



LICENCE SCIENCES ET TECHNIQUES
Génie Electrique



RAPPORT DE FIN D'ETUDES

Intitulé :

**Etude critique sur la compensation
d'énergie réactive et amélioration de
facteur de puissance de Laverie
Youssoufia**

Réalisé Par :

MAMANIY Sara

Encadré par :

P^r T. LAMCHARFI

(FST FES)

Mr M. EL MOUID

(OCP Youssoufia)

Soutenu le 15 Juin 2015 devant le jury

Pr T. LAMCHARFI

(FST FES)

Pr T. LAMHAMDI

(FST FES)

Remerciements

Au terme de ce stage, effectué au sein de la direction « Gantour Youssoufia », j'ai le plaisir d'adresser mes plus vifs remerciements à tous ceux qui m'ont beaucoup soutenu afin d'effectuer ce stage dans les meilleures conditions.

Je tiens à remercier chaleureusement le responsable de mon stage Mr. El MOUID, responsable de service électrique à l'usine Laverie, mon parrain du stage Mr. EZZAHOUANI, qui par leur générosité, ont mis à ma disposition tous les moyens nécessaires pour atteindre l'objectif, ainsi que tous les agents du service électrique qui, en mettant à ma disposition certains documents, leur temps et leur savoir-faire, ont participé à la réalisation du rapport entre vos mains.

Mes sincères remerciements vont également à Mr. LAMCHARFI qui m'a beaucoup soutenu durant toute ma période de stage, ainsi que tous les enseignants de FST Fés, qui n'ont épargné aucun effort pour le bon déroulement de notre formation à l'école.

Je souhaite aussi faire part de ma reconnaissance à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce rapport.

Introduction General

Dans le cadre de la formation que j'ai eu à la Faculté des Sciences et techniques FST Fés, j'étais menée à effectuer un stage du 7 Avril au 31 Mai 2015.

L'objectif visé était de toucher de près les réalités du monde industriel avec un accent particulier mis sur le côté social et les relations humaines, ce qui devrait y permettre, dans un proche avenir, ma propre intégration.

L'OCP, avec ses presque 25000 (vingt-cinq milles) employés et son expérience de plusieurs années d'existence, se présentait comme l'entreprise idéale.

L'objectif incontestable de mon stage est de découvrir le monde professionnel afin de mieux connaître son réalité. Néanmoins, dans ma dynamique, j'ai été confronté à une barrière plus ou moins colossale, celle de la communication. J'ai donc dû souvent se contenter d'observer et de tirer moi-même des conclusions pour ensuite les discuter avec en général des TAMCA (techniciens, agents de maîtrise et cadres administratifs).

C'est donc à la suite de divers échanges que ces remarques ont été tirées, elles sont des constats personnels appuyés par des expériences de plusieurs années passées au service à l'OCP.

Sujet de stage

Du fait de l'acharnement de la concurrence mondiale dans tous les domaines et surtout dans celui de la production et de l'exportation des phosphates, les grandes entreprises se voient dans l'obligation d'optimiser et d'améliorer tous les paramètres pouvant influencer la production.

Dans ce cadre, le Groupe OCP, en tant que Leader mondial dans la production et l'exportation de phosphates, a commencé à effectuer des améliorations et réaliser des projets pour promouvoir la production du phosphate.

Soucieux de la nécessité de prendre part ce développement, le service électrique de l'usine Laverie œuvre pour l'amélioration de la fiabilité du réseau. C'est dans ce cadre qu'il nous a été confié ce travail qui est d'une grande envergure.

En effet, nous avons procédé dans le cadre de cette étude à :

- Réaliser une étude critique sur la compensation d'énergie réactive de l'usine Laverie Youssoufia sous le réseau électrique 60kV/5.5Kv.*
- Proposer des améliorations du facteur de puissance 60Kv.*

Cahier de charge

Objectif :

Suite à l'appel mondial de l'optimisation de l'énergie électrique. Le service électrique de Laverie Youssoufia œuvre pour l'amélioration de la fiabilité du réseau, et améliorer tous les paramètres pouvant influencer la production .dans ce cadre il nous a demandé de :

- *Réaliser une étude critique sur la compensation d'énergie réactive de l'usine Laverie Youssoufia sous le réseau électrique 60kV/5.5Kv.*
- *Proposer des améliorations du facteur de puissance de Laverie Youssoufia.*

Missions:

- *Faire une étude descriptive des composants électrique du poste électrique (PEL1) et du poste électrique (PEL2).*
- *Réaliser un plan électrique complet sur le logiciel QElectrotech.*
- *Etude de compensation et amélioration.*
- *Etude technique :*
 - ✓ *Bilan de consommation de puissance.*
 - ✓ *Dimensionnement des cellules de départ.*
 - ✓ *Choix de condensateur et type de compensation.*

Contraintes:

Il faut prendre en considération :

- ✓ *La réduction des coûts de réalisations et d'exploitation avec un fonctionnement sans défaillance.*
- ✓ *Beaucoup d'aménagement au niveau de Laverie Phosphate.*
- ✓ *Besoins futur.*

Sommaire

Remerciement.....	2
Introduction.....	3
Sujet de stage	4
Cahier de charge.....	5
Chapitre I : Présentation de l'entreprise d'accueil OCP.	9
1. Introduction.....	10
2. Historique.....	10
3. Situation juridique et filiales.....	11
4. Organigramme générale du groupe OCP.....	13
5. Présentation de l'IDG.....	13
6. Le pole minerais Gantour.....	14
Chapitre II : Présentation de l'usine de Laverie Youssoufia.	16
1. Traitement du minerais Phosphates par lavage.....	17
a-Objective du lavage.....	17
b- Minerais à traiter.....	17
c- Lavage/Flottation.....	18
d- Circuit d'une chaîne de lavage.....	18
2. Principale phase de lavage.....	19
a- Le débouillage.....	19
b- Le criblage.....	20
c- Les systèmes d'Hydro classification.....	20
d- Flottation.....	21
e-Décantation.....	22
Chapitre III: Description électrique du Laverie.	24
1-Le réseau électrique.....	25
2-Présentation général.....	25
i. Schéma unifilaire du réseau actuel.....	26

ii. Les lignes 60 kV OCP.....	26
3-Déscription électrique.....	27
i. Poste électrique PEL 1 (Haute Tension).....	27
ii. Poste électrique PEL 2 (Moyenne Tension).....	30

Chapitre IV : Compensation de l'énergie réactive et Amélioration du COS33

1-Etude sur la compensation de l'énergie réactive.....	34
a. Introduction.....	34
b. Intérêt de la compensation.....	34
c. Objectif du projet à base de la méthode SMART.....	35
d. Principe de compensation.....	37
i. Problématique.....	37
ii. Analyses de consommation de l'énergie active et réactive.....	37
iii. Problèmes dû à la circulation de l'énergie réactive sur le réseau.....	39
iv. Récepteurs consommateurs d'énergie réactive.....	40
v. Les harmoniques.....	41
e. Etude sur les types de compensation et câblage des batteries.....	41
f. Ou installer une batterie de condensateur.....	42
2- Amélioration de facteur de puissance 60Kv.....	45
a- Principes théoriques.....	45
b- Importance de facteur de puissance pour le distributeur.....	46

Conclusion.....48

Annexe.49

Bibliographie.53

Chapitre 1

Présentation du groupe OCP



CHAPITRE 1 : PRESENTATION DU GROUPE OCP

1-Introduction :

En tant que leader mondial sur le marché des phosphates et de ses dérivés, OCP (Office Chérifien des Phosphates) est un acteur clé sur le marché international, depuis sa création en 1920.

Présent tout au long de la chaîne de valeur, OCP extrait, valorise et commercialise du phosphate et des produits phosphatés, notamment de l'acide phosphorique et des engrais. OCP est le premier exportateur mondial de roche de phosphate et d'acide phosphorique. Il est aussi l'un des plus grands producteurs d'engrais au monde.

2-Historique :

Créé par le dahir du statut de 7 août 1920, l'OCP détient le monopole de la recherche, de l'exploitation, de la valorisation de la commercialisation des phosphates et de leurs dérivées. C'est en février 1921 qu'on a découvert les premiers gisements de phosphate dans la zone de Khouribga et plus précisément dans la région d'oued Abdoun. L'exploitation des gisements a commencé en mars 1921 à partir des mines, et ce n'est qu'au 30 juin que le premier train a été chargé par le phosphate. Un mois après, le transport du phosphate par bateau a commencé via Casablanca.

Le développement de OCP-S.A a été marqué par d'autres grandes dates données par l'illustration suivante :

1920 Création de l'Office Chérifien des Phosphates

1921 Début d'exploitation du premier site d'extraction à Khouribga

1931 Début d'exploitation des gisements de Gantour à Youssoufia

1965 Démarrage de la valorisation des phosphates à Safi par la mise en service de Maroc-Chimie

1975 Prise en charge des exploitations des phosphates à Boucraâ

1976 Augmentation des capacités de valorisation à Safi par la mise en service de Maroc-Phosphore I

1979 Début d'exploitation de la zone minière de Ben guérir

1981 Démarrage à Safi des installations de Maroc-Phosphore II

1986 Démarrage à Jorf Lasfar des installations de Maroc-Phosphore III

2002 Prise de participation dans la société indienne PPL en joint-venture avec le Groupe Birla

2003 L'OCP est devenu le seul actionnaire de Phosboucraâ

2005 Démarrage de l'usine Lavage/Flottation à Youssoufia

2006 Projet nouvelle DAP à Jorf Lasfar 850000 t/an

2008 La société anonyme OCP –SA est née le 22 Janvier

2009 Démarrage de Bunge Maroc Phosphore à Jorf Lasfar (BMP)

Principaux sites d'exploitation du phosphate :

- Le centre d'exploitation de Oulad Abdoun (Khouribga)
- Le centre d'exploitation de Gantour (Youssoufia – Benguérir)
- Le centre d'exploitation de Boucraâ (Laâyoune)



Figure 1: Les principaux sites d'exploitation du Groupe OCP

3–Situation juridique et filiales :

L'OCP a été constitué sous forme d'un organisme Etatique, mais étant donné le caractère de ses activités industrielles et commerciales, le législateur l'a doté d'une organisation spécifique lui permettant d'agir avec la même dynamique et la même souplesse que les entreprises privées avec lesquelles il se trouve en concurrence.

L'OCP fonctionne ainsi comme une société dont le seul actionnaire est l'état marocain, et il est dirigé par son Directeur Général nommé par DAHIR et son travail est contrôlé par un conseil d'administration dont la présidence incombe au Chef du gouvernement. La gestion du personnel est régie par le statut du mineur du 1er janvier 1973, qui a été élaboré en conformité avec le dahir n°16007. Il est à noter que depuis 1975, l'O.C.P n'est plus géré comme étant une entreprise mais il était transformé en un Groupe rassemblant un certain nombre de filiales :



Mine
& Transformation

- › Phosboucraâ
- › Prayon
- › Euro Maroc Phosphore (*EMAPHOS*)
- › Jorf Fertilizer Company V (*JFC V*)
- › Indo Maroc Phosphore (*IMACID*)
- › Pakistan Maroc Phosphore (*PAKMARCC*)
- › Zuari Maroc Phosphates Limited (*ZMPL*)
- › Paradeep Phosphates Limited (*PPL*)



Commerce
International

- › CCP International
- › CCP Fertilizantes
- › CCP de Argentina
- › CCP do Brazil
- › Black Sea Fertilizer Trading Company (*BSFT*)



