

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
NIVERSITE A. MIRA-BEJAIA

FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ÉLECTRIQUE
MEMOIRE DE FIN DE CYCLE



Présenté en vue de l'obtention du diplôme :

MASTER EN ELECTROTECHNIQUE

Spécialité :

ELECTROTECHNIQUE INDUSTRIELLE

Thème

**Etude et dimensionnement des batteries de compensation de
l'énergie réactive au sein de l'unité de conditionnement du
sucre CEVITAL**

Réalisé par :

Mr. KERAUCHE Lounis

Mr. GUEDJALI Hanine

Encadré par:

Mr. M.HERZINE

Mr. M. BOUDOUSE

Promotion 2019

Remerciements

Nous tenons d'abord, à remercier le bon dieu qui nous a donnés la force, le courage et la foi pour accomplir ce stage au sein de CEVITAL.

Nous remercions notre promoteur Mr M .HERZINE pour avoir acceptés de nous encadrer, mais également pour son aide et ces conseils.

Nous tenons aussi à remercier Mr M .BOUDOUSE pour nous avoir encadrés et nous avoir donné toutes les informations nécessaires pendant ce stage au complexe CEVITAL.

Nous remercions aussi tout le personnel de l'unité de conditionnement de sucre surtout Mr N.ADJET de nous avoir soutenus pour accomplir ce stage au sein de CEVITAL.

Enfin, que tous ceux et celles qui nous ont aidé et soutenus durant tout notre parcours trouvent ici l'expression de nos remerciements les plus sincères.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents qui m'ont beaucoup aidés et qui se sont sacrifiés pour mon bien et qui m'ont encouragé et soutenu le long de ma vie et particulièrement mon cursus ;

A mes frères et sœurs

A tous mes amis sans exception ;

A tous les enseignants et enseignantes du département électrotechnique ;

A toute la promotion D'électrotechnique.

LOUNIS

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail Aux être les plus chères, mes parents, mes trois frères qui ont étaient à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études.

L'expression de ma profonde gratitude pour tout ce qu'ils ont consenti d'efforts et de moyens pour me voir réussir dans mes études.

A tous mes amis avec qui j'ai partagé beaucoup de moments incoubliables.

Hanine

Sommaire

| | |
|--|----|
| Introduction générale | 1 |
| Chapitre I : Présentation de complexe CEVITAL | |
| I.1.Introduction..... | 2 |
| I.2.Présentation générale de l'entreprise CEVITAL | 2 |
| I.2.1.Historique | 2 |
| I.2.2. Situation géographique | 2 |
| I.2.3.Activités de CEVITAL | 3 |
| I.2.4.Missions et objectifs | 4 |
| I.3.Unité conditionnement de sucre | 5 |
| I.3.1.Définition d'unité conditionnement de sucre | 5 |
| I.3.2.Description de l'unité de conditionnement du sucre | 5 |
| I.3.3. Production du sucre..... | 6 |
| I.3.3.a. Production du paquet 1kg | 6 |
| I.3.3.b. Production du sac 5kg..... | 6 |
| I.3.3.c. La production du sachet verseur 1kg | 7 |
| I.3.3.d. Production du sucre en morceaux, boîte de 750g..... | 8 |
| I.4. Conclusion | 8 |
| Chapitre II : La sécurité électrique et les régimes de neutre | |
| II.1. Introduction | 9 |
| II.2. Choix des éléments de protection | 9 |
| II.3. Les différents types de défaut | 9 |
| II.3.1. La surcharge..... | 10 |
| II.3.2. Le court-circuit..... | 10 |
| II.3.3. La surtension..... | 10 |
| II.3.4. La baisse ou le manque de tension..... | 10 |
| II.4. Les différents types de protection | 11 |
| II.4.1. Protection contre les surcharges..... | 11 |
| II.4.2. Protection contre les courts-circuits..... | 12 |
| II.5. Les divers moyens de protection | 12 |
| II.5.1. Protection par disjoncteurs..... | 12 |
| II.5.2. Protection par fusible | 13 |
| II.5.3. Association-fusible disjoncteur..... | 14 |

| | |
|--|----|
| II.6. Détermination des courants de court-circuit..... | 14 |
| II.6.1. Objectifs du calcul des courants de court-circuit..... | 14 |
| II.6.2. Méthode de calcul des courants de court-circuit..... | 15 |
| II.7. La Sélectivité des protections | 15 |
| II.7.1. Les différents types de la sélectivité..... | 16 |
| II.7.1.a. Sélectivité totale | 16 |
| II.7.1.b. Sélectivité partielle..... | 16 |
| II.7.2. Différents moyens de vérification du niveau de sélectivité | 16 |
| II.7.2.a. Sélectivité ampérométrique | 16 |
| II.7.2.b. Sélectivité chronométrique | 17 |
| II.7.2.c. Sélectivité logique | 18 |
| II.8. La protection contre les chocs électriques | 18 |
| II.8.1. Protection des personnes contre les contacts directs..... | 18 |
| II.8.1.1. La prévention contre les contacts directs | 18 |
| II.8.2. Protection des personnes contre les contacts indirects | 19 |
| II.8.2.1. La prévention contre les contacts indirects | 19 |
| II.9. Les régimes de neutre (Les schémas de liaison à la terre) | 19 |
| II.9.1. Définition | 19 |
| II.9.2. Identification d'un régime de neutre..... | 19 |
| II.9.3. Le régime de neutre TT..... | 20 |
| II.9.4. Régime de Neutre IT :..... | 21 |
| II.9.5. Régime de neutre TN..... | 22 |
| II.9.5.1. Régime de neutre TN-C | 22 |
| II.9.5.2. Régime de neutre TN-S..... | 23 |
| II.9.5.3. Régime de neutre TN-CS : | 24 |
| II.10. L'habilitation électrique | 25 |
| II.10.1. Définition | 25 |
| II.10.2. Condition d'habilitation électrique | 25 |
| II.10.3. Les niveaux de l'habilitation..... | 26 |
| II.10.4 Le titre d'habilitation | 27 |
| II.11. Conclusion | 29 |

Chapitre III : Elaboration de bilan de puissance

| | |
|---|----|
| III.1.Introduction | 30 |
| III.2. Puissance installée..... | 30 |
| III.3. Puissance utilisée..... | 30 |
| III .3.1. Facteur d'utilisation K_u | 30 |
| III.3.2. Facteur de simultanéité K_s | 31 |
| III .3.3. Facteur d'extension K_e | 32 |
| III .4. Calcul la puissance installée..... | 32 |
| III .5 . Calcul de la puissance d'utilisation | 36 |
| III .5.1. Puissance utile d'une charge P_{ui} | 36 |
| III .5.2. Puissance utile dans une branche P_{uj} | 36 |
| III .5.3. Calcul de la puissance utile totale dans l'installation | 37 |
| III .6. Vérification de bilan de puissance avec logiciel ECODIAL..... | 41 |
| III .6.1. Caractéristiques électriques globales du réseau..... | 41 |
| III .6.2. Présentation de résultats de calcul par ECODIAL | 43 |
| III .7. Conclusion..... | 44 |

Chapitre IV : Compensation d'énergie réactive

| | |
|--|----|
| IV.1. Introduction | 45 |
| IV.2. Problématique | 45 |
| IV.3. Circulation de l'énergie réactive | 45 |
| IV.4. Le facteur de puissance | 46 |
| IV.4.1. Amélioration du facteur de puissance | 46 |
| IV.4.2. Avantage d'un bon facteur de puissance | 47 |
| IV.4.3. Inconvénient d'un mauvais facteur de puissance | 47 |
| IV.5. Compensation d'énergie réactive | 47 |
| IV.5.1 Le principe de la compensation | 48 |
| IV.5.2. Equipement de compensation de l'énergie réactive | 48 |
| IV.5.3. Les différents types de compensation | 49 |
| IV.5.3.a. Compensation fixe | 49 |
| IV.5.3.b. Compensation de type automatique(ou en gradins)..... | 49 |
| IV.5.4. Choix de type de compensation | 50 |
| IV.5.5. Choix de la localisation de la compensation | 51 |

| | |
|--|-----------|
| IV.5.5.a. Compensation globale..... | 51 |
| IV.5.5.b. Compensation partielle (ou secteur) | 52 |
| IV.5.5.c. Compensation individuelle | 53 |
| IV.6. Puissance réactive à installer..... | 54 |
| IV.6.1. Calcul des valeurs des capacités des condensateurs..... | 55 |
| IV.6.2. Compensation des moteurs de puissance au démarrage et en fonctionnement normal | 56 |
| IV.7. Calcul de la puissance compensée | 58 |
| IV.7.1. Le choix de système de compensation | 59 |
| IV.7.2 Vérification du mode de compensation des moteurs asynchrones..... | 59 |
| IV.8. Compensation d'énergie réactive en présence d'harmoniques..... | 60 |
| IV.8.1. les différents types d'harmonique | 60 |
| IV.8.2. Les nuisances causées par les harmoniques sur les réseaux..... | 60 |
| IV.8.3. Le filtrage des harmoniques | 61 |
| IV.8.3.a. Filtre passif | 61 |
| IV.8.3.b. Filtre actif..... | 62 |
| IV.8.3.c. Le filtre hybride BT | 62 |
| IV.9. Optimisation d'énergies électriques..... | 63 |
| IV.10. Calcul des pertes dans les câbles..... | 64 |
| IV.11. Vérification de la chute de tension..... | 68 |
| IV.12. Conclusion | 72 |
| Conclusion générale | 73 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Figure I .1 : Plan de masse du complexe CEVITAL | 3 |
| Figure I .2 : Vue générale du bâtiment de conditionnement de sucre..... | 5 |
| Figure I .3 : Sucre paquet 1kg..... | 6 |
| Figure I .4 : Sucre paquet 5 kg..... | 7 |
| Figure I .5 : Sachet verseur 1kg..... | 7 |
| Figure I .6 : Sucre morceaux, boîte de 750g..... | 8 |
| Figure II .1 : Caractéristique du dispositif de protection..... | 11 |
| Figure II .2 : Déclencheur magnétothermique et électronique..... | 13 |
| Figure II.3 : Principe de sélectivité totale et partielle..... | 16 |
| Figure II .4 : Sélectivité ampérométrique. | 17 |
| Figure II.5 : Principe de la sélectivité chronométrique..... | 18 |
| Figure II .6 : Schéma de liaison à la terre TT..... | 20 |
| Figure II .7 : Schéma de liaison à la terre IT..... | 21 |
| Figure II .8 : Schéma de liaison à la terre TN-C..... | 23 |
| Figure II.9 : Schéma de liaison à la terre TN-S..... | 23 |
| Figure II .10 : Schéma de liaison à la terre TN-CS..... | 24 |
| Figure II .11 : Organigramme des différents niveaux d’habilitation du personnel électricien .. | 28 |
| Figure III.1 : caractéristiques globales..... | 41 |
| Figure III.2 : schéma unifilaire global..... | 42 |
| Figure III.3 : les résultats obtenus au niveau TGBT1..... | 43 |
| Figure III.4 : les résultats obtenus au niveau TGBT2..... | 44 |
| Figure IV.1 : Influence du $\cos \varphi$ sur la valeur de la puissance réactive..... | 46 |
| Figure IV.2: Principe de la compensation automatique d’une installation..... | 50 |
| Figure IV.3: Compensation globale..... | 51 |
| Figure IV.3: Compensation partielle..... | 52 |
| Figure IV.5 : Compensation individuelle..... | 53 |
| Figure IV.6 : Triangle de puissance..... | 54 |
| Figure IV.7 : Montage des condensateurs aux bornes du moteur..... | 57 |
| Figure IV.8: Montage des moteurs en parallèle avec commande séparée..... | 57 |

| | |
|--------------------------------------|----|
| Figure IV.9 : Filtre passif BT | 61 |
| Figure IV.10 : Filtre actif BT | 62 |
| Figure IV.11 : Filtre hybride | 63 |

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau II.1. Synthèse des qualités et inconvénients des différents régimes de neutre..... | 25 |
| Tableau II.2. Résumé des habilitations | 27 |
| Tableau III.1 : Facteur de simultanété selon le nombre de récepteurs..... | 31 |
| Tableau III.2 : Facteur de simultanété selon l'utilisation..... | 31 |
| Tableau III.3 : Calcul de la puissance installée 1kg et 5 kg..... | 34 |
| Tableau III.4: Calcul de la puissance installée morceau et doypack..... | 35 |
| Tableau III.5: résultat de calcul de la puissance installée totale..... | 35 |
| Tableau III.6: Calcul de la puissance d'utilisation unité de sucre 1kg et 5 kg..... | 39 |
| Tableau III.7: Calcul de la puissance d'utilisation unité sucre morceau et doypack..... | 40 |
| Tableau III.8: résultats de calcul de la puissance utile totale dans l'installation..... | 40 |
| Tableau III.9: Valeur de facteur de puissance..... | 40 |
| Tableau IV.1 : puissance réactive fournie par les batteries de compensation..... | 58 |
| Tableau IV.2. Production et consommation mensuelle avant compensation d'unité CDS... | 63 |
| Tableau IV.3. Consommation mensuelle (puissances apparentes) avant et après compensation d'unités CDS..... | 64 |
| Tableau IV.4:Calculs des pertes dans les câbles 1kg et 5 kg..... | 67 |
| Tableau IV.5:Calculs des pertes dans les câbles morceau et doypack..... | 68 |
| Tableau IV.6: Valeurs limites admise de chute de tension..... | 68 |
| Tableau IV.7 : Chute de tension des différents conducteurs..... | 68 |
| Tableau IV.8 : Calcul de chute de tension pour l'unité 1kg et 5 kg..... | 71 |
| Tableau IV.9 : calcul de chute de tension morceau et doypack..... | 72 |

Introduction générale

D'après l'évolution d'entreprise CEVITAL, la consommation d'énergie électrique des années passés consiste à une consommation très élevée en énergie réactive, et cela conduit à des pénalités financières.

De plus, la circulation d'énergie réactive sur le réseau provoque des surcharges au niveau de transformateur TGBT, de l'échauffement des câbles d'alimentation, des pertes et des chutes de tension considérables.

Pour les raisons évoquées ci-dessus, il est nécessaire de produire l'énergie réactive au plus près possible des installations de CEVITAL pour éviter qu'elle ne soit appelée sur le réseau, c'est ce qu'on appelle «**la compensation de l'énergie réactive** ». Les batteries de condensateur sont actuellement le moyen le plus économique et le plus simple de production d'énergie réactive dans l'installation industrielle.

La tâche qui nous a été confiée par l'entreprise, consiste à réaliser une étude sur les besoins des équipements en énergie réactive et le dimensionnement des batteries de compensations au niveau de l'unité CDS (Conditionnement Du Sucre) CEVITAL.

Pour le faire nous avons structuré ce travail en quatre chapitres. Le premier chapitre porte la présentation de complexe CEVITAL son historique, sa situation géographique, ses différentes activités. Le deuxième chapitre est réservé aux sécurités électriques et les régimes du neutre

Le troisième chapitre est consacré pour l'élaboration de bilan de puissance et la détermination de facteur de puissance global de l'installation et la vérification des résultats obtenus par logiciel ECODIAL.

Le quatrième chapitre est destiné au dimensionnement des batteries de condensateurs à installer ainsi que le mode et le choix de système de compensation.

I.1.Introduction

CEVITAL est la première entreprise privée algérienne à avoir investi dans des secteurs d'activités diversifiés, elle a traversé d'importantes étapes historiques pour atteindre sa taille et sa notoriété actuelle.

Dans ce chapitre nous allons parler de son évolution historique, sa situation géographique ainsi que de ses multiples activités industrielles. Ensuite nous présentons l'unité conditionnement de sucre.

