



RÉPUBLIQUE DU BÉNIN

MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE (M.E.S.R.S)

UNIVERSITÉ D'ABOMEY-CALAVI (U.A.C)
ECOLE POLYTECHNIQUE D'ABOMEY-CALAVI (EPAC)
CENTRE AUTONOME DE PERFECTIONNEMENT

oooooooooooo

MEMOIRE DE FIN DE FORMATION POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE
LICENCE PROFESSIONNELLE
Option : Génie Electrique
Thème :

**MODERNISATION ET OPTIMISATION DE LA
PRODUCTION DE L'ELECTRICITE DE LA
CENTRALE ELECTRIQUE DU PORT
AUTONOME DE COTONOU**

Rédigé et soutenu le 30 Décembre 2024

Par TALOGNON Christian

Sous la direction de :

Tuteur de stage

Mr MAMADOU

Encadreur

Dr Pierre AGUEMON

Maître de mémoire

Pr Macaire AGBOMAHENA

Membres du Jury

Président

Professeur
FIFATIN Xavier

Examineur

Professeur
AGBOMAHENAN Macaire

Encadreur

Docteur
Pierre AGUEMON

Année académique 2023–2024

LISTE DES ENSEIGNANTS AYANT INTERVENU DANS MA FORMATION
SUR LA PERIODE 2020-2024

NOM	PRENOMS	MATIERES ENSEIGNEES
SABI TAKOU		MATHEMATIQUES INITIALES
		CINEMATIQUES ET DYNAMIQUES
SABI TAKOU		MATHEMATIQUES RENFORCEES
AGBOMAHEN A		OPTIQUES
HOUNNON		STATISTIQUES ET PROBABILITES
MEDENOU		ELEMENTS D'ELECTRONIQUES
KOSSOU		DESSIN ASSISTE PAR ORDINATEUR
KOUNASSO		INITIATION A L'INFORMATIQUE
		CIRCUIT ELECTRONIQUE
HOUNNON		GRAPHES ET OPTIMISATION DE RESEAUX
HOUNDEDAK O		SCHEMAS ELECTRIQUES ET ELECTRONIQUES
EGOULETY		INSTRUMENTS ET TECHNIQUES DE MESURES ELECTRIQUES ET ELECTRONIQUES
NASSARA		NORMES ET SECURITE
BOSCO		ELECTRICITE 1
NOUNAGNONH OU	TELESPHORE	ELECTRICITE 2
ANJORIN		THERMODYNAMIQUE
APKOVO	Clovis	ELECTRONIQUE DE PUISSANCE 1
		GROUPE ELECTROGENE
		INFORMATIQUE INDUSTRIEL
APKOVO	Clovis	ELECTRONIQUE DE PUISSANCE 2
NASSARRA		BUREAU D'ETUDE
DEGAN	ACADIUS	FIABILITE ET MAINTENABILITE DES EQUIPEMENTS
Mr WOTO		ECONOMIE ET GESTION FINANCIERE
HOUNGAN	Kokou Theophile	ASSERVISSEMENT LINEAIRES
DEGAN	ACADIUS	PLANIFICATION
HOUEDAN	Vincent	COMMANDE ET PROTECTION DES MACHINES

NOUNAGNON HOU	TELESPHORE	PRODUCTION TRANSPORT ET DISTRIBUTION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE
AWANTO	Christophe	METHODOLOGIE DE REDACTION DE RAPPORT SCIENTIFIQUE
Dr SANYA		CIRCUIT NUMERIQUES
		AUTOMATISME
HOUNNON	Hyppolite	OPTIMISATION ET THEORIE DES GRAPHES

EGOUNLEY	Rochara	INSTRUMENTS ET TECHNIQUES DE MESURES
HOUNDE	Vincent	UTILISATION DE L'ENERGIE ELECTRIQUE
AREDJODOU N	Jacques	SHEMAS ELECTRIQUES
BADAROU	Ramanou	MACHINE A COURANT CONTINU
BADAROU	Ramanou	MACHINE A COURANT ALTERNATIF

DEDICACE

- A mon père **M. Gaspard TALOGNON**, pour son soutien moral et ses conseils qui m'ont toujours été bénéfiques.
- A ma mère **Mme Dorcas GNONHOSSOU épouse TALOGNON**, pour m'avoir inculqué la notion de ténacité, d'humilité et de travail bien fait.
- A mon épouse **Eurudyce AMOUSSOU**, pour ton constant soutien et tes innombrables sacrifices faits durant mes années d'études. J'aimerais te dire qu'ils ne resteront jamais vains.
- A ma famille, plus particulièrement à ma sœur jumelle **Christiane TALOGNON**, mon oncle **Mathieu GNONHOSSOU** et mes Mentors Mr **Simon ADANKON**, Mr **Wilfried HOUEDOKOU** et son épouse **Isabelle GBEGJI** pour tous les encouragements et soutiens que vous m'avez apporté.
- A tous mes **Professeurs de l'EPAC**, pour tous vos efforts consentis dans le partage de vos connaissances.
- A mes amis et camarades de promotion, et à mes responsables et collègues de service RMT / Bénin pour votre soutien.

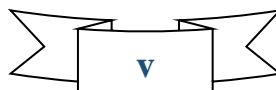
Je dédie ce travail

REMERCIEMENTS

Je remercie le **Tout Puissant Créateur**, son fils **Jésus Christ** et au **Saint- Esprit de Christ** pour tous leurs bienfaits et conduite dans ma vie.

Mes sincères remerciements vont particulièrement à l'endroit du/de/des :

- ✦ Directeur de l'EPAC, le Professeur **Guy ALITONOU**,
- ✦ Directeur Adjoint de l'EPAC, le Professeur **Vincent PRODJINOTHO**,
- ✦ Chef du département de Génie Electrique à l'EPAC, mon maître de mémoire le professeur **Macaire AGBOMANHENA**,
- ✦ Docteur **Pierre AGUEMON** enseignant à l'EPAC, mon encadreur, pour avoir accepté encadrer ce travail et aussi pour la disponibilité et le dynamisme dont vous avez fait preuve pour l'aboutissement de ce document
- ✦ Tout le corps professoral des différents départements de l'EPAC/CAP à travers lesquels j'ai acquises des compétences techniques.
- ✦ Directeur Régional Bénin de RMT / Bénin Mr Paul ASSOGBA
- ✦ Chef du projet déplacement de la centrale électrique du port autonome de Cotonou, Mr HAFID, pour son suivi, sa disponibilité et ses conseils.
- ✦ Responsables et collègues de service, tous les agents de la RMT, qui m'ont aidé et offert d'excellente conditions de travail,
- ✦ Ma famille, à tous mes amis, et particulièrement à mon épouse pour sa compréhension et soutien moral tout au long de mes études



HOMMAGE AUX MEMBRES DE JURY

Tout travail ou étude effectué n'est exploitable uniquement quand il est analysé et jugé par un ensemble de personnes spécialisées ou non dans le domaine d'étude ou de recherche. C'est pour cela que nous nous sentons dans l'obligation de porter des hommages au Jury qui s'est porté volontaire pour étudier, analyser et juger le présent mémoire. Nous présentons alors nos hommages au :

- Président du Jury, pour l'honneur que vous nous faites en président ce Jury malgré vos nombreuses occupations, veuillez recevoir, Président notre profonde reconnaissance ;
- Membres du Jury, pour l'honneur que vous nous faites en acceptant d'être membres de ce Jury pour analyser et juger notre travail malgré vos multiples occupations, veuillez recevoir chers membres du Jury notre profonde reconnaissance.

Liste des figures

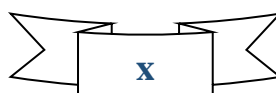
Figure 1.1 : L'École Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC).....	7
Figure 1.2 : Port Autonome de Cotonou (PAC)	8
Figure 1.3: Les principales transformations des formes d'énergie libre.....	12
Figure 2.1: Principe de fonctionnement d'une centrale électrique	17
Figure 2.2 : Central électrique a cycle combiné.....	19
Figure 2.3 : Principe d'une centrale à gaz à cycle combiné.....	20
Figure 3.1 : Construction du bâtiment principal de la centrale électrique	29
Figure 3.2 : Local TGBT	30
Figure 3.3 : Local des cellules HT	31
Figure 3.4 : vue d'ensemble d'installation de tous les Equipement nécessaires pour le fonctionnements d'un groupe	31
Figure 3.5 : le bloc moteur.....	32
Figure 3.6 : chemise de cylindre. [2]	33
Figure 3.7 : Culasse.....	34
Figure 3.8 : le carter moteur.....	34
Figure 3.9 : Le piston	35
Figure 3.10 : la bielle.	36
Figure 3.11 le vilebrequin.	36
Figure 3.12 : l'arbre à came.	37
Figure 3.13 : Les soupapes.....	37
Figure 3.14 : Le mécanisme de distribution dans un moteur diesel. [2].....	38
Figure 3.15 : Principe de fonctionnement de moteur diesel à combustion interne.....	40
Figure 3.16 : Espacement dans le local des groupes électrogènes.....	42
Figure 3.17 : Local des groupes électrogènes	42
Figure 3.18 : Local santrifugeuse.....	43
Figure 3.19 : Local des cuves de stockage des lubrifiants	44
Figure 3.20 : POMPE DE RAVITAILLEMENT	44
Figure 3.21 : Manutention du groupe électrogène avec la gru	45
Figure 3.22 : Elingage du groupe électrogène	46
Figure 3.23 : Techniques et procédures d'installation des groupes électrogènes	46
Figure 3.23 : Différents câbles utilisés pour le câblage des circuits	47
Figure 3.24 : Raccordement des groupes sur le réseau électrique	50

Figure 3.25 : Piquet de terre.....	50
Figure3.26 : Schéma unifilaire	53
Figure3.27 : Installation.....	53
Figure 3.28 : Gestion des ballasts suivant la puissance	54
Figure3.29 : Amorçage excitation alternateur	56
Figure 3.30 : Puissance transfo HT – BT	57
Figure 3.31 : puissance départ groupe	58

Table des Matières

ABSTRACT	xiii
LISTE DES SYMBOLES	xiv
LISTE DES ABREVIATIONS	2
INTRODUCTION GENERALE	3
CHAPITRE 1 : CONTEXTE ET JUSTIFICATION DU TRAVAIL, PRESENTATION DE L'EPAC, DU CADRE DE STAGE ET GENERALITE SUR LES CENTRALES ELECTRIQUES.....	5
Introduction.....	5
1.1 Problématique	5
1.2 Contexte et justification	5
1.3. Objectif de l'étude	6
1.3.1. Objectif Général.....	6
1.3.2. Objectifs Spécifiques	6
1.4 Présentation de l'école de formation et du lieu de stage	6
1.5 Généralité sur les centrales électriques et la production d'énergie.....	10
1.5.1 Définition.....	10
1.5.2 Energies stockées.....	10
1.6. Transformations de l'énergie.....	12
1.6.1. Transformations des formes d'énergie libre	12
Conclusion	14
CHAPITRE 2 : ANALYSE DE LA CENTRALE EXISTANTE ET SES INSUFFISANCES	15
Introduction.....	15
2.1. centrales d'énergie électriques.....	15
2.1.1 Définition.....	15

2.1.2 Principe de fonctionnement d'une centrale électrique.....	15
2.1.3 Centrale thermique a cycle combine.....	19
2.1.3.1 Principe de fonctionnement	19
2.1.3.2 Avantages et inconvénients	20
2.1.4 Structures de la centrale d'énergie électriques existante	21
2.1.4.1 Composition de la centrale	21
2.1.4.2 Caractéristiques.....	22
2.1.4.3 Etat des lieux, Insuffisances de la centrale existante.....	22
Conclusion	22
CHAPITRE 3: MODERNISATION DE LA CENTRALE ELECTRIQUE ET OPTIMISATION DE LA PRODUCTION DE L'ELECTRICITE	24
Introduction.....	24
3.1 Le rôle de Bénin Terminal.....	24
3.2 Le projet de déplacement de la centrale électrique.....	25
3.3 Installations des équipements	31
3.3.1 Présentation et fonctionnement d'un moteur diesel.....	31
3.3.2 Les organes de moteur diesel.....	32
3.3.2.1 Le bloc moteur	32
3.3.2.2 Chemises des cylindres.....	33
3.3.2.4 Culasse.....	33
3.3.2.5 Le carter	34
3.3.3 Les organes mobiles	34
3.3.3.1 La bielle	35
3.3.3.2 Le vilebrequin.....	36
3.3.3.3 L'arbre à came.....	36
3.3.3.4 Les soupapes	37
3.4 Mécanisme de distribution.....	37



3.4.1 Mécanisme d'auto- inflammation.....	38
3.4.2 Utilisations des moteurs diesel avec cylindres en V.....	40
3.4.3 Local des groupes	40
3.4.4 Manutention du groupe électrogène	44
3.4.5 Levage et/ou abaissement du groupe électrogène	44
3.4.6 Câblage électrique	47
3.4.7 Les différents circuits	49
3.5 Raccordement des groupes sur le réseau électrique	50
3.5.1 Raccordement du câble de mise à la terre	50
3.6 Essai et mise en service	51
Conclusion.....	58
Conclusion générale.....	59
Références bibliographiques.....	60
ANSI 32RQ : Maximum de retour de puissance réactive	62
ANSI 46 : Maximum de composante inverse	62
ANSI 49 : Image thermique.....	63
ANSI 50/51 : Maximum de courant de phase	63
ANSI 51N/G : Maximum de courant de terre.....	65
ANSI 51V : Maximum de courant de phase à retenue de tension	66
ANSI 59 : Maximum de tension	67
ANSI 59N : Maximum de tension résiduelle.....	67
ANSI 64REF : Différentielle de terre restreinte.....	68
ANSI 67 : Maximum de courant directionnel de phase.....	69
ANSI 67N : Maximum de courant de terre directionnel	70

RESUME

Le travail présenté dans ce mémoire est effectué pour la modernisation et l'optimisation de la production de l'électricité pour la centrale électrique du port autonome de Cotonou. Il est nécessaire pour que la politique de réaménagement global du Port de Cotonou, notamment l'extension de la darse de 150m, puisse être mise en œuvre. Cette nécessité s'explique par le fait que la centrale électrique existante, dont le démantèlement fait partie du projet de déplacement, se retrouverait dans l'emprise de la darse une fois qu'elle sera prolongée. C'est une centrale d'appoint dont, pour garantir le bon fonctionnement de la centrale, il est impératif de maintenir les groupes- générateurs dans un état toujours prêt à produire l'énergie électrique. Le réseau SBEE alimente le site de Bénin Terminal en 15 KV. Bénin Terminal dispose d'un transformateur d'une puissance de 10 MVA qui permet de passer de 15kV à 20kV. Ses ouvrages ne sont pas dans les conditions requises pour un bon fonctionnement ; Nous pouvons noter que les groupes sont logés dans des conteneurs, de mêmes que certains équipements sensibles comme les armoires électriques etc... Pour remédier à cette situation nous avons eu à construire de nouvelles infrastructures pour accueillir les équipements de la centrale et l'installation de nouveaux équipements plus performants et plus respectueux de l'environnement pour l'optimisation de la production d'électricité afin de répondre aux besoins en énergie électrique du port autonome de Cotonou.

Pour valider ce travail, nous avons participé à la mise en œuvre du projet ayant permis la modernisation de la centrale électrique et l'optimisation de la production de l'énergie électrique.

ABSTRACT

The work presented in this dissertation is carried out as part of a government project which aims to automate and modernize the power plant of the autonomous port of Cotonou. The objective is to automate and modernize the power plant of the autonomous port of Cotonou after analyzing the constraints and inadequacies of the existing plant.

The power plant relocation project is structured into two lots:

- Works: building lot (construction of infrastructure and transfer of equipment from the power plant)
- Works: process batch (Installation of old and new equipment + electricity production)

The implementation of the project requires the construction of a set of infrastructure, the reinstallation of equipment from the existing power plant and the extension of certain equipment to optimize electricity production. BENIN TERMINAL justifies that the installation has a power greater than 1 MW but less than 20 MW. The type of fuel used is diesel. To validate this work, we participated in the implementation of this project to move the BENIN TERMINAL power plant. Ultimately, this work enabled the modernization of the power plant and the optimization of electrical energy production.