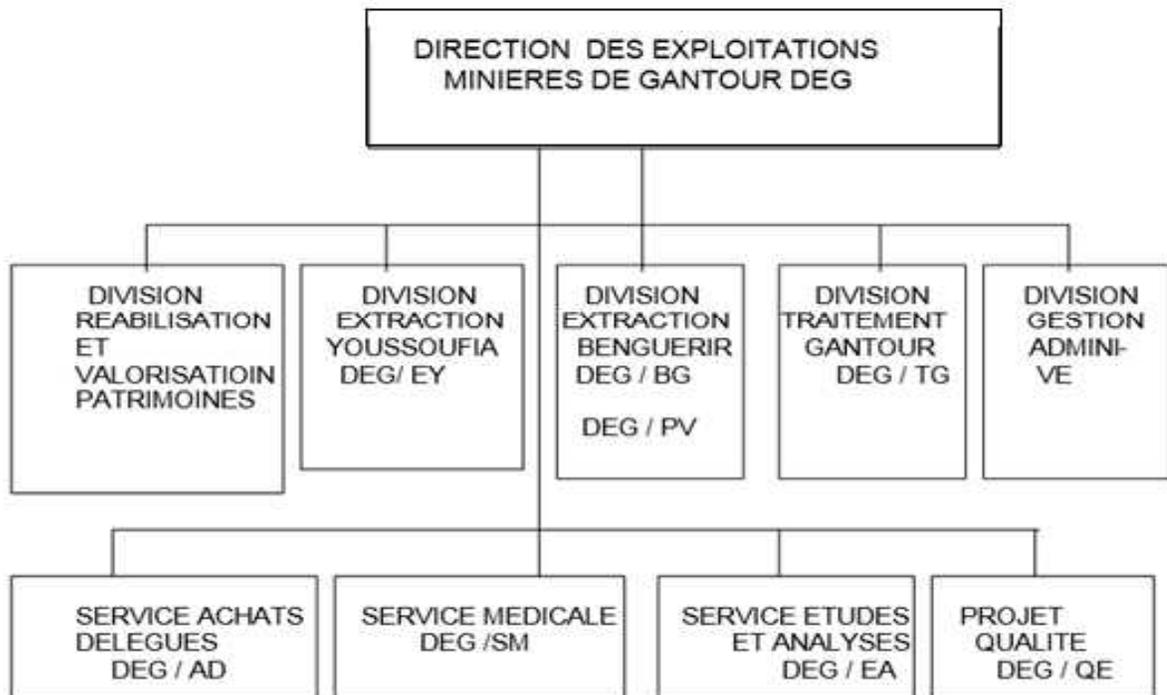
Ingénierie
& Conseil

- › Jacobs Engineering (*JESA*)
- › Transportation Engineering and Management Consultants (*Team Maroc*)
- › DuPont OCP Operations Consulting



Développement
des écosystèmes

- › Société d'Aménagement et de Développement Vert (*SADV*)
- › Société d'Aménagement et de Développement de Mazagan (*SAEDM*)
- › OCP Innovation Fund For Agriculture (*OIFFA*)
- › Fondation OCP



6-Le pole minerais Gantour PMG:

Le PMG a pour mission l'exploitation, le traitement et la livraison du phosphate du gisement Gantour. Ce dernier s'étend sur 125 Km d'Est à l'ouest et sur 20Km du nord au sud. Il est situé à 80Km de l'est de la province de Safi. L'exploitation du phosphate se poursuit dans 4 recettes (I, II, III, IV). Ces recettes produisent deux types du phosphate clair. Le type est caractérisé par une teneur importante en matières organiques alors que le clair en est très pauvre ; chose qui intervient au stade de la calcination par des consommations différentes du combustible. En général, le phosphate extrait des trois recettes passe par les étapes suivantes:

Le forage : Le forage est une opération qui sert à faire des trous verticaux au niveau du sol, jusqu'à l'apparition du phosphate. Cette opération est assurée par une machine appelée sondeuse.

Le sautage : Au niveau de cette étape, on pose des charges explosives (dynamites) dans les trous formés à l'étape précédente, cela a pour but de faciliter l'élimination des couches inutiles du terrain.

Le décapage : Cette étape consiste à enlever le terrain mort pour accéder aux couches de phosphate par le biais d'une machine appelée Dragline (Draglines 7500M, P&H, 200B, 155B).

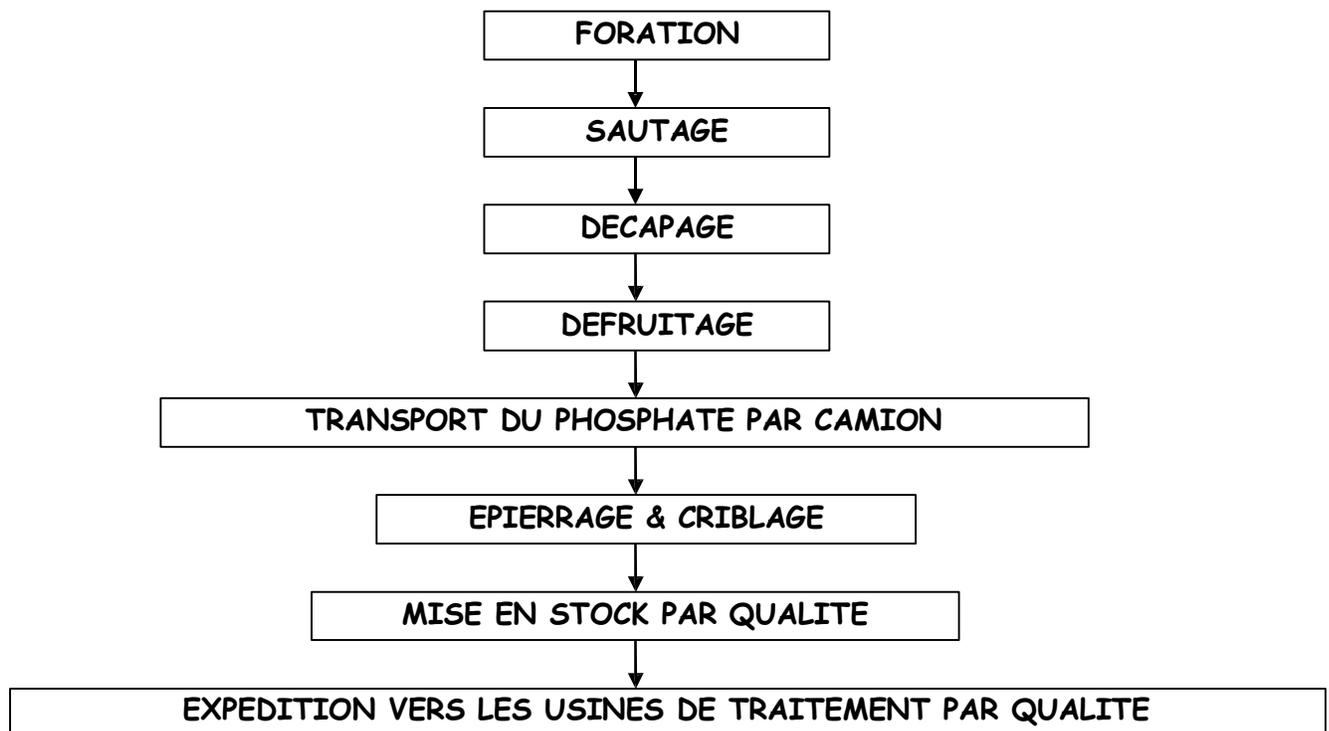
Défruitage : C'est la phase de récupération du phosphate, actuellement on définit six couches de qualités (C0,..., C5) avec différentes teneurs (qualités du phosphate). Des grandes chargeuses s'occupent de charger le phosphate dans des camions dont la capacité peut atteindre jusqu'à 140 tonnes, afin d'alimenter les installations d'épierrage ou vers le stock.

L'épierrage : Après le transport des phosphates vers les stations mécaniques appelées installations fixes, il est versé dans deux trémies qui alimentent deux cribles de maille 90*90 mm destinés à l'élimination des gris pierres. Ces dernières sont évacuées vers deux mises à teruil après avoir subi un re-criblage de récupération et une fragmentation dans un concasseur.

Mise en stock par qualité : est assurée par une machine appelée STACKER.

Expédition vers les usines de traitement par qualité : Séchage, lavage ou calcination.

Le phosphate de Youssoufia est acheminé par train vers Safi pour alimenter les usines de fabrication d'engrais et d'acide phosphorique. Il faut signaler que la plus grande partie de la production nationale du phosphate est destinée à l'exportation. Le PMG est composé de quatre divisions. Quatre autres services sont directement liés à la PMG (service achats délégués AD, service médical SM service études et analyses EA, projets qualités, productivité,...).



Chapitre 2

Présentation de l'usine de Laverie Youssoufia



Chapitre II : Présentation de l'usine Laverie Youssoufia

1- Traitement du minerai Phosphates par lavage :

a-Objectif du lavage :

Le lavage est un traitement physique par voie humide qui consiste à éliminer les tranches granulométriques pauvres en BPL, dans le but d'enrichir le minerai de phosphate, en tenant compte du rendement poids de l'opération de lavage. Ce procédé nécessite donc une coupure haute supérieure à 2.5mm par criblage humide, et une coupure basse inférieure à 40 microns par classification hydraulique.

b-Minerai à traiter par lavage :

La laverie est conçue pour traiter par lavage et flottation les niveaux phosphatés (phosphate clair) pauvres en P₂O₅ des zones minières de Youssoufia et de Benguéir.

D'après les variations des analyses granulo-chimiques du phosphate claire de Youssoufia et le phosphates de Benguéir, il apparaît que ces deux types de minerais représentent une teneur en BPL faible ; elle varie de 54 à 57 % et représente une teneur élevée en carbonates et silicates d'où la nécessité de les traiter par lavage complété d'une flottation. Ces minerais se caractérisent aussi par :

- Minéraux en présence : Apatite, Calcite, Dolomite, Quartz, Argiles, Divers Oxydes ;
- Densité réelle : 2,8 à 3 g/cm³ ;
- Densité apparente : 1,25 à 1,40 g/cm³ ;
- Abrasion : très abrasif ;

Voici un tableau qui donne les caractéristiques chimiques des produits bruts inférieurs à 10 mm alimentant l'usine de traitement ainsi que celles du concentré global du lavage et de la flottation :

	Phosphate brut	Concentré global (lavage flottation)
BPL en %	54 à 58	68,5 à 70,64
CO₂ en %	7 à 9	5,36 à 6,22
SiO₂ en %	9,7 à 12,5	2,02 à 3,75
MgO en %	1 à 1,7	0,43 à 0,49
Cd en ppm	14 à 20	7 à 10

c- Lavage/Flottation :

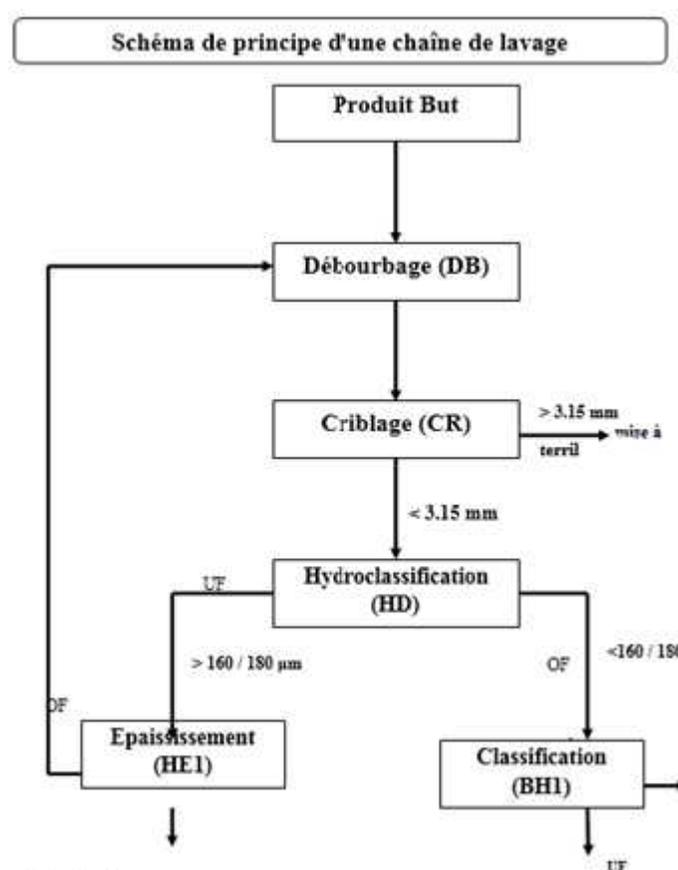
L'usine de lavage/flottation comporte :

- 3 lignes de lavage.
- 3 lignes de flottation intégrées aux lignes de lavage pour l'enrichissement des rejets fins issues du lavage.

La capacité installée par ligne de traitement est de 1400000 t/an de phosphate sec et marchand se répartissant comme suit :

- ✓ Lavage : 1000000 t/an de concentré de lavage sec et marchand.
- ✓ Flottation : 400000 t/an de concentré de flottation sec et marchand.

d-Circuit d'une chaîne de lavage :



2-Principale phases de Lavage:

Dans le but d'enrichir les phosphates à basse teneur en BPL, l'usine Laverie compte cinq processus principaux (lavage, flottation, décantation, stockage des boues et séparation solide-liquide), ce procédé étant développé par le Centre d'Etude et de Recherche des Phosphates Minéraux (CERPHOS), il consiste à effectuer les tâches suivantes :

Débourbage : malaxage du mélange phosphaté grâce au Débourbeur afin de le préparer au criblage et de le débarrasser de quelques impuretés minérales.

Criblage : séparation granulométrique du mélange provenant du débourbeur au moyen d'un crible à coupure de 3500 μm ; la tranche supérieure pauvre en BPL est envoyée au stock stérile.

