Ravitainer le service d'assistance technique de quelques pièces de rechanges afin de leur permettre quelques rechanges si le besoin se fait sentir ou signaler lors des opérations d'entretiens périodiques
04	Recruter et former plus de personnel de maintenance des GE
05	Augmenter le nombre des résistances chauffantes sur l'alternateurs en passant de 01 à 02 au moins.

## **Conclusion partielle**

Pour éviter les pannes et assurer une continuité de service, la société Bénin Terminal devra suivre notre proposition de maintenance. Il faut prévenir plutôt que de guérir.



## Conclusion Générale

La maintenance des équipements industriels est indispensable et incontournable dans toute entreprise qui se veut être performante et apte à satisfaire à tous ses besoins et à tout moment. Ainsi la maintenance préventive est la plus indiquée pour atteindre les objectifs escomptés. Car les études ont révélé qu'elle réduise de plus de 50% les coûts de remise en service s'il faut recourir à la maintenance corrective, bien que le temps d'immobilisation de l'équipement ne soit pas encore pris en compte.

Nous recommandons donc à l'organe technique de BENIN TERMINAL d'opter surtout pour la maintenance préventive et de ravitailler leur magasin en pièces de rechange (diodes, résistances chauffantes, bougies filtres, courroies, etc...).

## **BIBLIOGRAPHIE**

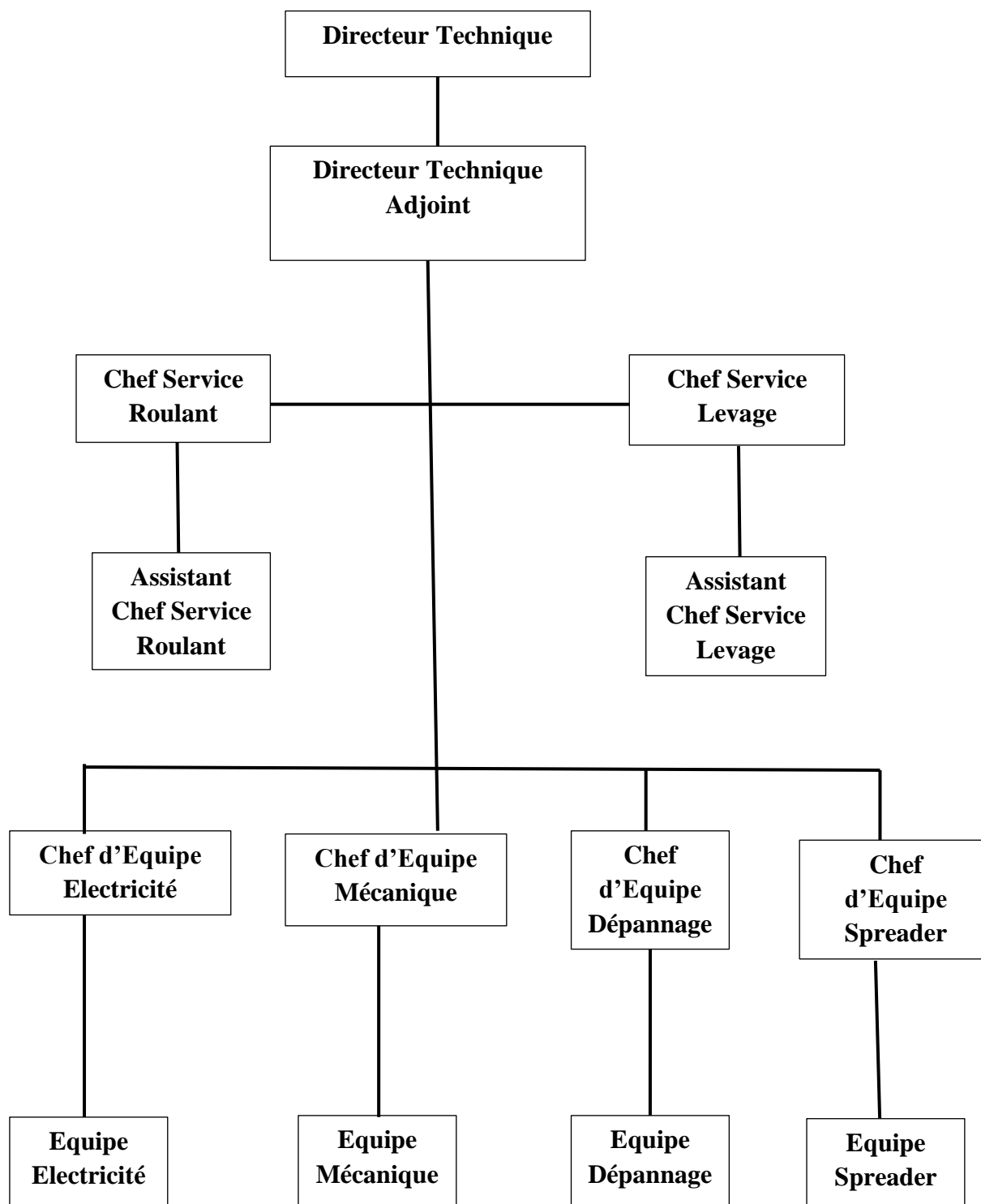
- [1] Kpoahoun, S. et Badarou, R., 2013 : Optimisation des puissances actives et réactives dans un réseau d'énergie électrique : Application au réseau HTA de Porto-Novo, mémoire d'Ingénieur de conception en Génie Electrique à l'EPAC.
- [2] CEET-SBEE, 1999 : Elaboration des standards et Normes Techniques pour les installations de distribution à la CEET et à la SBEE, Normes d'Ingénierie-I, Consultant DECON/ SNV-LAVALIN
- [3] DEVIS N°311-20/SBEE/DRL1/C-EXPL/SGR/S-TVX
- [4] DEVIS N°104 JESUS COMMUNICATION ET ENERGIE
- [5] NOTICES/MODES OPERATOIRES/ D14-003-MO VERSION A BLUE SOLUTIONS FRANCE
- [6] Ayidoté Janvier HOUNKPOSSO : Contribution à l'Amélioration de du système de Configuration des Niveaux de Tension à la Centrale Thermique de BEREINGOU, mémoire de Licence en Génie Electrique.