LISTE DES SYMBOLES

Uh	Tension harmonique
Ih	Courant harmonique
S	Puissance apparente
P	Puissance active consommé
Q	Puissance réactive consommé
Pj	Pertes par effet joule dans la ligne
QL	Puissance réactive consommée par la réactance de la ligne
It	Courant apparent
Ia	Courant actif
Ir	Courant réactif
UHT	La tension entre phases du réseau triphasé amont délivrée
UHT	La tension entre phases du réseau triphasé amont au point de raccordement
RHT	La résistance par phase du réseau triphasé amont
XHT	La réactance par phase du réseau triphasé amont
mss	Le rapport de transformation du transformateur de la sous-station
Rss	La résistance du transformateur ramenée au secondaire
Xss	La réactance de fuite du transformateur ramenée au secondaire
Vcat	Tension entre la caténaire et le rail
Iss	Courant absorbé au secondaire du transformateur
Qcat	Puissance réactive délivrée par la sous-station
Pcat	Puissance active délivrée par la sous-station
C	Capacité de phase de la ligne ;
Ls	Inductance par phase de la réactance shunt
ω	Pulsation ;
Kc	Degré de compensation au bout de la ligne ;
r	Résistance longitudinale par unité de longueur ;
ℓ	Inductance longitudinale par unité de longueur ;
c	Capacité transversale par unité de longueur
g	Conductance transversale par unité de longueur

γ_1	Coefficient d'atténuation d'amplitude
γ_2	Coefficient de retard de phase
VG	Tension générée par la centrale ;
VR	Tension reçue au niveau de charge ;
IG	Courant généré ;
IR	Courant reçue ;
IS	Courant de self ;
LSE	Inductance de la réactance shunt
R	Résistance totale de la ligne électrique ;
L	Longueur totale de la ligne électrique
C	Capacité totale de la ligne électrique ;
L	Longueur de la ligne électrique
VG	Tension générée par la centrale
VR	Tension reçue au niveau de charge
IG	Courant généré
IR	Courant reçue

LISTE DES ABREVIATIONS

SBEE	Société Béninoise d'Énergie Électrique
AVR	Alternator voltage regulator (Régulateur de tension d'alternateur).
CPC	Les changeurs de prises en charge.
TBTS	Très basse tension de sécurité.
TBTP	Très basse tension de protection.
TGBT	Tableau général de basse tension
FP	Facteur de puissance.
BT	Basse Tension
BTA	Base Tension Catégorie A
BTB	Base Tension Catégorie B
HTA	Haute Tension catégorie A ($1 \text{ kV} \leq U \leq 50 \text{ kV}$)
HTB	Haute Tension catégorie B ($U \geq 50 \text{ kV}$)
KA	Kilo Ampère
KV	Kilo Volt
GT	Groupe Turbogénérateur

INTRODUCTION GENERALE

L'industrialisation et la croissance de la population sont les premiers facteurs pour lesquels la consommation de l'énergie électrique augmente régulièrement. Ainsi, pour avoir un équilibre entre la production et la consommation, il est à première vue nécessaire d'augmenter le nombre de centrales électriques, de lignes de transport, de transformateurs etc., ce qui implique une augmentation de coût et une dégradation du milieu naturel. En conséquence, il est aujourd'hui important de travailler proche des limites de stabilité afin de satisfaire ces nouvelles exigences. L'énergie est une denrée rare qui s'obtient par divers moyens de production tels que le thermique, l'hydraulique, le nucléaire etc. Les ruptures fréquentes d'électricité au niveau national posent un problème crucial surtout quand il s'agit d'équipements stratégiques, souvent causant des dégâts matériels et humains très coûteux et dangereux. Depuis les années 1900, l'utilisation de l'énergie électrique de secours devenait une nécessité pour le fonctionnement des industries des années de guerre mondiale. Le recours aux groupes électrogènes apporte une certaine autonomie et sécurité mais elle est ponctuelle et n'est ni sûre ni efficace. La mise en service implique automatiquement la production de l'électricité. Quelque soit le moyen mis en jeu pour l'obtenir, on observe toujours des principes pour l'installation, la maintenance et l'entretien.

Selon les données de la banque mondiale de 2019 [1], l'Afrique reste la région du monde avec le plus grand déficit d'accès à l'électricité comme illustré sur la Figure 0-1 . On estime environ à 700 millions de personnes sans accès à l'électricité dans le monde dont plus de 500 millions se trouvent en Afrique sub-saharienne selon le rapport de l'Agence Internationale de l'Energie de 2021 [2].

Le présent mémoire comporte trois différents Chapitres :

- Le chapitre 1 présente l'Ecole Polytechnique d'Abomey Calavi (EPAC), le Port Autonome de Cotonou et l'état de l'art sur l'installation d'une centrale électrique ainsi que la production d'énergie
- Le chapitre 2 est centré sur l'analyse de la centrale électrique existante et ses insuffisances
- Le chapitre 3 s'articule sur la présentation des travaux effectuées et les résultats obtenus suite à la modernisation et l'optimisation de la production de l'électricité dans la centrale électrique du Port Autonome de Cotonou

CHAPITRE 1 : CONTEXTE ET JUSTIFICATION DU TRAVAIL, PRESENTATION DE L'EPAC, DU CADRE DE STAGE ET GENERALITE SUR LES CENTRALES ELECTRIQUES

Introduction

L'obtention du diplôme de licence professionnelle est marquée par une soutenance à l'issue de laquelle, l'apprenant défend un thème compatible à son domaine d'étude. C'est dans ce cadre, que nous avons effectué un stage au port autonome de Cotonou qui est une institution étatique qui s'occupe principalement de la manutention portuaire au Bénin. Dans ce chapitre, nous allons justifier dans un premier temps le bien fondé du travail effectué, dans un second temps présenter la centrale électrique existant tout en tenant compte des insuffisances de l'architecture et du système mise en place, enfin nos travaux aborderons les travaux d'automatisation et de modernisation de la centrale.

1.1 Problématique

La centrale électrique du port autonome de Cotonou rencontre un problème de production inférieure à l'objectif fixé par la direction générale. Ces ouvrages ne sont pas dans les conditions requises pour un bon fonctionnement ; de même plusieurs dispositifs permettant l'automatisation de la centrale n'existent pas. Nous pouvons noter que les groupes sont logés dans des conteneurs, de même que certains équipements sensibles comme les armoires électriques etc... Pour remédier à cette situation, il a été décidé par le gouvernement la mise en œuvre d'un projet du déplacement de ladite centrale. Ce projet vise la rénovation de ses ouvrages, l'automatisation et la modernisation de la centrale électrique. La centrale électrique dispose de six groupes électrogènes de marque SDMO et de même caractéristique techniques GROUPE ELECTROGENE TYPE MICS KERYS TACTIL (Moteur : MTU ADEC POUR CENTRALE COUPLAGE RESEAU / P : 2000kVA 400/230V TRI + N). Ainsi, la question suivante se pose : « Comment alimenter sans interruption de l'énergie les ouvrages de production ayant pour source l'énergie électrique de la centrale électrique du BENIN TERMINAL installé ? ».

1.2 Contexte et justification

Les réseaux de transport et de distribution chargés du transit de l'énergie électrique vers les ouvrages portuaires de production sont victimes de perturbations diverses qui engendrent des

conséquences désastreuses voire la destruction des équipements de production estimés à des prix assez élevés comme les portiques etc.... Cela empiète sur la production et donc donne naissance à des plaintes naissant de la baisse de l'économie nationale. Suite à une étude statistique des perturbations électriques intervenant sur la centrale électrique du port autonome de Cotonou on note que cinquante (50%) de ces perturbations affectant les ouvrages de manutentions et crée la baisse de la production journalière donc en somme la baisse de l'économie nationale lorsqu'il y a interruption. Dans ce cadre, vient l'hypothèse de départ donnant naissance à notre travail qui est : MODERNISATION DE LA CENTRALE ELECTRIQUE DU PORT AUTONOME DE COTONOU.

1.3. Objectif de l'étude

1.3.1. Objectif Général

L'objectif général de ce travail a été de moderniser la centrale électrique du port autonome de Cotonou

1.3.2. Objectifs Spécifiques

- Etudier le système de la centrale électrique existant : état des lieux, contraintes et insuffisances

- Proposition de solutions pour améliorer le système existant

- Automatiser le système de la centrale électrique existant

- Moderniser le système de la centrale électrique

1.4 Présentation de l'école de formation et du lieu de stage

- **Présentation de l'Ecole Polytechnique d'Abomey Calavi (EPAC)**



Figure 1.1 : L'École Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC)

L'École Polytechnique d'Abomey-Calavi (EPAC) est créée le 16 décembre 2002 par décret. Elle est issue de la transformation de l'ex-Collège Polytechnique Universitaire (ex-CPU), fruit de la coopération bénino-canadienne qui avait ouvert ses portes à ses premiers étudiants en février 1977. L'EPAC (ex-CPU) est un établissement d'enseignement technique et professionnel de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC) dirigé actuellement par le Professeur Titulaire Guy Alain ALITONOU et le Professeur Vincent PRODJINONTO, Directeur Adjoint.

L'EPAC, en tant que Grande École, a pour mission d'offrir des formations débouchant sur des diplômes tels que la Licence Professionnelle, l'Ingénieur de Conception, et le Master dans les domaines Biologique et Industriel. En outre, elle s'engage dans la publication de documents scientifiques et techniques, le perfectionnement continu du personnel des entreprises, l'organisation d'événements scientifiques nationaux et internationaux, et l'établissement de partenariats pour la mobilité des apprenants et des enseignants avec diverses universités dans le

monde.

Le Centre Autonome de Perfectionnement (CAP) de l'EPAC, est le service chargé d'offrir des opportunités de formation continue au personnel des entreprises publiques et privées. Il offre des programmes de courte et longue durée, conduisant aux diplômes de Licence Professionnelle dans les filières Industrielles (Maintenance Industrielle, Génie Civil, Génie Electrique, Opérateur Géomètre, Topographe, etc...) et Biologiques (Production Animale, Production Végétale, Gestion de l'Environnement, Hygiène et Contrôle de Qualité des Denrées Alimentaires) mais également aux diplômes d'Ingénieur de Conception et Master dans les filières : Génie Civil, la Topographie, le Génie Électrique, la Protection des Végétaux, la Gestion des Ressources Naturelles, la Technologie Alimentaire, les Analyses Biomédicales, et l'Imagerie Médicale.

Le CAP organise des formations modulaires ou à la carte sanctionnée par des Attestations ou des Certificats.

➤ **Présentation du Port Autonome de Cotonou**



Figure 1.2 : Port Autonome de Cotonou (PAC)

Le Port Autonome de Cotonou (PAC) est un organisme public à caractère industriel et commercial doté depuis 2022, d'un capital social d'environ plus de trois cent quarante-deux

milliards (342.625.216.490) de francs CFA.

Créé le 31 décembre 1964 par la loi n°64-39 modifiée par l'ordonnance N°76-55 du 12 octobre 1976, il est inauguré le 1er août 1965 par l'accostage de son tout premier navire, le « Marechal FOCH », après avoir cédé la place au wharf de Wxlacodji, passerelle métallique de 400m avancée sur la mer, construite en 1891 et exploité pendant plusieurs années. Le Port Autonome de Cotonou représente l'autorité portuaire chargé d'assurer l'entretien et l'exploitation des installations du Port de Cotonou, de gérer le domaine portuaire et d'exécuter les travaux d'amélioration et d'extension dudit port.

Désigné comme poumon de l'économie du Bénin pour sa fonction de moteur de développement de l'économie nationale, le Port de Cotonou bénéficie d'une position géostratégique optimale qui lui permet de jouer un rôle important dans l'économie sous régionale notamment dans les pays de l'hinterland et le Nigéria, pour lesquels il constitue un débouché naturel.

Depuis plus d'un demi-siècle, le Port de Cotonou accompagne le développement de l'import-export dans la sous-région et en est une référence. Ces expériences cumulées au fil des ans lui permettent aujourd'hui d'être une plateforme écocitoyenneté certifiée ISO 14001 :2015, ISO 9001 :2015 et ISO 45001 :2018, respectivement pour sa politique Environnementale et ses systèmes de Management de la Qualité, puis Santé Sécurité au Travail.

Dans son évolution et pour booster sa rentabilité afin d'assurer sa mutation technologique et infrastructurelle, le Port Autonome de Cotonou, obtient un partenariat en 2018, avec le Port of Antwerp Bruges International (POABI – Ex PAI), filiale du Port anversois de Belgique. Cette nouvelle collaboration sera axée sur la modernisation, le repositionnement et le transfert de compétences. Le Port Autonome de Cotonou emploie aujourd'hui plus de six cent (600) personnes. C'est une équipe intergénérationnelle composée d'hommes et de femmes, experts des secteurs portuaire, maritime et logistique, mais aussi avec des parcours différents, parfois atypiques et d'une diversité de métiers et de profils. La plupart sont issus du secteur des télécoms, autant du secteur privé, que du secteur public, et cumulent jusqu'à plus de 20 années d'expériences significatives.

À l'horizon 2026, grâce à la mise en œuvre de ses douze (12) grands travaux, le Port de Cotonou sera doté de nouvelles infrastructures et d'équipements de pointe grâce à la mise en œuvre d'un ambitieux plan directeur financé à hauteur de plus de quatre cent cinquante (450)

milliards de francs CFA.

Le Port Autonome de Cotonou ambitionne ainsi de faire du Port de Cotonou une plateforme logistique moderne, sécurisée et offrant des services de qualité.

1.5 Généralité sur les centrales électriques et la production d'énergie

1.5.1 Définition

L'énergie est définie en physique comme la capacité d'un système à produire un travail, entraînant un mouvement ou produisant par exemple de la lumière, de la chaleur ou de l'électricité. L'énergie ne disparaît jamais ; elle se transforme d'une forme en une ou plusieurs autres. Elle s'exprime en joules ou en kilowattheure (kWh). 2. LES SOURCES D'ENERGIE On désigne par énergies primaires les formes d'énergie telles quelles sont captées dans la nature. Les principales ressources énergétiques sont résumées dans le tableau 1.1 suivant

Sources d'énergie	Avantages	Inconvénients
Fossiles : - Pétrole - Gaz - charbon	- Faciles à exploiter	- Production de CO_2 - Epuisable
Nucléaire	- Moins cher aujourd'hui. - Moins de CO_2	- Epuisable - Déchet radioactifs - Risque d'accident Nucléaire.
Renouvelables: et - Eau -Soleil (thermique photovoltaïque) - Vent - biomasse (bois, plantes...) - Géothermie	- Inépuisables à notre échelle. - Peu ou non polluantes	- Ne peuvent être implantée de partout. - Coût plus élevé. - Faible puissance. - Fabrication recyclage des cellules photovoltaïque

1.5.2 Energies stockées

S'il paraît difficile de stocker l'énergie sous forme de rayonnement ou de courant électrique (sauf peut-être dans un circuit supraconducteur), il est envisageable, en revanche, de stocker l'énergie sous forme de :

- Chaleur : l'énergie géothermique, constituée de la chaleur emmagasinée au sein de la Terre dégagée par la radioactivité naturelle.
- Cinétique : le vent, dont l'éolienne capte l'énergie cinétique Par exemple, pour réduire votre facture d'électricité, vous pouvez utiliser de l'électricité pendant la nuit, lorsque les kilowattheures sont moins chers, pour chauffer des briques et accumuler ainsi de la chaleur, puis récupérer cette chaleur pendant la journée pour votre chauffage domestique. En ce qui concerne l'énergie cinétique, le volant d'inertie d'un moteur représente un exemple de stockage d'énergie sous cette forme (en fournissant de l'énergie pendant les temps morts de la combustion, ce volant permet de pallier les à-coups). C'est cependant sous forme d'énergie potentielle qu'il est, en général, plus intéressant de stocker l'énergie. Le principe général est semblable à celui de l'exemple pris ci-dessus, celui de l'élastique de la fronde : on accumule de l'énergie potentielle en faisant travailler une force « à l'envers » c'est-à-dire dans le sens inverse de celui dans lequel elle s'exerce ; en laissant, ensuite, travailler cette force dans son sens, l'énergie potentielle emmagasinée sera libérée.
- L'énergie gravitationnelle (la force de la pesanteur) peut trouver davantage d'applications industrielles. Limitons-nous à deux exemples :
 - L'horloge à poids, à qui l'on fournit de l'énergie en remontant le poids et qui l'utilise ensuite au fil des jours pour vaincre les frottements des mécanismes;
 - Le barrage hydroélectrique, dont le lac constitue une réserve disponible pour compléter, si nécessaire, d'autres sources de production d'électricité.
- L'énergie chimique utilise les forces, de nature électromagnétique, reliant les atomes au sein des molécules : en réarrangeant les atomes pour former de nouvelles molécules à partir des molécules initiales, on fait travailler, dans un sens ou dans l'autre, les forces de liaison entre les atomes, et on libère ou on stocke de l'énergie. Exemples: les stocks naturels que sont les réserves de charbon, pétrole et gaz qui se sont constitués à partir du rayonnement solaire; et, parmi les applications industrielles: l'essence utilisée par une voiture, la pile électrique ou la batterie, etc.
- L'énergie nucléaire utilise les forces agissant entre les nucléons (protons et neutrons) des noyaux atomiques. Là aussi, en réarrangeant différemment ces nucléons, on peut espérer faire travailler ces forces, changer ainsi l'énergie interne et stocker ou libérer de l'énergie.

En pratique, seule une libération d'énergie nucléaire est réalisable industriellement, soit en cassant de gros noyaux (fission), soit en assemblant de petits noyaux (fusion). Dans les deux cas, l'énergie libérée est obtenue sous forme de chaleur. Seule l'énergie de fission a aujourd'hui une application industrielle; la matière à la base de cette source d'énergie est l'uranium (le thorium pourrait aussi être utilisé). L'énergie de fusion pourrait s'avérer prometteuse à long terme si les difficultés techniques de sa mise en œuvre sont surmontées; les matières à la base de cette source sont le deutérium (l'isotope rare de l'hydrogène) et le lithium

1.6. Transformations de l'énergie

1.6.1. Transformations des formes d'énergie libre

Comme nous l'avons vu, les quatre formes d'énergie libre sont l'énergie rayonnante, l'énergie thermique (ou chaleur), l'énergie mécanique (ou cinétique) et l'énergie électrique. Cela fait douze transformations susceptibles d'être réalisées : toutes sauf deux ont des applications dans la vie courante ou dans l'industrie.

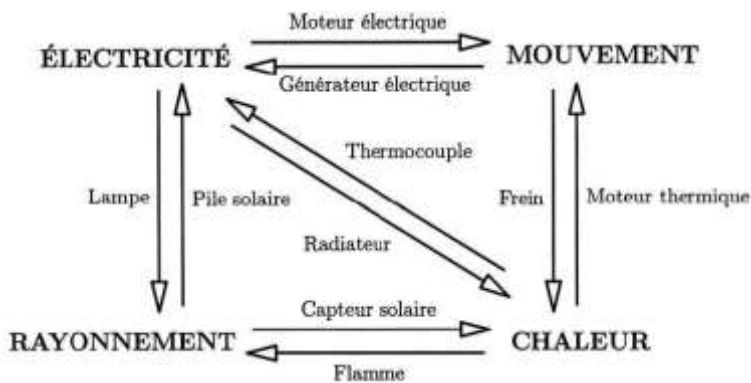


Figure 1.3: Les principales transformations des formes d'énergie libre

- ❖ Transformation de l'énergie rayonnante en énergie thermique : elle est réalisée, par exemple, par les capteurs de rayonnement solaire fournissant l'eau sanitaire pour une habitation ou pour échauffer un fluide en vue d'une production d'électricité.
- ❖ Transformation de l'énergie rayonnante en énergie mécanique: cette transformation est à l'origine de la poussée de radiation qui fait que la queue des comètes est toujours à l'opposé du Soleil. La force de cette poussée est faible et elle n'a pas trouvé d'application industrielle (peut-être sera-t-elle un jour utilisée en astronautique).
- ❖ Transformation de l'énergie rayonnante en énergie électrique: cela est réalisé dans les convertisseurs photovoltaïques, par exemple les panneaux solaires d'un satellite artificiel

ou à usage domestique.