I.2.Présentation générale de l'entreprise CEVITAL [1]**I.2.1.Historique**

CEVITAL (SPA) est une entreprise algérienne créée par l'entrepreneur Issad Rebrab en 1998. Son complexe de production se situe dans le port de Bejaia et s'étend sur une superficie de 45000m².

CEVITAL contribue largement au développement de l'industrie agroalimentaire nationale, elle vise à satisfaire le marché national et exporter le surplus, en offrant une large gamme de produits de qualité. Porté par 18000 employés répartis sur 3 continents, elle représente le fleuron de l'économie algérienne, et œuvre continuellement dans la création d'emplois et de richesse.

En effet les besoins du marché national sont de 1200T/J d'huile l'équivalent de 12 litres par personne et par an. Les capacités actuelles de CEVITAL sont de 1800T/j, soit un excédent commercial de 600T/J.

Les nouvelles données économiques nationales dans le marché de l'agroalimentaire, font que les meilleurs sont ceux qui maîtrisent d'une façon efficace et optimale les coûts, les charges et ceux qui offrent le meilleur rapport qualité/prix. Ceci est nécessaire pour s'imposer sur le marché que CEVITAL négocie avec les grandes sociétés commerciales internationales.

I.2.2. Situation géographique

CEVITAL Agro-industrie est implanté au niveau du nouveau quai de port de BEJAIA, à 3Km du sud-ouest de cette ville, à proximité de la RN 09.

Cette situation géographique, lui a beaucoup profité étant donné qu'elle lui donne l'avantage de proximité économique. En effet, elle se trouve proche du port et de l'aéroport.

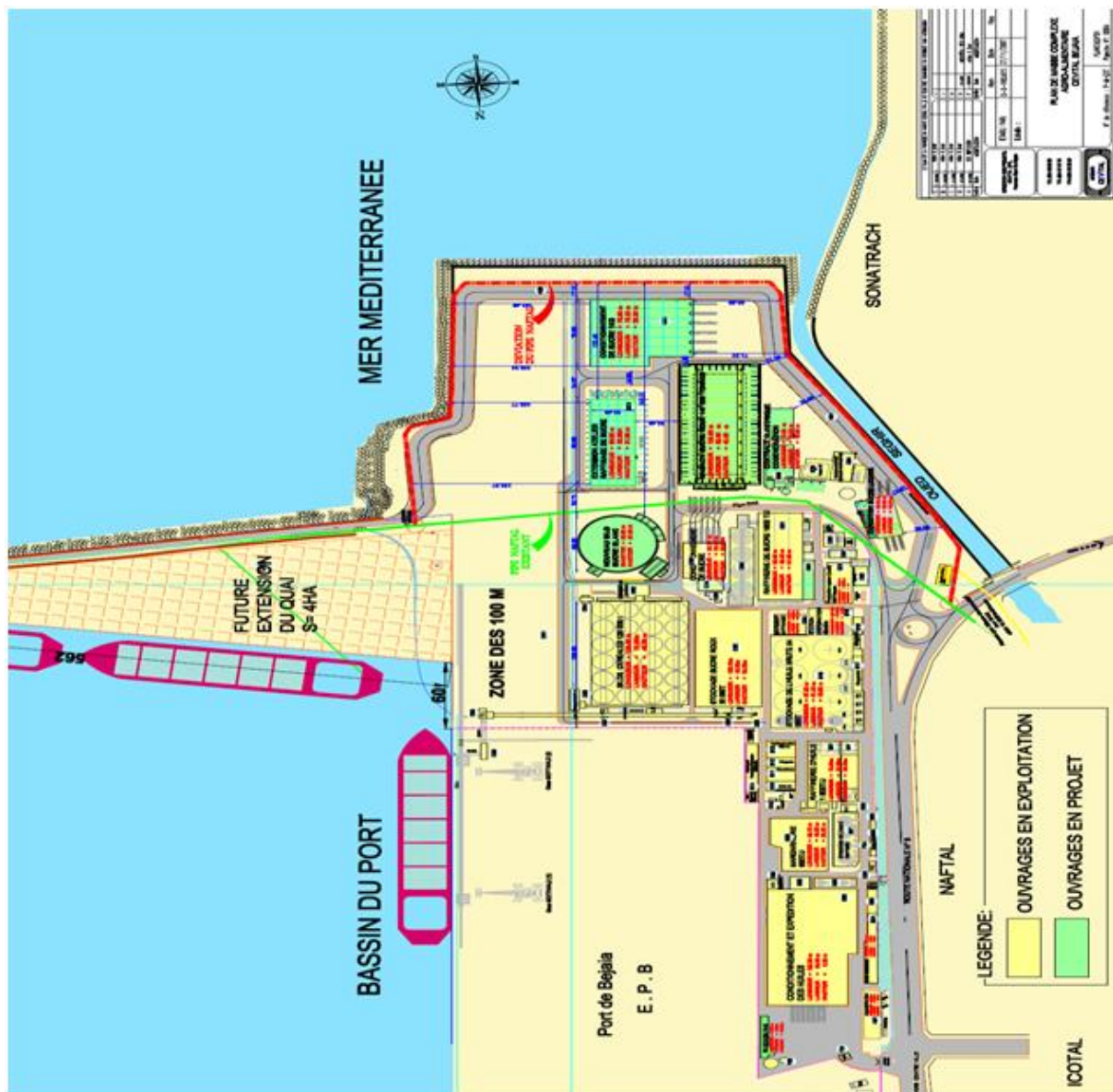


Figure I.1. Plan de masse du complexe CEVITAL

I.2.3. Activités de CEVITAL

Lancé en Mai 1998, le complexe CEVITAL a débuté son activités par le conditionnement d'huile en décembre 1998 et disposé de plusieurs unités de production ultramodernes :

- 2raffineries de sucre
- 1 unité de sucre liquide
- 1 raffinerie d'huile
- 1 margarinerie
- 1 unité de fabrication et de conditionnement de boissons rafraîchissantes

- 1 conserverie
- Cogénération (production de l'énergie électrique)
- fabrication d'emballages(PET)

Elle possède également des silos portuaires ainsi qu'un terminal de déchargement portuaire d'une capacité de 2000 tonnes /heure, ce qui en fait le première terminal de déchargement portuaire en Méditerranée.

CEVITAL, agro-industrie, conçoit des produits de qualité supérieures à des prix compétitifs, grâce à ses installations performantes, son savoir-faire, son contrôle strict de qualité et son réseau de distribution. Elle couvre les besoins nationaux et permis de faire passer l'Algérie du stade d'importateur à celui d'exportateur pour les huiles, les margarines et le sucre. Ses produits se vendent dans plusieurs pays, notamment en Europe, au Maghreb, au moyen orient et en Afrique de l'ouest.

CEVITAL, Agro-industrie est le leader du secteur agroalimentaire en Algérie et possède le plus grand complexe privé en Algérie.

CEVITAL Agro-industrie, compte parmi ses clients des grands noms du domaine de l'agro-business dont on peut citer : Coca-Cola, Kraft Food, Danone...

I.2.4.Missions et objectifs

- La mission principale de l'entreprise est de développer la production et d'assurer la qualité à des prix nettement plus compétitifs pour satisfaire les clients.
- Les objectifs visés par CEVITAL sont :
 - Extension de ses produits sur tout le territoire national.
 - Optimisation de ses offres d'emploi sur le marché du travail.
 - Modernisation de ses installations en termes de machines et techniques pour augmenter le volume de sa production.
 - Le positionnement de ses produits sur le marché étranger par leurs exportations.

I.3. Unité conditionnement de sucre [1]**I.3.1. Définition d'unité conditionnement de sucre**

Dans l'industrie, le conditionnement est l'emballage qui est en contact directe avec un produit et qui le met en valeur, par opposition à l'emballage collectif qui sert au transport et au stockage. C'est aussi l'action d'emballer un produit pour le présenter aux consommateurs. Cette étape est déterminante dans le processus de fabrication car à son issue on obtient fini qui doit être sans aucun défaut et avec le minimum de pertes afin d'éviter les pannes industrielles qui font perdre du temps et par conséquent de l'argent au producteur.

I.3.2. Description de l'unité de conditionnement du sucre

Le bâtiment de conditionnement du sucre a une superficie totale de 1131.9m², un effectif de 430 employés des différents services production, maintenance et expéditions.

Cette unité est composée de trois étages réservés chacun à une gamme spéciale de sucre.

- ✓ Le premier étage est dédié à la fabrication des sacs de 50 kg et les grands sacs de 1100 kg nommés big bags.
- ✓ Le deuxième étage est consacré au conditionnement de sucre de 1 kg et 5kg qui se caractérisent par la même méthode de conditionnement.
- ✓ Le conditionnement du sucre verseurs 1kg et du sucre en morceaux pesant 750 g est effectué dans le troisième étage. Notre stage s'est déroulé au service de conditionnement de sucre.



Figure I.2. Vue générale du bâtiment de conditionnement de sucre

I.3.3. Production du sucre**I.3.3.a. Production du paquet 1kg**

La production du paquet 1kg se fait par vingt-huit conditionneuses de marque ROVEMA installées sur sept lignes indépendantes à une cadence nominale de 70 sacs/min. dotée de doseur et d'une trieuse pondéral à la sortie de chaque conditionneuse qui consiste à contrôler le poids de chaque paquet, compteur production et faire le tri comme suit :

- Paquet supérieur à 1015 grammes ou inférieur à 995 grammes : paquet éjecté
- Paquet entre 995g et 1015g : paquet bon



Figure I.3. Sucre paquet 1kg

I.3.3.b. Production du sac 5kg

La production du sac 5kg est assurée par une seule conditionneuse à doubles tubes de remplissage à une cadence nominale de 25 sacs par tube dotée d'une trieuse pondérale OCS telle que la conditionneuse 5kg, qui fait le tri comme suit :

- Sac supérieur à 5150grammes ou inférieur à 4925 grammes : sac éjecté
- Sac entre 4925g et 5150g : sac bon



Figure I.4. Sucre paquet 5 kg

I.3.3.c. La production du sachet verseur 1kg

La production du sachet verseur 1kg se fait par deux conditionneuses à une cadence nominale de 80 sachets verseur/min, tel que :

- Sachet verseur supérieur à 1015g ou inférieur à 985g: sachet éjecté.
- Sachet entre 985g et 1015g : sachet bon.



Figure I.5.Sachet verseur 1kg

I.3.3.d. Production du sucre en morceaux, boîte de 750g

La production du sucre en morceaux, boîte de 750g est assurée par deux conditionneuse à une cadence nominal de 23 boîte/min



Figure I.6. Sucre morceaux, boîte de 750g

I.4. Conclusion

Dans ce premier chapitre nous avons présenté généralement le complexe CEVITAL, ainsi que l'unité de conditionnement de sucre.

Le chapitre suivant sera consacré à la sécurité électrique et les différents régimes du neutre.

II.1. Introduction

L'emploi général de l'énergie électrique dans tous les domaines, fait que le risque d'accidents électriques se trouve partout présent ; ceci implique évidemment des risques sérieux pour la vie des personnes et l'intégrité des biens en cas de défaillance du système.

Un système de protection peut être défini comme étant un ensemble de dispositifs plus ou moins complexes, dont le rôle est l'élimination des éléments en défaut en laissant, dans la mesure du possible, les éléments sains en service et de limiter les dommages qui pourraient être causés à l'élément protégé.

Dans la première partie de ce chapitre nous allons étudier les techniques de protection les plus courantes dans l'industrie pour un meilleur fonctionnement.

Ensuite, dans la deuxième partie, nous aborderons les différents régimes du neutre et l'habilitation électrique qui sert à la protection des personnes et des biens, pour la continuité de service.

II.2. Choix des éléments de protection

Le choix d'un dispositif de protection est une étape importante de la conception d'un réseau électrique. Le rôle fondamental de cette protection est d'assurer la protection des personnes et des biens, ainsi que la continuité de service, c'est –à dire la permanence de l'alimentation des différents récepteurs.

II.3. Les différents types de défaut [2]

Une augmentation ou une diminution anormale des grandeurs nominales dans un circuit électrique constitue un défaut ou une perturbation. Ce sont le plus souvent la variation anormale de la tension, de l'intensité et de la fréquence qui sont à l'origine de ces perturbations.

Les défauts les plus courants sont :

- Surintensité par surcharge.
- Surintensité par court-circuit.
- Surtension.
- Baisse ou manque de tension.

II.3.1. La surcharge

Toute augmentation de la puissance absorbée par les appareils d'utilisation au-delà de la puissance nominale, conduit à un courant de surcharge. Maintenu, ce courant peut provoquer un échauffement anormal des conducteurs préjudiciable à l'isolation et à leur environnement.

Le plus souvent, les surcharges sont provoquées par :

- Le branchement sur une canalisation électrique de récepteurs dont la puissance absorbée est supérieure à la capacité normale de ses conducteurs ;
- Le calage ou la surcharge d'un moteur.

II.3.2. Le court-circuit

Le courant de court-circuit est dû à une liaison accidentelle d'impédance négligeable entre deux points présentant une différence de potentiel. Il peut endommager le matériel électrique (fusion des conducteurs ...), causer un incendie, provoquer des brûlures aux personnes.

II.3.3. La surtension

Les surtensions peuvent avoir pour origine :

- un défaut d'isolement entre des installations de tensions différentes :
 - Amorçage entre enroulement (H.T/B.T) dans un transformateur.
 - Amorçage entre les conducteurs HT et les masses du poste de transformateur.
 - Amorçage entre canalisations qui se croisent ou sont fixées sur les mêmes supports, alimentées par des tensions différentes.
- Des décharges atmosphériques (foudre).
- Des manœuvres rapides de coupure de courant.

II.3.4. La baisse ou le manque de tension

C'est chute de tension, trop importante dans un réseau, qui peut provoquer le déséquilibre d'un réseau triphasé de distribution.

Conséquences : mauvais fonctionnement des récepteurs

II.4. Les différents types de protection [3]

L'activité de l'appareil est basée sur la nature du dispositif de protection et cela dépend du type de protection visé :

- Contre les surcharges
- Contre les courts circuits

II.4.1. Protection contre les surcharges

La protection efficace d'une canalisation électrique est assurée par la coordination des caractéristiques liées aux possibilités de la canalisation et la caractéristique de fonctionnement du dispositif de protection.

Le schéma ci-dessous met en évidence cette coordination.