Hydro-classification : consiste à éliminer la tranche inférieure à 40 μm et l'évacuer vers les décanteurs.

Flottation : consiste à éliminer les impuretés (silicates et carbonates) dans le mélange phosphaté par principe de flottation inverse après ajout de trois réactifs chimiques : Amine, Ester et Acide phosphorique. .

Décantation : sous l'effet de la gravité, les boues en provenance des lignes de lavage sont récupérées au fonds des décanteurs et pompées ensuite vers les digues.

a-Débourbage : c'est une opération qui consiste à malaxer le minerai de phosphate mis en pulpe dans un débourbeur tournant afin de libérer par attrition les grains phosphaté de leurs gangues argilo-calcaire. Le paramètre essentiel de cette phase est la dilution qui permet la destruction des agrégats attachés sur le minerai de phosphate.



b-Criblage : une opération qui consiste à éliminer les stériles supérieures 3500 μm au moyen d'un crible vibrant à balourds équipé d'une grille en matière synthétique jaune (polyuréthane 90A). Le crible est incliné de (10°) afin de garantir le transport requis des produits. L'eau d'arrosage installé au-dessus de la surface du crible afin de libérer les grains égarés de phosphate collés sur les refus. La pulpe ainsi traitée au niveau du débourbeur, passe au crible par débordement pour subir un traitement physique, il s'agit de la première coupure qui consiste à éliminer les particules de dimensions supérieures à 3500 μm . Les particules solides de dimensions inférieures à la maille passent à travers la grille constituant le passant, tandis que les grosses particules restent au-dessus de la grille constituant le refus du crible. Le crible est installé de manière inclinée pour favoriser l'écoulement du produit. L'opération de criblage est facilitée à l'aide d'un système d'arrosage par l'eau sous pression, pulvérisée par des buses afin de libérer les grains phosphatés adhérents à la surface du stérile.



c-Système d'hydro-classification : Il assure une coupure réglable de 160 ou 180 μm selon la qualité du minerai traité ou selon la teneur demandée par le client. Sa sou verse va alimenter une batterie d'hydro cyclones HE1 qui joue le rôle d'épaississeur et dont la sou verse constitue le concentré de lavage et alimente les convoyeurs séparateurs. La surverse de HD1 est

stockée avec celle d'EHD1 dans le BP3. Une pompe PP3 alimente la batterie de classification BH1 qui assure une coupure à 40 μ m. La surverse de cette batterie est acheminée vers le décanteur et sa sous-verse est stockée dans le bac à pulpe BP4 avant d'être acheminée vers l'unité de flottation.



d-Flottation : La flottation est une méthode de séparation de solides qui utilise les différences de propriétés des interfaces entre les solides, une solution aqueuse, et un gaz (habituellement l'air). Il existe deux types de flottation :

>**Flottation directe** : opération qui consiste à flotter les minerais de valeur, et à déprimer les minerais indésirables.

>**Flottation inverse** : c'est un traitement physico-chimique qui consiste à déprimer le minerai de valeur, et flotter les minerais indésirables constituant la gangue par l'addition des réactifs, et ceci dans le but d'augmenter la teneur en BPL du minerai (c'est le type de flottation utilisé dans notre cas).



e-Décantation : Le but du système de décantation est d'assurer les fonctions

suivantes :

- La décantation des boues de lavage, des boues d'attrition et des rejets de flottation pour donner lieu à deux phases :

- ✓ De l'eau claire que l'on recycle au lavage et à la flottation ;
- ✓ Des boues épaisses qui sont évacuées sous forme de rejets de traitement vers des bassins d'épandage.

-L'évacuation des boues épaisses avec une concentration en solides supérieure à 350g/l, par gravité (avec possibilité d'évacuation par pompage) jusqu'au champ d'épandage.

-Le recyclage des eaux non chargées vers le bassin des eaux claires.

-Les produits qui doivent alimenter le décanteur sont constitués de :

- * Boues de lavage issues de coupure granulométrique inférieure à 40 μm .
- * Les échelâmes d'attritions inférieures à 40 μm .
- * Le rejet de flottation



En résumé :

Le phosphate brut est extrait des mines et stocké en piles avant d'être acheminé vers les lignes de lavage où il est séparé des particules de grande taille (de taille supérieure à 2500 μm). Après la classification humide dans les hydrocyclones des chaînes de lavage, la pulpe dont la taille des granules est entre 40 et 125 μm est envoyée directement vers la flottation. Le concentré de flottation produit est envoyé vers la zone de stockage.

A la sortie des chaînes de lavages, si la pulpe contient des grains de taille supérieure à 400 μm , comme c'est le cas pour le minerai C3, elle passe par le broyage avant d'être acheminée vers la flottation. Si les grains mesurent entre 150 et 400 μm et que la pulpe est jugée de bonne qualité marchande elle est acheminée directement à la zone de stockage .Enfin, les boues de lavage contenant des grains de moins de 40 μm sont envoyées au circuit de décantation pour en récupérer l'eau.

Chapitre 3

Description électrique d'usine Laverie



Chapitre III : Description électrique d'usine Laverie

1-Le réseau électrique :

On appelle réseau électrique l'ensemble des infrastructures permettant d'acheminer l'énergie électrique des centres de production, vers les consommateurs d'électricité. Il est constitué de lignes électriques exploitées à différents niveaux de tension, connectés entre elles dans des postes électriques. Les postes électriques permettent de répartir l'électricité et de la faire passer d'une tension à l'autre grâce aux transformateurs.

Un réseau électrique doit aussi assurer la gestion dynamique de l'ensemble production, transport, consommation, mettant en œuvre des réglages ayant pour but d'assurer la stabilité de l'ensemble et assurer la fonction « transport de l'énergie » sur les longues distances. Pour accomplir cette mission, un réseau HT, MT et BT de distribution électrique s'étendant sur toute la zone de Youssoufia sous forme de postes de transformation et lignes de transport d'énergie électrique destinée à l'usage industriel et social.

2-Présentation générale :

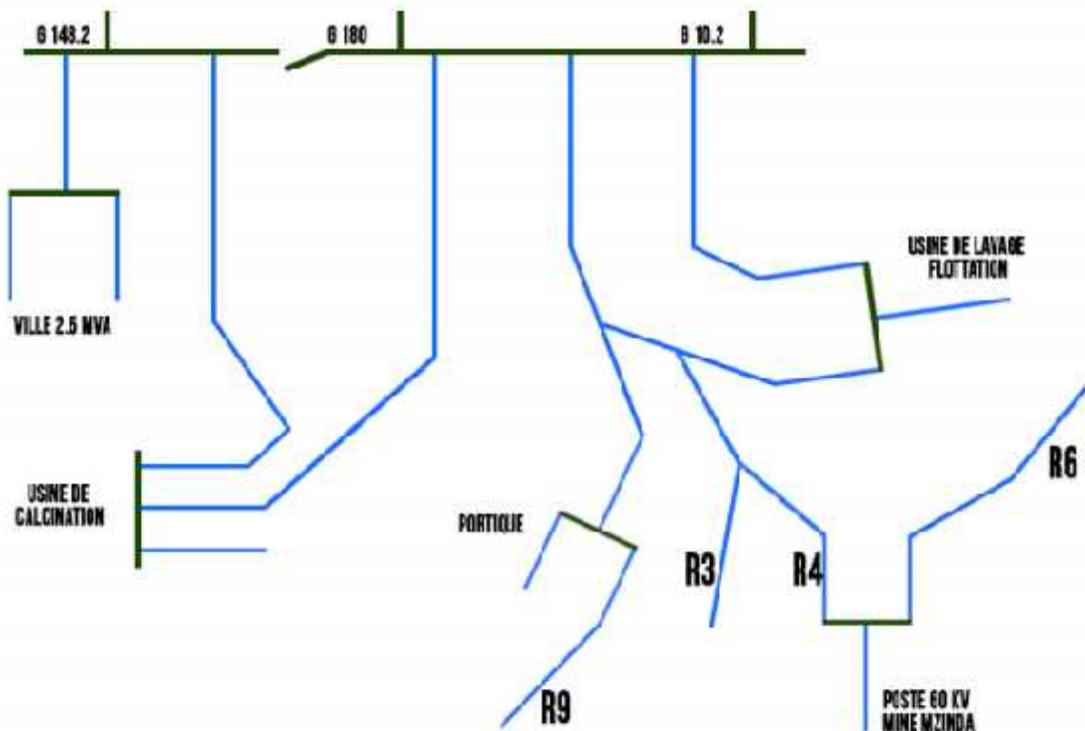
Dès que la pression demandée atteint 25MVA, les entreprises industrielles sont alimentées en haute tension 60KV (HTA).L'étendue amène à réaliser un réseau interne HTA. C'est le cas de l'usine de Laverie de Youssoufia, qui est alimentée électriquement en haute tension 60 KV, effectuée avec un poste électrique de transformation HTA/MT qui dispose de deux transformateurs 60KV/5,5KV, l'un assure l'alimentation principale et l'autre pour le secours au cas de détruite des câbles du transformateurs principales, panne de la cellule de l'arrivée normale ou dans le cas de maintenance.

Ce réseau est alimenté par trois lignes 60KV de l'O.N.E. Ces lignes en provenance de BOUGUEDRA et BENGUERIR sont interconnectées au niveau du poste de livraison « la sous-station » OCP. Le rôle de ce réseau électrique est d'acheminer l'énergie électrique fournie par l'O.N.E aux consommateurs (ville O.C.P – usines de traitement – recettes). C'est un réseau en antenne, avec des bouclages qui permettent d'assurer l'énergie secours en cas de défaillance d'une portion de ce réseau. S'il y a un problème au niveau d'une ligne l'autre intervient pour assurer la continuité du service.

Le tableau ci-dessous présente les principales caractéristiques des trois lignes ONE alimentant le réseau 60 KV de Youssoufia.

Désignation de la ligne	Provenance	Section (mm ²)	Nature des conducteurs	Puissance disponible (MVA)
Ligne : 148-2	Bouguedra	181,6	Al - Ac	10
Ligne : 180	Bouguedra	2 x 147	Al - Ac	37
Ligne : 10 - 2	Benguérir	60	Cu	10

i. schéma unifilaire du réseau actuel :



Il y a cinq axes principaux alimentant l'exploitation à partir de la sous-station :

- 1- ligne sous-station vers la ville.
- 2- ligne sous-station vers les recettes R3, R4 et R6.
- 3- ligne de sous-station vers la recette R9 à travers le portique.
- 4- deux lignes de sous-station vers l'usine calcination.

L'alimentation de la ville est assurée par deux transformateurs (2 X 2,5 MVA, 60/5,5 KV) couplés en parallèle et installés au niveau de la sous-station.

L'alimentation de l'usine de séchage est assurée par deux transformateurs (2 X 12,5 MVA, 60/5,5KV) couplés en parallèle mais non installés au niveau de la sous-station.

L'alimentation de la ville est assurée par deux transformateurs (2 X 2,5 MVA, 60/5,5 KV) couplés en parallèle et installés au niveau de la sous-station.

3-Description électrique d'usine :

Les postes électriques sont les nœuds du réseau électrique. Ce sont les points de connexion des lignes électriques. Les postes des réseaux électriques peuvent avoir 2 finalités :

-L'interconnexion entre les lignes de même niveau de tension : cela permet de répartir l'énergie sur les différentes lignes issues du poste ;

-La transformation de l'énergie : les transformateurs permettent de passer d'un niveau de tension à un autre.

i. Poste électrique PEL1 :

Ce départ est destiné à l'alimentation de l'usine Laverie par le biais d'une sous station, dont le but est d'avoir une tension moins faible de 5,5 KV grâce à deux transformateurs a bain d'huile.

Le réseau est maillé afin d'assurer une alimentation continue et permanente au Laverie au cas de problèmes ou de défaut dans l'installation et aussi lors d'effectuer des travaux de maintenance.

Protection des postes 60 KV /5,5 KV :

Le poste de transformation HT/MT installés au niveau de la Laverie est équipés d'un appareillage de protection et de coupure dont :

*Disjoncteur HPGE 9/12 a faible volume de huile

Les protections de transformateurs :

- Buchholz : Le relais Buchholz dans la protection des transformateurs de distribution : Le relais Buchholz est largement répandu dans la protection des transformateurs de distribution de forte puissance. Conçu pour détecter les bulles de gaz formées lors de défauts d'isolement à l'intérieur du transformateur, il permet de distinguer à l'aide de ses deux flotteurs les avaries de faible importance des avaries les plus sévères. Ces dernières peuvent provoquer l'explosion du transformateur et donc des dégâts considérables dans l'installation. L'animation proposée se donne pour objectif d'expliquer le principe de fonctionnement du relais Buchholz en simulant les différentes situations rencontrées.