- ❖ Transformation de l'énergie thermique en énergie rayonnante: c'est l'incandescence, c'est-à-dire l'émission spontanée de rayonnement par les corps à une température non nulle et cela d'autant plus que la température est élevée ; exemple: le rayonnement du Soleil, dont la surface est à environ 6 000 °C.
- ❖ Transformation de l'énergie thermique en énergie mécanique: c'est que ce réalisent la machine à vapeur et, plus généralement, les turbines et moteurs thermiques, tels ceux des voitures automobiles.
- ❖ Transformation de l'énergie thermique en énergie électrique: cette conversion directe est réalisée dans les convertisseurs thermoélectriques (par exemple, les thermocouples utilisés pour des mesures de température) et thermoïoniques. (Industriellement, on passe plus souvent par l'intermédiaire de l'énergie mécanique, par exemple dans les centrales électriques classiques ou nucléaires).
- ❖ Transformation de l'énergie mécanique en énergie rayonnante : elle est observée dans le bremsstrahlung (rayonnement de freinage ou rayonnement synchrotron) utilisé dans des accélérateurs de particules pour créer un rayonnement intense de photons, tel Soleil à Saint-Aubin (Essonne) ; mais cette transformation n'a pas d'autre application industrielle.
- ❖ Transformation de l'énergie mécanique en énergie thermique: cette transformation est inévitable dans des frottements et des chocs ; elle est, par exemple, observée dans les freins qui chauffent.
- ❖ Transformation de l'énergie mécanique en énergie électrique : ce sont les générateurs électriques (dynamos, alternateurs) qui réalisent cette transformation.
- ❖ Transformation de l'énergie électrique en énergie rayonnante : cela se produit dans les décharges (étincelles, éclairs) et l'électroluminescence (par exemple, les tubes à néon) ; on remarquera que dans les lampes les plus usuelles (à incandescence), il y a un passage intermédiaire par la chaleur.
- ❖ Transformation de l'énergie électrique en énergie thermique : c'est «l'effet Joule », c'est-à-dire le dégagement de chaleur dans tout conducteur parcouru par un courant électrique; cet effet correspond souvent à une perte, mais il peut aussi être recherché (radiateur électrique).
- ❖ Transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique : c'est ce que réalisent les moteurs électriques ; citons aussi la piézo-électricité qui est l'apparition de charges électriques à la surface de certains cristaux mis sous contrainte et, inversement, leur déformation sous l'action d'un champ électrique: ce dernier effet est utilisé dans les montres à quartz.
- ❖ La mise au point de la machine à vapeur (début de l'ère industrielle) leur a permis de disposer de quantités d'énergie beaucoup plus grandes, avec les conséquences (positives et négatives) que l'on connaît. Puis, après l'invention de la pile électrique par Alessandro VOLTA, de la dynamo par GRAMME, de la lampe à incandescence par Thomas EDISON, vint l'ère de l'électricité. Aujourd'hui, cette forme d'énergie est omniprésente dans notre vie quotidienne. 1800 : Volta (Italien), invente la pile. Mais elle ne peut pas stocker de

grosses quantités d'électricité. La pile de Volta suscite un énorme intérêt dans le monde scientifique car le courant électrique est alors un phénomène nouveau et inattendu. Grâce à elle, les physiciens de l'époque peuvent entreprendre de nombreuses recherches sur les propriétés du courant électrique et sur la résistance électrique. Ces travaux sont à l'origine du transport d'électricité par câbles.

- ❖ 1820 : Oersted (Danois), remarque qu'une aiguille aimantée placée à côté d'un fil conducteur traversé par le courant est déviée. D'une importance capitale, l'expérience d'Oersted établit pour la première fois un lien entre électricité et magnétisme. Elle ouvre la voie à de nombreuses inventions comme celle du télégraphe, qui révolutionnera un peu plus tard les moyens de communication.
- ❖ 1830 : Michael Faraday (Anglais), montre qu'un courant passe dans une bobine lorsqu'on y introduit un aimant. L'histoire du début des applications de l'électricité est dominée par les découvertes du physicien anglais, Michael Faraday en 1830. En reliant les bornes d'une bobine à un galvanomètre (sorte d'ampèremètre), il observe le passage d'un courant dans la bobine, lorsqu'il introduit ou retire un aimant de cette bobine. L'importance de cette découverte est extrême car elle rend possible la production de courant électrique sans avoir à utiliser de pile. L'énergie mécanique peut, dès lors, être directement convertie en énergie électrique. C'est ce que font, depuis, tous les alternateurs

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une brève description de l'école Polytechnique d'Abomey Calavi, du lieu de stage suivie de l'état de l'art sur les centrales électrique en vue de la production d'énergie électrique dans l'optique d'une modernisation et efficacité énergétique.

CHAPITRE 2 : ANALYSE DE LA CENTRALE EXISTANTE ET SES INSUFFISANCES

Introduction

Nos modes de vie actuels sont particulièrement énergivores, malgré l'importance croissante accordée à l'efficacité énergétique de nos appareils et installations. Chaque année, plus de 460 TWh d'électricité sont consommés dans notre pays pour subvenir aux besoins des particuliers, des professionnels et de l'industrie. Les centrales électriques sont au cœur du système énergétique industriel. Si la filière nucléaire est encore nettement majoritaire avec plus de 70 % de la production, les centrales thermiques et hydrauliques sont elles aussi sur le podium. Derrière elles, la production électrique issue des énergies renouvelables gagne du terrain.

2.1. centrales d'énergie électriques

2.1.1 Définition

Le terme « **centrale électrique** » désigne un site industriel destiné à la production d'électricité. Son rôle est d'alimenter l'ensemble des consommateurs en électricité, au moyen du réseau électrique. Nucléaires, thermiques, hydrauliques, solaires ou encore éoliennes... Il existe une multiplicité de centrales, qui présentent toutefois des similitudes dans leur fonctionnement.

2.1.2 Principe de fonctionnement d'une centrale électrique

Le principe général d'une centrale de production électrique est de **transformer une source d'énergie primaire en énergie électrique**. On peut donc considérer qu'elle est un « convertisseur d'énergie ».

- **L'énergie primaire** : elle est à l'origine de la transformation. Elle peut être :
 - **Chimique** : issue de la combustion de matériaux fossiles (charbon, gaz naturel, pétrole) ou non-fossiles (biomasse, par exemple) ;
 - **Mécanique** : générée par la force du vent, de l'eau des rivières ou des marées, etc. ;
 - **Nucléaire** : issue de la fission d'atomes d'uranium ou de plutonium ;

- **Solaire.**

➤ **Fonctionnement technique d'une centrale**

Deux éléments sont essentiels au sein d'une centrale électrique : la turbine et l'alternateur.

La turbine a pour rôle de convertir l'énergie primaire en énergie mécanique. Il s'agit d'une roue munie de palettes ou aubes, qui tourne, selon les cas, sous l'action :

- De l'eau (sous forme liquide ou sous forme de vapeur d'eau sous pression) ;
- Du vent (cas spécifique de l'éolienne).

Selon l'énergie primaire utilisée, différentes technologies de turbines sont possibles :

- Turbine hydraulique ;
- Turbine à vapeur ;
- Turbine à combustion (communément appelée turbine à gaz) ;
- Éolienne.

La turbine est couplée à un alternateur (un grand aimant cerclé d'une bobine) en rotation : celui-ci a pour rôle de convertir l'énergie mécanique produite par la turbine en mouvement, en énergie électrique.

Un rendement énergétique variable selon le système de production.

Tout au long du processus de transformation, de l'énergie est perdue, car les frottements liés à la turbine et l'échauffement de l'alternateur génèrent des déperditions. Celles-ci sont néanmoins variables selon le type de centrale électrique. Ainsi, le rendement énergétique (c'est-à-dire le rapport entre la quantité d'énergie disponible au départ et la quantité d'énergie récupérée) est de :

- 45 % pour une centrale thermique dernière génération ;
- 30 % pour une centrale nucléaire de 30 % ;

80 % à 90 % pour une centrale hydraulique

Principe de fonctionnement d'une centrale électrique

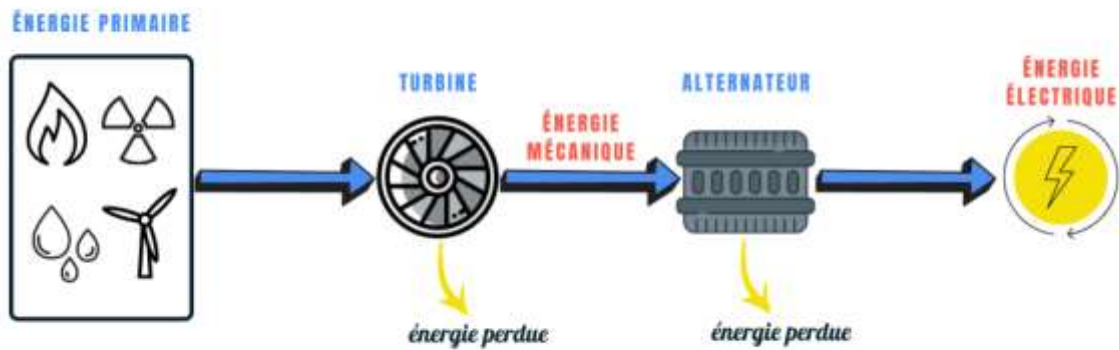


Illustration : Choisir.com

Figure 2.1: Principe de fonctionnement d'une centrale électrique

➤ L'électricité produite

Après sa production, l'énergie électrique est **transportée**, parfois sur de très longues distances, jusqu'aux utilisateurs finaux. Pour limiter la perte d'énergie par effet Joule (dégagement de la chaleur en raison de la résistance des fils), il est préférable de faire **circuler l'électricité** sous forte tension et à faible intensité.

À la sortie de la centrale électrique, la **tension de l'électricité** est modifiée grâce à un transformateur (ou survolteur) : elle passe ainsi **de 20 000 V à 400 000 V**, afin de faciliter son transport. Puis, à proximité du point de livraison, elle est de nouveau transformée pour être distribuée aux consommateurs aux normes du **réseau domestique**, c'est-à-dire à **basse tension** (230 V), toujours par le biais d'un transformateur (ou sous-volteur).

➤ Centrales électriques : quelques dates clé

En près de 150 ans, notre façon de **produire de l'électricité** a profondément évolué, au gré des inventions technologiques, mais également de notre rapport à l'environnement.

1880 : début de la production hydraulique

Les premières centrales font leur apparition en France vers 1880. Il s'agit de **centrales hydroélectriques**, dont la production sert principalement à l'éclairage urbain, à l'image de la centrale du Bazacle à Toulouse. Avant cela, les industriels exploitaient déjà la force motrice de

l'eau pour faire tourner leurs machines, grâce à des turbines installées sur les rivières.

1882 : Edison invente la première centrale électrique

Dès 1882, le célèbre ingénieur **Thomas Edison** et l'*Edison Electric Light Company* inaugurent la première centrale électrique du monde, à base de 6 dynamos, permettant de produire du courant continu dans le quartier de Wall Street à Manhattan pour éclairer 85 maisons, bureaux ou magasins. Quelques années plus tard, le travail de son ancien collaborateur Nikola Tesla sur le **courant alternatif** offrira des avancées spectaculaires, notamment en matière de transport de l'énergie.

1888 : invention de l'éolienne

En 1888, est produite la **première électricité d'origine éolienne** : Charles Brush, un scientifique américain, conçoit une turbine éolienne à fonctionnement automatique capable de produire de l'électricité, d'un diamètre de 17 m et composée de pas moins de 144 pales en cèdres.

Le concept d'un rotor à axe vertical avec des pales effilées et courbées sera développé dans les années 1920 par le français Georges Darrieus.

1950 : premières centrales thermiques

À partir de 1950, EDF instaure une exploitation rationnelle d'un **parc de centrales thermiques à flamme** (centrales électriques fonctionnant à partir de la combustion de fioul, de charbon ou de gaz).

1963 : première centrale nucléaire en France

1963 marque l'inauguration de la **première centrale nucléaire** en France, à Chinon en Indre-et-Loire, 10 ans après celle d'Obninsk en URSS.

1966 : première centrale marémotrice

Trois ans plus tard, en 1966, Charles de Gaulle inaugure la **première centrale marémotrice** au monde : l'usine marémotrice de la Rance, près de Saint-Malo, restera pendant près d'un demi-siècle l'unique installation à l'échelle mondiale exploitant un nouveau type d'énergie renouvelable pour produire de l'électricité en temps réel : la force du flux et du reflux de la marée.

2016 : premier parc d'hydroliennes

En 2016, le **premier parc d'hydroliennes** français est installé au large de Paimpol-Bréhat, dans les Côtes-d'Armor. Là encore, il s'agit d'une première mondiale, qui confirme la performance de cette nouvelle technologie basée sur l'exploitation de la force des courants marins.

2016 : mise en service de la centrale à cycle combiné au gaz naturel de Bouchain

Il s'agit de l'un des **sites de production d'électricité au gaz** les plus performants au monde, mais également d'un symbole fort : construite sur le site d'une ancienne centrale à charbon, cette centrale à cycle combiné au gaz naturel, faiblement émettrice de gaz à effet de serre, marque l'évolution du parc thermique au service de la **transition énergétique**.

2.1.3 Centrale thermique a cycle combine



Figure 2.2 : Central électrique a cycle combiné

La recherche continue pour améliorer le rendement thermique qui a donné lieu à des modifications plutôt innovantes aux centrales électriques conventionnelles. La modification la plus populaire implique le cycle à gaz qui surmonte un cycle de vapeur, qui est appelé le cycle combiné gaz-vapeur, ou simplement le cycle combiné.

2.1.3.1 Principe de fonctionnement

Les centrales à cycle combiné (CCC) sont de grandes centrales thermiques utilisant le gaz naturel comme combustible pour produire de l'électricité sur deux cycles successifs. Le premier cycle est semblable à celui d'une TAC : le gaz brûlé en présence d'air comprimé actionne la rotation de la turbine reliée à l'alternateur. Dans le second cycle, la chaleur récupérée en sortie de la TAC alimente un circuit vapeur qui produit également de l'électricité avec une turbine dédiée.

- ✓ Un mélange de gaz naturel et d'air comprimé est brûlé dans une chambre à combustion (C), à une température d'environ 1300 degrés. En augmentant de volume, les gaz chauds issus de la combustion actionnent une turbine (T1) qui, reliée à un alternateur (A1), permet de produire de l'électricité.

Le rendement de cette turbine à gaz simple n'est pas très élevé, entre 35 et 38%, car une

grande partie de l'énergie est perdue sous forme de chaleur dans les gaz d'échappement. La meilleure solution pour augmenter ce rendement consiste à récupérer la chaleur des gaz d'échappement, pour le chauffage ou la production de vapeur.

- ✓ Au sortir de la première turbine, les gaz d'échappement sont encore suffisamment chauds pour produire de la vapeur. Dans une centrale à cycle combiné, cette vapeur sert à actionner une deuxième turbine (T2), reliée à un deuxième alternateur (A2). Le rendement global pour la production électrique d'une centrale à cycle combiné au gaz naturel oscille actuellement entre 58 et 61%. Une partie de la chaleur des gaz d'échappement issus de la combustion du gaz naturel peut également être utilisée pour le chauffage.

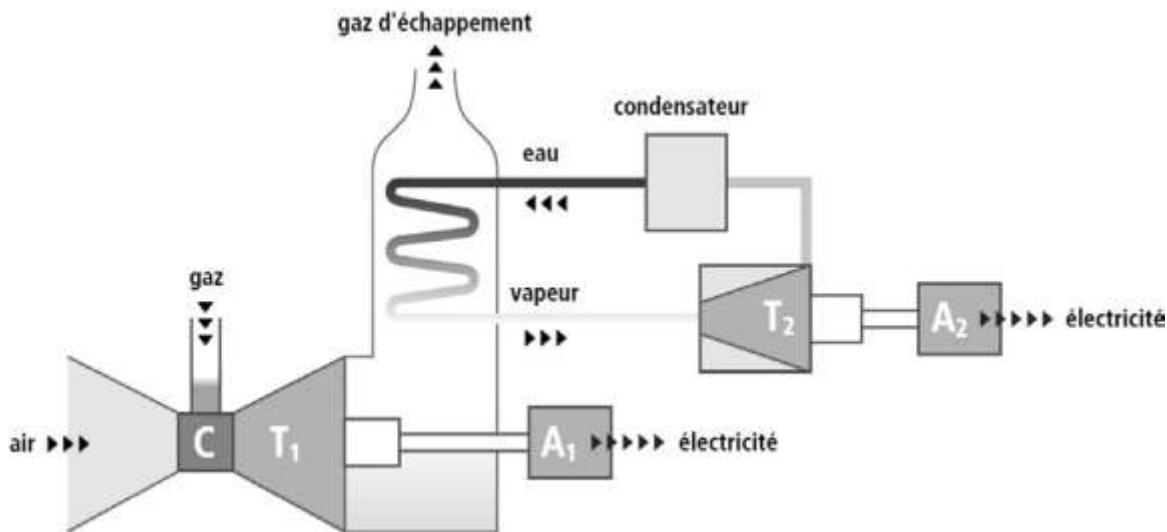


Figure 2.3 : Principe d'une centrale à gaz à cycle combiné

La cogénération sur les cycles combinés gaz (CCG) est possible en valorisant la chaleur résiduelle, mais elle demeure peu répandue.