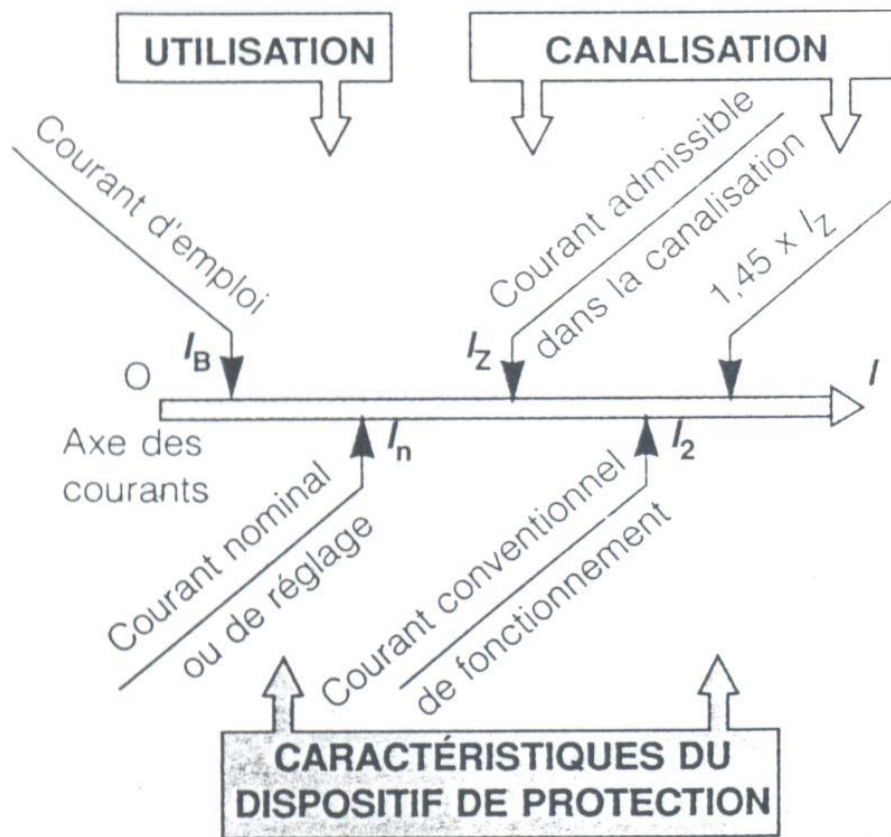


Figure II .1.Caractéristique du dispositif de protection

On résume le schéma précédant par deux inégalités :

$$I_B \leq I_n \leq I_Z$$
$$I_Z \leq I_2 \leq 1.45I_Z$$

II.4.2. Protection contre les courts-circuits

Le pouvoir de coupure de l'appareil de protection doit être au moins supérieur ou égale au plus fort courant de court-circuit.

$$I_{ccmax} \geq Pdc$$

Avec :

I_{cc} : Intensité de court-circuit

Pdc : pouvoir de coupure de l'appareil de protection

II.5. Les divers moyens de protection

II.5.1. Protection par disjoncteurs

Ce sont des appareils mécaniques de connexion qui assurent les fonctions de protection, de commande et dans certains cas de sectionnement (lorsqu'ils sont à coupure pleinement apparente). [2]

Les disjoncteurs sont essentiellement destinés à la protection des circuits, des transformateurs, des sources d'énergie, des couplages entre circuits différents, etc.

- **Le courant de réglage**

C'est le courant maximal que peut supporter le disjoncteur, sans déclenchement.

Il peut être réglable de $0.7 I_n$ à I_n pour les déclencheurs thermiques, et de $0.4 I_n$ à I_n pour les déclencheurs électriques.

- **Pouvoir de coupure**

C'est la plus grande intensité de courant de court-circuit (présumé) qu'un disjoncteur peut interrompre sous une tension donnée en respectant la condition suivante :

$$Pdc \geq Icc$$

- **Principe de déclenchement**

Le type de protection assuré par le disjoncteur dépend essentiellement de la nature de déclenchement. Le déclencheur permet l'ouverture des pôles de disjoncteur lors d'un défaut (court circuit, surcharge). Il est de nature magnétothermique ou électronique.

Ce dernier cas permet une plus grande précision et un réglage plus souple. [4]

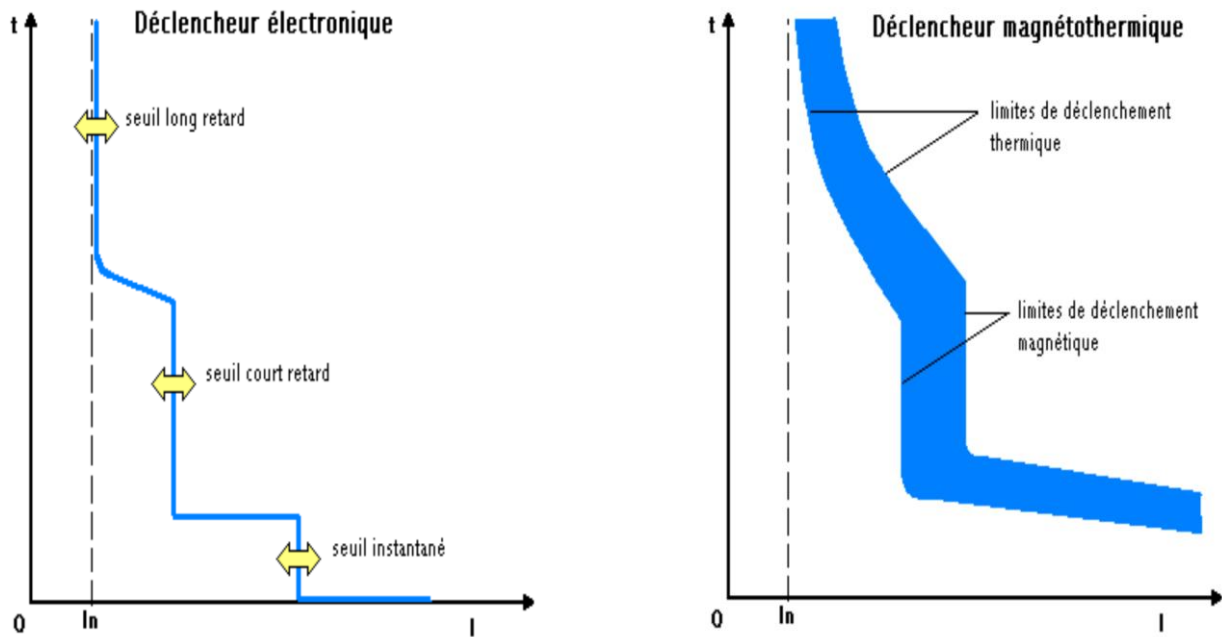


Figure II .2. Déclencheur magnétothermique et électronique

II.5.2. Protection par fusible

Ce sont des appareils de protections dans la fonction est d'ouvrir par fusion, d'un ou de plusieurs parties du circuit lorsque le courant dépasse une valeur donnée pendant un temps déterminée.

- **La tension nominale de fusible**

C'est la tension à laquelle se rapporte le Pcd, elle doit être vérifiée par rapport à la tension de service :

$$U_n \geq U_{\text{service}}$$

- **Pouvoir de coupure**

Les fusibles ont un excellent pouvoir de coupure appréciée dans le cas court-circuit important grâce à leur rapidité de fusion du fait que le courant de défaut est éliminé avant d'atteindre sa valeur maximale. C'est ce qu'on appelle la limitation qui à l'avantage de réduire les contraintes thermique, provoquées par un court-circuit.[4]

II.5.3. Association-fusible disjoncteur

L'association fusible amont disjoncteurs aval permet de réaliser économiquement la protection des petits départs dans des installations susceptibles, lors d'un défaut, de développer des courants de court-circuit élevés. Cette association impose de :

- Choisir le calibre des fusibles approprié au type du disjoncteur et à l'intensité de réglage des déclencheurs
- Placer les fusibles en amont du disjoncteur.
- Ne pas mettre de fusible sur le conducteur neutre. [4]

II.6. Détermination des courants de court-circuit

Les courants de court-circuit dans les réseaux électriques apparaissent lors du vieillissement des câbles ou des matériels ou alors de fausses manœuvres commis par le personnel et des contacts accidentels. Le dimensionnement d'une installation électrique et des matériels à mettre en œuvre, la détermination des protections de personnes et des biens, nécessitent le calcul des courants de court-circuit en tout point du réseau.

II.6.1. Objectifs du calcul des courants de court-circuit

On calcule les courants de court-circuit pour choisir et régler convenablement les protections. Deux valeurs du courant de court-circuit doivent être connues [5] :

- Le courant maximal de court-circuit qui détermine :
 - Le pouvoir de coupure (Pdc) des disjoncteurs
 - La tenue électrodynamique de canalisation et de l'appareillage

Ce courant correspond à un court-circuit à proximité immédiat des bornes aval de l'origine de protection, il doit être calculé avec une bonne précision.

- Le courant minimal de court-circuit indispensable au choix de la courbe de déclenchement des disjoncteurs et des fusibles, en particulier quand :
 - La longueur des câbles est importante ou lorsque la source est relativement impédante (générateurs, onduleur).

- La protection des personnes repose sur le fonctionnement des disjoncteurs ou des fusibles, c'est essentiellement le cas avec les schémas de liaison à la terre du neutre TN ou IT. Le courant de court-circuit minimal correspond à un défaut de court-circuit à l'extrémité de la liaison protégée lors d'un défaut.

II.6.2. Méthode de calcul des courants de court-circuit

Pour ce calcul, on adoptera la méthode des impédances et on calculera la plus forte intensité de court-circuit, qui est celle engendrée par un court-circuit triphasé, noté I_{cc} .

La disposition d'un réseau de distribution de moyenne tension ou basse tension peut être généralisée comme suit [6] :

- Le réseau amont
- Le /Les disjoncteurs
- Les câbles, les jeux de barres, les canalisations préfabriquées
- Les récepteurs (moteurs, pompes,...)

Soit un réseau triphasé sur lequel survient un court-circuit dans les trois phases :

La valeur de l'intensité de courant de court-circuit triphasé est tirée de la relation générale

$$U = \sqrt{3} \cdot Z_t \cdot I \quad (\text{II -1})$$

$$\text{Soit :} \quad I_{cc} = \frac{U_n}{\sqrt{3} Z_t} \quad (\text{II -2})$$

U_n : tension nominale entre phases de transformateur (V)

Z_t : impédance totale par phase en amont du défaut (Ω)

Le courant de court-circuit passe donc par la détermination de l'impédance totale Z_t du court-circuit. Elle est formée des éléments résistifs et inductifs du réseau.

$$\text{Soit :} \quad Z_t = \sqrt{(\sum_{i=1}^n R_i)^2 + (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \quad (\text{II-3})$$

II.7. La Sélectivité des protections

La sélectivité repose sur la coordination entre les caractéristiques de fonctionnement des dispositifs de protection de telle façon qu'à l'apparition de surintensités comprises dans des limites données, le dispositif prévu intervient tandis que les autres, placés en amont, n'interviennent pas.

Elle permet d'allier la sécurité et continuité de service, et facilite la localisation du défaut.[7]

II.7.1. Les différents types de la sélectivité

II.7.1.a. Sélectivité totale

Pour toutes les valeurs du défaut, depuis la surcharge jusqu'au court-circuit franc, la distribution est totalement sélective si D2 s'ouvre et si D1 reste fermé.

II.7.1.b. Sélectivité partielle

La sélectivité est partielle si la condition ci-dessus n'est pas respectée jusqu'au plein courant de court-circuit, mais seulement jusqu'une valeur inférieure. Cette valeur est appelée limite de sélectivité. Dans l'éventualité d'un défaut dépassant cette valeur les disjoncteurs D1 et D2 s'ouvrent. [6]

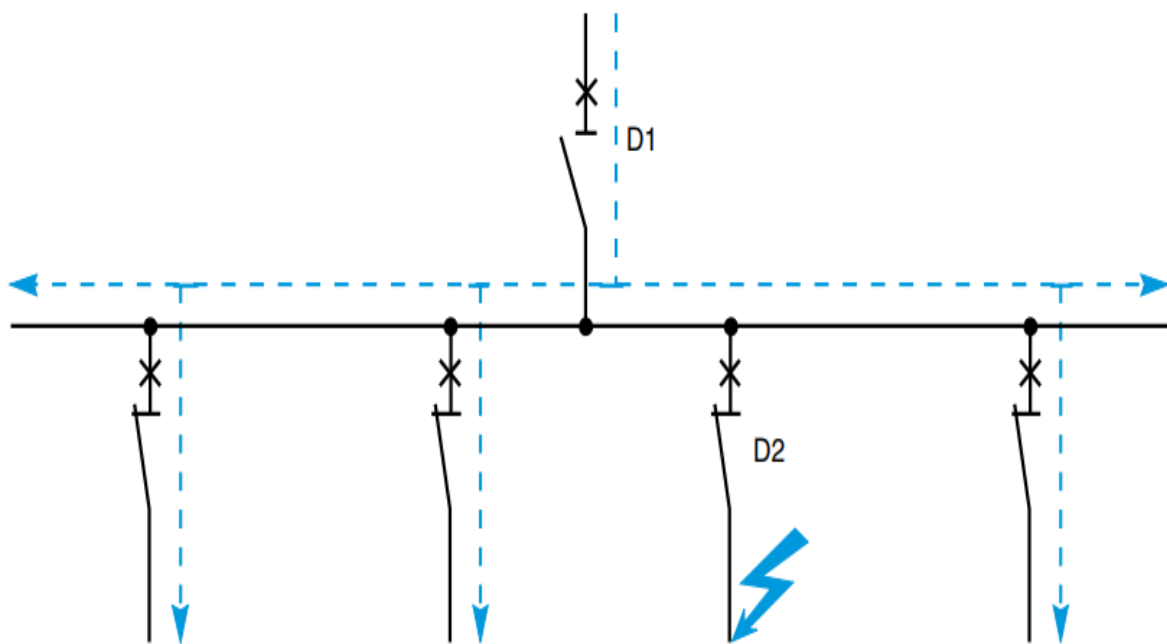


Figure II.3. Principe de sélectivité totale et partielle

II.7.2. Différents moyens de vérification du niveau de sélectivité

II.7.2.a. Sélectivité ampérométrique

Elle résulte de l'écart entre les seuils des déclencheurs instantanés ou court-retard des disjoncteurs en série dans un circuit. Elle s'applique dans le cas de défauts de court-circuit et conduit généralement, si elle n'est pas associée à une autre sélectivité partielle limitée au seuil d'intervention de l'appareil amont. [7]

La sélectivité est assurée si le seuil maxi du déclencheur de l'appareil aval est inférieur au seuil mini de celui de l'appareil amont, toutes tolérances comprises

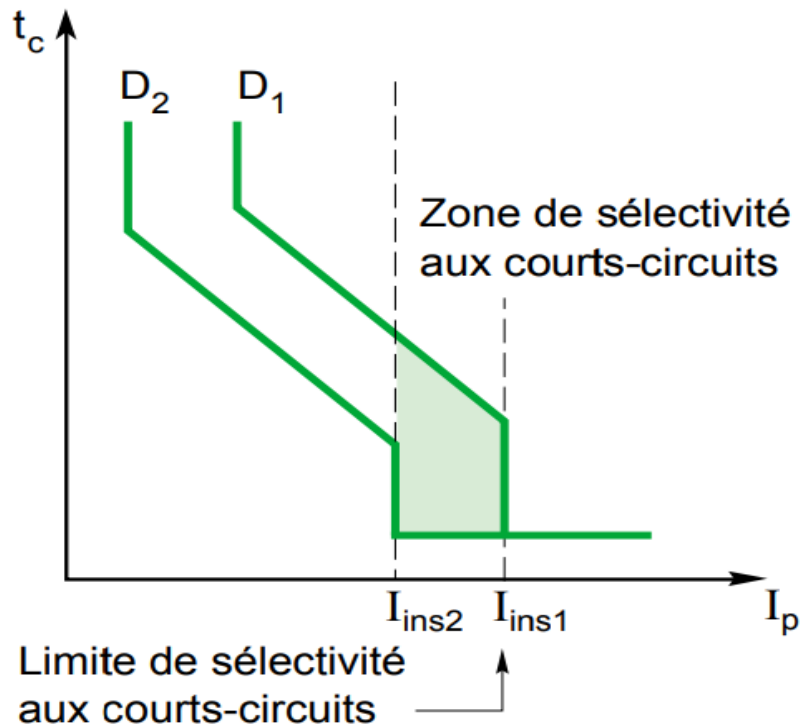


Figure II.4 : Sélectivité ampérométrique. [7]

II.7.2.b. Sélectivité chronométrique [8]

Sélectivité dans laquelle les protections sollicitées sont organisées pour fonctionner de manière décalée dans le temps. La protection la plus proche de la source a la temporisation la plus longue. Ainsi, sur le schéma (figure I.5), le court-circuit représenté est vu par toutes les protections (en A, B, C, et D). La protection temporisée D ferme ses contacts plus rapidement que celle installée en C, elle-même plus rapide que celle installée en B.