- Thermostat

Les protections des cuves :

-RMA K410 : Relais à maximum de courant

-TA 1111 : Relais à maximum de courant

Les protections du neutre :

-TAH 1111 : Relais statique de terre résistante

-TAH 1110 : Relais statique de terre résistante

-TMAH : Relais statique de terre résistante

-RMVAH : Relais de terre résistante

Les protections ampérométriques :

-TMA311

-TA3111

-RSA10

Les protections des départs :

-TMA111 : Relais homopolaire

-TMA311.2a : Relais ampérométrique a temps inverse

Le Bilan de puissance des transformateurs 60KV/5,5KV est le suivant :

	Puissance nominale (MVA)	Tension de courant-circuit (V)	Impédance ramenée au primaire (K)	Impédance ramenée au secondaire(K)
Usine Laverie	12,5	6,02	86,688	0,728

L'impédance se calcule à partir de la tension Ucc exprimée en % :

$$Z_t = \frac{U_{cc}^2}{S_n} \text{ en (K}\Omega\text{)}$$

Avec :

S_n : Puissance apparente.

U : Tension à vide du transformateur composée.

Ucc : Tension qu'il faut appliquer au primaire du transformateur pour que le secondaire soit parcouru par l'intensité nominale In.

Défaut liée au transformateur :

Le départ 60 KV/5,5KV peut connaître des défauts relatifs au transformateurs, c'est ainsi qu'on parle des protections suivantes :

- Protection contre surcharge
- Protection contre court-circuit
- Protection homopolaire

a) Défaut de surcharge :

La formule qui permet de calculer le courant de surcharge Io est comme suit :

$$I_o = 1,1 * I_n$$

Avec :

In : Le courant nominal.

Pour les transformateurs de poste transformateur propre à Laverie, la valeur du courant nominal In dans le réseau est : In= 24A.

Ainsi le courant de surcharge est donc : Io= 26,4A

b) Défaut court-circuit :

L'expression du courant de court-circuit est donnée par l'expression :

$$I_{CC} = \sqrt{\quad}$$

Avec :

$$Z_{total} = 0,51j$$

Et finalement: Icc

c) Défaut de masse cuve :

C'est un défaut qui résulte d'un contact non voulu entre la cuve et le primaire du transformateur ou entre la cuve et le secondaire du transformateur. Donc il faut calculer les deux courants qui résultent de ces deux problèmes et prendre en considération la valeur la plus petite entre eux.

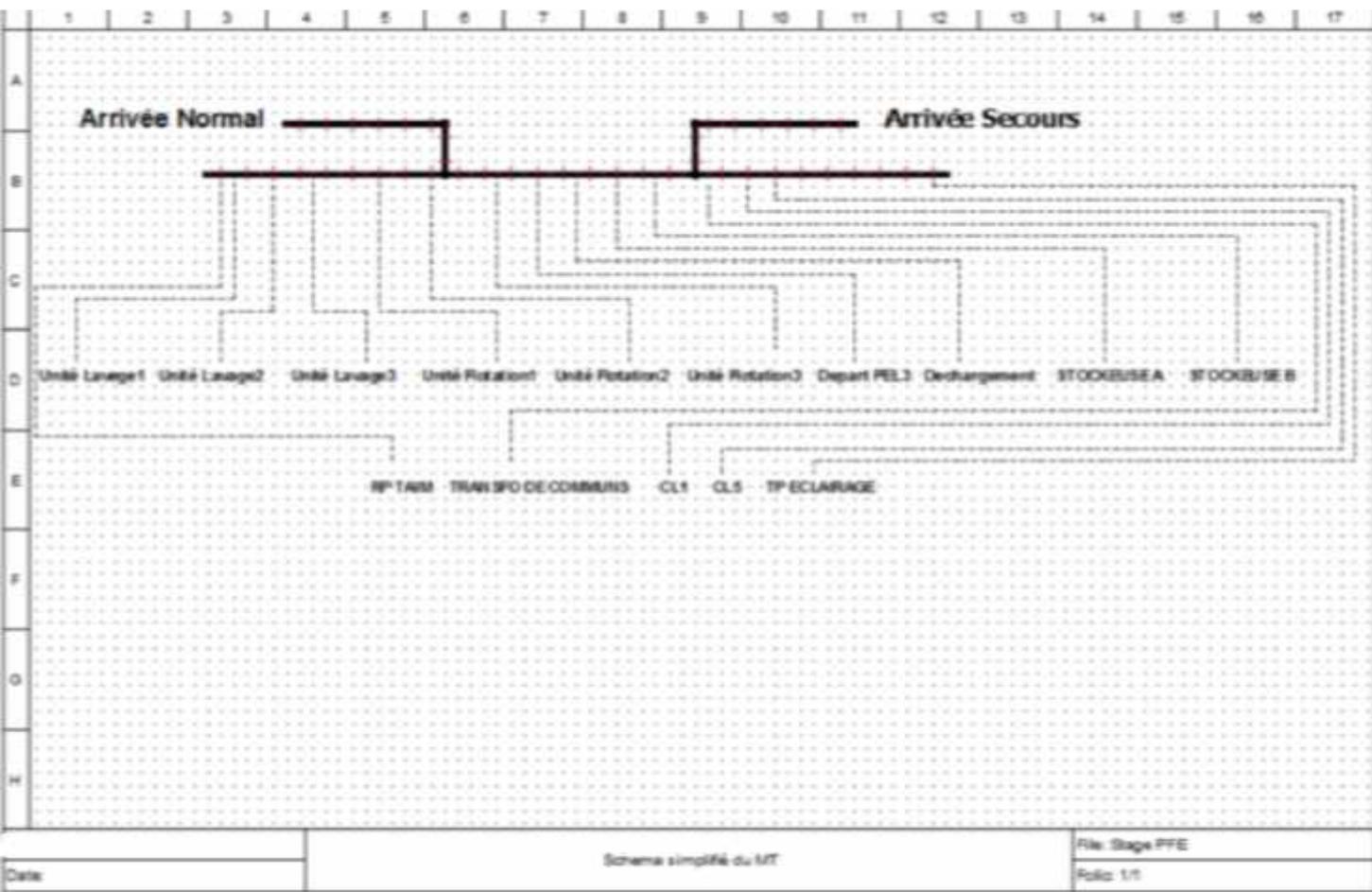
Application numérique :

Dans notre cas : $I_{max} = 275$

ii. Poste électrique PEL2 (MT) :

Outre qu' poste électrique PEL1, l'usine Laverie possède un poste électrique moyen tension (MT) qui se trouve au niveau de rez-de-chaussée de la locale salle de contrôle. Le poste MT contient 2 arrivées :

Une principale dite « Arrivée Normal » et une autre appelée « arrivée de secours » qui ont une JDB commun entre eux liée aux différentes cellules des départs qui sont divisée en 4 cellules de couplage.



Chaque cellule comporte un jeu de barre (JDB) responsable d'alimenter les composants propre à la cellule qui est commun entre toutes les cellules de couplage citée auparavant.

Caractéristique technique de la cellule :

Chaque cellule est de type UR-UT et possède les caractéristiques suivantes :

- Température air ambiant : Maxi 48°C – Mini 0°C
- Taux d'humidité : 75%
- Altitude : <1000m
- Tension de service : 5.5 KV
- Fréquence assignée : 50Hz
- Régime du neutre : Isolé
- Puissance de court-circuit : 500MVA
-

Composant cellule départ :

Chaque cellule est composée de trois armoires, de commande, de puissance et une de la mise à la terre.



1. Pour l'armoire de commande il est composé de plusieurs relais et disjoncteur modulaire, en plus de relais de température. A l'interface de cette armoire ce trouve :

❖ Relais IM30AP :

Relais numériques multi-courbes de la série M de Microener, ils sont ampérométriques et sont équipée d'une unité triphasée pour la détection des défauts monophasée.

Ce relais analyse les valeurs efficaces vraies des grandeurs électriques qu'il mesure, la faible consommation des unités de mesures leur permet d'être raccordées à des réducteurs de mesure de faible puissance, leur souplesse et leur convivialité.

❖ Nemo IME :

Ce sont des moniteurs d'alimentation du système entièrement programmable et le système de gestion de l'énergie de base microprocesseur. Il y compris la surveillance de l'énergie, il permet de mesurer et afficher la tension triphasée, courant, $\cos \phi$, la puissance (KW, KVA, KVAR), s'affichant sur un écran LCD retro éclairé de 4 lignes avec une communication série.

❖ Prise de courant ESSAILEC :

Installé dans le circuit et câblé au dispositif à tester au cours de son installation ou son entretien, la prise est faite avant coupure. Ils sont utilisés pour mesures étalonnage, distribution.

2. Pour l'armoire de puissance, qui reçoit la tension d'arrivée du dessous de la cellule et liée directement au Jeu de barre, est constituée :

❖ Disjoncteur :

Avec les caractéristiques suivantes : courant de charge assignée (pour arrêt / coupure 2000A, pour départ 1250A), pouvoir de fermeture assigné en court-circuit (63kA)

❖ Transformateur de courant :

Avec les caractéristiques suivantes : la tension assignée d'isolement 1250A, fréquence assigné 50 Hz, facteur de courant permanent $1.2I_n$

❖ Transformateur de tension :

Avec les caractéristiques suivantes : la tension assignée d'isolement 12kV, fréquence assignée 50Hz, facteur de tension branchement phase-terre $1.9U_n$

❖ Sectionneur de mise à la terre : Avec les caractéristiques suivantes : la tension assignée d'isolement 12kV, pouvoir de fermeture assigné en court-circuit 63kA.

Chapitre 4

Compensation de l'énergie réactive et Amélioration du cos

Chapitre IV : Sujet de stage

1-Etude sur la compensation d'énergie :

a- Introduction :

L'accroissement de l'efficacité énergétique un des principaux objectifs des politiques nationale. L'usage des équipements de compensation d'énergie réactive constitue un gisement d'économies, disposition qui réduirait sans délai et sensiblement la consommation énergétique et donc les émissions de CO₂.

Avec la compensation d'énergie réactive d'une installation, il est possible d'obtenir une situation dans laquelle seule la puissance active (utile) est transportée, tant dans les réseaux de transport et de distribution que dans les réseaux des clients.

b-Intérêt de compensation :

Les réseaux électriques à courant alternatif fournissent l'énergie apparente qui correspond à la puissance apparente. Cette énergie se décompose en deux formes d'énergie : l'énergie active, et l'énergie réactive.

L'énergie active (kW) résulte de la puissance active P (kW). Elle se transforme intégralement en puissance mécanique (travail) et en chaleur (pertes).L'énergie réactive (KVAR) sert essentiellement à la magnétisation des circuits des équipements électriques.

Pour les raisons évoquées ci-dessus, il est nécessaire de produire l'énergie réactive au plus près possible des charges, pour éviter qu'elle ne soit appelée sur le réseau. C'est ce qu'on appelle "compensation de l'énergie réactive". Pour inciter à cela et éviter de sur-calibrer son réseau, le distributeur d'énergie pénalise financièrement les consommateurs d'énergie réactive au-delà d'un certain seuil.

Les avantages apportés par la compensation d'énergie réactive sont tels qu'ils permettent d'obtenir très rapidement un retour sur l'investissement consenti.

Ces avantages sont les suivants :

- Suppression de la facturation des consommations excessives d'énergie réactive
- Réduction de la puissance souscrite en KVA
- Diminution de l'énergie active consommée en kWh (réduction des pertes Joule)
- Réduction de la chute de tension : La circulation de courants réactifs est responsable de chutes de tension le long des lignes d'alimentation. Celles-ci sont préjudiciables au bon fonctionnement

des récepteurs même si la tension en tête de ligne est correcte. La présence d'une batterie de condensateurs en bout de ligne en permettra la diminution.

Le maintien relatif de la tension en bout de ligne est défini par la formule suivante :

$$\Delta U(\%) \approx XL.Q/U^2$$

Dans laquelle :

XL : réactance de la ligne

Q : puissance réactive de la batterie de condensateurs

U : tension réseau

Diminution des pertes en ligne à puissance active constante :

Les pertes dues à la résistance des conducteurs sont intégrées dans la consommation enregistrée par les compteurs d'énergie active (kWh). Elles sont proportionnelles au carré du courant transporté et diminuent au fur et à mesure que le facteur de puissance augmente.

c- Objectif du projet à base de la méthode SMART :

Un objectif es un résultat mesurable attendu a une échéance précise grâce à la mise en ouvres d'actions approprié.

Formulation des objectifs



L'objectif doit être simple, concret et précis !