2.1.3.2 Avantages et inconvénients

- Avantages
 - ✓ Moyen de production d'électricité « dispatchable » pour répondre aux variations de la demande
 - ✓ Rendement élevé par rapport à un cycle simple
 - ✓ Réactivité (30 min à 1h pour atteindre la puissance max)
 - ✓ Impact environnemental réduit par rapport aux centrales thermiques à flammes: émissions de gaz à effet de serre et d'éléments polluants (SOx, NOx, etc.) moindres
 - ✓ Longue durée de vie (25 à 30 ans)
- Inconvénients
 - ✓ Usage de combustibles fossiles (raréfaction et coût de la ressource, dépendance énergétique)

- ✓ Emissions de gaz à effet de serre
- ✓ Coût et usure liés aux arrêts / démarrages (croissants avec le besoin de flexibilité sur les réseaux)
- ✓ Besoin d'un débouché chaleur pour la cogénération

2.1.4 Structures de la centrale d'énergie électriques existante

2.1.4.1 Composition de la centrale

La centrale est composée de plusieurs éléments essentiels à son fonctionnement. On peut citer :

- Groupes électrogènes insonorisé respectivement dans un conteneur HC de 20 pieds avec silencieux d'entrée d'air intégré dans le conteneur et silencieux de sortie d'air fixé à l'extérieur du conteneur. Ce sont les principaux générateurs d'électricité. Ils sont équipés de moteurs MTU et d'alternateurs Leroy Sumer.
- Équipements de la centrifugeuse et du traitement d'huile : Ces équipements sont nécessaires pour le bon fonctionnement des groupes électrogènes.
- Tableau de contrôle-commande (TGBT) : Il permet de gérer et de surveiller l'ensemble de l'installation électrique.
- Transformateurs : Ils servent à adapter les niveaux de tension électrique.
- Bancs de charges : Ils permettent de dissiper l'énergie électrique produite lorsque les groupes électrogènes ne sont pas en fonctionnement.

Tous ces équipements seront déplacés vers le nouveau bâtiment et renforcés par des dispositifs de sécurité supplémentaires.

Les groupes électrogènes ont été fabriqués pour être implantés en parallèle, avec un réservoir externe de 5000 litres situé entre les 2 équipements et dont ils sont alimentés en respectant les mesures de sécurité. De même, les panneaux de contrôle sont accessibles de l'extérieur, et facilitant ainsi l'accès aux données fournies par les tableaux des deux groupes.

Le fonctionnement de l'équipement est préparé de manière que les deux puissent se synchroniser et fournir la somme de puissance face aux charges. Ils ont été conçus pour être flexibles lors de

l'alimentation des charges, de manière à ce que le client puisse démarrer les deux unités simultanément à partir de son système de contrôle d'usine pour démarrer de gros moteurs puis désactiver cette opération et qu'un seul des groupes fonctionne.

De cette manière, le client peut gérer s'il souhaite qu'un seul groupe travaille, que les deux groupes travaillent en parallèle, ou que les groupes eux-mêmes décident en fonction de la charge qu'ils supportent si l'un d'entre eux peut être arrêté, économisant ainsi du carburant.

2.1.4.2 Caractéristiques

- Réservoir externe 5000 l.
- Atténuateurs d'air à l'entrée et à la sortie

2.1.4.3 Etat des lieux, Insuffisances de la centrale existante

Inconvénients des conteneurs :

- Incompatibilité avec certaines tâches. ...
- Problème des dépendances. ...
- Faiblesse relative de l'isolement. ...
- Risque de mortalité. ...
- Outils de gestion limités.
- Problèmes lie aux intempéries.
- Non-respect des normes environnementaux.
- Interruption fréquent de l'alimentation électrique des installations portuaires.
- Haut impact environnemental lie à la pollution atmosphérique.

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons rappelé le contexte technique des centrales électriques et plus particulièrement celui du Port Autonome de Cotonou. La dépendance du Bénin en matière des sources d'énergie a comme corollaire la fourniture d'électricité de mauvaise qualité et même son indisponibilité dans des zones reculées susceptibles d'accueillir une activité minière. La solution palliative développée par le Port autonome de Cotonou consiste en une autoproduction d'électricité

par des centrales autonomes, ce qui explique la construction de la centrale électrique a cycle combiné de 15MW.

CHAPITRE 3 : MODERNISATION DE LA CENTRALE ELECTRIQUE ET OPTIMISATION DE LA PRODUCTION DE L'ELECTRICITE

Introduction

L'ensemble des installations dans une centrale électrique doit répondre à certaines règles, qui doivent impérativement être respectées, pour bénéficier d'un fonctionnement correct du matériel. Ne pas respecter les principes fondamentaux expose l'ensemble de l'installation à des dégradations et des usures anormales. L'utilisation des groupes électrogènes nécessite des précautions à l'installation des groupes électrogènes, et répondent à une réglementation des groupes électrogènes. La masse du groupe électrogène et les masses des matériels d'utilisation doivent être interconnectées par un conducteur de protection (prise de terre) quelle que soit la classe du groupe électrogène. L'utilisation d'appareils ne doit se faire que si le groupe électrogène est équipé d'un disjoncteur différentiel afin d'éviter les risques d'électrisation. Ces différents groupes sont utilisés en cas de panne sur le circuit des équipements de manutentions ou en l'absence du courant du réseau. Ce système de secours permet d'assurer l'alimentation à distance des machines et de la centrale tout en garantissant la fiabilité des paramètres. Il permet de prévenir les pannes éventuelles, de diminuer les coûts de maintenance, de réduire les temps de réponse et les coûts d'intervention et de permettre une supervision des composants des différents équipements.

3.1 Le rôle de Bénin Terminal

Bénin Terminal joue un rôle crucial dans le développement du port de Cotonou. Ses activités principales incluent :

- **L'exploitation de terminaux portuaires** : Bénin Terminal est un opérateur expérimenté dans la gestion de terminaux portuaires, comme en témoignent ses activités à Abidjan, Libreville, Lagos et Pointe-Noire.
- **Le développement d'infrastructures portuaires** : La société a déjà réalisé des projets d'envergure au port de Cotonou, comme la construction et l'exploitation de 18 hectares de terre-plein.

Plusieurs raisons justifient le choix de Bénin Terminal comme promoteur de ce projet

- **Expertise** : Bénin Terminal possède une expertise reconnue dans le domaine portuaire, ce qui lui permet de mener à bien des projets complexes.
- **Connaissance du contexte local** : En tant qu'acteur majeur du port de Cotonou, Bénin Terminal maîtrise parfaitement les enjeux et les contraintes du site.
- **Engagement pour le développement du Bénin** : Bénin Terminal est une entreprise citoyenne qui s'investit dans le développement économique et social du Bénin.

En résumé, Bénin Terminal est un acteur clé du développement du port de Cotonou. Son expertise, sa connaissance du contexte local et son engagement en faveur du développement durable font de lui le promoteur idéal pour ce projet de déplacement de la centrale électrique.

3.2 Le projet de déplacement de la centrale électrique

Le projet de déplacement de la centrale électrique s'inscrit dans la continuité des activités de Bénin Terminal. Il vise à :

- **Libérer de l'espace** : Le déplacement de la centrale permettra de libérer une zone importante pour d'autres projets d'extension du port.
- **Moderniser les infrastructures** : Le projet permettra d'installer une nouvelle centrale électrique plus performante et mieux adaptée aux besoins du port.
- **Améliorer l'efficacité opérationnelle du port** : En libérant de l'espace et en modernisant ses infrastructures, le port de Cotonou pourra améliorer son efficacité et sa compétitivité.
- **Présentation du projet**

Le présent projet est relatif au déplacement de la centrale électrique de Bénin Terminal. La zone impactée par le projet est localisée dans le Port Autonome de Cotonou dans le 5ème arrondissement de la commune de Cotonou. Ce projet est à l'initiative du concessionnaire Bénin Terminal. Il est nécessaire pour que la politique de réaménagement global du Port de Cotonou, notamment l'extension de la darse de 150m, puisse être mise en œuvre. Cette nécessité s'explique

par le fait que la centrale électrique existante, dont le démantèlement fait partie du projet de déplacement objet de cette EIES, se retrouverait dans l'emprise de la darse une fois qu'elle sera prolongée.

Ce projet se fera à travers la mise en place d'infrastructures et d'équipements spécifiques et appropriés, existants et à compléter, pour le fonctionnement de la centrale. Le site devant accueillir la centrale électrique, occupe une surface de 493m² et est de forme irrégulière. Ce projet vise à déplacer la centrale électrique de Bénin Terminal pour permettre l'extension de la darse du port de Cotonou.

Raison du déplacement : L'extension de la darse rend l'emplacement actuel de la centrale incompatible avec les nouveaux aménagements du port.

Zone concernée : Le projet se situe dans le Port Autonome de Cotonou, plus précisément dans le 5^{ème} arrondissement.

Portée du projet : Il ne s'agit pas seulement de déplacer la centrale, mais aussi de mettre en place les infrastructures et équipements nécessaires à son nouveau fonctionnement.

Superficie du nouveau site : Le site prévu pour accueillir la nouvelle centrale a une superficie de 493 m².

Les enjeux du projet

Ce projet répond à plusieurs enjeux :

- **Développement du port de Cotonou** : L'extension de la darse permettra d'améliorer la capacité d'accueil du port et de renforcer son rôle dans le commerce maritime régional.
- **Continuité de l'alimentation électrique** : Le déplacement de la centrale doit être effectué sans interruption de l'alimentation électrique des installations portuaires.
- **Respect des normes environnementales** : Le projet devra respecter les normes environnementales en vigueur afin de limiter son impact sur le milieu marin et les écosystèmes locaux.

Le but principal de ce projet est de déplacer et de moderniser la centrale électrique existante. Cela implique :

- La construction de nouvelles infrastructures pour accueillir les équipements de la centrale.
- L'installation de nouveaux équipements plus performants et plus respectueux de l'environnement.

- L'optimisation de la production d'électricité pour répondre aux besoins en énergie de Bénin Terminal.

Implications et enjeux

Ce projet de déplacement de centrale électrique a plusieurs implications :

- Amélioration de la fiabilité de l'alimentation électrique de Bénin Terminal.
- Réduction de l'impact environnemental grâce à l'utilisation d'équipements plus performants et moins polluants.
- Création d'emplois pendant la phase de construction et d'exploitation de la centrale.
- Développement économique local grâce à l'investissement dans de nouvelles infrastructures.

En résumé, ce projet est un investissement important pour améliorer l'approvisionnement en électricité de Bénin Terminal et contribuer au développement durable de la région. Ce projet de déplacement de centrale électrique est un élément clé du développement du port de Cotonou. Il permettra d'améliorer les infrastructures portuaires et de renforcer l'attractivité économique de la région.

- Description du contenu

Travaux : lot bâtiment. L'essentiel de ce lot repose sur la construction d'un bâtiment principal qui constituera le centre de production de la centrale électrique, d'un local cuve à fioul, d'un local centrifugeuse et de l'ensemble des VRD (Voiries Réseaux Divers). Ce nouveau bâtiment est dimensionné comme suit : une dalle basse pour les bancs de charges, une dalle basse pour la station-service, des châssis métalliques pour stocker provisoirement les conteneurs, un massif pour le mât d'éclairage, des massifs pour la clôture, le portail et les portions de caniveaux et regards.

Travaux : lot procès. Ce lot est relatif au montage des nouveaux équipements : grilles de ventilation des locaux recevant les GT - aéroréfrigérants des GT- échappement y compris silencieux- cheminées - gaines à barres de liaison Alternateur-Transformateur - pièges- portes d'accès aux GE depuis l'extérieur et inter compartiment- ventilations de renouvellement d'air-

extracteurs de désenfumage - réservoir journalier 3000l pour les GE - réservoir journalier 3500l pour la station-service - ensemble de la tuyauterie y compris l'instrumentation (pompes, filtres, clapet). De plus, ce lot comprend tous les aspects relatifs à la production d'électricité qui sera réalisée par les 5 groupes électrogènes de la centrale. Il est prévu que la nouvelle centrale électrique fonctionne en mode secours lors des coupures d'électricité du réseau SBEE (Société Béninoise d'Energie Electrique). Le temps de fonctionnement annuel de la centrale est estimé à environ une centaine d'heures. Le réseau SBEE alimente le site de Bénin Terminal en 15 KV. Bénin Terminal dispose d'un transformateur d'une puissance de 10 MVA qui permet de passer de 15kV à 20kV.

Fonctionnement en mode secours : La centrale électrique servira principalement à assurer l'alimentation électrique du site en cas de coupure du réseau public.

Équipements : Le projet implique l'installation de nombreux équipements, tels que des groupes électrogènes, des transformateurs et des systèmes de ventilation.

Sécurité : Le projet prévoit la mise en place de mesures de sécurité, notamment en ce qui concerne les réservoirs de carburant et les systèmes de ventilation.

Les infrastructures construites pour la modernisation de la centrale électrique



Figure 3.1 : Construction du bâtiment principal de la centrale électrique

Les locaux des groupes construits respectent un certain nombre de caractéristiques.

Le local des armoires de tableau électrique TGBT (Tableau Général Basse Tension) est situé à proximité du local des cellules HT qui est relié directement au local des groupes électrogènes. Tout ce dispositif se trouve à l'extrême gauche du bâtiment qui loge la centrale.

Le choix des locaux tient compte aussi de :

- la nuisance occasionnée par le bruit
- l'alimentation en carburant
- l'évacuation des gaz brûlés
- l'accès au groupe pour l'entretien



Figure 3.2 : Local TGBT



Figure 3.3 : Local des cellules HT

3.3 Installations des équipements



Figure 3.4 : vue d'ensemble d'installation de tous les Equipment nécessaires pour le fonctionnements d'un groupe

3.3.1 Présentation et fonctionnement d'un moteur diesel

En prélude les moteurs diesels se sont principalement développés pour des applications industrielles, dans lesquelles ils ont permis d'utiliser, avec un bon rendement, un carburant rustique et bon marché. La puissance spécifique et la plage de régimes utilisable n'ont pas été

des objectifs prioritaires. Bien que le moteur diesel soit centenaire, il est en constante et forte évolution, à la fois du fait d'une meilleure connaissance des phénomènes impliqués et d'une exigence croissante de performances, de faible consommation et de réduction des émissions de polluants. Le moteur diesel est reconnu pour présenter l'un des meilleurs rendements énergétiques avec une remarquable flexibilité d'utilisation. Ses performances, qu'il s'agisse de sa puissance, de son rendement ou de ses émissions de polluants, sont particulièrement sensibles à la qualité de la combustion.

3.3.2 Les organes de moteur diesel

3.3.2.1 Le bloc moteur

Le bloc est réalisé en fonte alliée. Le bâti cylindre offre une grande résistance aux sollicitations dynamiques de fonctionnement (mécaniques et thermiques). Les circuits de lubrification et de refroidissement sont intégrés au bloc.

Le bloc comporte des portes de visite qui autorisent l'accès aux embiellages, aux paliers de vilebrequin et aux arbres à cames.

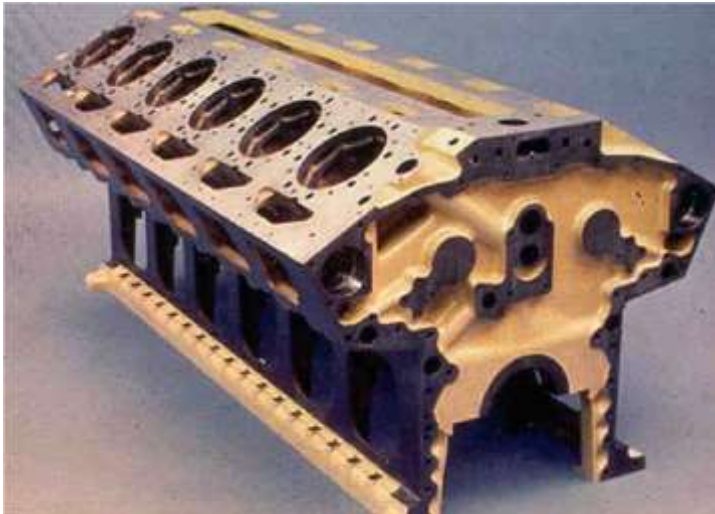


Figure 3.5 : le bloc moteur

Le bloc-cylindres est soumis à des contraintes élevées dues aux efforts mécaniques et thermiques.

Ses différentes fonctions sont :

- Résister à la pression des gaz de la combustion qui tendent à le dilater et pousser sur la culasse.

- Guider le piston, d'où la nécessité de réduire le frottement et d'augmenter la résistance à l'usure.
- Contenir le liquide de refroidissement tout en résistant à la corrosion.

3.3.2.2 Chemises des cylindres

Les chemises sont en fonte spéciale centrifugée et du type amovible. Chaque chemise est fixée à sa partie supérieure par sa collerette serrée entre la culasse et le bloc. La partie inférieure est guidée dans le bloc et l'étanchéité assurée par des joints toriques. La surface extérieure est revêtue d'un traitement antioxydant. La surface interne est pierrée.



Figure 3.6 : chemise de cylindre. [2]

3.3.2.4 Culasse

La culasse est la partie qui ferme le haut des cylindres et les chambres de combustion. Les organes de distribution, c'est-à-dire les soupapes et leur système de commande y sont généralement logés, ainsi que les injecteurs. Les culasses sont soumises à de fortes contraintes mécaniques et thermiques. Elles sont soigneusement refroidies par de larges chambres d'eau (ou des ailettes si le moteur est refroidi à air) qui entourent les chambres de combustion et les conduits d'échappement. Des passages dans le plan de joint relient ces chambres avec celles du bloc-cylindres. L'huile parvient sous pression à la distribution par des canalisations qui traversent le joint.