Après l'ouverture du disjoncteur D et la disparition du courant de court-circuit, les protections A, B, C qui ne sont plus sollicitées, reviennent à leur position de veille.

La différence des temps de fonctionnement ΔT entre deux protections successives est l'intervalle de sélectivité.

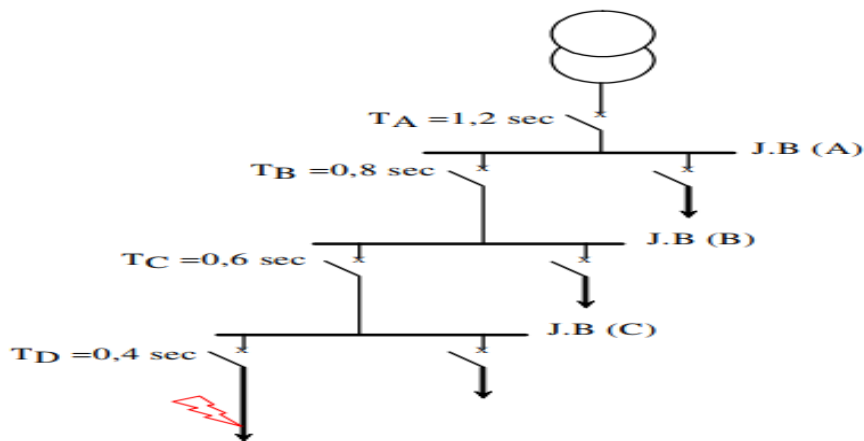


Figure II.5. Principe de la sélectivité chronométrique

II.7.2.c. Sélectivité logique [9]

Ce système a été développé pour remédier aux inconvénients de la sélectivité chronométrique. Basées sur la localisation du défaut, le disjoncteur placé immédiatement en amont du défaut :

- ✓ Détecte le défaut
- ✓ Envoie un signal de non ouverture aux disjoncteurs placés en amont

II.8. La protection contre les chocs électriques [10]

II.8.1. Protection des personnes contre les contacts directs

Le contact direct c'est le contact d'une personne entre une partie active sous tension et une masse reliée à la terre (ou directement avec la terre). La tension de contact est proche de la tension simple.

II.8.1.1. La prévention contre les contacts directs

Pour éviter tous les risques d'électrisation, la prévention contre les risques directs se fait par :

- Isolation des parties actives.
- Installation de coffret, armoire, boîtier.
- La mise en place d'obstacles (barrière, grillage, enveloppe et plaque isolante).
- La mise hors de portée par l'éloignement.
- L'emploi de dispositifs différentiels résiduels avec un courant différentiel assigné de fonctionnement inférieur ou égal à 30 mA.

II.8.2. Protection des personnes contre les contacts indirects

Le contact indirect c'est le contact d'une personne entre une masse mise accidentellement sous tension et une autre masse reliée à la terre (ou directement avec la terre). La tension de contact (U_c) engendre un courant de défaut (I_c) dont la valeur est inversement proportionnelle à l'impédance des prises de terre.

II.8.2.1. La prévention contre les contacts indirects

La prévention contre les contacts indirects se fait par :

- L'emploi de matériels électrique classe II (double isolation)
- Une séparation électrique
- La mise à la terre des masses métalliques
- Le contrôle permanent du courant de fuites via la présence d'un disjoncteur différentiel, qui permet de détecter ce type de contact et de couper l'installation.
- Une séparation électrique

II.9. Les régimes de neutre (Les schémas de liaison à la terre) [11]**II.9.1. Définition**

Les schémas de liaison à la terre ont pour but de protéger les personnes et le matériel en maîtrisant les défauts d'isolement. En effet, pour des raisons de sécurité, toute partie conductrice d'une installation est isolée par rapport aux masses. Cet isolement peut se faire par éloignement, ou par l'utilisation de matériaux isolants. Mais avec le temps, l'isolation peut se détériorer (à cause des vibrations, des chocs mécaniques, de la poussière, etc.), et donc mettre une masse (la carcasse métallique d'une machine par exemple) sous un potentiel dangereux. Ce défaut présente des risques pour les personnes, les biens mais aussi la continuité de service.

II.9.2. Identification d'un régime de neutre

La première lettre indique la situation du neutre par rapport à la terre :

- **T** pour raccordé à la terre.
- **I** pour isolé (ou impudent) par rapport à la terre.

La seconde indique la situation des masses métalliques de l'utilisateur par rapport à la terre :

- **T** pour raccordées à la terre ;
- **N** pour raccordées au neutre, lequel doit être raccordé à la terre.

II.9.3. Le régime de neutre TT

Le point neutre de l'installation est relié directement à la terre cotée générateur (première lettre T). Les masses des récepteurs sont interconnectées, soit toutes ensemble, soit par groupes, soit individuellement et sont reliées à la terre (deuxième lettre T).

Principe du schéma TT

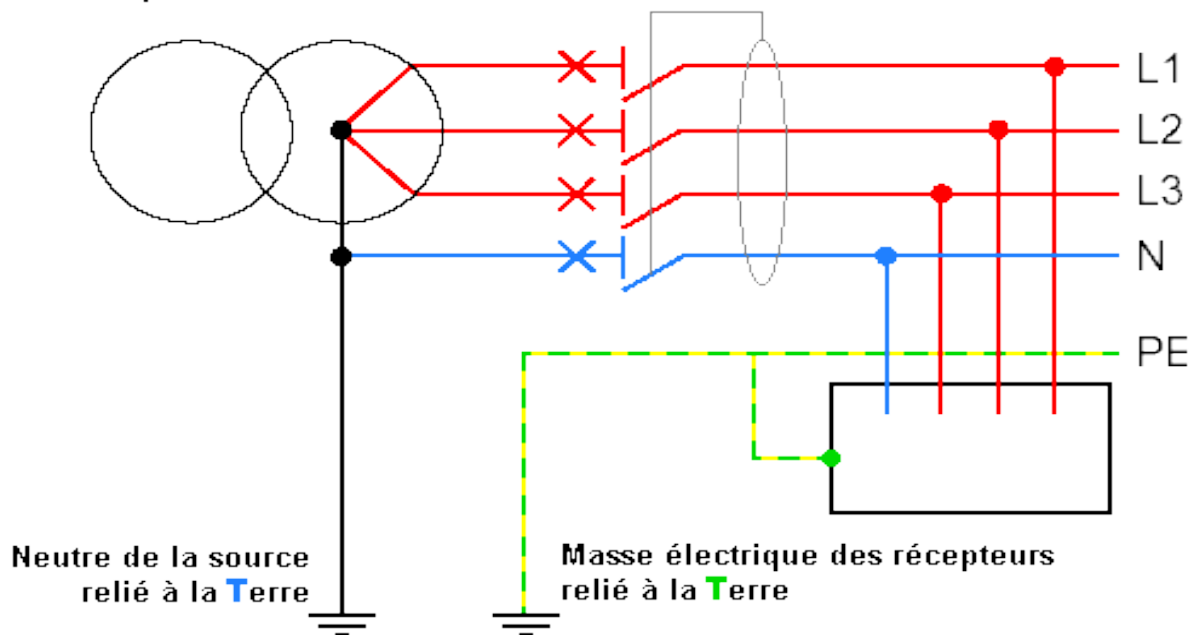


Figure II.6. Schéma de liaison à la terre TT

a. Avantages

- Simplification de l'installation électrique
- protection en cas de défaut d'isolement par disjoncteur ou interrupteur différentiel en tête de l'installation,
- calcul des protections moins contraignant autorisant des modifications aisées des récepteurs.
- Aucune permanence de spécialiste n'est exigée pour le dépannage. En contrepartie, les prises de terre devront avoir des valeurs inférieures à celles préconisées par les textes en vigueur.

b. Inconvénients

- Les disjoncteurs auront (ou pourront avoir) leurs pôles neutre non protégés (Ex.: 3P+N, ou 1P+N)), les fusibles auront une barrette de coupure à la place du fusible. Si un fusible est installé sur le pôle de Neutre, la coupure omnipolaire est obligatoire.
- Sa mise en œuvre est coûteuse (à cause des disjoncteurs différentiels)
- Les installations sont coupées dès le premier défaut.

II.9.4. Régime de Neutre IT :

Type d'installation dans lequel la source d'alimentation est isolée ou présente un point, généralement le neutre, relié à la terre par une impédance dans lequel les masses sont reliées à la terre. Sachant que la valeur de l'impédance est suffisamment élevée pour qu'un premier défaut d'isolement entre un conducteur de phase et la masse ne provoque pas l'apparition d'une tension de contact supérieure à la tension limite conventionnelle de sécurité.

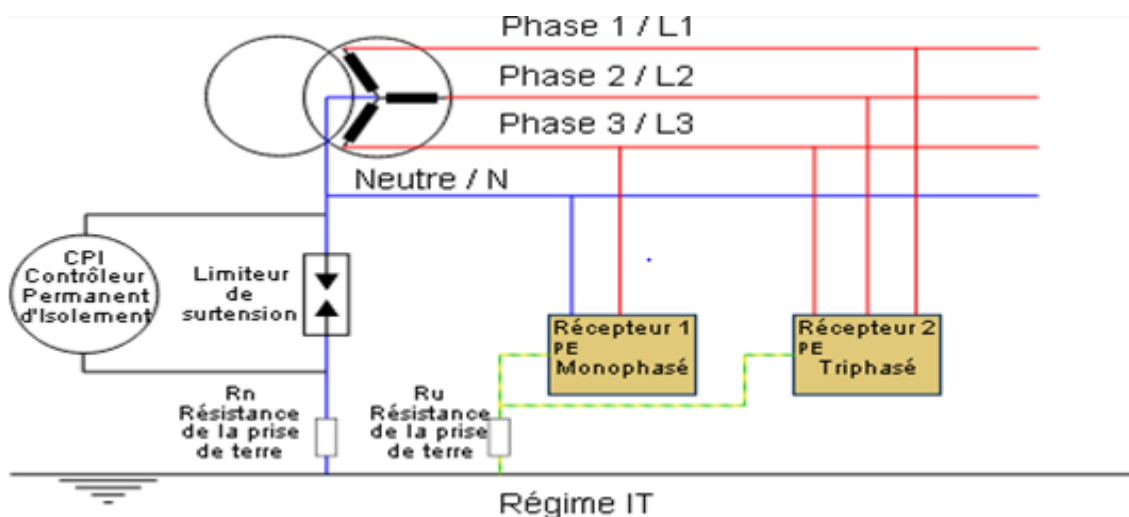


Figure II.7. Schéma de liaison à la terre IT

a. Avantages

Installation permettant la poursuite de l'exploitation d'énergie malgré un premier défaut d'isolement même important, comme les salles d'opération en hôpital, la sécurité aérienne et industrielle, etc., mais nécessité d'avoir un spécialiste en dépannage pour supprimer ce défaut très rapidement, avant le déclenchement d'un deuxième défaut qui va faire déclencher les

protections. De plus, ce schéma oblige la mise en place d'un Contrôleur Permanent d'Isolement (CPI) signalant par alarmes sonores et visuelles tout défaut dans l'installation.

b. Inconvénients

- La non-élimination des surtensions transitoires par écoulement à la terre est un handicap majeur si elles sont élevées
- La mise en œuvre de protections sélectives au premier défaut est délicate
- Un service entretien équipé du matériel adéquat pour la recherche rapide du premier défaut d'isolement est nécessaire.

II.9.5. Régime de neutre TN

Type d'installation dans lequel un point de la source d'alimentation, généralement le neutre, est relié à la terre et dans lequel les masses sont reliées directement à ce point de telle manière que tout courant de défaut franc entre un conducteur de phase et la masse soit un courant de court-circuit.

a. Avantages

- Une installation parfaite sur la sécurité des personnes
- Economique
- Ne nécessite pas d'appareils de protection particuliers.

b. Les inconvénients

- Déclanchement au premier défaut.
- Nombreux réglages, donc un personnel qualifié.
- Le courant de défaut est un courant de court-circuit, donc risque d'incendies.

Et il se caractérise en:

II.9.5.1. Régime de neutre TN-C

C'est une installation TN dans lequel les conducteurs neutre et de protection sont confondus en un seul conducteur appelé conducteur PEN.

Ce schéma est interdit pour les installations en câbles souples dont la section des conducteurs est inférieure à 10 mm² pour le Cuivre, et 16 mm² pour l'Aluminium. Dans ce cas précis, il sera obligatoire de fonctionner sous le schéma TN-S

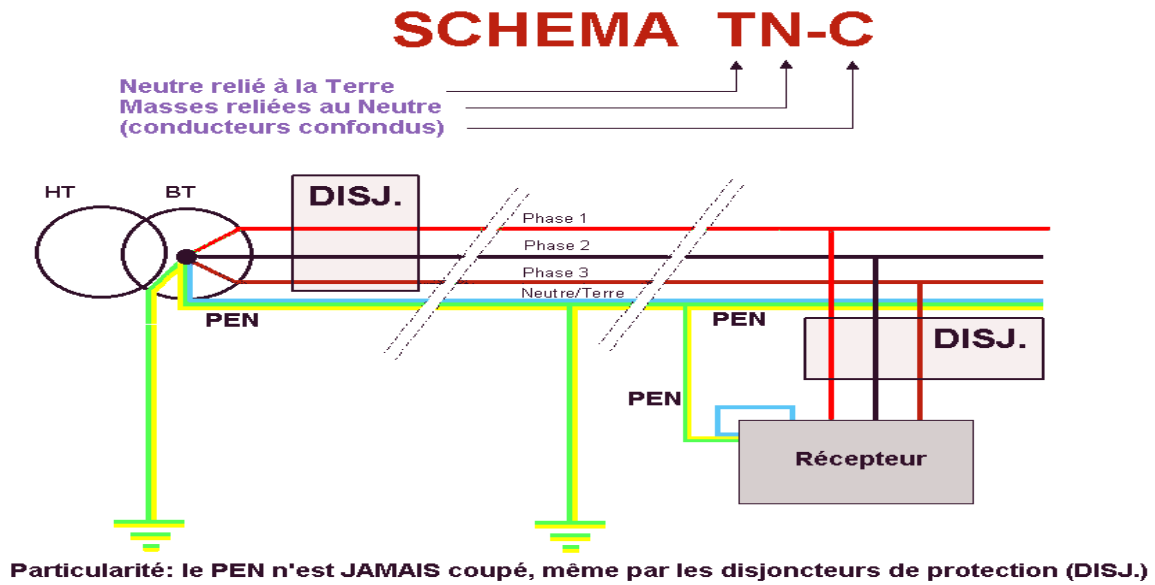


Figure II.8. Schéma de liaison à la terre TN-C

II.9.5.2. Régime de neutre TN-S

Type d'installation TN dans lequel le conducteur neutre et le conducteur de protection sont séparés

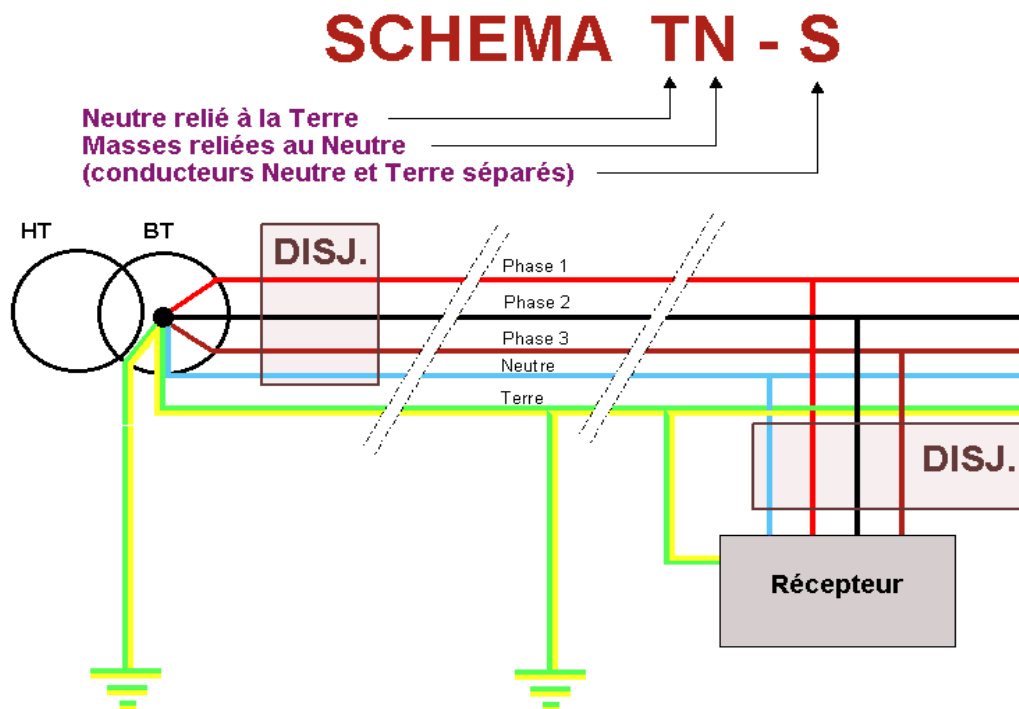


Figure II.9. Schéma de liaison à la terre TN-S

II.9.5.3. Régime de neutre TN-CS :

Le régime de neutre TN-CS est une installation mélangée (TN-C+TN-S). La partie TN-S sera toujours après TN-C.