## **WEBOGRAPHIE**

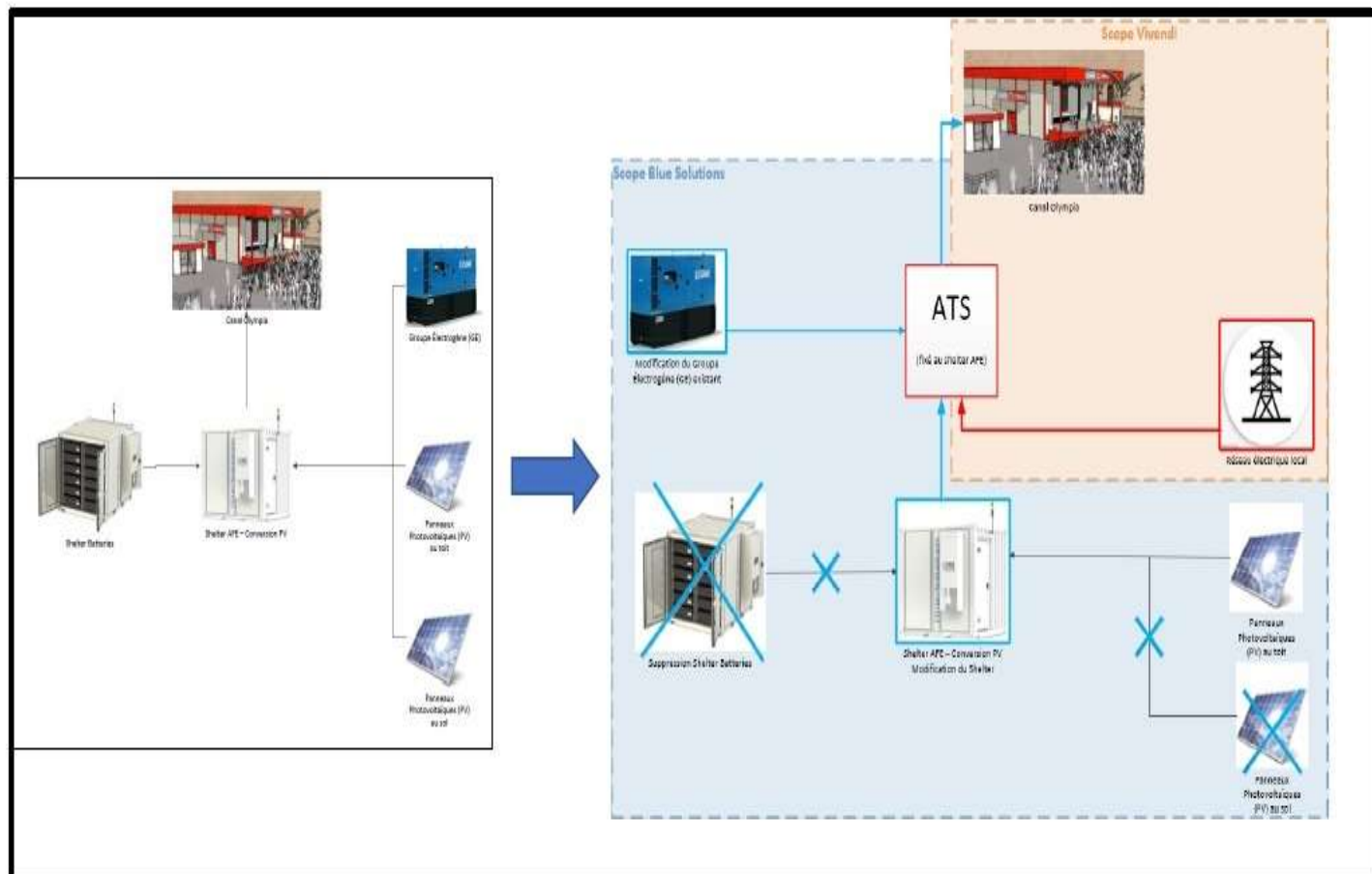
- [7] [www.Blue.solutions.bollere.com](http://www.Blue.solutions.bollere.com) consulté le 27 Septembre 2024 à 22h07min