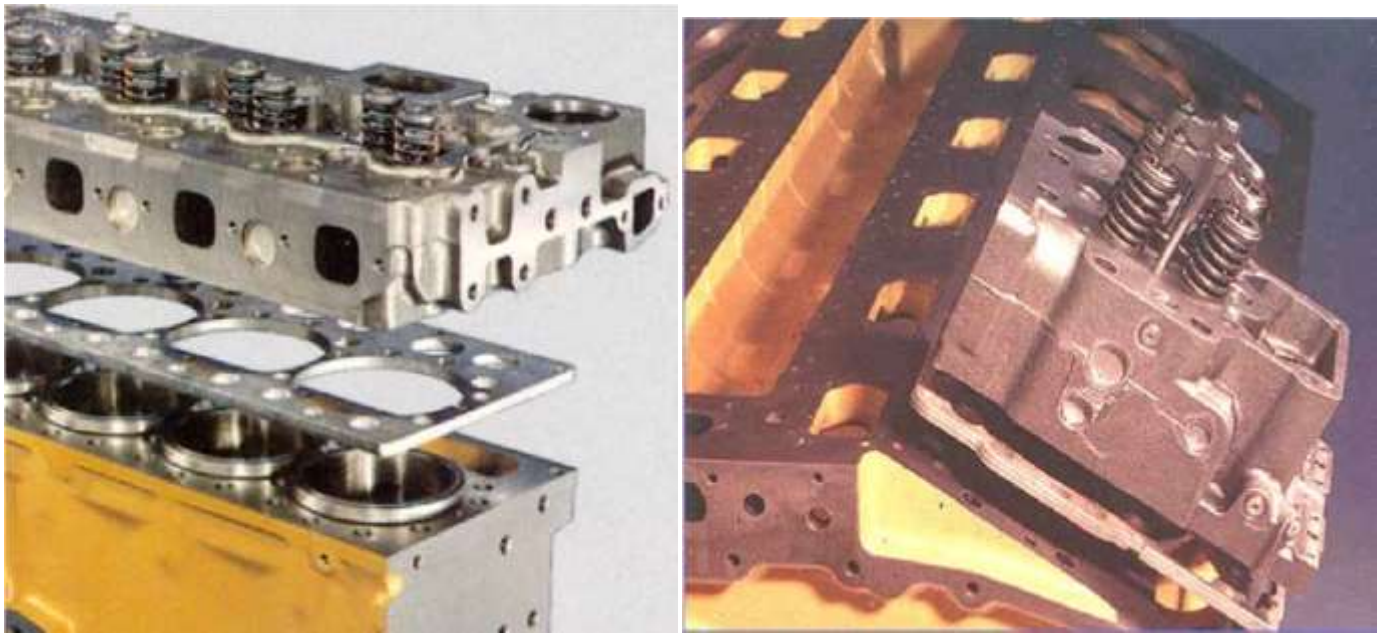


Figure 3.7 : Culasse

3.3.2.5 Le carter

Le carter est en principe une enveloppe rigide destinée à protéger des pièces en mouvement contre des agents extérieurs (eau, poussière) qui pourraient les détériore et il est un support qui reçoit les ensembles du moteur (bloc cylindre, vilebrequin et les accessoires moteur).



Figure 3.8 : le carter moteur.

3.3.3 Les organes mobiles

Le piston est l'organe mobile qui constitue l'une des parties de la chambre de combustion fermée par le cylindre et la culasse. Le piston reçoit la pression des gaz de combustion. Il est animé d'un mouvement alternatif et relatif dans le cylindre et transmet au vilebrequin par l'intermédiaire de la bielle l'effort exercé par la pression des gaz pendant le temps moteur.

Il supporte quatre sortes d'efforts qui sont :

- La pression des gaz
- La température d'explosion (combustion).
- La réaction proies des cylindres.
- Le piston permet de comprimer une masse de gaz et assure son évacuation

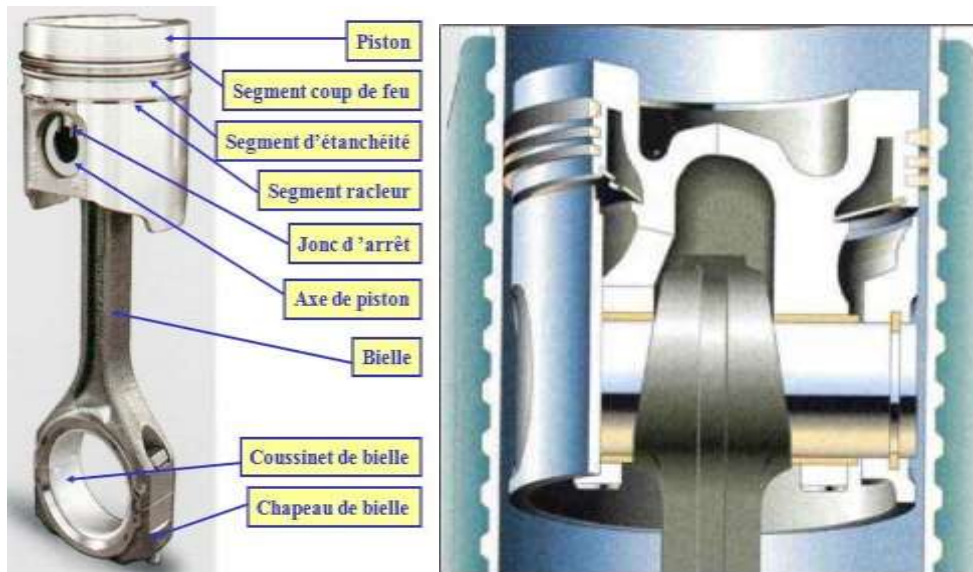


Figure 3.9 : Le piston

3.3.3.1 La bielle

La bielle est un organe qui permet la liaison entre le piston et le vilebrequin et a pour rôle de transmettre le mouvement alternatif du piston en mouvement circulaire du vilebrequin.

La bielle est constituée de parties :

- Le pied de bielle est muni d'une bague antifriction dans laquelle bouge un librement.
- La tête de bielle a pour plan d'assemblage avec le chapeau oblique ou droit cranté.



Figure 3.10 : la bielle.

3.3.3.2 Le vilebrequin

Le vilebrequin est l'élément principal du système bielle-manivelle. Il permet la transformation du mouvement alternatif du piston, en un mouvement rotatif.

Chaque manivelle est formée de deux bras appelés " bras de manivelle", ou flasques, et du maneton, ou portée de bielle, qui tourne dans le coussinet de la tête de bielle. Les portées sur l'axe de rotation de l'arbre sont appelées portées, ou tourillons de ligne d'arbre. Dans les moteurs en ligne, le vilebrequin comporte autant de manivelles qu'il y a de cylindres.

Dans les moteurs en V, en général, le nombre des manivelles est la moitié du nombre de cylindres.

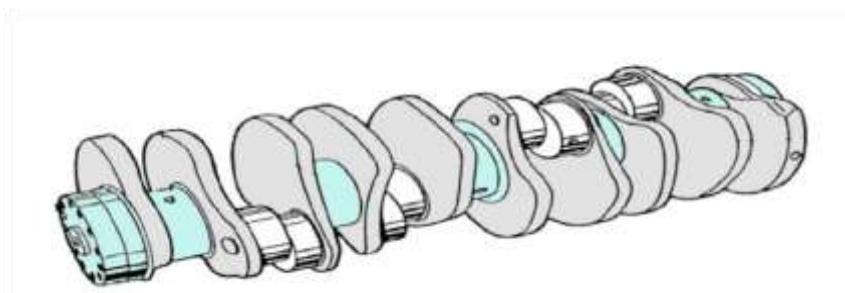


Figure 3.11 le vilebrequin.

3.3.3.3 L'arbre à came

La commande de soupapes et les injecteurs, s'effectue à l'aide de cames tournante d'un mouvement uniforme, les cames nécessaires à la distribution dans un moteur sont d'un arbre

appelé " arbre à came".



Figure 3.12 : l'arbre à came.

3.3.3.4 Les soupapes

Les soupapes contrôlent l'entrée et la sortie des gaz dans le cylindre. Elles sont fermées par de forts ressorts et alternativement ouvertes au moment voulu, directement ou indirectement, par des cames montées sur un ou des arbres nommés arbres à cames.



Figure 3.13 : Les soupapes

3.4 Mécanisme de distribution

Le système de distribution gère l'admission de l'air frais dans les cylindres puis la vidange des gaz brûlés. Il est constitué d'éléments mobiles, les soupapes qui laissent entrer et sortir les gaz du cylindre par les ports d'admission et d'échappement. Au repos, elles sont maintenues fermées par des ressorts de rappel, l'ouverture est contrôlée mécaniquement par le système composé de l'arbre à cames, des poussoirs et des culbuteurs. L'actionnement des soupapes est aussi réalisé par des systèmes électromécaniques en cours de développement qui équiperont les moteurs sans

arbre à cames dans les années à venir. L'arbre à cames est couplé au vilebrequin via une courroie de distribution ou une cascade des pignons de telle sorte que sa vitesse de rotation soit deux fois inférieure à celle du vilebrequin. Ainsi, l'ouverture et la fermeture des soupapes sont parfaitement synchronisées avec les mouvements du piston. [1]

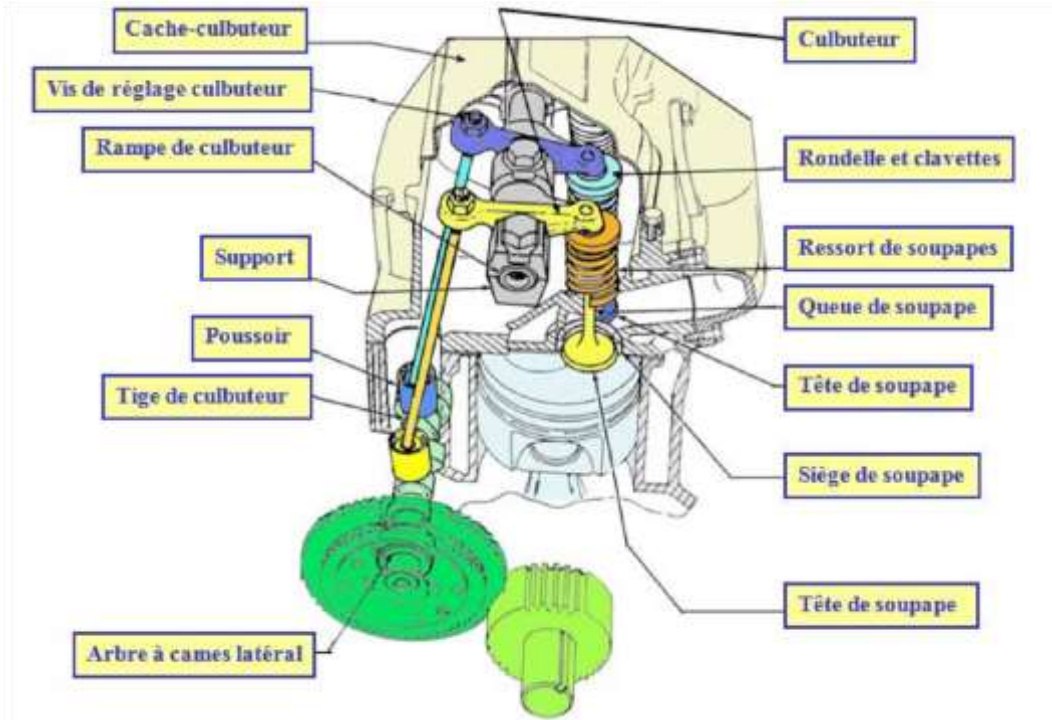


Figure 3.14 : Le mécanisme de distribution dans un moteur diesel. [2]

3.4.1 Mécanisme d'auto- inflammation

Si le mélange de combustible et d'air se trouve exposé à une température progressivement croissante, il s'enflamme spontanément lorsqu'une température seuil est dépassée. C'est le mécanisme d'auto-inflammation. Cette température seuil est dite température d'auto-inflammation, souvent notée TAI.

□ Le système d'injection

Le système d'injection est un organe essentiel car le moteur Diesel nécessite un dosage rigoureux du combustible. L'introduction du carburant dans le cylindre est réalisée par un ensemble comprenant une pompe qui alimente les injecteurs (un par cylindre) placés sur la culasse. La pompe d'injection garantit l'alimentation de chaque injecteur, ces derniers sont chargés de laisser entrer la quantité adéquate de carburant aux instants désirés. On distingue deux catégories de moteurs diesel selon que les injecteurs débouchent directement dans le cylindre (injection directe) ou bien dans une chambre annexe dite chambre de précombustion

(injection indirecte). Dans Notre cas étudié (Moteur diesel MTU V16), nous intéresserons plus particulièrement aux moteurs diesel à injection directe.

□ Principe de fonctionnement de moteur diesel

Les moteurs diesel fonctionnent habituellement au gazole, au fuel lourd ou aux huiles végétales. Le fonctionnement d'un moteur à combustion interne se décompose en étapes élémentaires plus connues sous le nom de temps moteur. Un temps moteur correspond à un trajet du PMH vers le PMB, Le cycle diesel d'un moteur à quatre temps comporte :

1^{er} temps Admission : Descente du piston, ouverture de la soupape d'admission, remplissage du cylindre par de l'air, fermeture de la soupape d'admission.

2^{ème} temps Compression : Montée du piston, les soupapes sont fermées, forte élévation de la pression (environ 40 bars) et donc de la température (environ 600°C) pour permettre l'auto inflammation.

3^{ème} temps Combustion (temps moteur) : Le combustible est injecté à haute pression (environ 300bars). Il s'enflamme spontanément et continue à brûler tout le temps que dure l'injection (la combustion dure ici plus longtemps que dans le cas du moteur à essence). Sous l'action de la pression (environ 90 bars), le piston descend, c'est le temps moteur.

4^{ème} temps Échappement : La soupape d'échappement s'ouvre, chute de pression, le piston monte et chasse les gaz brûlés contenus dans le cylindre et le cycle recommence. Lors de l'admission, le moteur aspire de l'air et l'injection doit se faire à très haute pression. Le combustible s'enflamme par auto-inflammation, la combustion dure le temps que dure l'injection du combustible.

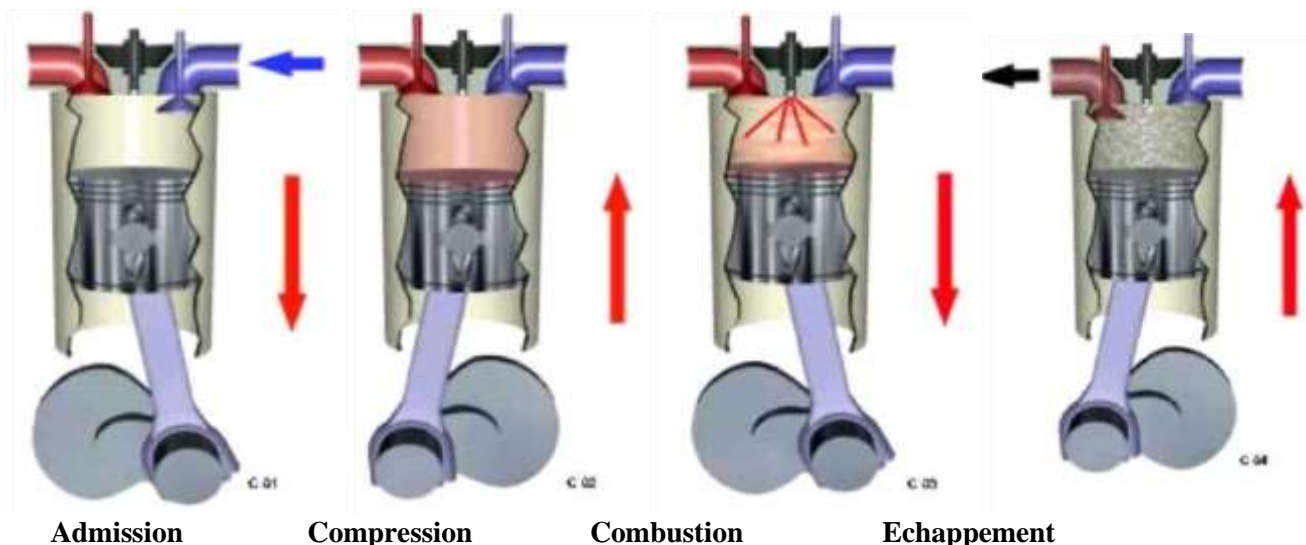


Figure 3.15 : Principe de fonctionnement de moteur diesel à combustion interne

3.4.2 Utilisations des moteurs diesel avec cylindres en V

Grace à les avantages des moteurs diesel avec des cylindres en disposition en V (V8, V12, V16, V20) :

- ✓ Moteurs plus compacts ;
- ✓ Vilebrequin plus court donc plus léger et plus rigide ;
- ✓ Moins de vibrations et régularité cyclique parfaite ; ü Sonorité particulière.

Ils sont utilisés généralement dans les installations suivantes :

- ✓ Les véhicules touristiques (4X4) et véhicules agricultures ;
- ✓ Les engins lourds de génie civil ;
- ✓ Les groupes électrogènes à grandes puissances (Notre cas étudié)
- ✓ Les bateaux marins ;
- ✓ Les grands véhicules militaires.
- ✓ Moteurs d'avions (depuis la Première Guerre mondiale) : V8 liberty, V-12 Daimler-Benz, Hispano-Suiza, Rolls-Royce, etc. ;
- ✓ Locomotive diesel ;

3.4.3 Local des groupes

On doit prendre en considérations les facteurs suivants lors de la sélection de la place du groupe

électrogène.