La partie en TN-C sera obligatoirement de sections supérieures à 10 mm² pour le cuivre, et 16mm² pour l'Aluminium si cette partie d'installation est en câbles souples.

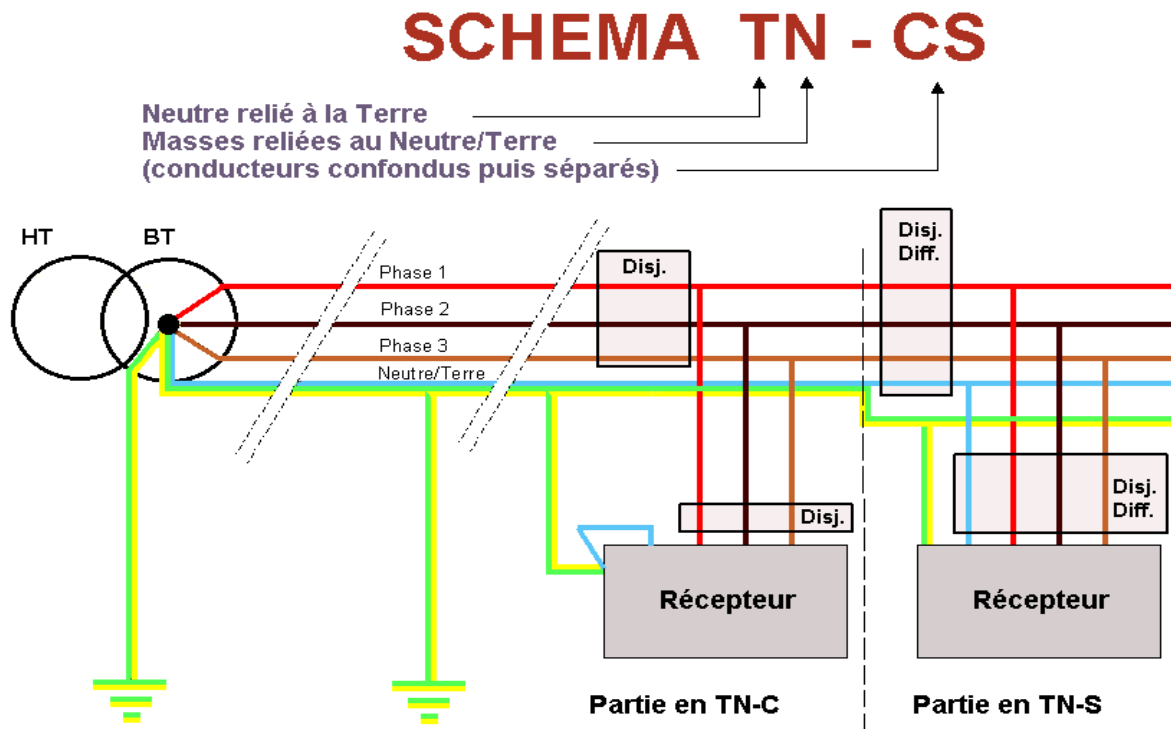


Figure II.10. Schéma de liaison à la terre TN-CS

| | TT | TN-C | TN-S | IT |
|---|------|------|------|------|
| sécurité des personnes | ■■■■ | ■■■■ | ■■■■ | ■■■■ |
| Sécurité des biens | | | | |
| • Contre les risques d'incendie | ■■■■ | ■ | ■■ | ■■■■ |
| • En protection des machines sur défaut d'isolement | ■■■■ | ■ | ■ | ■■■■ |
| Disponibilité de l'énergie | ■■ | ■■ | ■■ | ■■■■ |
| Compatibilité électromagnétique | ■■ | ■ | ■■ | ■■ |
| Pour réaliser l'installation et l'entretien | | | | |
| • Compétence | ■■ | ■■■■ | ■■■■ | ■■■■ |
| • disponibilité | ■ | ■■ | ■■ | ■■■■ |

Tableau II.1. Synthèse des qualités et inconvénients des différents régimes de neutre

■■■■ : Excellent ■■■ : Bon ■■ : Moyen ■ : Mauvais

II.10. L'habilitation électrique [12]

II.10.1. Définition

C'est la reconnaissance par son employeur de la capacité d'une personne à effectuer en sécurité les tâches fixées pendant une durée définie et présentant des risques professionnels pour lui-même et son environnement.

II.10.2. Condition d'habilitation électrique

- Avoir une qualification technique et la connaissance des règles de l'art.
- Avoir une aptitude médicale.
- Suivre une formation théorique et pratique relative à la sécurité électrique.
- Avoir une attestation de formation.
- Eventuellement, suivre un stage complémentaire.
- Avoir un titre d'habilitation.
- Renouvellement de l'habilitation à chaque changement du champ d'application ou des modifications importantes des ouvrages électriques de l'entreprise.

II.10.3. Les niveaux de l'habilitation

Pour tenir compte des paramètres entrants dans les critères d'habilitation, le titre d'habilitation est désigné par une succession de lettre et de numéro, relatifs au domaine de tension, au niveau des opérations, et à la nature des opérations tels que :

- Le domaine de tension est désigné par une lettre :

B pour la basse tension (BT) et très basse tension (TBT)

H pour la haute tension (HT)

- Le niveau des opérations, la première lettre (relative au domaine de tension) est généralement suivie d'un indice numérique qui précise le rôle des opérateurs tel que :

0 pour le non électricien

1 pour l'exécutant électricien

2 pour le chargé de travaux d'ordre électriques

- La nature des opérations, une lettre désigné la nature des opérations. Elle peut suivre directement la première lettre (relative au domaine de tension) ou, par abus, on peut la placer en troisième position derrière l'indice numérique (précisant le rôle des opérateurs), tel que :

C pour la consignation

T pour les travaux sous tension

N pour le nettoyage sous tension

R pour les interventions, dépannage

V pour le voisinage

II.10.4 Le titre d’habilitation

C’est un document écrit qui atteste la délivrance de l’habilitation et qui doit comporter :

- Les renseignements d’identité de l’employeur et sa signature.
- Les renseignements d’identité du titulaire et sa signature.
- L’indication de la date de délivrance de l’habilitation.
- La durée de validité de l’habilitation.
- Les symboles de l’habilitation (lettres et chiffres).
- Des précisions sur le champ d’application réparti en domaines d’applications, ouvrages concernés et indications supplémentaires.

| Habilitation | | Classes de tension | | |
|---|----------------------------------|--------------------|-----|-----|
| | | B.T | M.T | H.T |
| Non électricien habilité | | B0 | M0 | H0 |
| exécutant | | B1 | M1 | H1 |
| Responsable d’interventions ou de travaux | seul ou avec au plus 2 personnes | B2 | M2 | H2 |
| | avec 3 personnes ou plus | B3 | M3 | H3 |
| Responsable de consignation | | B4 | M4 | H4 |

Tableau II.2. Résumé des habilitations [2]

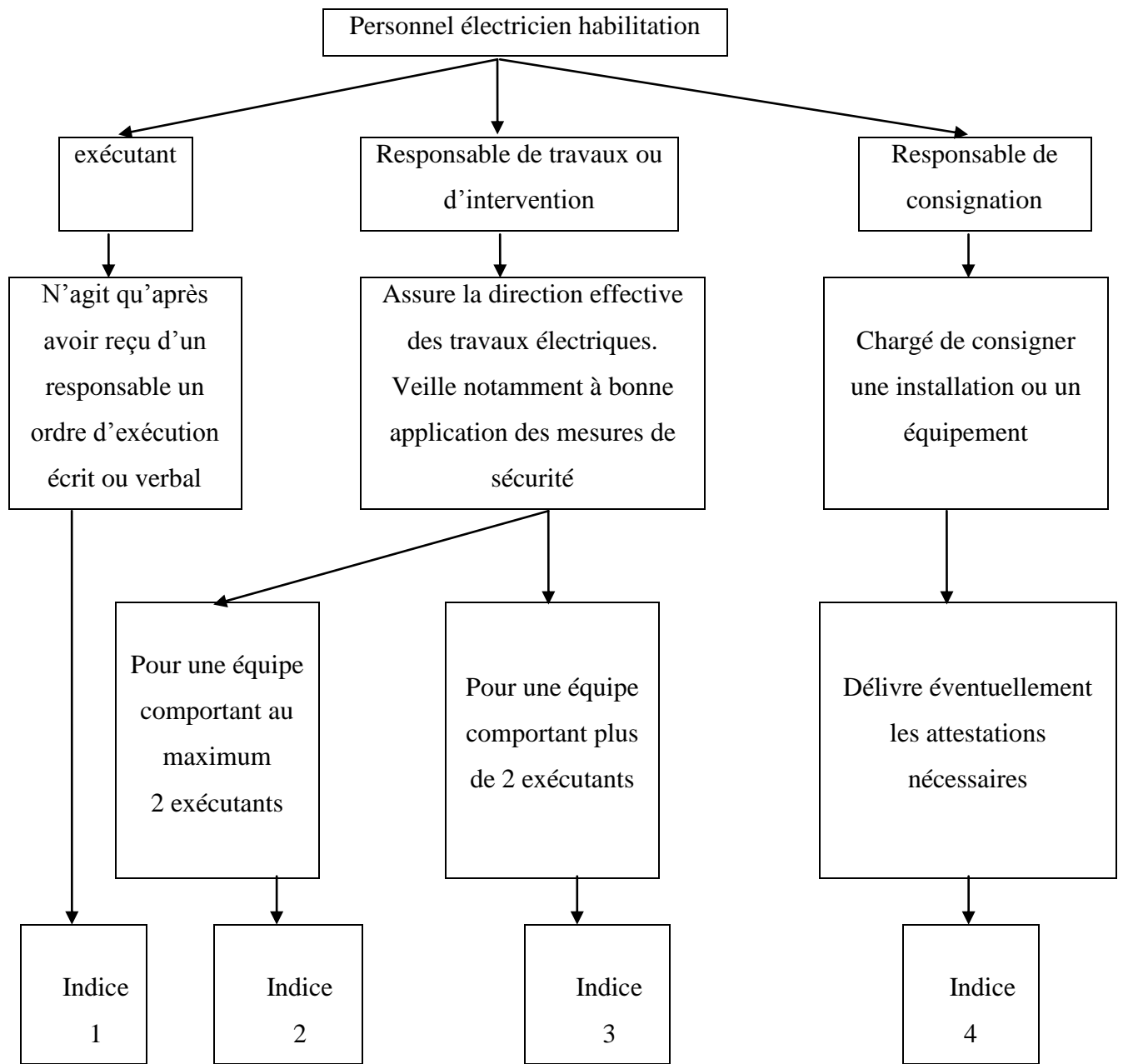


Figure II.11. Organigramme des différents niveaux d'habilitation du personnel électrique [2]

II.11. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons cité les choix des appareils de protection pour éviter les divers dégâts, ainsi les différents types de protection.

Ensuite, les courants de court circuits dans un réseau de distribution ont été déterminés par la méthode des impédances.

Ajoutant à cela, nous avons abordé les différents types de sélectivité, protection des personnes contre les chocs électriques (directe, indirecte) pour assurer la vie des personnes dans le domaine industriel.

Finalement, nous avons aussi fait une description des différents régimes du neutre existants dans les installations industrielles avec les avantages et les inconvénients de chaque régime.

III.1.Introduction

Afin de concevoir une installation, le bilan de puissance est un outil qui va nous permettre de dimensionner l'installation à partir des caractéristiques des récepteurs, c'est la première étape essentielle de l'étude d'une installation électrique, elle doit cerner et localiser géographiquement les valeurs des puissances actives et réactives consommées par l'installation.

III.2. Puissance installée

La puissance installée (kW) est la somme des puissances nominales de tous les récepteurs de l'installation. L'indication de la puissance nominale (P_n) est indiquée sur la plupart des appareils et équipements électriques.

La puissance installée (kW) est la donnée significative pour le choix et le dimensionnement d'un groupe électrogène ou de batteries et quand des exigences de fonctionnement uni horaire sont à considérer. [13]

III.3. Puissance utilisée

Elle représente la puissance réellement demandée au point source par les divers circuits d'une installation électrique. Elle est plus faible que la puissance installée vu que les récepteurs n'absorbent pas tous simultanément leurs puissances nominales. Son estimation permet d'évaluer la puissance réellement utilisée. Néanmoins sa détermination nécessite la connaissance des trois facteurs suivants: d'utilisation (K_u), de simultanéité (k_s) et d'extension (k_e). [13] [14]

III .3.1. Facteur d'utilisation K_u

En général, les récepteurs électriques ne fonctionnent pas à leurs puissances nominales d'où l'introduction du facteur d'utilisation pour le calcul de la puissance absorbée. Sachant que pour chaque type de récepteur est associé un facteur d'utilisation bien déterminé.