Afin d'atteindre l'objectif principal du projet, on a pensé à travailler avec la méthode SMART. SMART qui signifie « intelligent » en anglais, est principalement conçu pour simplifier la méthodologie de formulation d'un objectif en appliquant 5 bonnes pratiques dont chacune est symbolisée par une lettre du mot SMART. C'est donc un moyen mnémotechnique pour se rappeler 5 mots :

- **Spécifique** : Un objectif qui n'est pas précis est considéré comme une bonne intention et non pas comme vrai objectif. L'objectif doit être clair, précis, détaillé et compréhensible, il sera ainsi plus facilement mesurable.
- **Mesurable** : Il faut pouvoir mesurer l'état d'avancement afin d'être soit plus motivé, soit heureux d'avoir atteint son objectif et motivé pour le prochain.
- **Atteignable** : Il est important de ne pas mettre la barre trop haut. Mieux vaut avoir plusieurs petits objectifs qu'un énorme qui sera difficilement accessible ou de très longue haleine.
- **Réaliste** : Il faut que l'objectif soit réaliste pour que la motivation soit forte.
- **Temporellement défini** : L'objectif doit être défini dans le temps avec une durée précise. C'est la seule manière de garder sa motivation et de savoir si on a atteint ou pas son objectif.

❖ **Cas de notre projet « compensation de l'énergie réactive de l'usine Laverie » :**

Durant la période de notre stage du 01/04/2015 au 31/05/2015, on va essayer de faire augmenter le facteur de puissance $\cos(\phi)$ de 0,85 à 0,92 (réduire la puissance réactive dissipée) de l'usine Laverie Youssoufia grâce à une étude basée sur la compensation par condensateur.

- **Spécifié** : Compensation par condensateur, augmenter facteur de puissance.
- **Mesurable** : de 0,85 à 0,95
- **Situé dans le temps** : Durant la période du stage
- **L'étude de réalisabilité et l'atteignable** sera faite dans la partie de « **Principe de compensation** ».

d- Principe de compensation :

i. Problématique

Les charges présentés sur le réseau électrique consomment une certaine quantité de puissance active mais également une part plus ou moins importante de puissance réactive selon leurs types et leurs caractéristiques. Cette puissance réactive appelée est en partie fournie par les groupes de productions connectés au réseau de transport ou encore par des dispositifs de compensations d'énergie réactive. Cependant, le transit de puissance réactive n'est pas idéal. En effet, pour ce niveau de tension, les lignes ont un caractère plus inductif que résistif, le transit de puissance réactive induit donc de forte chute de tension. De plus, le fait de faire transiter de la puissance réactive dans une ligne diminue la puissance active maximale transmissible par celle-ci, Ainsi le contrôle de la tension sur un réseau s'effectue non seulement par les groupes de productions pour les réseaux HTB, mais aussi par des dispositifs de compensation de puissance réactive, placés au plus près de la consommation pour éviter les transits élevés de puissance réactive dans le réseau de transport vers le réseau de distribution.

La solution à tous ces problèmes consiste à installer au niveau du transformateur (primaire ou secondaire) ou par atelier, des batteries de condensateurs qui vont neutraliser cette énergie réactive en s'y opposant. Le retour d'investissement est en général rapide dans une installation électrique, de l'ordre de 1 à 3 ans. Ce sont des générateurs d'énergie réactive, qui jouera le rôle de stabilisateurs de la tension électrique. Pour ce faire, ces derniers devront être placés le plus près possible des charges consommatrices au sein de l'installation électrique. La compensation d'énergie s'effectue alors sur la partie basse tension du réseau électrique, ou sur la partie moyenne tension pour les installations électrique plus puissantes.

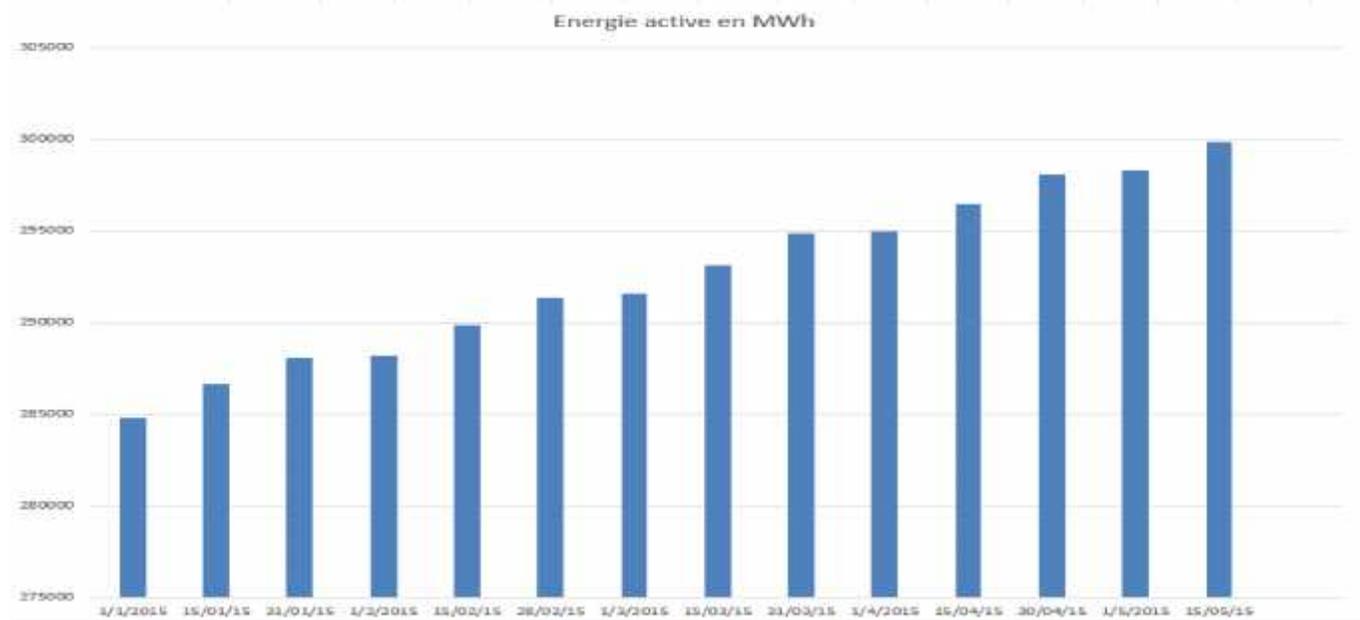
Le coût de ces batteries de condensateurs dépend de plusieurs paramètres dont :

- La puissance installée.
- Le niveau de tension.
- Le fractionnement en gradins.
- Le mode de commande.
- Le niveau de qualité de la protection.

ii. Etude critique sur la consommation d'énergie

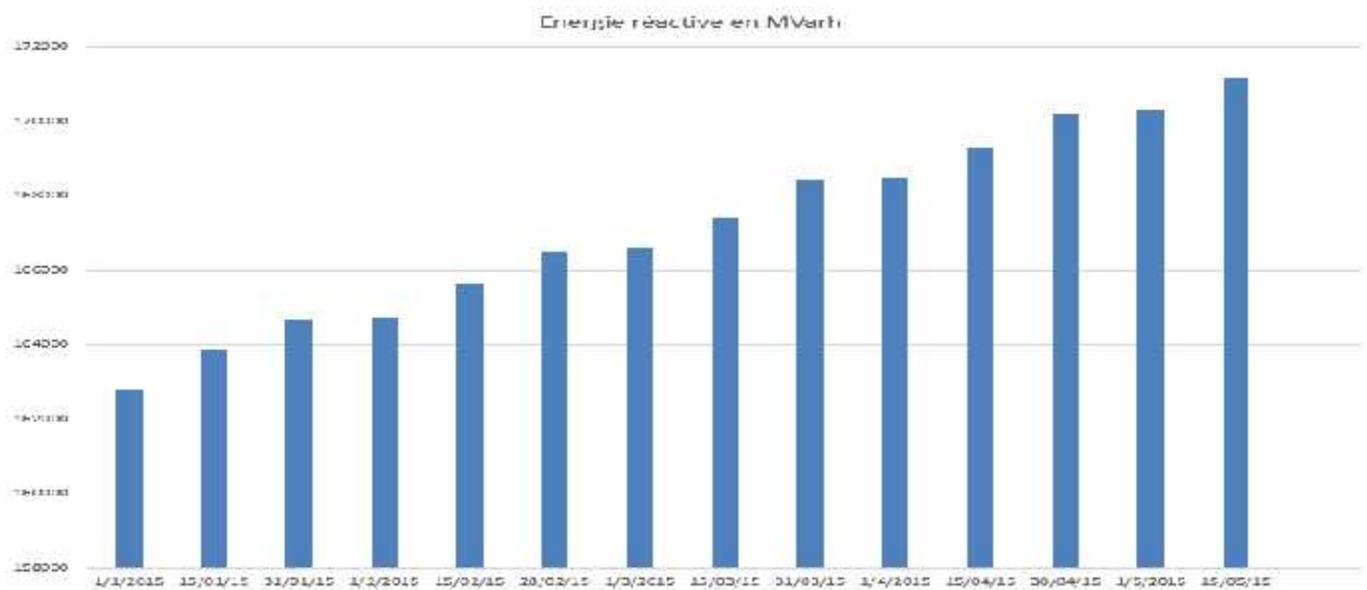
Pour faire cette étude, nous avons besoin de tracer un tableau de consommations d'énergie active et réactives, pour cela nous avons utilisé les informations et les caractéristiques indiqués dans l'archive avant notre arrivée et le reste nous avons fait un relevé de puissance journaliers sur toute les machines installées au niveau du poste moyen tension PEL 2 ,suite a ceci nous avons calculer la somme des puissances des machines afin d'obtenir ce tableau et le graphe représentatif de l'énergie consommée durant les cinq mois de l'année 2015 :

Date	1/1/2015	15/01/15	31/01/15	1/2/2015	15/02/15	28/02/15	1/3/2015	15/03/15	31/03/15	1/4/2015	15/04/15	30/04/15	1/5/2015	15/05/15
Energie active en MWh	284789.79	286654	288085	288195.6	289843	291324	291570.1	293130	294853	294943.9	296478	298091	298326	299879



Le tableau et le graphe représentatif de l'énergie réactive consommée durant cinq mois de l'année 2015 :

Date	1/1/2015	15/01/15	31/01/15	1/2/2015	15/02/15	28/02/15	1/3/2015	15/03/15	31/03/15	1/4/2015	15/04/15	30/04/15	1/5/2015	15/05/15
Energie réactive en MVarh	162821.25	163849	164660	164721.2	166640	166485	166610.8	167358	168407	168460.8	169306	170184	170714	171171



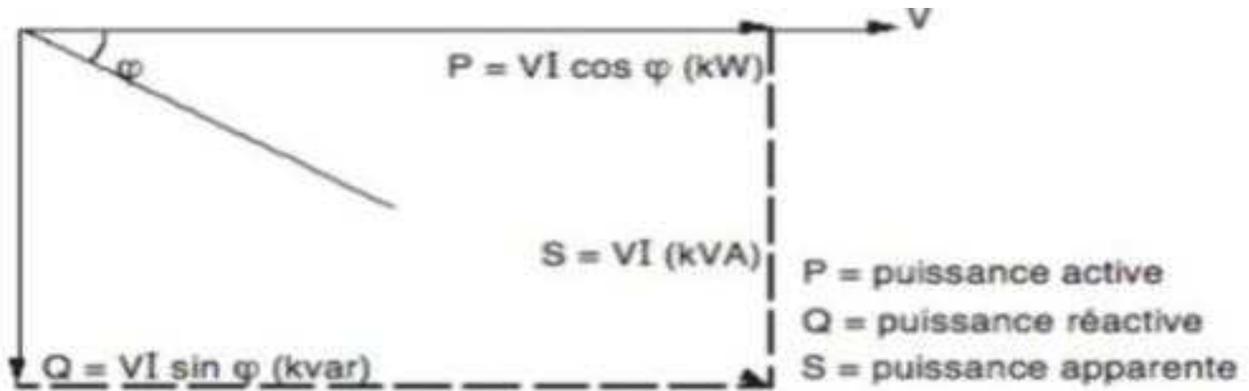
iii. Problème dû à la circulation de l'énergie réactive sur le réseau

Tous les appareils et machines à induction (c'est à dire à champs électromagnétiques) convertissent l'énergie fournie par le réseau d'alimentation en énergie mécanique (travail) et chaleurs (pertes). Cette énergie est mesurée par des wattmètres en kWh, et est appelée énergie « active ». Afin de réaliser cette conversion, des champs magnétiques doivent être créés dans la machine, et ces champs sont associés à une autre forme d'énergie à fournir par le réseau d'alimentation appelée énergie « réactive ».