Le dimensionnement de la salle qui a reçu les groupes répond à un certain nombre de règles, surtout en long et en large. La salle comporte les éléments constitutifs d'une salle à réception des groupes comme l'indique la photo



Figure 3.16 : Espacement dans le local des groupes électrogènes



Figure 3.17 : Local des groupes électrogènes



Figure 3.18 : Local santrifugeuse



Figure 3.19 : Local des cuves de stockage des lubrifiants**Figure 3.20 : POMPE DE RAVITAILLEMENT**

3.4.4 Manutention du groupe électrogène

Le bâti du groupe électrogène est conçu spécialement pour faciliter la manutention du groupe électrogène. La fausse manutention du groupe électrogène peut entraîner des dommages sévères aux pièces. Le groupe électrogène peut être soulevé en utilisant les points de levage de chariot conçu spécialement sur le bâti. Lors du transport avec le transpalette, il conviendra de rogner des planches en bois sous le bâti pour la sécurité pour le non endommagement du bâti.

3.4.5 Levage et/ou abaissement du groupe électrogène

On peut utiliser les points de levage au bâti ou le point de levage conçu en deux ou en quatre pour installer en levant le groupe électrogène à cabine. En réalisant le levage du bâti, il faut une barre de levage dispersant pour éviter l'endommagement de l'ensemble. Cette barre doit être

installée sur le centre de gravité pour le levage vertical.

Pour le déchargement du groupe électrogène, nous eûmes besoin d'une grue pour passer de l'arrière du camion où se trouvait le groupe, à la terre. Aussi d'un palan qui est un dispositif suspendu à l'appareil de levage qu'est la grue et qui permet l'accrochage et le levage d'une charge nécessitant des prises multiples de manilles qui sont des anneaux métalliques servant à réunir deux chaînes, etc.

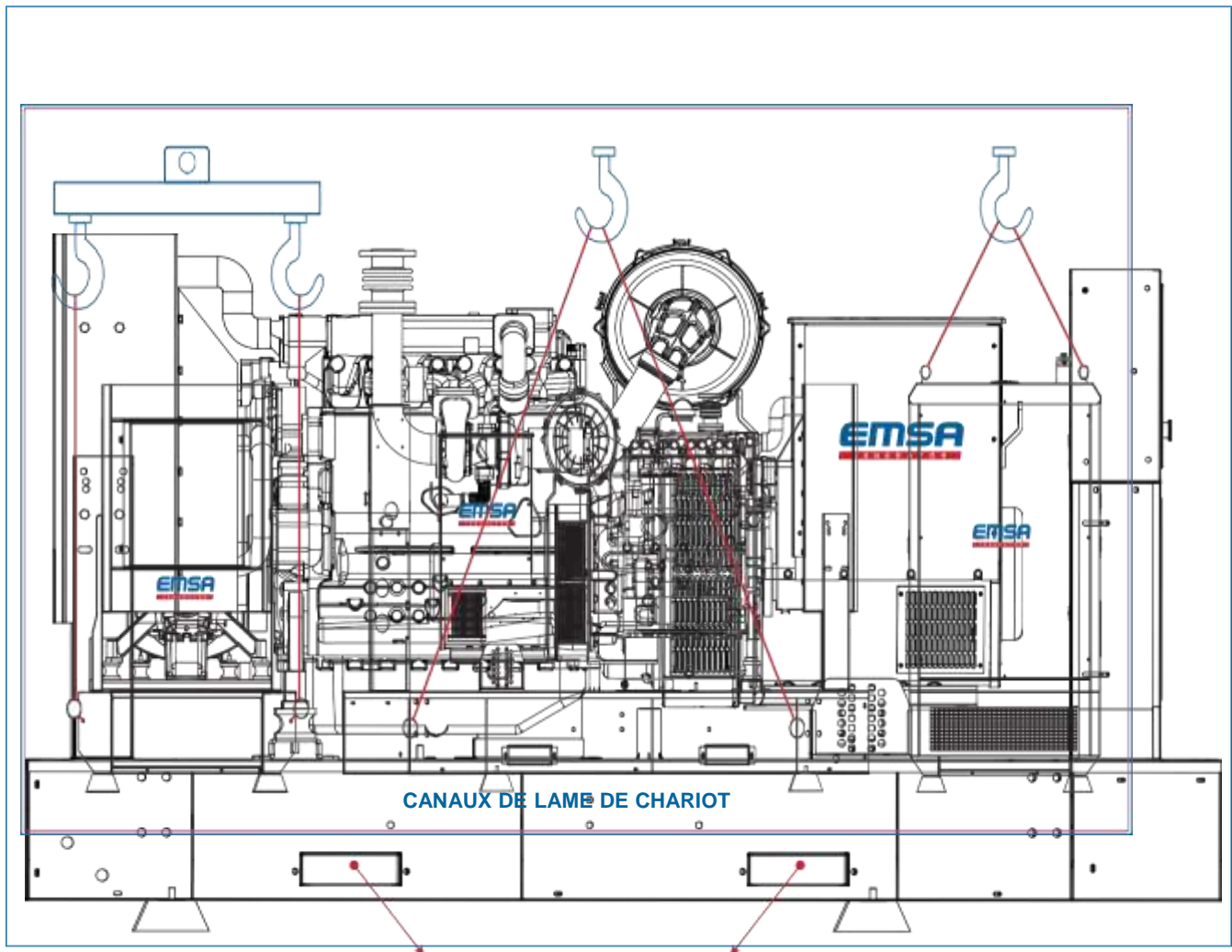


Figure 3.21 : Manutention du groupe électrogène avec la grue

Le matériel utilisés pour le travail peut être résumer le matériel utilisé comme suit :

Déchargement	Manutention	Grue
2 vérins	Palan	
3 tubes de fortes épaisseurs	Manille	

et largeur identiques au
châssis



Figure 3.22 : Elingage du groupe électrogène



Figure 3.23 : Techniques et procédures d'installation des groupes électrogènes

3.4.6 Câblage électrique



Figure 3.23 : Différents câbles utilisés pour le câblage des circuits

Pour le câblage, dont fait partie la coupe, la dénudation et le sertissage, l'outillage utilisé se compose de :

- Une pince à dénuder,
- Un trousseau de clés composé aussi bien de clés plates que de clés pipe,
- Une pince coupante,
- Une pince à Coulson,
- Une pince à sertir les cosses,

Le choix de la section des câbles pour le câblage, nécessite un calcul minutieux :

Caractéristique des câbles utilisés

U 1000 R2V :

Type de série : U = Norme UTE

Tension nominal : 1000 =1000V

Âme non rigide

R : Enveloppe isolante des conducteurs en polyéthylène réticulé (PR2)

2 V : Gaine de protection épaisse

Calcul des sections de câbles

La méthode d'exécution d'une canalisation doit tenir compte pour les courants admissibles dans **les canalisations non enterrées [3]** :

- Méthode de référence : **B** ;
- Mode de pose : sous caniveaux fermés : **41** ;
- Facteur de correction associé à la méthode de référence(F1) :**0,95** ;
- Facteur de correction pour température ambiante (F2) :**1** ;
- Facteur de correction pour conducteur chargé (F3) :**1** ;
- Facteur de correction pour zone ou emplacement à risque d'explosion (F) :**0,85** ;
- Coefficient de correction par protection disjoncteur : **K3**

Méthode de détermination de la section de câble à utiliser pour le raccordement du groupe électrogène à la partie **puissance** :

La puissance du groupe étant de : **550 kVA**

$$I = \frac{S}{U\sqrt{3}} \quad (1)$$

$$I = \frac{550000}{220\sqrt{3}}$$

$$I = 793,856 \text{ A.}$$

Soit **I** le courant nominal du groupe électrogène. Le courant admissible dans une canalisation :

AN : = **983,104 A**

Choix section minimale du courant admissible donne pour une section (S) en cuivre :

$S=630\text{mm}^2 = 2 \times 315$ on prend la valeur immédiatement inférieure compte tenu du manque de câble de section **315 mm²**. Nous aurons donc $S=2 \times 300 \text{ mm}^2$.

On prendra comme section de câbles, 2 câbles de **240mm²** par phase. Cela supportera normalement le courant par phase. Aussi pour des questions de prix, le choix se porta sur les câbles 240 mm² de section. Ainsi pour le neutre, le couplage du groupe étant en étoile, on pourra utiliser un seul câble de section **240mm²**.

3.4.7 Les différents circuits

➤ Circuit de puissance

Ils peuvent être du type unipolaire ou multipolaire (plusieurs câbles par phase) en fonction de la puissance du groupe électrogène (dans notre cas le circuit de puissance est du type multipolaire). De préférence, les câbles de puissance seront du type H07RNF, installés en caniveau ou sur chemin de câbles réservés à cet usage.

La section minimale de câble appropriée en fonction de la puissance du groupe.

RAPPEL : l'intensité est déterminée comme suit :

Forme simplifiée I : Intensité nominal débitée par l'alternateur

En triphasée 380V : $I = 550 \times 1,5 P$ P : Puissance apparente nominale de l'alternateur

En monophasée 220V : $I = 550 \times 2,6 U$ U : Tension d'utilisation

➤ circuit de commande

Le circuit de commande est constitué généralement de câbles multipolaires et installés comme les câbles de puissance, en caniveau ou sur chemin de câbles. Les sections minimales en rapport avec notre installation sont données pour une longueur maximale de 21 m entre groupe et armoire.

➤ circuit d'excitation

Les deux batteries de 24V chacune, sont installées à proximité du démarreur électrique. Les câbles seront raccordés directement des bornes de la batterie aux bornes du démarreur. Les consignes à respecter sont de veiller à la correspondance des polarités + et entre la batterie et le démarreur. La section minimale de câble sera de 70 mm² pour les groupes de puissance 400 à 500kVA [1]. Elle varie en fonction de la puissance du groupe mais aussi de la distance entre les batteries et les groupes (chutes de tension en ligne).

3.5 Raccordement des groupes sur le réseau électrique



Figure 3.24 : Raccordement des groupes sur le réseau électrique

3.5.1 Raccordement du câble de mise à la terre

Pour la sécurité d'une installation électrique, le raccordement à la terre est importante. La figure ;;; suivante indique celui réalisé pour l'installation au Port Autonome de Cotonou



Figure 3.25 : Piquet de terre

Le câble pour la mise à la terre est en cuivre pour permettre une bonne conductivité et mesure

14 m, il est spécialement nu et est raccordé à la barre de terre qui elle-même est raccordé à la prise de terre. Son rôle est de conduire les courants de fuite du groupe électrogène à la terre.

Les principales différences entre des appareils de classe 1 et des appareils de classes supérieures sont donc les suivantes :

- Classe 1 : protection via la prise de terre : c'est le plus souvent le cas du groupe Électrogène portable de quelques kVa mais applicable au groupe de forte puissance.
- Classes 2 et 3 : Aucune partie accessible ne peut être soumise à une tension dangereuse même à la suite d'un défaut.

Dans le cas du groupe électrogène installé nous sommes dans le cas de matériel possédant une isolation fonctionnelle et liaison à la terre des masses métalliques. Le régime de mise à la terre adopté pour l'installation est le régime **IT**.

3.6 Essai et mise en service

Le démarrage est une fonction qui passe tout à fait inaperçue sur un moteur, lorsqu'elle est réalisée avec succès ; mais qui paralyse le moteur si les diverses tentatives se traduisent par un échec ! De cette fonction discrète dépend donc le fonctionnement de tout un ensemble complexe ; et l'on comprend toute son importance dans les groupes électrogènes à démarrage automatique, qui peuvent secourir les fonctions vitales dans un hôpital ou une entreprise.

Aussi, afin de réussir à coup sûr le démarrage d'un groupe, multiplie-t-on le nombre et les procédés de démarrage. On distingue alors un démarrage principal et un démarrage de secours qui intervient en cas de défaillance du système principal (généralement, en mode automatique, 3 tentative de 5 secondes sont possibles, le système de secours reprenant le même cycle en cas de défaillance du premier).

Le dimensionnement des systèmes de démarrage dépend directement des conditions de température du moteur, ainsi, pour des démarrages par température très basses, convient-il d'envisager quelquefois des artifices de démarrage tels que préchauffage de l'air d'admission, préchauffage de fuel, injection de produit facilement inflammable dans les collecteurs, Ce qui n'est pas le cas de notre groupe. Ces dispositifs s'appliquent généralement aux groupes à démarrage automatique, eux étant préchauffés globalement (chauffage de l'eau de refroidissement, chauffage l'huile et des locaux,). Les batteries se rechargent automatiquement grâce à un alternateur ou un chargeur.

Trois systèmes de démarrage pour groupe électrogène sont possibles :

Electrique : système le plus généralisé, celui-ci consiste en un moteur électrique de 24 V actionné par une ou plusieurs batteries normalement au plomb et exceptionnellement alcaline. Le moteur électrique entraîne la couronne dentée du volant du moteur sur l'ordre d'un contacteur électrique. Lorsque le moteur diesel a démarré et que le volant moteur a atteint sa vitesse requise, le pignon du moteur électrique se retire automatiquement de la couronne dentée.

Pneumatique : le démarrage pneumatique consiste en un démarrage pneumatique actionné par le débit d'une ou deux bouteilles d'air pressurisé par un compresseur d'air. Le déroulement et le fonctionnement est identique au démarrage électrique. Les bouteilles d'air compresseur seront placées le plus près du groupe électrogène.

Mécanique : plusieurs systèmes sont possibles mais sont réservés aux groupes de petites puissances : à ressort, à manivelle, etc....

Ces 3 systèmes de démarrage peuvent être couplés entre eux : électrique/ pneumatique

Électrique/mécanique :

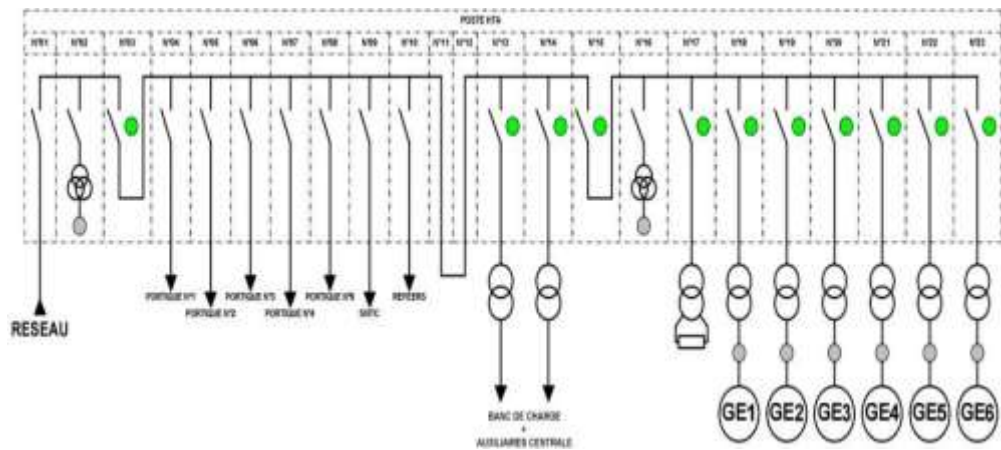


Figure 3.26 : Schéma unifilaire

L'installation se compose de deux armoires ballasts qui comportent chacun six crans. Chaque armoire est équipée de 2 ventilateurs (ayant une même commande) et de 2 contacts à palette.

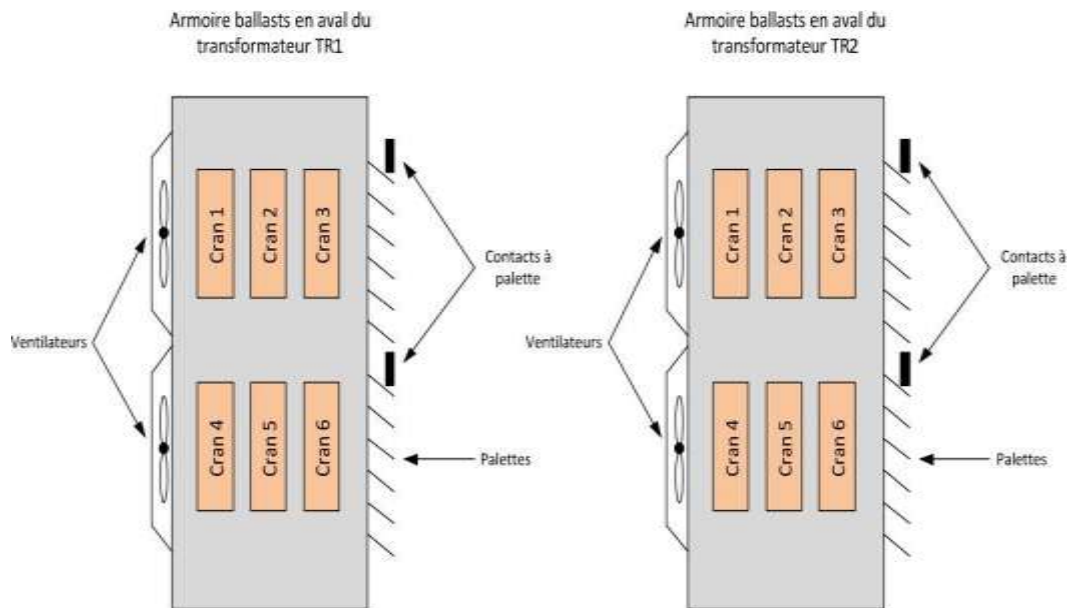


Figure 3.27 : Installation

➤ Gestion des ballasts suivant la puissance

La gestion des ballasts se fait sur seuil de puissance centrale afin d'éviter le retour de puissance vers les groupes lorsque la charge (grues en descente de charge) est génératrice.