Dans une installation électrique, ce facteur peut être estimé en moyenne à 0.75 pour les moteurs, et 1 pour l'éclairage. [14]

III.3.2. Facteur de simultanéité Ks

Les récepteurs d'une installation ne fonctionnent pas simultanément. C'est pourquoi il est permis d'appliquer aux différents ensembles de récepteurs (ou de circuit) des facteurs de simultanéité. La détermination des facteurs de simultanéité nécessite la connaissance détaillée de l'installation considérée et l'expérience des conditions d'exploitation, notamment pour les moteurs et les prises de courant. On ne peut donc pas donner des valeurs précises applicables à tous les cas. Les normes NF C 14-100, NF C 63-410 et le guide UTEC 15-105 donnent cependant des indications sur ce facteur selon le nombre de récepteurs (Tableau III .1) et selon l'utilisation (Tableau III .2).

| Nombre de récepteurs | Facteurs de simultanéité Ks |
|----------------------|-----------------------------|
| 1 | 1 |
| 2 à 3 | 0.9 |
| 4 à 5 | 0.8 |
| 5 à 9 | 0.7 |
| 10 et plus | 0.6 |

Tableau III.1 : Facteur de simultanéité selon le nombre de récepteurs

| Utilisation | Facteurs d'utilisation |
|--|--|
| Eclairage, conditionnement d'air | 1 |
| Chauffage électrique, chauffe d'eau | 1 |
| Prise de courant (n : nombre de prise de courant alimenté par le même circuit) | 0,1 + (0,9/n).....Si n<6 0,6.....Si n>6 |
| Moteur électrique : plus puissants | 1 |
| Moyens puissant | 0.75 |
| Pour les autres | 0.6 |
| Appareil de cuisson | 0.7 |

Tableau III.2 : Facteur de simultanéité selon l'utilisation

III .3.3. Facteur d’extension Ke

Le rôle du facteur d’extension, également appelé facteur de réserve, est de prévoir une augmentation de la puissance absorbée. Le coefficient varie de 1 à 1,5. Dans notre cas K_e est pris égal à 1,2. [13]

III .4. Calcul la puissance installée

On a: $P = \sqrt{3} U I \cos \varphi$ (III.1)

$Q = \sqrt{3} U I \sin \varphi$ (III.2)

$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{3} U I$ (III.3)

a) Unité de sucre 1 kg et 5 kg

Les résultats des calculs sont inscrits dans le tableau III.3

| ligne | Equipements | U(V) | I(A) | Cosφ | P (kW) | Q (kVAR) | S (kVA) |
|----------|------------------|------|------|-------|--------|----------|---------|
| B | Conditionneuse 1 | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |
| | Conditionneuse 2 | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |
| | Conditionneuse 3 | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |
| | Conditionneuse 4 | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |
| | Fardeleuse | 400 | 46 | 0,596 | 19 | 25,591 | 31,873 |
| | Four | 400 | 55 | 0,997 | 38 | 2,949 | 38,114 |
| | Palettiseur | 400 | 50 | 0,433 | 15 | 31,225 | 34,641 |
| C | Conditionneuse 1 | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |
| | Conditionneuse 2 | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |
| | Conditionneuse 3 | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |
| | Conditionneuse 4 | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |
| | Fardeleuse | 400 | 46 | 0,596 | 19 | 25,591 | 31,873 |
| | Four | 400 | 55 | 0,997 | 38 | 2,949 | 38,114 |
| | Palettiseur | 400 | 45 | 0,77 | 24 | 19,892 | 31,172 |
| D | Conditionneuse 1 | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |
| | Conditionneuse 2 | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |
| | Conditionneuse 3 | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |

| | | | | | | | |
|-----------------|-------------------|-----|-------|-------|------|--------|--------|
| | Conditionneuse 4 | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |
| | Fardeuse | 400 | 46 | 0,596 | 19 | 25,591 | 31,873 |
| | Four | 400 | 55 | 0,997 | 38 | 2,949 | 38,114 |
| | Palettiseur | 400 | 50 | 0,433 | 15 | 31,225 | 34,641 |
| E | Conditionneuse 1 | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |
| | Conditionneuse 2 | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |
| | Conditionneuse 3 | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |
| | Conditionneuse 4 | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |
| | Fardeuse | 400 | 46 | 0,596 | 19 | 25,591 | 31,873 |
| | Four | 400 | 55 | 0,997 | 38 | 2,949 | 38,114 |
| | Palettiseur | 400 | 50 | 0,433 | 15 | 31,225 | 34,641 |
| F | Conditionneuse 13 | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |
| | Conditionneuse 14 | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |
| | Conditionneuse 15 | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |
| | Conditionneuse 16 | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |
| | Fardeuse | 400 | 46 | 0,596 | 19 | 25,591 | 31,873 |
| | Four | 400 | 55 | 0,997 | 38 | 2,949 | 38,114 |
| | Palettiseur | 400 | 45 | 0,77 | 24 | 19,892 | 31,172 |
| H | Conditionneuse 17 | 400 | 20 | 0,7 | 9,8 | 9,895 | 13,927 |
| | Conditionneuse 18 | 400 | 20 | 0,7 | 9,8 | 9,895 | 13,927 |
| | Conditionneuse 19 | 400 | 20 | 0,7 | 9,8 | 9,895 | 13,927 |
| | Conditionneuse 20 | 400 | 20 | 0,7 | 9,8 | 9,895 | 13,927 |
| | Fardeuse | 400 | 53 | 0,789 | 29 | 22,560 | 36,742 |
| | Four | 400 | 55 | 0,997 | 38 | 2,949 | 38,114 |
| | Palettiseur | 400 | 50.7 | 0,552 | 19,4 | 0,578 | 19,409 |
| G | Conditionneuse | 400 | 20 | 0,99 | 13,8 | 1,955 | 13,938 |
| | Palettiseur | 400 | 30 | 0,77 | 16 | 13,261 | 20,781 |
| Utilités | TBR5 1 | 400 | 41,24 | 0,77 | 22 | 18,230 | 28,572 |
| | TBR5 2 | 400 | 20,62 | 0,77 | 11 | 9,115 | 14,286 |
| | TBR5 3 | 400 | 20,62 | 0,77 | 11 | 9,115 | 14,286 |
| | TBR5 4 | 400 | 20,62 | 0,77 | 11 | 9,115 | 14,286 |

| | | | | | | |
|----------------------|-----|---------|------|----------------|-----------------|----------------|
| Compresseur 1 | 400 | 206,2 | 0,77 | 110 | 91,151 | 142,858 |
| Compresseur 2 | 400 | 300 | 0,77 | 160 | 132,615 | 207,814 |
| Compresseur 3 | 400 | 206,2 | 0,77 | 110 | 91,151 | 142,858 |
| Sécheur | 400 | 235,65 | 0,98 | 160 | 32,489 | 163,265 |
| Récupérateur déchets | 400 | 44,1 | 0,9 | 27,5 | 13,318 | 30,555 |
| Dépoussiéage | 400 | 82,73 | 0,82 | 47 | 32,806 | 57,317 |
| Nettoyage centralisé | 400 | 39,78 | 0,82 | 22,6 | 15,775 | 27,561 |
| Clauger | 400 | 622,45 | 0,8 | 345 | 258,748 | 431,249 |
| Daikin | 400 | 408,186 | 0,8 | 226,24 | 169,680 | 282,800 |
| CIAT | 400 | 8,12 | 0,8 | 4,5 | 3,375 | 5,625 |
| Housseuse A | 400 | 43 | 0,57 | 17 | 24,478 | 29,802 |
| Housseuse B | 400 | 43 | 0,57 | 17 | 24,478 | 29,802 |
| Convoyeur palette | 400 | 25 | 0,75 | 13 | 11,456 | 17,328 |
| Totale | | | | 2124,24 | 1343,235 | 2513,30 |

Tableau III.3 : Calcul de la puissance installée 1 kg et 5 kg

b) Unité de sucre morceau et doypack

Les résultats des calculs sont inscrits dans le tableau III.4

| ligne | N de ligne | Equipements | U(V) | I(A) | Cos ϕ | P (kW) | Q (kVAR) | S (kVA) |
|---------------|------------|--|------|--------|------------|--------|----------|---------|
| sucre morceau | 1 | Machine elbecuber, elebadryer, elebapacker | 400 | 103,1 | 0,77 | 55 | 45,575 | 71,429 |
| | | Formeuse de boites | 400 | 2,343 | 0,77 | 1,25 | 1,036 | 1,623 |
| | | Fermeuse | 400 | 5,717 | 0,77 | 3,05 | 2,527 | 3,961 |
| | | Transport de boites | 400 | 0,684 | 0,77 | 0,365 | 0,302 | 0,474 |
| | | Encartonneuse | 400 | 21,088 | 0,77 | 11,25 | 9,322 | 14,610 |
| | | Palettiseur | 400 | 14,059 | 0,77 | 7,5 | 6,215 | 9,740 |
| doypack | | Conditionneuse mispack | 400 | 48,737 | 0,77 | 26 | 21,544 | 33,766 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|-----|--------|------|---------------|----------------|----------------|
| | 1 | Trieuses pondérales | 400 | 0,375 | 0,77 | 0,2 | 0,166 | 0,260 |
| | | Encaisseuses COMBI 15 | 400 | 37,49 | 0,77 | 20 | 16,572 | 25,974 |
| | | Convoyeur carton entre encaisseuse et pal | 400 | 7,967 | 0,77 | 4,25 | 3,522 | 5,520 |
| | | Robot de palettisation ligne Doypack | 400 | 9,372 | 0,77 | 5 | 4,143 | 6,493 |
| | | Convoyeur TMG | 400 | 28,68 | 0,77 | 15,3 | 12,678 | 19,870 |
| | | ascenseurs | 400 | 16,027 | 0,77 | 8,55 | 7,085 | 11,104 |
| | | Housseuse | 400 | 16,4 | 0,77 | 8,75 | 7,250 | 11,363 |
| | | Palamatic (A ,B) | 400 | 17,8 | 0,77 | 9,5 | 7,868 | 12,335 |
| | | Eclairage | 400 | 19.485 | 1 | 13,5 | 0 | 13,500 |
| | | Totale | 1 | | | | | 189,465 |
| 2 | | | | | | 378,93 | 291,611 | 478,147 |

Tableau III.4: Calcul de la puissance installée morceau et doypack

| ligne | P (kW) | Q (kVAR) | S (kVA) |
|--------------------|-----------------|-----------------|------------------|
| 1 et 5 kg | 2124,240 | 1343,235 | 2 989,746 |
| morceau et doypack | 378,930 | 291,611 | |
| Totale | 2503,170 | 1634,846 | |

Tableau III.5: résultat de calcul de la puissance installée totale

La puissance installée totale au jeu de barre 30KV égale à

$$S_{\text{barre}} = 2989,746 \text{ KVA}$$

III .5 . Calcul de la puissance d'utilisation

III .5.1. Puissance utile d'une charge P_{ui}

L'estimation de la puissance réellement absorbée par une charge électrique tient compte du taux de charge de récepteur par rapport à sa charge nominale ainsi, la détermination de cette puissance nécessite une bonne connaissance du facteur d'utilisation.[15]

$$P_{ui}=K_u * P_n \quad (III.4)$$

Avec

P_{ui} : la puissance utile demandée

K_u : facteur d'utilisation

P_n : puissance nominale

III .5.2. Puissance utile dans une branche P_{uj}

Cette puissance est déterminée en établissant la somme de toutes les puissances utiles du groupe de récepteur alimenté par la même branche, multipliées par le facteur de simultanéité correspondant. Elle est donnée par la relation suivante :

$$P_{uj}=K_s * \sum_{i=1}^n P_{ui} \quad (III.5)$$

Avec

P_{uj} : puissance utile dans une branche

K_s : facteur de simultanéité

n : Nombre de récepteurs

Cette puissance nous servira ensuite, au calcul de puissance à prévoir au poste de transformation et ce, en prenant en compte l'évolution de la charge.

$$P_{ut}=K_e * P_{uj} \quad (III.6)$$

P_{ut} : la puissance utile totale dans l'installation.

K_e : le facteur d'extension.

III .5.3. Calcul de la puissance utile totale dans l'installation

Les résultats de calcul sont consignés dans les Tableaux suivant :

a) Unité de sucre 1kg et 5 kg

Chaque équipement représente un récepteur donc, $K_s = 1$

| lignes | Equipements | K_u | P_{ui} (kW) | Q_{ui} (kVAR) | S_{ui} (kVA) | K_s | P_{uj} (kW) | Q_{uj} (kVAR) | S_{uj} (kVA) |
|----------|------------------|-------|---------------|-----------------|----------------|-------|---------------|-----------------|----------------|
| B | Conditionneuse 1 | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |
| | Conditionneuse 2 | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |
| | Conditionneuse 3 | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |
| | Conditionneuse 4 | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |
| | Fardeleuse | 0,75 | 14,25 | 19,193 | 23,904 | 1 | 14,25 | 19,193 | 23,904 |
| | Four | 0,7 | 26,6 | 2,065 | 26,680 | 1 | 26,6 | 2,065 | 26,680 |
| | Palettiseur | 0,75 | 11,25 | 23,418 | 25,980 | 1 | 11,25 | 23,418 | 25,980 |
| C | Conditionneuse 1 | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |
| | Conditionneuse 2 | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |
| | Conditionneuse 3 | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |
| | Conditionneuse 4 | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |
| | Fardeleuse | 0,75 | 14,25 | 19,193 | 23,904 | 1 | 14,25 | 19,193 | 23,904 |
| | Four | 0,7 | 26,6 | 2,065 | 26,680 | 1 | 26,6 | 2,065 | 26,680 |
| | Palettiseur | 0,75 | 18 | 14,919 | 23,379 | 1 | 18 | 14,919 | 23,379 |
| D | Conditionneuse 1 | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |
| | Conditionneuse 2 | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |
| | Conditionneuse 3 | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |
| | Conditionneuse 4 | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |
| | Fardeleuse | 0,75 | 14,25 | 19,193 | 23,904 | 1 | 14,25 | 19,193 | 23,904 |
| | Four | 0,7 | 26,6 | 2,065 | 26,680 | 1 | 26,6 | 2,065 | 26,680 |
| | Palettiseur | 0,75 | 11,25 | 23,418 | 25,980 | 1 | 11,25 | 23,418 | 25,980 |
| | Conditionneuse 1 | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |
| | Conditionneuse 2 | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |

| | | | | | | | | | |
|-----------------|-------------------------|------|--------|---------|---------|---|--------|---------|---------|
| E | Conditionneuse 3 | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |
| | Conditionneuse 4 | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |
| | Fardeleuse | 0,75 | 14,25 | 19,193 | 23,904 | 1 | 14,25 | 19,193 | 23,904 |
| | Four | 0,7 | 28,5 | 2,212 | 28,586 | 1 | 28,5 | 2,212 | 28,586 |
| | Palettiseur | 0,75 | 11,25 | 23,418 | 25,980 | 1 | 11,25 | 23,418 | 25,980 |
| F | Conditionneuse 13 | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |
| | Conditionneuse 14 | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |
| | Conditionneuse 15 | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |
| | Conditionneuse 16 | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |
| | Fardeleuse | 0,75 | 14,25 | 19,193 | 23,904 | 1 | 14,25 | 19,193 | 23,904 |
| | Four | 0,7 | 26,6 | 2,065 | 26,680 | 1 | 26,6 | 2,065 | 26,680 |
| | Palettiseur | 0,75 | 18 | 14,919 | 23,379 | 1 | 18 | 14,919 | 23,379 |
| H | Conditionneuse 17 | 0,75 | 7,35 | 7,421 | 10,445 | 1 | 7,35 | 7,421 | 10,445 |
| | Conditionneuse 18 | 0,75 | 7,35 | 7,421 | 10,445 | 1 | 7,35 | 7,421 | 10,445 |
| | Conditionneuse 19 | 0,75 | 7,35 | 7,421 | 10,445 | 1 | 7,35 | 7,421 | 10,445 |
| | Conditionneuse 20 | 0,75 | 7,35 | 7,421 | 10,445 | 1 | 7,35 | 7,421 | 10,445 |
| | Fardeleuse | 0,75 | 21,75 | 16,920 | 27,556 | 1 | 21,75 | 16,920 | 27,556 |
| | Four | 0,7 | 26,6 | 2,065 | 26,680 | 1 | 26,6 | 2,065 | 26,680 |
| | Palettiseur | 0,75 | 14,55 | 0,433 | 14,556 | 1 | 14,55 | 0,433 | 14,556 |
| G | Conditionneuse | 0,75 | 10,35 | 1,466 | 10,453 | 1 | 10,35 | 1,466 | 10,453 |
| | Palettiseur | 0,75 | 12 | 9,946 | 15,586 | 1 | 12 | 9,946 | 15,586 |
| Utilités | TBRS 1 | 0,75 | 16,5 | 13,672 | 21,428 | 1 | 16,5 | 13,672 | 21,428 |
| | TBRS 2 | 0,75 | 8,25 | 6,836 | 10,714 | 1 | 8,25 | 6,836 | 10,714 |
| | TBRS 3 | 0,75 | 8,25 | 6,836 | 10,714 | 1 | 8,25 | 6,836 | 10,714 |
| | TBRS 4 | 0,75 | 8,25 | 6,836 | 10,714 | 1 | 8,25 | 6,836 | 10,714 |
| | Compresseur 1 | 1 | 110 | 91,148 | 142,856 | 1 | 110 | 91,148 | 142,856 |
| | Compresseur 2 | 1 | 160 | 132,611 | 207,812 | 1 | 160 | 132,611 | 207,812 |
| | Compresseur 3 | 1 | 110 | 91,148 | 142,856 | 1 | 110 | 91,148 | 142,856 |
| | Sécheur | 1 | 160 | 32,488 | 163,265 | 1 | 160 | 32,488 | 163,265 |
| | Récupérateur déchets | 0,75 | 20,625 | 9,988 | 22,916 | 1 | 20,625 | 9,988 | 22,916 |