En pratique les composantes réactives des courants des charges dans un réseau sont toujours inductives et, de plus, les impédances des réseaux de transport et de distribution sont à prédominance réactive de type inductif. La somme de tous ces courants inductifs circulant dans une réactance inductive produit la pire des conditions possibles pour la chute de tension (c'est à dire en opposition de phase complète avec le système de tensions).

Pour ces raisons (pertes et chute de tension dans le réseau de transport), les distributeurs d'énergie réduisent la valeur du courant réactif le plus possible. Les courants réactifs capacitifs produisent l'effet inverse sur les tensions : ils produisent des élévations de tension dans les réseaux de distribution. La puissance réactive de type inductif est conventionnellement comptée positivement (+Q), la puissance réactive de type capacitif est conventionnellement comptée négativement (-Q). La puissance apparente S (en kVa) est la somme vectorielle de P et Q.

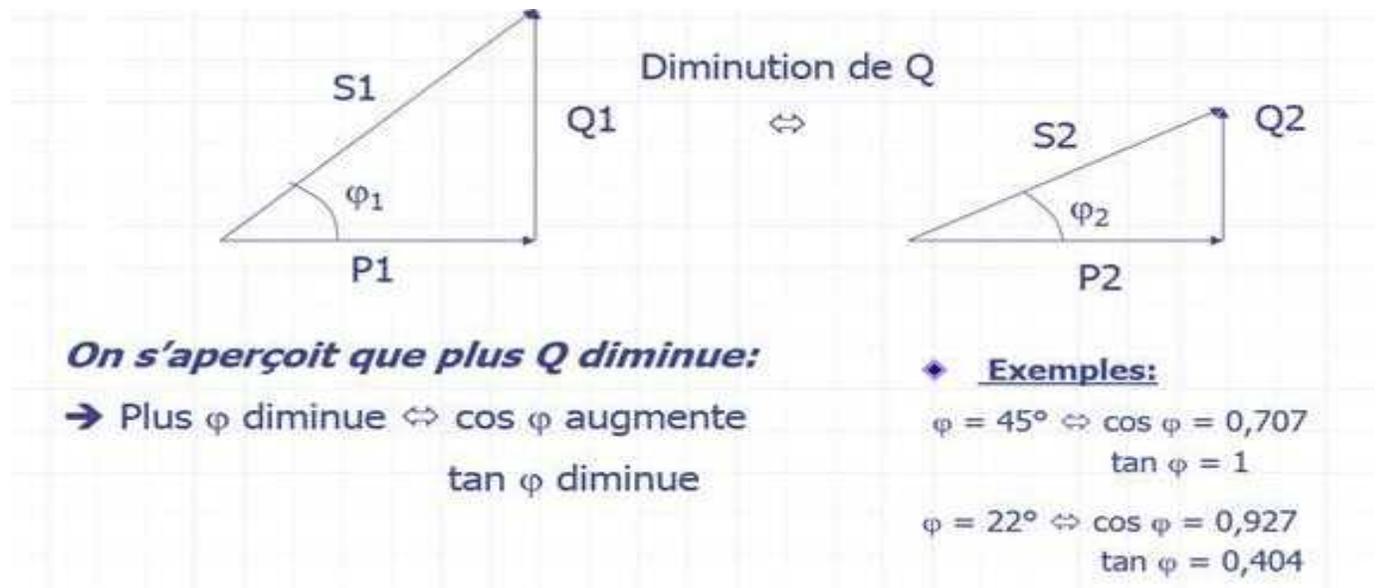
Diagramme de puissance:



La relation qui lie ces puissances est:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

On peut donc représenter ces puissances sous forme d'un triangle rectangle:



On peut conclure que la fourniture d'énergie réactive est facturée en plus de celle de l'énergie active :

- parce qu'elle surcharge les lignes et les transformateurs

- parce qu'elle peut être produite localement, chez l'abonné, par des générateurs d'énergie réactive (batteries de condensateurs).

iv. Récepteurs consommateurs d'énergie réactive

Tous les récepteurs fonctionnant en courant alternatif qui comportent des dispositifs électromagnétiques ou des enroulements couplés magnétiquement, consomment plus ou moins des courants réactifs pour créer les flux magnétiques. Les plus communs de ces récepteurs sont les transformateurs (et les réactances), les moteurs et les lampes à décharge (avec ballasts magnétiques). La proportion de puissance réactive (KVAR) par rapport à la puissance active (kW) pour un fonctionnement à pleine charge du récepteur, dépend du type de récepteur : 65 à 75 % pour les moteurs asynchrones, 5 à 10 % pour les transformateurs.

RÉCEPTEUR		COS φ	TG φ
Moteurs asynchrones ordinaires chargés à	0 %	0,17	5,80
	25 %	0,55	1,52
	50 %	0,73	0,94
	75 %	0,80	0,75
	100 %	0,85	0,62
Lampes à incandescence		env. 1	env. 0
Lampes fluorescentes		env. 0,5	env. 1,73
Lampes à décharge		0,4 à 0,6	env. 2,29 à 1,33
Fours à résistances		env. 1	env. 0
Fours à induction compensée		env. 0,85	env. 0,62
Fours à chauffage diélectrique		env. 0,85	env. 0,62
Machines à souder à résistance		0,8 à 0,9	0,75 à 0,48
Postes statiques monophasés de soudage à l'arc		env. 0,5	env. 1,73
Transformateurs-redresseurs de soudage à l'arc		0,7 à 0,9	1,02 à 0,48
		0,7 à 0,8	1,02 à 0,75
Fours à arc		0,8	0,75
Redresseurs de puissance à thyristors		0,4 à 0,8	2,25 à 0,75

v. Les harmoniques :

Les dispositifs générateurs d'harmoniques sont présents dans tous les secteurs industriels tertiaires et domestiques. Les harmoniques sont le fait de « charges non linéaires », charges à impédance non linéaire. Les charges non linéaires existent depuis longtemps sur les réseaux électriques particulièrement dans l'industrie : courant magnétisant des transformateurs, four à arc etc... Mais depuis l'avènement de l'électronique de puissance celles-ci se sont généralisées variateurs de vitesses, etc. mais aussi éclairage (lampes à ballast) etc.

La présence de composantes harmoniques de courant crée des déformations de la tension d'alimentation c'est à dire plus le courant comporte des composantes harmoniques, plus la déformation de la tension est importante.

*Les effets du courant harmonique :

- Echauffement du transformateur
- Echauffement du câble du neutre
- Déclenchement intempestif des protections
- La destruction des cartes électroniques
- Claquage des condensateurs

e-Etude sur les types de compensations d'énergie réactive :

On constate que le facteur de puissance actuel est insuffisant car il est inférieur à 0.85 donc dans cette partie notre objectif sera l'amélioration de $\cos \phi$ à l'aide des capacités à déterminer afin d'obtenir un facteur de puissance proche de 0.99.

On utilisera les relations suivantes :

$$Q' = Q - Q_c$$

$$P = P'$$

On donne les valeurs de :

$$\cos \phi = 0.85$$

$$\cos \phi' = 0.96$$

$$Q_c = P * (\tan \phi - \tan \phi')$$

$$Q_c = P (0.53 - 0.32) = 298 \text{ KVAR}$$

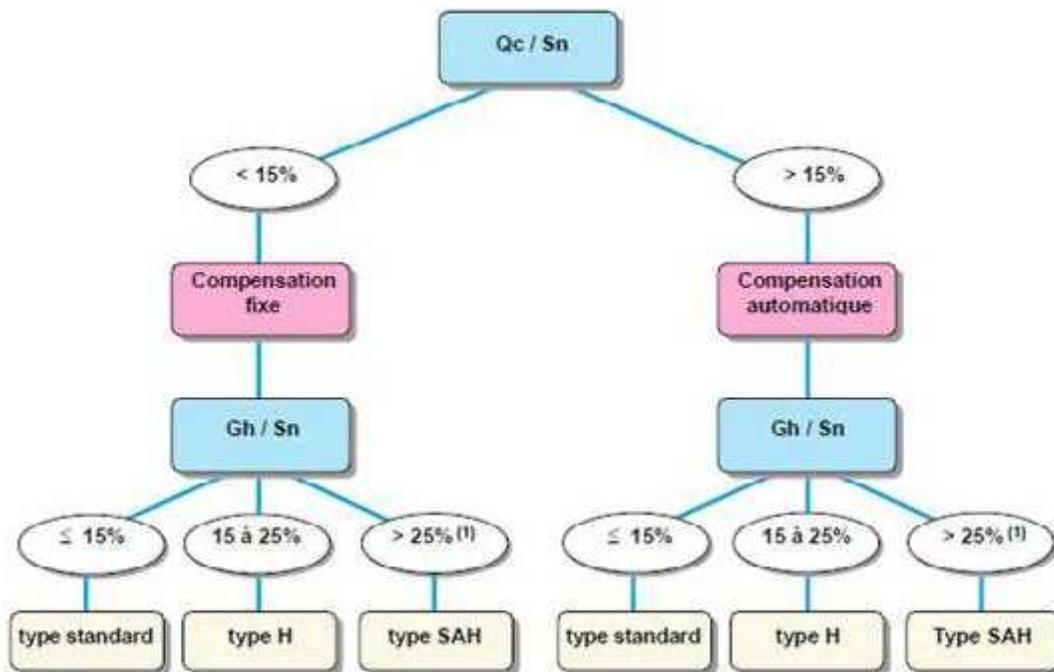
Alors il faudra rajouter un condensateur de :

$$Q_c = 3 C \omega U^2$$

$$\text{Donc } C = \frac{Q_c}{3 \omega U^2}$$

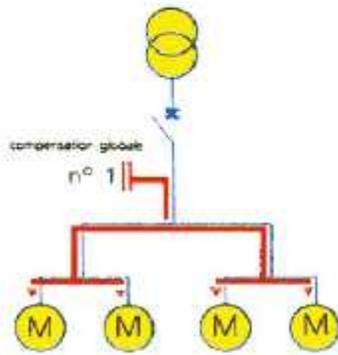
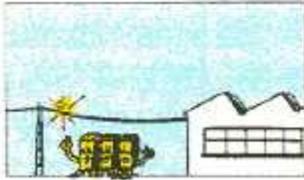
$$C = \frac{3 * 298}{3 * 50 * 5500^2} = 98.21 \mu\text{F}$$

Donc, la compensation fixe est la solution efficace pour notre cas. Puisque on agit sur le facteur de puissance pour l'améliorer d'une valeur inférieure à une valeur supérieure à l'aide des capacités.



f- Où installer une batterie de condensateur ?

aux départs BT
position n° 1



compensation globale

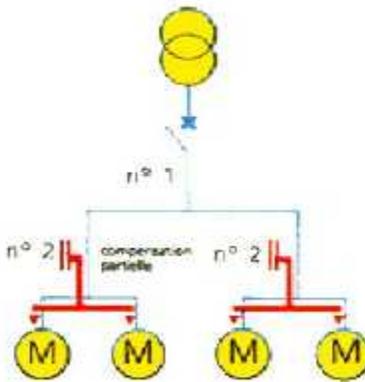
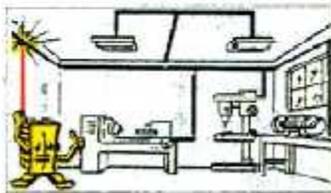
Intérêts :

- ajuste le besoin réel de l'installation kW à la souscription de la puissance apparente (S en kVA),
- soulage le poste de transformation (puissance disponible en kW).

Remarques

- le courant réactif (I) est présent dans l'installation du niveau 1 jusqu'aux récepteurs,
- les pertes par effet Joule dans les câbles ne sont pas diminuées (kWh),
- le facteur de puissance est variable suivant le nombre de machines en service.

à l'entrée de chaque atelier
position n° 2



compensation partielle

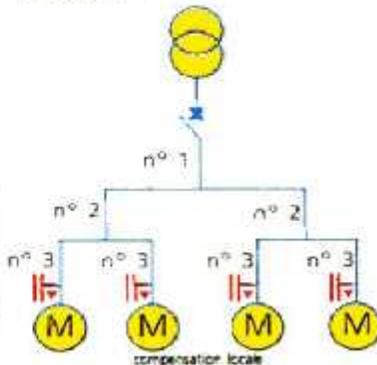
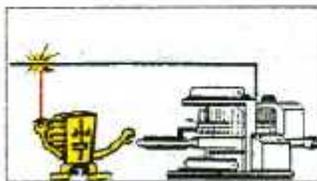
Intérêts :

- optimise une partie du réseau, le courant réactif n'est pas véhiculé entre les niveaux 1 et 2,
- soulage le poste de transformation (puissance disponible en kW).