L'enclenchement des crans de ballasts se fait de manière lente ou rapide suivant la puissance centrale. La figure 3.28 suivante indique la gestion des ballasts

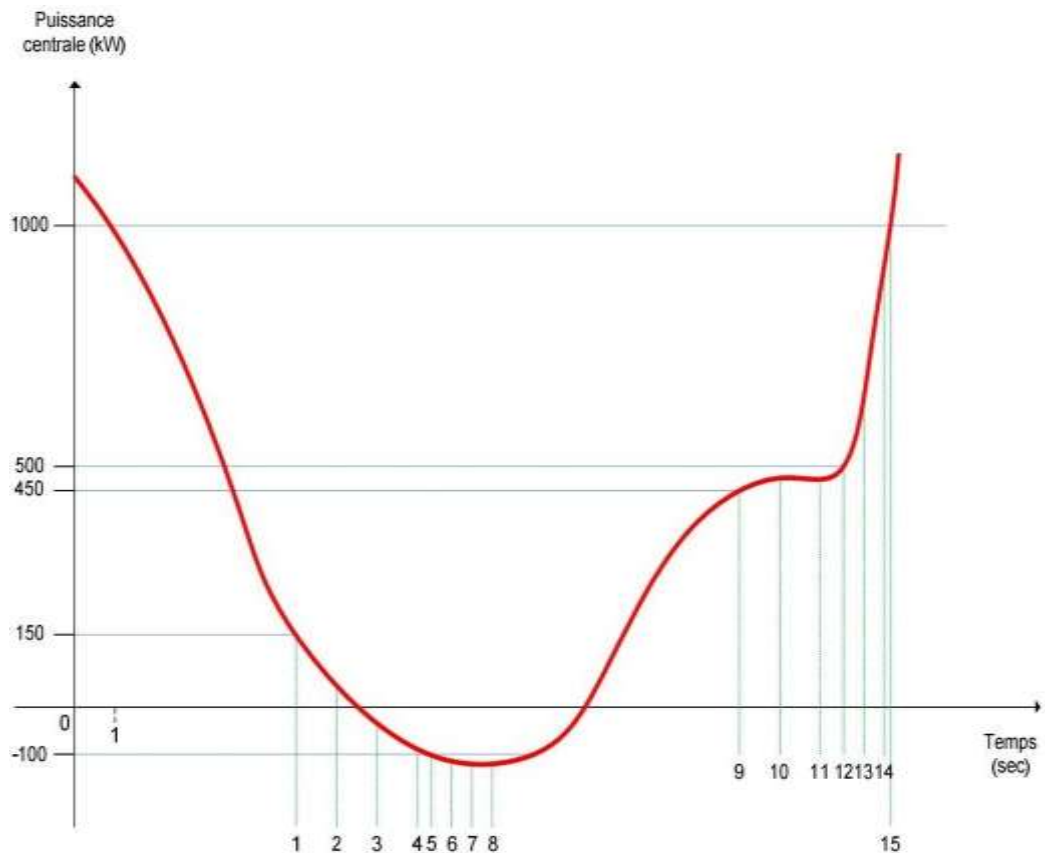


Figure 3.28 : Gestion des ballasts suivant la puissance

1. P. centrale < 150kW, enclenchement d'un cran
2. Après 1 seconde, enclenchement d'un second cran
3. Après 1 seconde, enclenchement d'un troisième cran
4. Après 1 seconde, enclenchement d'un quatrième cran
5. P. centrale < -100kW, enclenchement des crans cinq et six
6. Après 0,5 seconde, enclenchement des crans sept et huit
7. Après 0,5 seconde, enclenchement des crans neuf et dix
8. Après 0,5 seconde, enclenchement des crans onze et douze
9. P. centrale > 450kW, déclenchement d'un cran
10. Après 1 seconde, déclenchement d'un second cran
11. Après 1 seconde, déclenchement d'un troisième cran
12. P. centrale > 500kW, déclenchement d'un quatrième et cinquième cran
13. Après 0,5 seconde, déclenchement d'un sixième et septième cran
14. Après 1 seconde, déclenchement d'un huitième et neuvième cran
15. Après 1 seconde, déclenchement de tous les crans restants

Un ballast peut prendre la forme d'une simple résistance série comme pour les tubes fluorescents de faible puissance. Pour les applications de plus forte puissance, l'énergie dissipée dans la résistance ballast serait trop importante. On utilise alors des condensateurs, des bobines, ou les deux à la fois. L'avantage de ces composants par rapport à une résistance est qu'idéalement leur impédance ne comporte pas de terme résistif et n'amène donc pas de pertes par effet Joule.

Un cycle d'allumage peut se décomposer en trois étapes principales :

➤ Première étape

Lors de la mise sous tension, aucun courant ne traverse le circuit, et la tension du réseau se trouve rapportée aux bornes du « starter ». La présence de cette tension aux bornes du « starter » ionise le gaz présent dans le « starter ». Cette ionisation réchauffe le bilame présent dans le « starter », qui se ferme.

➤ Seconde étape

Une fois le « starter » en position fermée, un courant circule à travers les filaments situés à électrodes du tube, réchauffant ainsi le gaz se situant à proximité. Pendant ce temps, le gaz présent dans le « starter » n'étant plus ionisé, son bilame se refroidit au point de s'ouvrir. Ce qui se traduit par une augmentation de la puissance jusqu'à une valeur maximale.

➤ Troisième étape

L'interruption brutale du courant dans la bobine ballast, entraîne une forte surtension, du fait de la loi de Lenz-Faraday. Cette surtension est susceptible d'amorcer le tube en ionisant suffisamment le gaz qu'il contient pour qu'il puisse rester durablement conducteur et rendre lumineuse la couche fluorescente située à sa périphérie. Si tel est le cas, le tube et le ballast continue d'être traversés par un courant. Le ballast limite alors le courant dans système afin de protéger les composants constitutifs de la centrale, en raison de son impédance (loi d'Ohm généralisée). La tension aux bornes du « starter » n'est plus suffisante pour provoquer la fermeture de celui-ci. Le cycle de production d'électricité est terminé. Ce processus se répète pendant le démarrage, le fonctionnement et l'arrêt des groupes dans la centrale.

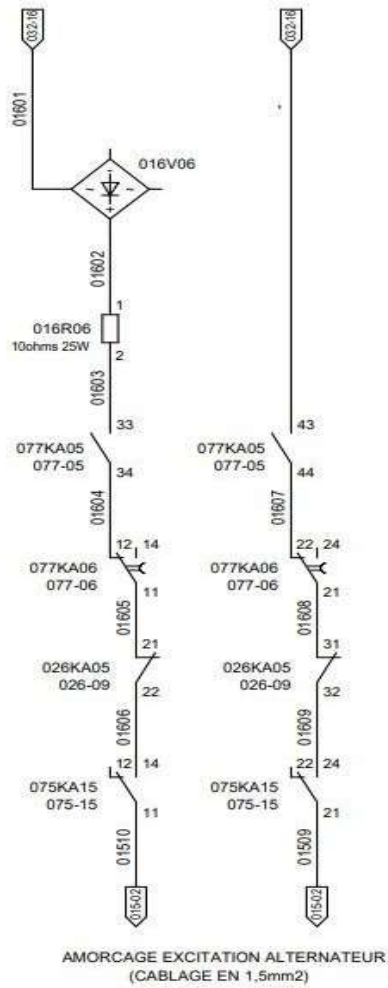


Figure3.29 : Amorçage excitation alternateur

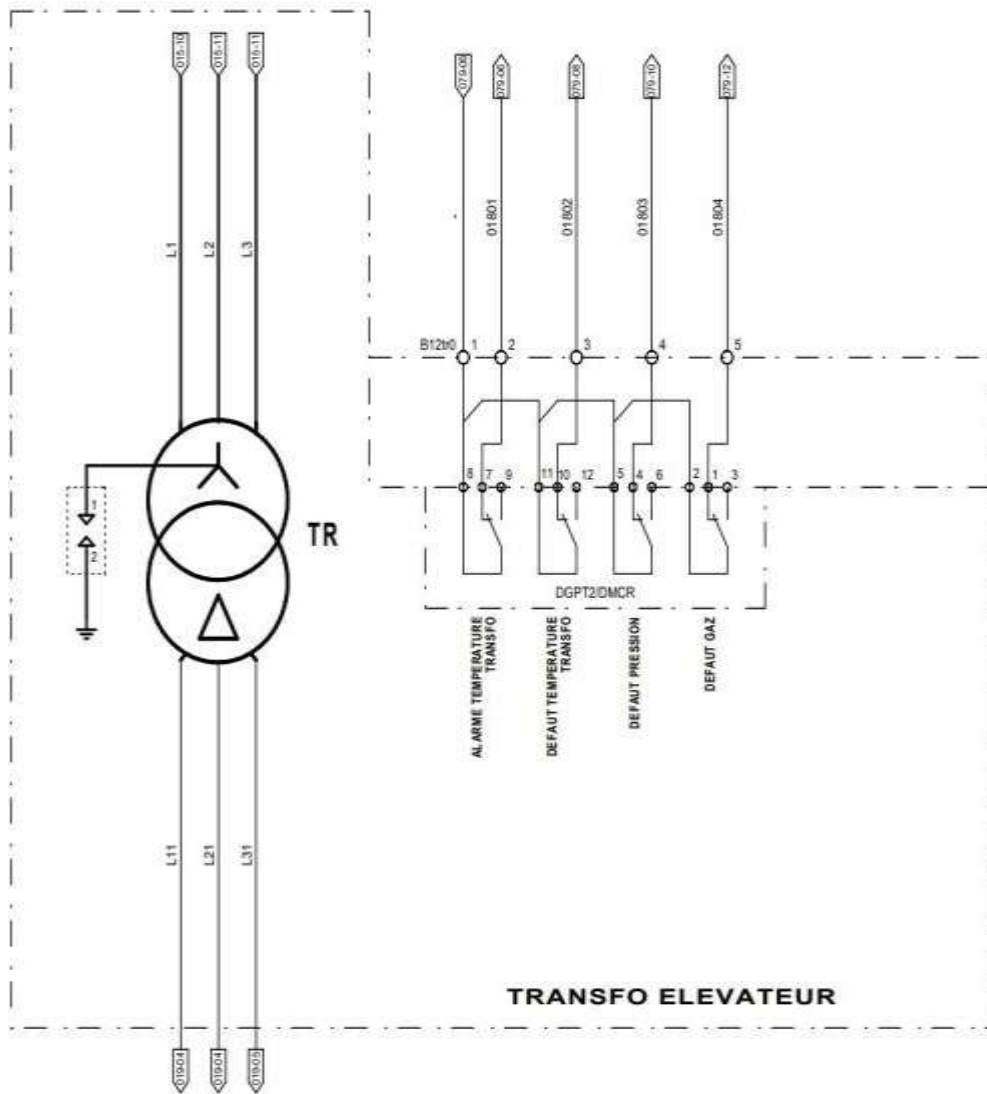


Figure 3.30 : Puissance transfo HT – BT

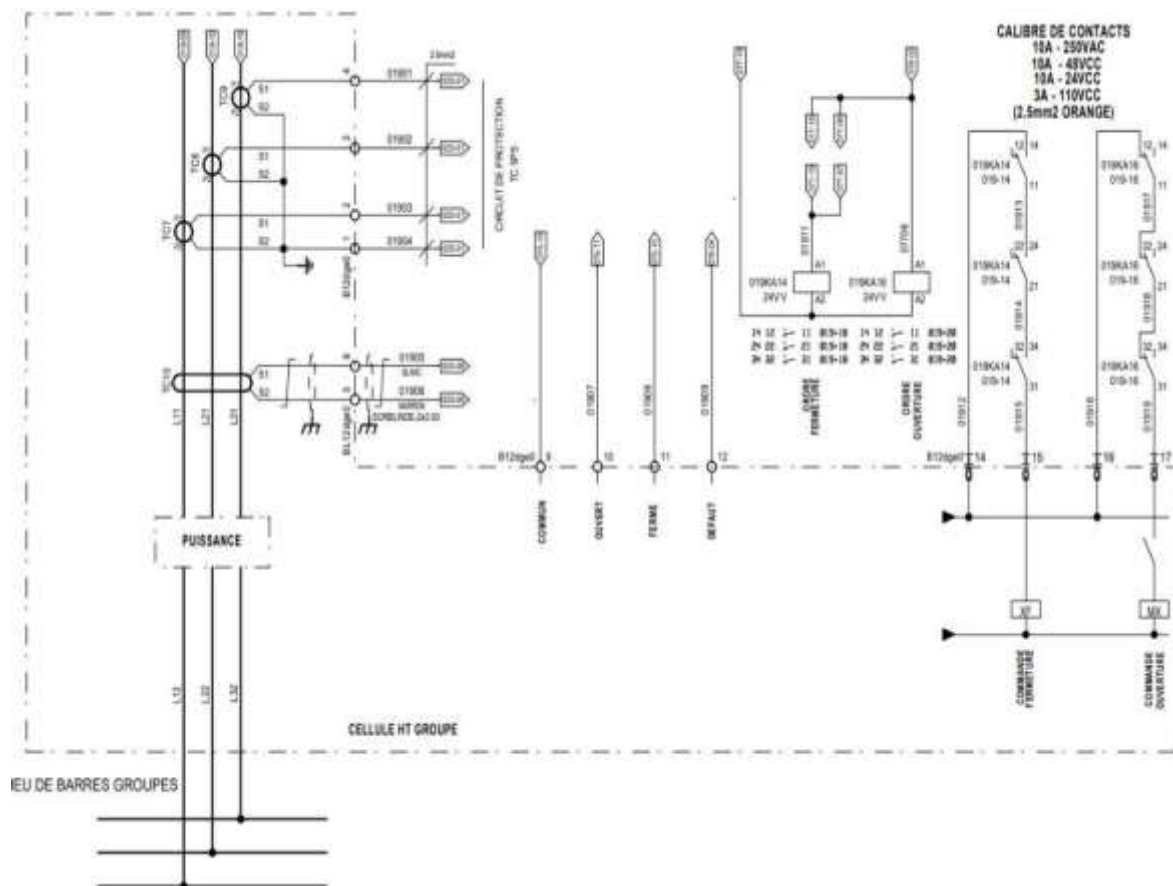


Figure 3.31 : puissance départ groupe

Conclusion

Dans ce chapitre nous avons examiné d’abord les éléments constitutifs de la centrale du port Autonome de Cotonou à savoir la configuration de la partie thermique, le local, les câblages. Afin d’analyser les interactions entre les différentes parties et la charge, nous avons d’une part analysé le fonctionnement des groupes électrogènes à cycle combiné et leur mode de pilotage et nous avons d’autre part caractérisé les interactions au point de couplage avec les équipements de pilotages. Du fait de la permanence de l’installation suite à sa modernisation, la puissance maximale obtenue est passée de 15MW à 20MW. Nous avons mis en évidence et corrélé les perturbations induites afin de relever les insuffisances pour une proposition de correction sur site.

Conclusion générale

Ce projet de déplacement de centrale électrique a plusieurs implications :

Amélioration de la fiabilité de l'alimentation électrique de Bénin Terminal.

Réduction de l'impact environnemental grâce à l'utilisation d'équipements plus performants et moins polluants.

Création d'emplois pendant la phase de construction et d'exploitation de la centrale.

Développement économique local grâce à l'investissement dans de nouvelles infrastructures.

En résumé, ce projet est un investissement important pour améliorer l'approvisionnement en électricité de Bénin Terminal et contribuer au développement durable de la région. Les résultats obtenus sont satisfaisants et l'installation fonctionne sans rupture de production d'électricité.

Références bibliographiques

- [1] World Bank, IEA, IRENA, UNSD, et WHO, « SDG7 Cracking Progress 2021 », World Bank, Washington DC 20433, 2021. [En ligne]. Disponible sur : <https://www.irena.org/publications/2021/Jun/Tracking-SDG-7-2021>
- [2] International Energy Agency, « World Energy Outlook 2021 », 2021. [En ligne]. Disponible sur : www.iea.org
- [3] M. P. Brimo et C.-D. Malcolm, « Accès à l'électricité en Afrique subsaharienne : Adoption, fiabilité et facteurs complémentaires d'impact économique. Collection African. Développent Forum », Agence Fr. Déva. Ban. Mon., p. 185, 2020, doi: 10.1596/978-1-4648-1488-4.
- [4] L. Bouzat et J. Dubois, « Plan directeur de la CEDEAO pour le développement des moyens régionaux de production et de transport d'Energie électrique 2019-2033 », TRACTEBEL ENGINEERING S.A, Boulevard Simón Bolívar 34-36, 1000 Brussels - BELGIUM, Technique TOME 1: Résumé Exécutif, 2019. [En ligne]. Disponible sur : https://www.ecowapp.org/sites/default/files/tome_1.pdf
- [5] Centrales électriques WWW.EMSA.GEN.TR En ligne
- Electrotechnique, Théodore Wildi Avec la collaboration de Gilbert Sybille, 3P èmeP édition, Editions de Boeck Université, Rue des Minimes 39, B-1000 Bruxelles.
- [6] Turbomoteurs à Combustion Interne, Gicquel Renaud, Extrait de "Systèmes Energétiques, tome 2", Presses de l'Ecole des Mines de Paris.
- [7] Les piles électriques et l'électricité dynamique, PIERRE LANGLOIS. Éditions Multi-Mondes 2006 930, rue Pouliot Québec (Québec) G1V 3N9 Canada.
- [8] La pile à Combustible, Structure - Fonctionnement – Applications par Méziane Boudellal, Editions Dunod, juin 2007.
- [9] Cellules solaires, Les bases de l'énergie photovoltaïque par Anne Labouret, Pascal Cumunel, Jean-Paul Braun Et Benjamin Faraggi. 5P èméP Editions Dunod Paris, 2010.
- [10] Energie électrique, Traite d'électricité. V. XII. M. Aguet et al., 1990.
- [11] Lumière news, Revue trimestrielle éditée par SPE/Spa Société Algérienne de Production de l'Electricité Filiale du groupe Sonelgaz.
- [12] Énergie Éolienne, Principes et Études de cas, Marc Rapin Jean-Marc Noël, Editions Dunod Paris, 2010
- [13] P. Mazidi, « A Model for Flexibility Analysis of RESS with Electric Energy Storage and Reserve », in 2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications

(ICRERA).2018 7th International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)., Paris, France, oct. 2018, p. 6.