| | | | | | | | | | |
|--------------|----------------------|------|----------------|-----------------|-----------------|---|----------------|-----------------|-----------------|
| | Dépoussiérage | 0,75 | 35,25 | 24,604 | 42,987 | 1 | 35,25 | 24,604 | 42,987 |
| | Nettoyage centralisé | 0,75 | 16,95 | 11,831 | 20,670 | 1 | 16,95 | 11,831 | 20,670 |
| | Clauger | 0,75 | 258,75 | 194,055 | 323,433 | 1 | 258,75 | 194,055 | 323,433 |
| | Daikin | 0,75 | 169,68 | 127,256 | 212,098 | 1 | 169,68 | 127,256 | 212,098 |
| | CIAT | 0,75 | 3,375 | 2,531 | 4,219 | 1 | 3,375 | 2,531 | 4,219 |
| | Housseuse A | 0,75 | 12,75 | 18,358 | 22,351 | 1 | 12,75 | 18,358 | 22,351 |
| | Housseuse B | 0,75 | 12,75 | 18,358 | 22,351 | 1 | 12,75 | 18,358 | 22,351 |
| | Convoyeur à palette | 0,75 | 9,75 | 8,592 | 12,996 | 1 | 9,75 | 8,592 | 12,996 |
| total | | | 1718,68 | 1093,508 | 2037,062 | | 1718,68 | 1093,508 | 2037,062 |

Tableau III.6: Calcul de la puissance d'utilisation unité de sucre 1kg et 5 kg

b) Unité de sucre morceau et doypack

| Lignes | Nombre de ligne | Equipements | K_u | P_{ui} (kW) | Q_{ui} (kVAR) | K_s | P_{uj} (kW) | Q_{uj} (kV AR) | S_{uj} (kVA) |
|---------------|-----------------|--|-------|---------------|-----------------|-------|---------------|------------------|----------------|
| sucre morceau | 2 | Machine elbecuber, elebadryer, elebapacker | 0,75 | 41,250 | 34,180 | 0,6 | | | |
| | | Formeuse de boits | 0,75 | 0,938 | 0,777 | | | | |
| | | Fermeuse | 0,75 | 2,288 | 1,895 | | | | |
| | | Transport de boites | 0,6 | 0,219 | 0,181 | | | | |
| | | Encartonneuse | 0,75 | 8,438 | 6,991 | | | | |
| | | Palettiseur | 0,75 | 5,625 | 4,661 | | | | |
| | | Conditionneuse mispack | 0,75 | 19,500 | 16,158 | , | | | |
| | | Trieuses pondérales | 0,6 | 0,120 | 0,099 | | | | |
| | | Encaisseuses COMBI 15 | 0,75 | 15,000 | 12,429 | | | | |

| | | | | | | | | | |
|--------------|----------|---|------|----------------|----------------|------------|---------------|----------------|----------------|
| doypack | 2 | Convoyeur carton entre encaisseuse et pal | 0,75 | 3,188 | 2,641 | | | | |
| | | Robot de palettisation ligne Doypack | 0,75 | 3,750 | 3,107 | | | | |
| | | Convoyeur TMG | 0,75 | 11,475 | 9,508 | | | | |
| | | ascenseurs | 0,75 | 6,413 | 5,313 | | | | |
| | | Housseuse | 0,75 | 6,563 | 5,437 | | | | |
| | | Palamatic (A, B) | 0,75 | 7,125 | 5,901 | | | | |
| | | Eclairage | 1 | 13,500 | 0,000 | | | | |
| Total | | 1 | | 145,389 | 109,281 | 0,6 | 87,233 | 65,5686 | 109,128 |
| | 2 | | | 290,778 | 218,561 | 0,6 | 174,47 | 131,137 | 218,256 |

Tableau III.7: Calcul de la puissance d'utilisation unité sucre morceau et doypack

| charge | P_{uj} (kW) | Q_{uj} (kVAR) | S_{uj} (kVA) | K_e | P_{ut} (kW) | Q_{ut} (kVAR) | S_{ut} (kVA) |
|---------------------------|----------------|-----------------|-----------------|-------|----------------|-----------------|-----------------|
| 1 et 5 kg | 1718,68 | 1093,508 | 2254,722 | 1,2 | 2271,78 | 1469,574 | 2705,667 |
| morceau et doypack | 174,47 | 131,137 | | | | | |
| Jeux de barre | 1893,15 | 1224,645 | | | | | |

Tableau III.8: résultats de calcul de la puissance utile totale dans l'installation.

| charge | P_{ut} (kW) | S_{ut} (kVA) | $\cos(\varphi)$ |
|----------------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Jeux de barre | 2271,78 | 2705,667 | 0.84 |

Tableau III.9: Valeur de facteur de puissance.

III .6. Vérification de bilan de puissance avec logiciel ECODIAL

Après avoir calculé le bilan de puissance on doit vérifier ces résultat on utilisant logiciel ECODIAL pour la conformité des ces résultat, et puis faire le bon choix de transformateur de l'installation.

III .6.1. Caractéristiques électriques globales du réseau

Avant de commencer la réalisation du schémas, on doit saisir les caractéristiques générales de l'installation

| Caractéristiques globales | |
|---|---------|
| Un Ph-Ph (V) | 400 |
| Schéma de liaison à la terre | IT |
| Chute de tension maximale (%) | 8.00 |
| Section maxi autorisée (mm ²) | 300.00 |
| Tolérance section (%) | 0.0 |
| Section N / Section Ph | 1 |
| Cosphi global à atteindre | 0.96 |
| Norme d'appareillage | IEC 947 |
| Fréquence du réseau (Hz) | 50 |

Afficher les caractéristiques globales à chaque nouvelle affaire

Par défaut

OK Annuler Aide

Figure III.1 : caractéristiques globales

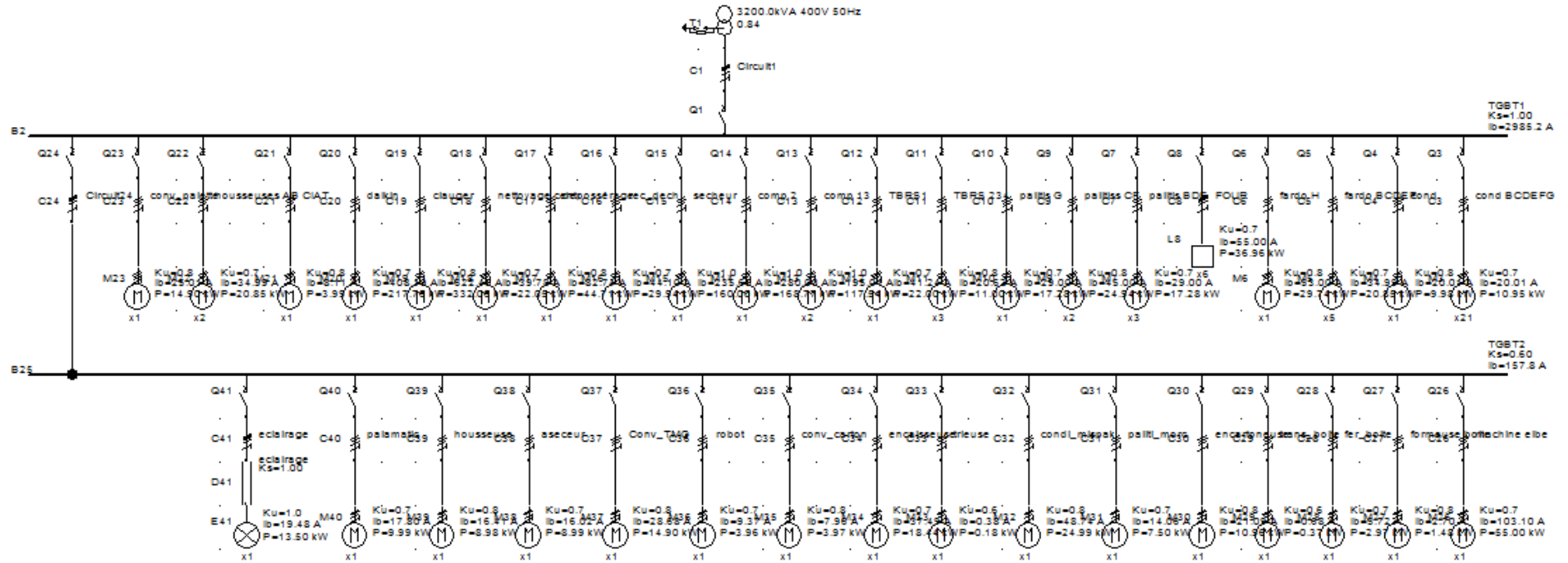


Figure III.2 : schéma unifilaire global

III .6.2. Présentation de résultats de calcul par ECODIAL

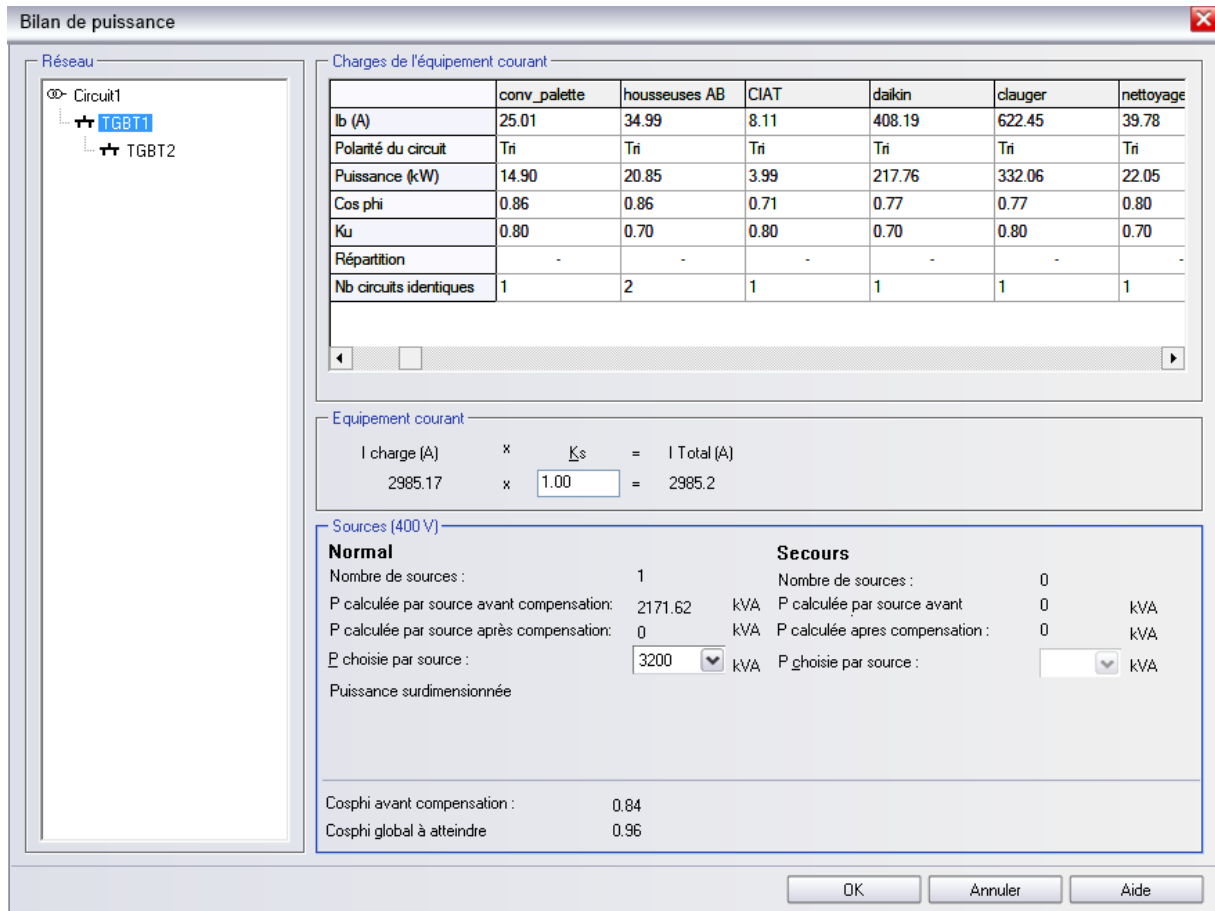


Figure III.3 : les résultats obtenus au niveau TGBT1

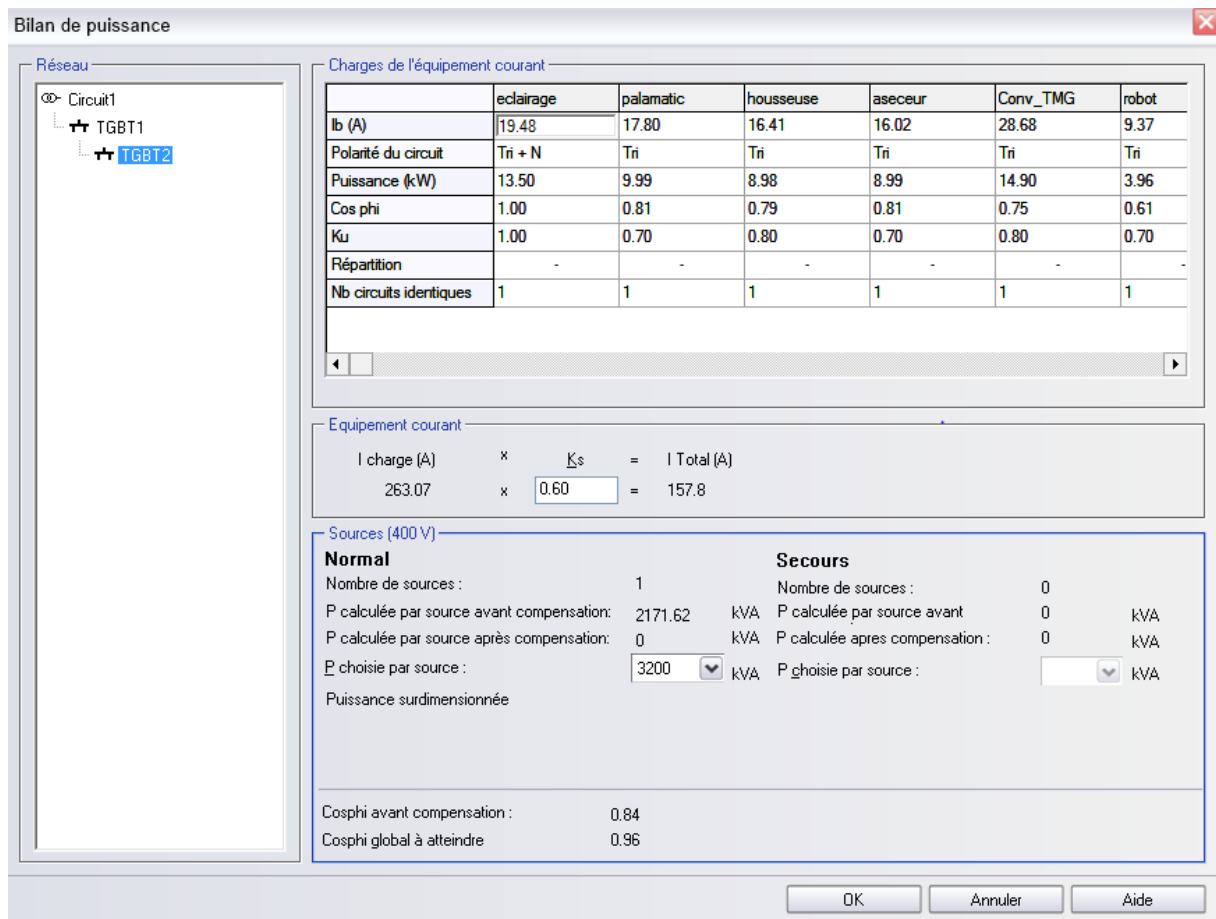


Figure III.4 : les résultats obtenus au niveau TGBT2

III .7. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons élaboré le bilan de puissance qui nous a permis de connaître le niveau de consommation en énergie électrique, ainsi que la disponibilité de l'énergie au sein de la ligne de production de l'unité CDS. Nous avons déterminé les puissances utiles des différents récepteurs, ainsi que la puissance globale afin de déduire le facteur de puissance