## Annexes

### Annexe 1 : Organigramme de la direction technique de BENIN Terminal

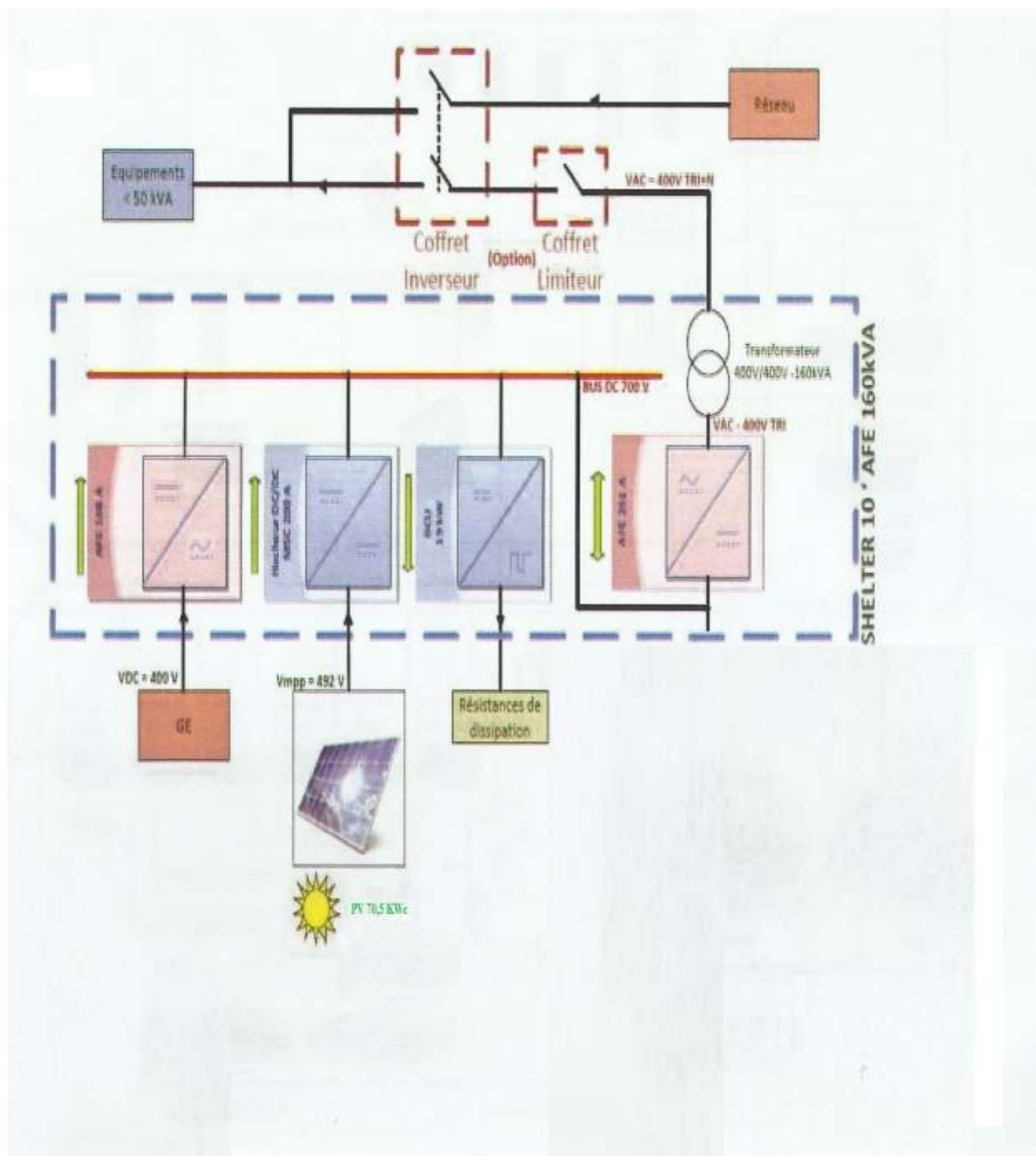


**Annexe 2 : Synoptiques avant et après du système solaire photovoltaïque**



### ANNEXE 3 : Schéma unifilaire du système solaire photovoltaïque sans batteries

#### Annexe 3 : Synoptique du système solaire photovoltaïque sans batteries



#### Annexe 4 : Quelques photos prises pendant le stage



Figure 29 : Entretien lors des travaux de stage





Figure 30 : Travaux effectués avec les blancs

## Table des matières

DEDICACES.....	ii
REMERCIEMENTS .....	iii
SOMMAIRE .....	iv
LISTE DES SIGLES, ACRONYMES ET ABREVIATIONS .....	v
LISTE DES TABLEAUX.....	vi
LISTE DES FIGURES.....	vi
Résumé .....	viii
Abstract.....	viii
INTRODUCTION GENERALE.....	1
PREMIERE PARTIE : .....	3
PRESENTATION DE LA STRUCTURE D'ACCUEIL ET DEROULEMENT DU STAGE .....	3
CHAPITRE 1 : EXPERIENCES PROFESSIONNELLES A BOLLORE TRANSPORT LOGISTICS .....	4
Introduction partielle .....	4
1.1 Historique.....	4
1.2 Mission.....	5
1.3 Activités .....	6
1.4 RESSOURCES .....	7
1.5 Organe de Gestion de BOLLORE TRANSPORT LOGISTICS.....	8
1.6 . Présentation du système solaire photovoltaïque du groupe Bolloré.....	15
1.6.1. Organe de pilotage .....	18
1.7. Rapport des expériences professionnelles.....	18
1.7.1. Gestion de la maintenance des équipements.....	19
1.7.1.1. La maintenance curative.....	19