Remarques

- le courant réactif (I) est présent dans l'installation du niveau 2 jusqu'aux récepteurs,
- les pertes par effet Joule dans les câbles sont diminuées (kWh),
- le facteur de puissance est variable suivant le nombre de machines en service.

aux bornes des récepteurs de type inductif
position n° 3



compensation locale

Intérêts :

- optimise tout le réseau électrique. Le courant réactif (I) est fourni à l'endroit de sa consommation,
- soulage le poste de transformation (puissance disponible en kW).

Remarques

- le courant réactif n'est plus présent dans les câbles de l'installation,
- les pertes par effet Joule dans les câbles sont totalement supprimées (kWh),
- le nombre de batteries de condensateurs est dans ce cas plus important, il en résulte un investissement généralement plus élevé.

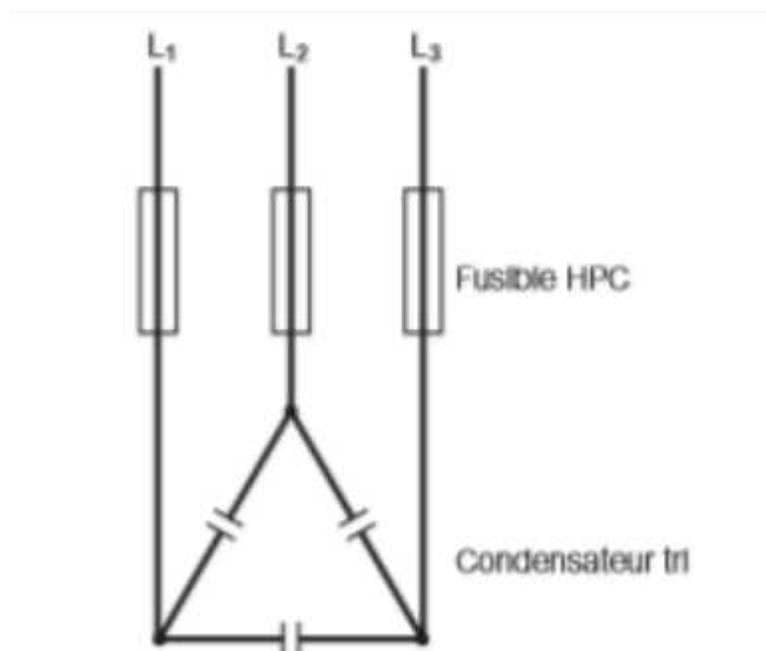
CÂBLAGE DES BATTERIES :

Câblage des batteries de condensateurs H.T. Le condensateur H.T. « tout film » se présente généralement sous la forme d'un appareil monophasé (ou TRI pour des tensions maxi de 12 kV).

Pour constituer des batteries de puissance importante, il existe plusieurs possibilités de câblage ou connexion par association de condensateurs unitaires.

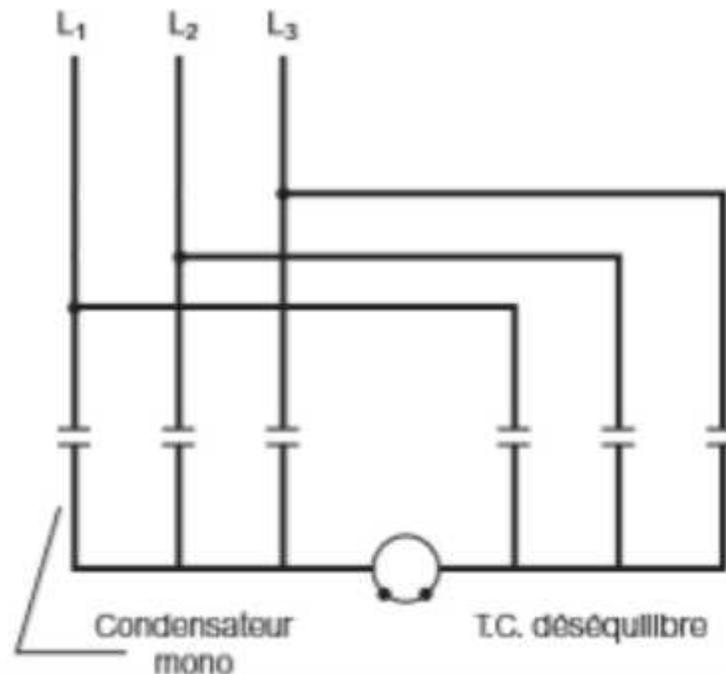
❖ Câblage triangle:

Ce type de câblage est utilisé pour des batteries de faible puissance et de tension nominale inférieure à 12 kV. Ces batteries sont en principe destinées à la compensation directe aux bornes des moteurs H.T. Le (ou les) condensateur(s) sont généralement triphasés.



❖ Câblage double étoile:

Ce type de câblage convient aux batteries de toutes puissances et tensions (les condensateurs monophasés sont soumis dans ce cas à la tension simple). Une protection de déséquilibre (transformateur et relais de courant) contrôle en permanence l'intensité de déséquilibre, entre les deux points neutres et provoque en cas de défauts internes d'un condensateur, l'ouverture de l'organe de manœuvre de la batterie.



❖ Câblage en H :

Ce type de câblage est destiné aux batteries H.T. monophasées et aux batteries triphasées T.H.T. de grande puissance. Dans le cas des batteries triphasées, le déséquilibre est contrôlé sur chaque phase. Ce système de contrôle du déséquilibre s'applique indifféremment à des batteries étoile ou triangle.

2-Amélioration de facteur de puissance 60KV :

Amélioration → augmenter le taux de disponibilité d'une machine

Le réseau électrique, en tant qu'il consomme de l'énergie, peut aussi occasionner une perte d'énergie significative. Pour éviter le gaspillage, il faut donc penser à améliorer le facteur de puissance.

a. Principes théoriques :

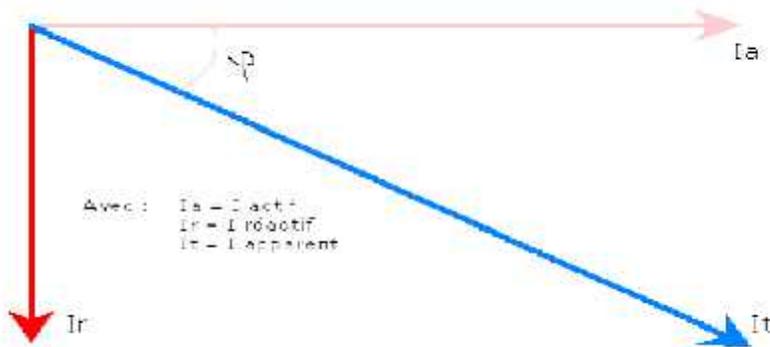
Nous venons de voir que tous les moteurs et tous les appareils fonctionnant en courant alternatif et comprenant un circuit magnétique absorbent deux formes d'énergie :

- Une énergie dite active, qui se manifeste par un travail d'un moteur.
- une énergie dite réactive, qui ne sert qu'à aimanter le fer du circuit magnétique.

A chacune de ces énergies correspond un courant actif (I_a), en phase avec la tension du réseau et un courant réactif (I_r), appelé aussi courant magnétisant. Celui-ci étant déphasé de 90° en arrière par rapport au courant actif. Les deux courants actif et réactif se composent vectoriellement pour

former le courant apparent, déphasé d'un angle Phi par rapport au courant actif. Ce courant dit apparent est cependant bien réel, puisque c'est celui qui parcourt les divers conducteurs du circuit, depuis la source jusqu'au récepteur inclus, et qui provoque entre autre l'échauffement de ces conducteurs, donc les pertes d'énergie par effet joule.

Représentation des courants par FRESNEL :



$P = U.it.Cos \Phi$

$Q = U.it.Sin \Phi$

$S = U.it$

$Ia = It.Cos \Phi$ donc

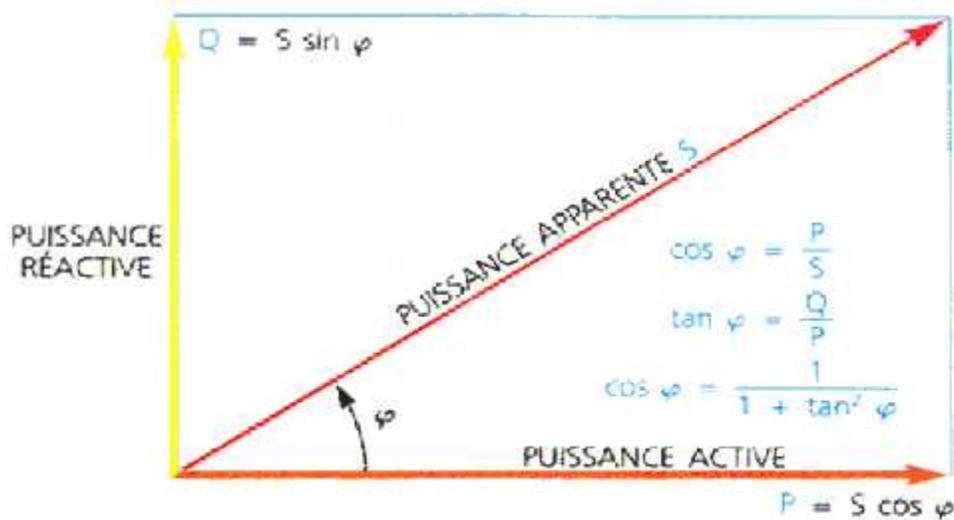
$Ir = It.Sin \Phi$ donc

$It = Ir/Sin \Phi$

Nous pouvons donc écrire :

- $P = U.Ia$
- $Q = U.Ir$
- $S = U.It$

De cela nous pouvons donc voir qu'il est très simple de retranscrire le diagramme des courants donné précédemment par le diagramme suivant :



On constate aussi que :

$$P^2 + Q^2 = S^2$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

« Le facteur de puissance est la proportion de la puissance réactive à la puissance apparente. »

b .Importance de facteur de puissance pour le distributeur :

Par définition le facteur de puissance -autrement dit le $\cos \phi$ d'un appareil électrique- est égal au rapport de la puissance active P (kW) sur la puissance apparente S (kVA) et peut varier de 0 à 1.

$$\cos \phi = \frac{P \text{ (kW)}}{S \text{ (kVA)}}$$

Il permet ainsi d'identifier facilement les appareils plus ou moins consommateurs d'énergie réactive.

Un facteur de puissance égal à 1 ne conduira à aucune consommation d'énergie réactive (résistance).

Un facteur de puissance inférieur à 1 conduira à une consommation d'énergie réactive d'autant plus importante qu'il s'approche de 0 (inductance). Donc dans une installation électrique, le facteur de puissance pourra être différent d'un atelier autre les appareils installés et la manière dont ils sont utilisés (fonctionnement à vide, pleine charge...).

Un bon facteur de puissance permet d'optimiser une installation électrique et présente de nombreux avantages :

- Diminution de la facture d'électricité en évitant la consommation d'énergie réactive au-delà de la franchise allouée par le distributeur (40% de l'énergie active consommée) et ($S > 250\text{kVA}$).
- Réduction de la puissance souscrite en KVA ($36\text{kVA} < S < 250\text{kVA}$).
- Diminution de la section des câbles.
- Diminution des pertes en ligne.
- Réduction de la chute de tension.
- Augmentation de la puissance disponible du transformateur.

Un bon facteur de puissance c'est :

- $\cos \phi$ élevé (proche de 1) ,
- ou $\text{tg } \phi$ faible (proche de 0).

🇫🇷 Valeurs de facteurs de puissance Durant les cinq mois de l'année 2015 :

Date	1/1/2015	15/01/15	31/01/15	1/2/2015	15/02/15	28/02/15	1/3/2015	15/03/15	31/03/15	1/4/2015	15/04/15	30/04/15	1/5/2015	15/05/15
facteur de puissance	0.87	0.88	0.86	0.86	0.87	0.86	0.87	0.87	0.88	0.81	0.86	0.88	0.88	0.87

Nous constatons une diminution de facteur de puissance , cela est du à l'augmentation de l'énergie réactive qu'on a déjà remarquer precedemment , suite à ceci il faut améliorer le facteur de puissance affin de reduire les effets de la circulation de l'énergie réactive sur l'installation à 'aide des capacités ainsi qu'une correction des harmoniques soit par des filtres sélectifs ou par des selfs anti-harmoniques mise en service d'un condensateurs en tension pour éviter son claquage.