[14] L. Meng, M. Savaghebi, F. Andrade, J. C. Vasquez, J. M. Guerrero, et M. Graells, « Microgrid central controller development and hierarchical control implementation in the intelligent microgrid lab of Aalborg University », in 2015 IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), Charlotte, NC, USA, mars 2015, p. 2585-2592. doi: 10.1109/APEC.2015.7104716.

[15] J. M. Raya-Armenta, N. Bazmohammadi, J. G. Avina-Cervantes, D. Sáez, J. C. Vasquez, et J. M. Guerrero, « Energy management system optimization in islanded microgrids: An overview and future trends », *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 149, p. 111327, oct. 2021, doi: 10.1016/j.rser.2021.111327.

[16] Y. Riffonneau, S. Bacha, F. Barruel, et S. Ploix, « Optimal power flow management for grid connected PV systems with batteries », *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 2, no 3, p. 309-320, 2011.

ANNEXE

ANSI 32RQ : Maximum de retour de puissance réactive

Utilisation

Protection utilisée dans les cas de couplage au réseau ou entre groupes de l'alternateur pour éviter les glissements de pôle qui entraîneraient une perte de synchronisme et éventuellement une perte du champ rémanent au rotor.

Cette protection peut également réaliser une protection contre la perte d'excitation, uniquement dans le cas où l'alternateur est couplé au réseau ou entre groupes.

Une perte d'excitation provoque la désynchronisation de l'alternateur avec le réseau. Il fonctionne alors en asynchrone, en légère survitesse, et absorbe de la puissance réactive. Les conséquences sont un échauffement du stator car le courant réactif peut être élevé, et un échauffement du rotor car il n'est pas dimensionné pour les courants induits.

Cette protection peut également être utilisée lorsque les groupes ne sont pas couplés au réseau afin d'éviter d'alimenter des charges purement capacitives comme des condensateurs de compensation du facteur de puissance qui seraient restés connectés.

Aide au réglage

Le seuil de réglage doit tenir compte du diagramme PQ de l'alternateur fourni par le constructeur, en particulier dans le cas d'applications où l'alternateur est surdimensionné lors d'imposition par le client d'une absorption importante de réactif. Afin d'éviter cette utilisation, il peut être envisagé d'ajouter des selfs triphasés sur le réseau du client.

Généralement, le seuil est fixé à 15% de Q_n sur le Kerys, avec une temporisation de 10s.

ANSI 46 : Maximum de composante inverse

Utilisation

Protection contre les déséquilibres de courant de valeur élevée (coupure d'une phase ou inversion de 2 phases) qui risquent de détériorer l'alternateur par échauffement du rotor. Les faibles valeurs de déséquilibres pourront être détectées par la protection d'image thermique (ANSI 49). La protection de

déséquilibre sert surtout à identifier rapidement la coupure d'une phase. En cas de liaison du point neutre à la terre, un déséquilibre provoquera un courant homopolaire important qui pourra être détecté par une protection de courant de terre (51N).

Aide au réglage

Pour le réglage, on utilise généralement un seuil de 15% de I_n avec un temps d'activation de quelques secondes car les alternateurs sont conçus pour supporter un déséquilibre de 10% de I_n en permanence (CEI 60024).

Sur le Kerys, la protection étant à temps dépendant, 2 seuils sont à régler. On règlera généralement le seuil bas à 10% de I_n pendant 10s, et le seuil haut à 30% de I_n pendant 5s.

NOTA : Cette protection à temps dépendant reprend la même équation que celle utilisée pour la protection ANSI 50/51.

ANSI 49 : Image thermique

Utilisation

Protection contre les surcharges lentes pouvant apparaître sur l'alternateur. Pour détecter l'existence d'une surcharge, elle fait l'estimation de l'échauffement de la machine à partir de la mesure du courant. Cette protection nécessite de connaître la constante de temps thermique de la machine. Le temps d'activation de la protection dépendra de la constante de temps thermique de l'alternateur.

Aide au réglage

Pour le réglage, il faut connaître la constante de temps thermique donnée par le constructeur ainsi que le courant de surcharge.

Généralement le seuil de déclenchement est fixé à 120% de I_n .

ANSI 50/51 : Maximum de courant de phase

Utilisation

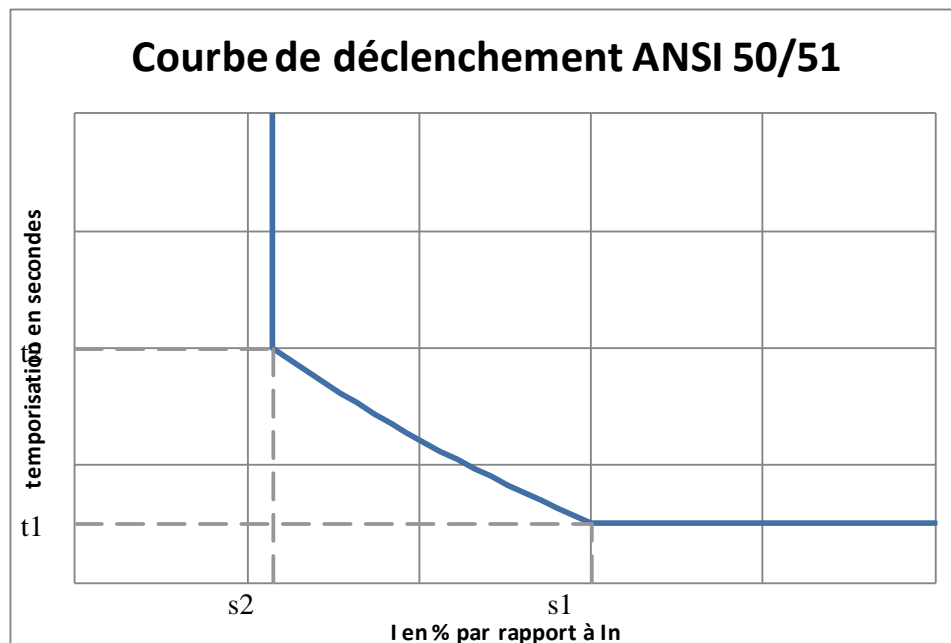
Protection contre les courts-circuits externes entre phases. Cette protection est à temps dépendant. La temporisation dépend du rapport entre le courant mesuré et le seuil de fonctionnement. Plus le courant est

élevé et plus la temporisation est faible. Le fonctionnement de la protection à temps dépendant est défini par les normes CEI 255-3 et BS 142. Elles définissent plusieurs types de protections à temps dépendant qui se différencient par la pente de leurs courbes : protection à temps inverse, très inverse ou extrêmement inverse.

Dans le cas des alternateurs, cette protection ne sera utilisée que lorsque l'alternateur dispose d'un système permettant de maintenir le courant de court-circuit. C'est-à-dire pour les alternateurs avec une excitation AREP ou PMG. Sinon, on utilisera la protection à retenue de tension (ANSI 51V).

Sur le Kerys, on utilise une courbe personnalisée définie par la formule suivante :

$$\text{temporisation de déclenchement} = t_2 + \frac{(\sqrt{\text{point de fonctionnement}} - \sqrt{s_2}) \times (t_1 - t_2)}{\sqrt{s_1} - \sqrt{s_2}}$$



NOTA : Cette protection n'est pas nécessaire dans les cellules puisque le risque d'un court-circuit entre phases est très limité. Elle est surtout utilisée pour protéger les liaisons par câbles sur le jeu de barres.

Aide au réglage

Le seuil s_1 et sa temporisation t_1 représentent le seuil magnétique réglé pour déclencher en cas de court-circuit. Le seuil s_1 doit être compatible avec les protections aval. Dans le cas des alternateurs, il sera généralement réglé par rapport à la valeur du courant de court-circuit, soit $3 \times I_n$. La temporisation t_1 doit être la plus courte possible afin d'assurer une sélectivité avec les protections aval. Généralement, elle sera réglée à 0.5 s (Leroy Somer maintient le courant de $3 \times I_n$ pendant 10s).

Le seuil s_2 et sa temporisation t_2 représente le seuil thermique. Le seuil de s_2 doit être réglé à une valeur supérieure à I_n . Si le groupe est utilisé en ESP, le seuil devra par conséquent être supérieur à $1.1 \times I_n$. Généralement ce seuil est fixé à $1.2 \times I_n$. Pour le Kerys, on fixera le seuil s_2 à 115% de I_n . La temporisation t_2 doit être de quelques secondes, Leroy Somer maintient le courant de court-circuit pendant 10s, c'est donc cette valeur qui sera appliquée sur le Kerys.

ANSI 51N/G : Maximum de courant de terre

Utilisation

Protection contre les défauts à la terre.

NOTA : On peut rencontrer 2 appellations : 51N ou 51G. La désignation varie en fonction des constructeurs. ALSTOM (MICOM) considère que la lettre N (Network) est réservée au transformateur et le G (Generator) à l'alternateur. Tandis que SCHNEIDER considère la lettre N (Neutral) dans le cas d'une mesure avec 3 TC ou par calcul et la lettre G (Ground) si l'on utilise qu'un seul tore ou TC.

Si l'on se réfère à la norme IEEE C37.2, par rapport aux besoins SDMO, on définira :

- N pour l'utilisation de 3TC ou 1 TC/tore englobant les 3 phases ou une bobine de point neutre
- G lorsque l'on utilise 1 TC/tore n'englobant que le conducteur de terre

La protection de type N peut donc être positionnée à n'importe quel endroit du réseau (Jeu de barres, cellules, ...). Il faut donc savoir quelle utilisation va être faite avec la protection 51N, afin de la positionner

à l'endroit du réseau que l'on souhaitera isoler en cas de défaut. Il faudra tenir compte des seuils d'intensités des protections amont/aval afin d'assurer une sélectivité en courant et chronométrique. La mise en œuvre d'une protection 51N s'avère donc onéreuse. Elle peut s'avérer également compliqué à configurer dans le cas où plusieurs points de mise à la terre seraient présents sur le réseau. Dans ce cas, il faudra utiliser une protection 67N pour faire une sélectivité directionnelle afin d'isoler uniquement la partie du réseau en défaut.

NOTA : Le moyen le plus simple pour la mise en œuvre de cette protection est de ne posséder qu'un seul point de mise à la terre sur le jeu de barres. On tiendra alors compte de l'accessibilité du Neutre pour prendre soit une résistance de limitation (Neutre accessible) où un générateur homopolaire/bobine de point neutre (Neutre non accessible).

Aide au réglage

Il y a un risque d'activation intempestive de la protection due à une erreur de mesure de courant résiduel, notamment en présence de courants transitoires.

Afin d'éviter ce risque, le seuil de réglage de la protection doit être supérieur à 12% du calibre nominal des TC lorsque la mesure est effectuée par 3 TC.

Si un tore est utilisé, le seuil de réglage devra être fonction du défaut que l'on souhaite détecter.

A titre d'information, un seuil de réglage à 2A permet de protéger environ 90% des enroulements d'un alternateur couplé en étoile. Par conséquent, le réglage par défaut de la protection est fixé à 1A en considérant que le tore est mis en place sur l'alternateur.

Dans tous les cas, le seuil de réglage doit tenir compte des protections amont afin d'assurer une sélectivité.

La temporisation doit être très courte et tenir compte des temporisations des protections amonts afin d'assurer la sélectivité.

Pour le Kerys, la protection est configurée par défaut 0.1s, en considérant que la protection est installée sur l'alternateur.

ANSI 51V : Maximum de courant de phase à retenue de tension

Utilisation

Cette protection permet de détecter les courts-circuits externes entre phases lorsque l'alternateur n'est pas équipé d'un système permettant le maintien du courant de court-circuit à environ $3 I_n$. C'est-à-dire pour les alternateurs à excitation SHUNT. Sinon, on utilisera la protection à maximum de courant de phase (ANSI 50/51).

Aide au réglage

Généralement, le seuil de courant peut être fixé à $1.2xI_n$ avec une temporisation la plus courte possible. Nous considérerons cependant un réglage par défaut à 115% de I_n avec une temporisation de 10s.

ANSI 59 : Maximum de tension

Utilisation

Protection des récepteurs contre une tension anormalement élevée. Elle peut également servir pour contrôler le fonctionnement du régulateur de tension.

Protection temporisée à temps constant.

Aide au réglage

Généralement, le seuil de défaut est fixé à 110% de U_n avec une temporisation de 5s pour déclencher au-delà des plages de variations autorisées dans l'ISO 8528-5 (Tableau 4).

ANSI 59N : Maximum de tension résiduelle

Utilisation

Protection contre les défauts à la terre. Elle est utilisée pour détecter les défauts d'isolement. On l'utilise surtout lorsque le neutre est isolé de la terre pour la détection du premier défaut. Elle remplace alors l'utilisation d'un CPI qui a le défaut d'injecter un courant basse fréquence pouvant entraîner un risque de ferro-résonance et qui nécessitera un montage particulier.

On peut également utiliser cette protection pour détecter un défaut d'isolement de l'alternateur avant de se coupler sur le jeu de barres lorsque le point neutre de l'installation est uniquement mis à la terre sur le jeu

de barres. En effet, dans ce cas, les machines sont isolées lorsqu'elles ne sont pas connectées au jeu de barres.

On l'utilise également pour les centres hospitaliers dans le cas d'une marche dégradée lorsqu'un défaut se produit sur l'équipement de fermeture du générateur homopolaire installé sur le jeu de barres.

La mesure du potentiel du neutre à la terre peut être déterminée de 2 façons :

- Directement par un transformateur de tension installé entre le point neutre du transformateur (lorsqu'il est accessible) et la terre ;
- Par la mesure de la tension résiduelle (somme vectorielle des 3 tensions phases-terre).

NOTA : Généralement, SDMO n'utilise pas directement la 59N qui est complexe à mettre en œuvre. On préférera utiliser un transformateur de tension chargé par une résistance (pour éviter les problèmes de ferro-résonance) et utiliser une protection 51N.

Aide au réglage

Le seuil de tension est réglé :

- A 10% de V_n lorsque la mesure de potentiel du neutre est effectuée directement,
- A 30% de V_n (10% de $3V_n$) lorsque la détermination du potentiel du neutre est effectuée par la mesure de la tension résiduelle.

La temporisation dépend de la sélectivité avec les autres protections.

SDMO propose un réglage par défaut à 15% de V_n pendant 3s.

ANSI 64REF : Différentielle de terre restreinte

Utilisation

Cette protection assure le même rôle que l'ANSI 51N (protection contre les défauts à la terre), mais de manière différentielle. D'un point de vue pratique, cela revient à mesurer la différence entre le courant résiduel (somme vectorielle des courants de chaque phase) et le courant de défaut (dans la liaison neutre-terre).

Quand l'installation le permet, l'idéal est de positionner un tore qui entoure les conducteurs des 3 phases et

la terre. Cette solution permet d'obtenir une bonne précision et de réaliser directement la différence entre le courant résiduel et le courant de défaut.

Dans le cas où la solution avec un seul tore ne peut pas être mise en place, il faudra utiliser plusieurs TC. On se limitera cependant à 2 TC afin de limiter le cumul des imprécisions de mesure. Si la mise en place de la protection pose trop de problème, on choisira alors de la remplacer par une protection ANSI 87G réalisée par un relais extérieur (protection non réalisée par le Kerys).

Aide au réglage

Généralement le seuil est fixé à 10% de I_n sans temporisation.

SDMO propose cependant un réglage identique à la protection 51N puisque la 64REF assure le même rôle.

ANSI 67 : Maximum de courant directionnel de phase

Utilisation

Protection contre les court-circuit externes entre phases.

Cette protection possède la fonction ANSI 51 (Maximum de courant de phase temporisé) associée à une détection du « sens du courant », qui détecte en réalité le signe de la puissance active en mesurant le déphasage entre la tension composée et le courant de court-circuit.

L'emploi de cette protection est nécessaire pour assurer une sélectivité dans les réseaux bouclés où le courant peut provenir de plusieurs directions, mais également pour les centrales composées de plusieurs groupes.

NOTA : Cette protection n'est pas nécessaire dans les cellules puisque le risque d'un court-circuit entre phases est très limité. Elle est surtout utilisée pour protéger les liaisons par câbles sur le jeu de barres.

Aide au réglage

Le seuil de réglage en intensité est fixé à 100% de I_n car on s'intéresse essentiellement au déphasage.

L'angle de réglage est défini par rapport aux tensions composées et délimite une zone de déclenchement. Généralement, cet angle est réglé à 45° avec une temporisation très courte (0,5s) afin d'isoler rapidement la zone en défaut.

ANSI 67N : Maximum de courant de terre directionnel

Utilisation

Cette protection est utilisée pour détecter le sens d'un courant de défaut à la terre dans les cas où l'installation dispose de plusieurs points de mise à la terre. Elle peut également être utilisée sur les départs lorsque le Neutre est isolé de la terre.

Pour cela, il est nécessaire de mesurer le déphasage entre la tension résiduelle (somme vectorielle des tensions phase-terre) et le courant résiduel (somme vectorielle des courants de phase).

La mesure du courant résiduel passant à la terre est réalisée soit par un tore englobant les 3 phases (solution préconisée mais pas toujours mécaniquement réalisable) ou par 3 TC montés en parallèle (moins précis).

La tension résiduelle doit être mesurée soit par trois transformateurs de tension dont les primaires sont en étoile et les secondaires en triangle ouvert qui délivre la tension résiduelle (utilisé sur le Kerys), soit par un équipement mesurant les tensions phase-terre et faisant la somme vectorielle.

ATTENTION : La mesure du courant de défaut doit être insensible aux harmoniques 3 et multiples de 3 pour éviter les déclenchements intempestifs qui peuvent provenir du réseau ou de la saturation des transformateurs de courant lors d'appels de courant important, ou au cours de régimes transitoires.