1.7.1.2. La maintenance préventive.....	19
1.7.1.3. La maintenance corrective .....	21
1.8. Travaux effectués .....	21



1.8.1. Le Service Levage .....	22
1.8.2. La Maintenance du système solaire photovoltaïque du groupe Bolloré ..	25
1.8.4. Travaux effectués à BENIN TERMINAL .....	28
1.8.5. Présentation des groupes électrogènes .....	28
1.8.6. Autres travaux effectués .....	29
DEUXIEME PARTIE .....	32
<i>TRAVAIL DE FIN D'ETUDE</i> .....	32
Protocole de recherche .....	33
Problématique : .....	33
□ Objectifs du rapport : .....	33
□ Méthodologie : .....	34
□ Résultats attendus : .....	34
CHAPITRE 2 : CONNAISSANCE DES GROUPE ELECTROGENES .....	35
2.1- Définitions .....	35
2.2- Les éléments constitutifs d'un moteur de groupe électrogène .....	35
2.2.1- Les organes mécaniques fixes du moteur diesel .....	35
2.2.1.1- Les carters de protection inférieure et supérieure .....	35
2.2.1.2- La culasse .....	36
2.2.1.3- Le cylindre .....	37
2.2.2- Les organes mécaniques mobiles du moteur .....	38
2.2.2.1- Le piston .....	39
2.2.2.2- Bielle .....	39
2.2.2.3- Vilebrequin .....	39
2.2.2.4- Volant moteur .....	40
2.2.2.5- L'arbre à cames et soupapes .....	40
2.2.3- Les systèmes constitutifs du moteur diesel .....	42
2.2.3.1- Le système de distribution .....	43
2.2.3.2- Le système d'alimentation en air, en carburant .....	43
2.2.3.3- Le système de graissage .....	45