Conclusion

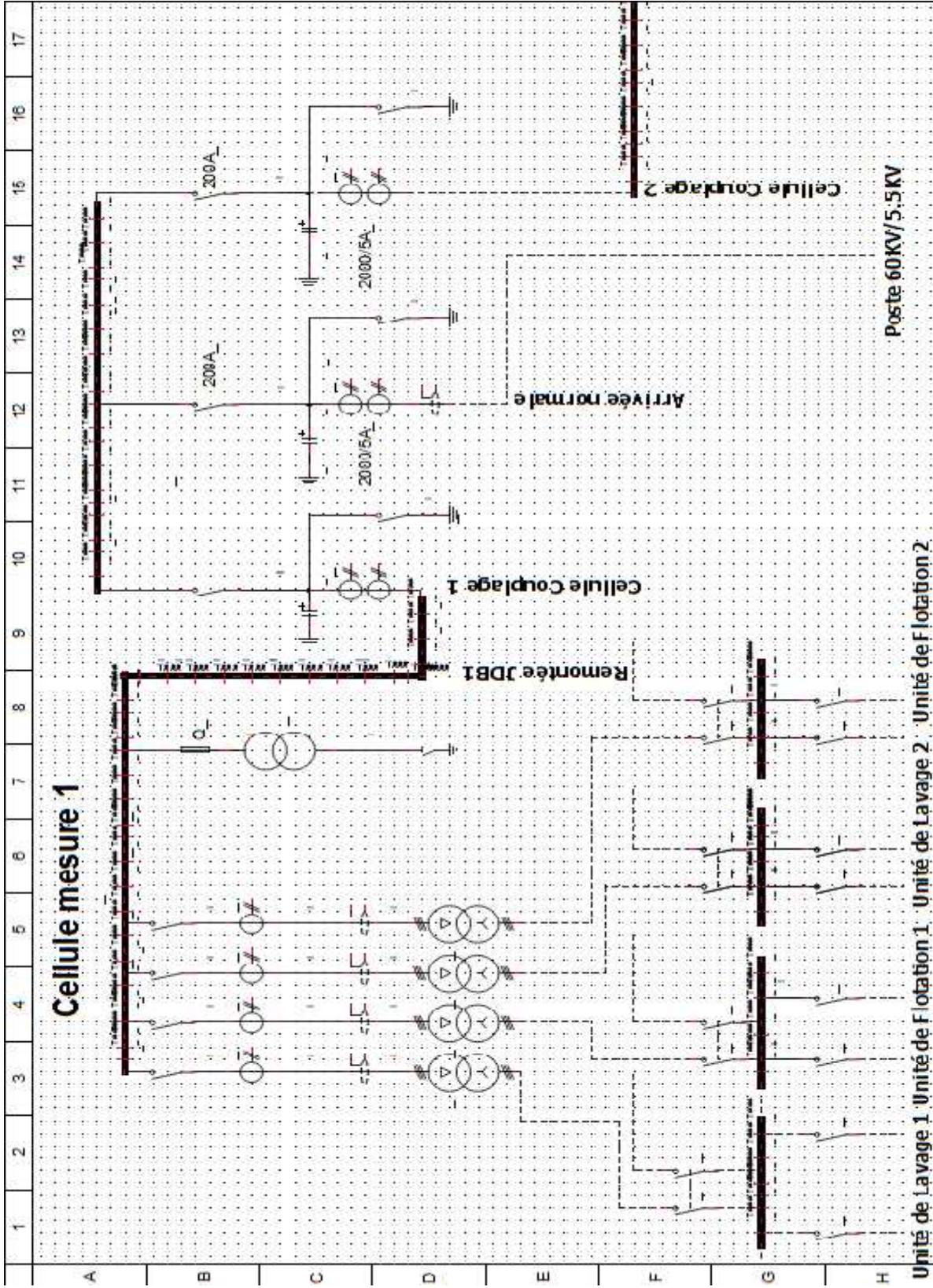
Durant ce stage, nous avons pu toucher de près un autre monde très différent de celui des études, c'est le monde du travail. Nous avons pu apprendre que le travail à des exigences, des devoirs et des priorités à respecter. C'est aussi une occasion qui nous a permis d'accumuler quelques nouvelles connaissances et d'élargir le cercle de notre expérience.

En outre ce stage nous a permis de mettre en œuvre des connaissances que nous avons acquies tout au long de cette année, il ne s'agit pas que des connaissances techniques, mais aussi celles liées aux techniques de communication et de gestion. Maintenant que notre rapport touche à sa fin, nous aimerions bien mettre l'accent sur cette expérience qui nous a été enrichissante pour notre formation, nos connaissances et même pour notre personnalité et nos ambitions en vers notre formation et les progressions qu'elle peut apporter au domaine de travail.

Pour conclure, ce stage vient comme une période d'observation qui nous a permis d'avoir une idée sur le monde de travail.

ANNEXE

Schéma Electrique du Moyen Tension (MT) :

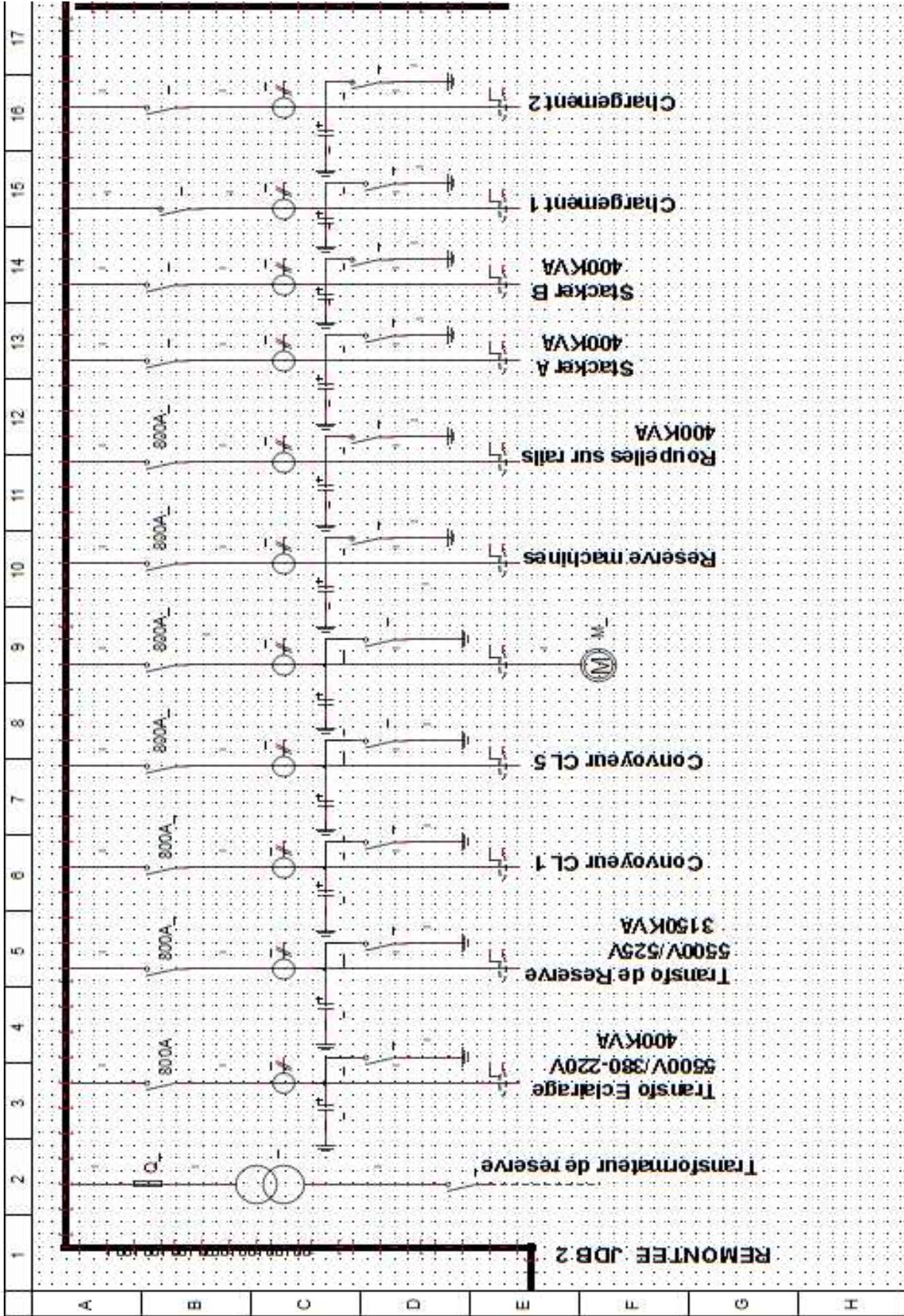


Author:

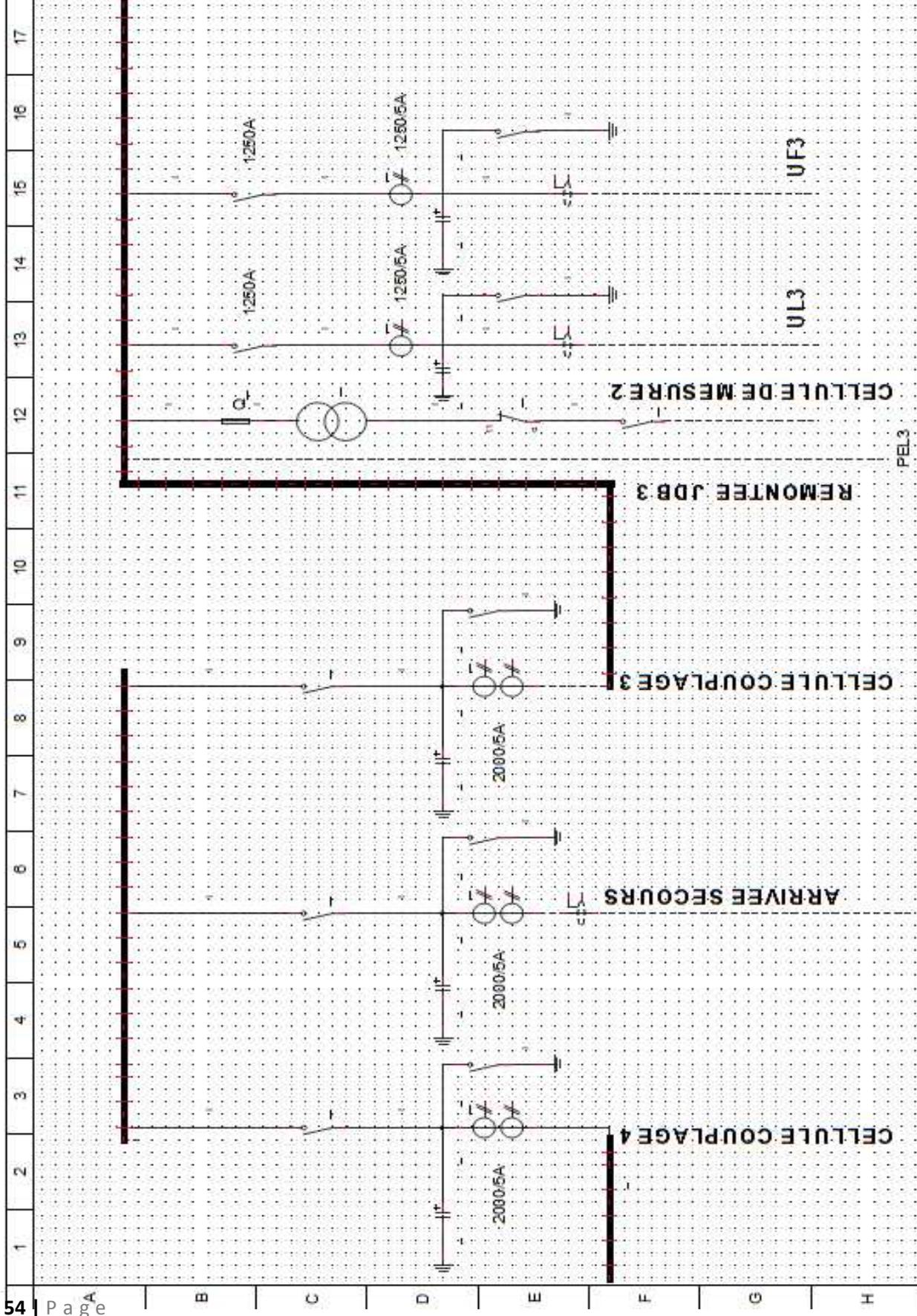
Date:

File:

Folio: 1/1



REMONTÉE JDB 2



Author:

Date:

File:

Folio: 1/1

Bibliographie

<http://www.schneider-electric.fr/documents/enseignement/intersection-guides/GT16-compensation-energie-reactive.pdf>

http://ww2.ac-poitiers.fr/electrotechnique/IMG/pdf/guide_technique-compensation.pdf

http://circuitor.com/docs/MitjaTensio_FR_Cat.pdf

http://en.wikipedia.org/wiki/SMART_criteria