2.2.3.4- Le système de refroidissement du moteur .....	46
2.2.3.5- Système de démarrage et de charge et auxiliaires .....	47
A- Le système de démarrage .....	47
B- Système de charge des batteries .....	47
C- Circuit de préchauffage (réchauffeurs ou bougies de départ à froid) .....	48
2.3- Etude du fonctionnement du moteur diesel .....	49
2.3.1- Principe de fonctionnement du moteur diesel à quatre temps .....	49
A- Etude du cycle de fonctionnement du moteur diesel à pression constante....	51
B- Etude du cycle du moteur Diesel à volume constant .....	51
C- Etude du cycle Diesel mixte dit de SABATHE .....	52
2.3.2- Conditions réelles de fonctionnement du moteur .....	52
Conclusion partielle.....	53
CHAPITRE 3 : ETUDE DE L'ALTERNATEUR D'UN GROUPE ELECTROGENE .....	54
Introduction partielle .....	54
3.1- Alternateur .....	54
3.1.1- Constitution d'une génératrice à courant alternatif .....	54
3.1.1.1- Rotor.....	54
3.1.1.2- Stator .....	55
3.1.2- Les différents types d'alternateurs .....	56
3.1.3- Description d'un alternateur .....	57
3.1.3.1- Emplacement du numéro de série .....	57
3.1.3.2- La plaque signalétique .....	57
3.1.3.3- Description générale de l'alternateur LEROY SOMER.....	58
3.2- Le principe de fonctionnement de l'alternateur.....	61
3.3- Expression de la force électromotrice induite .....	61
3.4. Alternateurs à auto- excitation à régulateur automatique de tension.....	63
3.5- Alternateurs à excitatrice à aimants permanents (PMG) et régulateur automatique de tension.....	64

3.6- Les accessoires pour les régulateurs automatiques de tension .....	65
3.7- La marche en parallèle .....	65
3.8- Le statisme .....	67
3.9- Réarmement du disjoncteur .....	69
3.10- Limiteur de courant – régulateur automatique de tension MX321 .....	69
3.11- Régulateur de facteur de puissance (PFC3) .....	70
Conclusion partielle .....	70
CHAPITRE 4 : PRINCIPE ET PROCEDURE DE LA MAINTENANCE A BENIN TERMINAL .....	71
Introduction .....	71
4.1- Définition .....	71
4.2- La maintenance préventive .....	71
4.2.1- La maintenance préventive systématique .....	71
4.2.2- La maintenance préventive conditionnelle .....	72
4.3- La maintenance corrective .....	72
4.4- Solution aux problèmes pour une bonne marche des équipements .....	73
4.5- Etude des modules d'entretien et de maintenance .....	74
4.5.1- Etat des enroulements .....	74
4.5.2- Les roulements .....	75
4.5.3- Filtre à air .....	76
4.5.3.1- Nettoyage des filtres .....	77
4.5.3.2- Imprégnation des filtres d'huile .....	78
4.6- Localisation des défauts .....	78
4.6.1- Régulateur automatique de tension : R438 .....	78
4.7- Contrôle de la tension résiduelle .....	79
4.8- Procédure spécifique de contrôle de l'excitation .....	81
4.8.1- Enroulements de l'alternateur, diodes tournantes et excitatrice à aimants permanents (PMG) .....	81
4.8.2- Tension équilibrée aux bornes principales .....	83

4.8.3- Tensions non équilibrées aux bornes principales .....	85
4.9- Essai de vérification de l'excitation.....	86
4.10- Démontage et remplacement des éléments constitutifs .....	87
4.10.1- Démontage de l'excitatrice à aimants permanents (PMG).....	87
4.10.2- Résistances de chauffage .....	88
4.10.3- Démontage des roulements .....	88
4.10.4- Assemblage du rotor principal Alternateur mono palier .....	90
4.10.5- Alternateurs bipaliers .....	92
4.11- La remise en service.....	93
4.12- Tableau de synthèse .....	93
Conclusion partielle.....	94
Conclusion Générale .....	95
BIBLIOGRAPHIE .....	96
WEBOGRAPHIE.....	96
Annexes .....	a