D'après les résultats obtenus dans ce chapitre, on constate que l'installation électrique de l'unité CDS présente un facteur de puissance moyen entraînant des pertes d'énergie importantes non exploitées tel que le $\text{Cos}(\varphi) = 0.84$.

Les puissances des différentes machines, ainsi déterminés, nous servirons au dimensionnement, d'un système de compensation d'énergie réactive, qui nous permet l'amélioration de facteur de puissance, une réduction de la chute de tension et une augmentation de la puissance active disponible au transformateur.

IV.1. Introduction

L'énergie électrique est essentiellement distribuée aux utilisateurs sous forme de courant alternatif par des réseaux en haute, moyenne et basse tension.

L'énergie réactive est consommée par les récepteurs, tels que les transformateurs, les moteurs, etc. Pour compenser celle-ci, il est nécessaire de fournir l'énergie réactive à la place du réseau de distribution par l'installation d'équipements de compensation, ils permettent de réaliser des économies sur les factures d'électricité et d'optimiser les équipements électriques.

IV.2. Problématique

Les nouvelles techniques de production (technologie industrielle) servent à une consommation impotente de l'énergie électrique, sachant que, la consommation de l'énergie électrique d'unité CDS aux dernières années est très élevée car elle est toujours en phase de développements, et pour cela il faut minimiser les gaspillages d'énergies et améliorer la production avec un coût économique minimal.

Les solutions

- ✓ Economie sur le dimensionnement des équipements électriques car la puissance appelée diminue
- ✓ Amélioration de la qualité de l'installation électrique pour éviter le gaspillage d'énergie électrique
- ✓ Eviter la saturation des transformateurs

Installer les batteries de condensateurs pour la compensation d'énergie réactive, qui est notre but dans ce chapitre

IV.3. Circulation de l'énergie réactive

La circulation de l'énergie réactive a des incidences technique et économique importantes. En effet, pour une même puissance active P , la figure suivante montre qu'il faut fournir d'autant plus de puissance apparente, et donc de courant, que de puissance réactive est importante. [16]

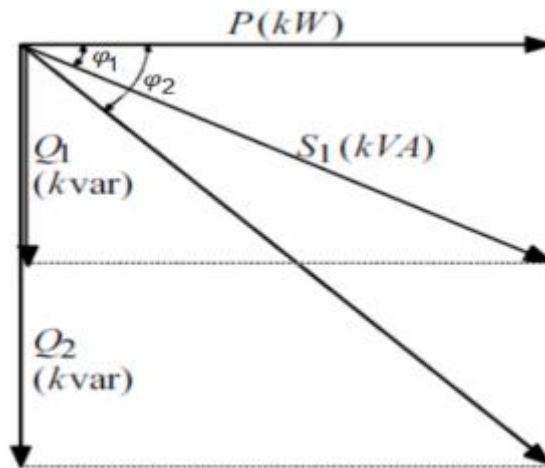


Figure IV.1 : Influence du $\cos \varphi$ sur la valeur de la puissance réactive

IV.4. Le facteur de puissance

Le facteur de puissance est un élément qui rend compte de l'efficacité d'un dipôle pour consommer la puissance lorsqu'il est traversé par un courant.

Par définition le facteur de puissance d'une installation électrique (FP) est égal au rapport de la puissance active P (kW) sur la puissance apparente S (kVA).

$$FP = \frac{P(KW)}{S(KVA)}$$

En général $FP = \cos \varphi$

IV.4.1. Amélioration du facteur de puissance

L'installation de condensateurs permet de compenser l'énergie réactive de la composante fondamentale et d'obtenir un $\cos \varphi$ proche de 1.

Par contre il n'est pas possible de compenser par des condensateurs l'énergie réactive due aux harmoniques. Il en résulte qu'en présence d'harmoniques, il est impossible d'obtenir un facteur de puissance égale à 1 en installant des condensateurs. Pour obtenir un facteur de puissance égale à 1, il faut éliminer les courants harmoniques par un filtre actif.

Cependant, il faut noter que le distributeur d'énergie ne fait payer au client que l'énergie réactive due à la composante fondamentale. Il faudra donc calculer $\cos \varphi_1$, pour déterminer la puissance réactive des condensateurs qu'il faut installer pour réduire ou supprimer le facteur d'énergie réactive.

IV.4.2. Avantage d'un bon facteur de puissance

Un bon facteur de puissance permet d'optimiser une installation électrique et apporte les avantages suivants :

- ✓ La suppression de la facturation de l'énergie réactive.
- ✓ La diminution de la puissance souscrite en kVA.
- ✓ La limitation des pertes d'énergie active dans les câbles compte-tenu de la diminution de l'intensité véhiculée dans l'installation.
- ✓ L'amélioration du niveau de tension en bout de ligne.
- ✓ L'apport de puissance disponible supplémentaire au niveau des transformateurs de puissance si la compensation est effectuée au secondaire.

Un bon facteur de puissance c'est :

- $\cos \varphi$ élevé (proche de 1).
- Ou $\tan \varphi$ faible (proche de 0).

IV.4.3. Inconvénient d'un mauvais facteur de puissance

Un mauvais facteur de puissance dans une installation entraîne de nombreux inconvénients tel que :

- ✓ Intensité de courant en ligne trop élevée ce qui engendre l'augmentation des pertes d'énergie active dans les câbles.
- ✓ La facturation de l'énergie réactive.
- ✓ Augmentation de la puissance souscrite en kVA.
- ✓ Saturation des transformateurs.
- ✓ Dégradation de la qualité de l'installation électrique.
- ✓ Pénalités par le fournisseur d'énergie électrique.

IV.5. Compensation d'énergie réactive

La compensation de l'énergie réactive est primordiale sur le plan technique et économique pour l'entreprise ; ainsi pour éviter le transit de la puissance réactive dans les canalisations on devrait la produire localement c'est-à-dire là où le besoin se fait sentir. Les avantages qui en résultent se traduisent par :

- ✓ Une économie sur les équipements électriques à savoir diminution de la puissance appelée.

- ✓ Une augmentation de la puissance disponible au secondaire du transformateur.
- ✓ Une diminution des chutes de tensions et des pertes joules dans les câbles.
- ✓ Une économie sur la facturation de l'énergie (ce qui veut dire suppression des pénalités).

IV.5.1 Le principe de la compensation [17]

L'énergie réactive consommée par les charges qui présentent une composante inductive (transformateur, moteur etc.), est compensée en utilisant des batteries de condensateurs ou par des machines tournantes de types synchrones ou asynchrones, mais actuellement (sauf exception), leur emploi a été abandonné principalement à cause de leur entretiens onéreux.

Pratiquement, on utilise les condensateurs statiques dont le diélectrique est constitué d'un papier imprégné dans un liquide isolant. Ces condensateurs sont regroupés en série parallèle pour constituer des batteries de condensateurs, qui peuvent être directement raccordées en BT ou en MT.

Dans l'installation, la distance entre le jeu de barre et la batterie ne doit pas dépasser 15m. Ce dispositif doit être mis au plus près de la charge pour éviter que l'énergie réactive ne soit appelée sur le réseau.

La puissance réactive des condensateurs à mettre en œuvre, doit être déterminée en fonction de la puissance de l'installation, du facteur de puissance $\cos(\varphi)$ d'origine et du $\cos(\varphi)$ requis à l'arrivée.

IV.5.2. Equipement de compensation de l'énergie réactive [14]

En basse tension, la compensation est réalisée par :

- ✓ Des condensateurs fixes.
- ✓ Des équipements de régulation automatique, ou de batteries de condensateurs, qui permettent un ajustement continu aux besoins de l'installation.

Les batteries de condensateur sont les équipements de compensation d'énergie réactive les plus utilisées compte-tenu :

- ✓ De leur non-consommation en énergie réactive.
- ✓ De leur faible coût d'achat.
- ✓ De leur faible entretien (appareil statique).
- ✓ De leur durée de vie (10ans environ).

- ✓ Leur simplicité de production de l'énergie réactive dans les installations industrielles.
- ✓ Une batterie de condensateur est un générateur de puissance réactive nécessaire pour alléger la puissance apparente des réseaux en amont des lieux de consommation.

IV.5.3. Les différents types de compensation

La compensation peut être réalisée avec deux familles de produits :

IV.5.3.a. Compensation fixe[14]

Les batteries de condensateurs fournissent une puissance réactive constante quelque soient les variations des charges des récepteurs. La mise sous tension de ces batteries est :

- Manuelle : commande par disjoncteur ou interrupteur.
- Ou semi-automatique : commande par contacteur.

Ils s'utilisent :

- ✓ Aux bornes des récepteurs de type inductif (moteurs et transformateur),
- ✓ Sur un jeu de barres où se trouvent de nombreux petits moteurs dont la compensation individuelle serait trop coûteuse
- ✓ Dans le cas d'installation électrique à charge constante fonctionnant 24 /24h
- ✓ Dans le cas de compensation réactive des transformateurs.

IV.5.3.b. Compensation de type automatique(ou en gradins)

Ce type d'équipement permet l'adaptation automatique de la puissance réactive fournie par les batteries de condensateurs en fonction d'un $\cos\phi$ désiré et imposé en permanence.[14]

- **Principe de fonctionnement**

Une batterie de condensateurs à régulation automatique est divisée en gradins, chaque gradin est commandé par un contacteur. L'enclenchement du contacteur met le gradin en service en parallèle avec les gradins connectés à l'installation, le déclenchement du contacteur, au contraire, le met hors service. Ainsi la capacité totale de la batterie de condensateurs varie par palier en fonction du besoin en énergie réactive.

Un relais var métrique mesure la valeur du facteur de puissance de l'installation et en commandant l'ouverture ou la fermeture des contacteurs des gradins en fonction de la charge, régule la valeur du facteur de puissance de l'installation à la valeur consignée. La tolérance sur la régulation est déterminée par la taille de chaque gradin. Le transformateur de courant TC associé au relais var métrique doit être installé sur une des phases de l'arrivée alimentant les

charges à compenser, comme décrit dans le schéma de la Figure IV.2

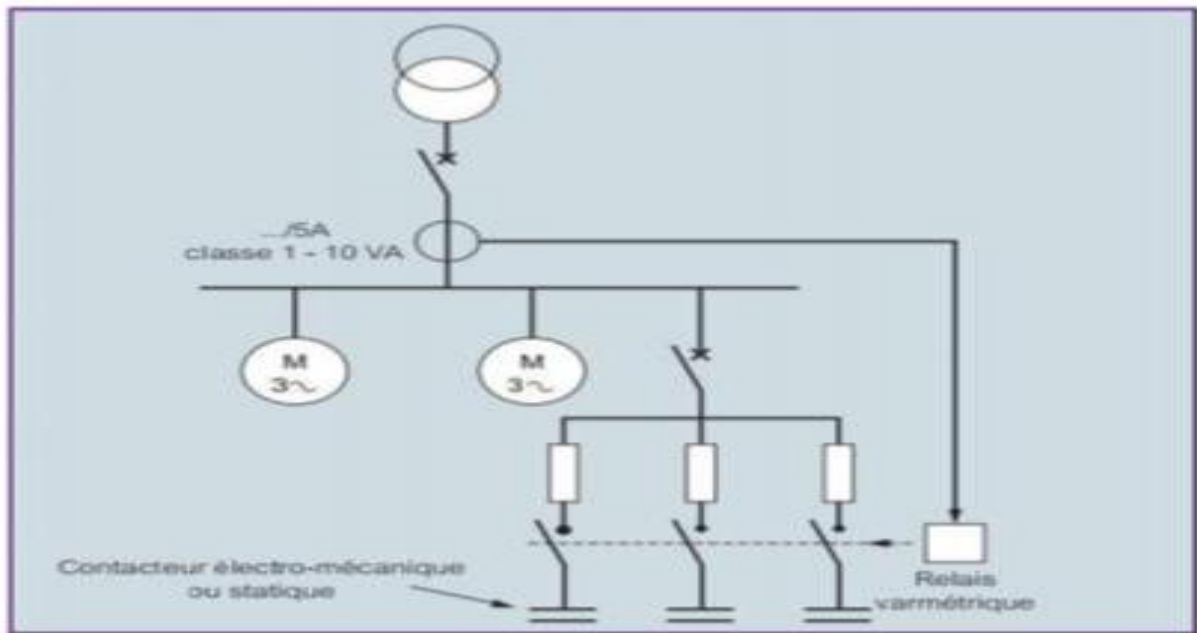


Figure IV.2: Principe de la compensation automatique d'une installation

Ce type de batterie est très utilisé par certaines grosses industries (forte puissance installée) et les distributeurs d'énergie dans les postes.

- **Les avantages de la compensation automatique**
 - ✓ Réponse immédiate à toute variation du facteur de puissance (le temps de réponse est de 2ms à 40ms selon l'option de régulation).
 - ✓ Nombre illimité d'opération.
 - ✓ Fonctionnement totalement silencieux

IV.5.4. Choix de type de compensation [18]

Le choix de type de compensation est pris selon le rapport suivant :

$Q_c/S_n < 15\%$ compensation fixe.

$Q_c/S_n \geq 15\%$ compensation automatique.

Avec :

Q_c : puissance réactive de l'équipement de compensation, en kVAR.

S_n : puissance apparente du transformateur de l'installation, en kVA.

IV.5.5. Choix de la localisation de la compensation

On distingue trois modes de compensation :

- ✓ Compensation globale
- ✓ Compensation partielle ou par secteur
- ✓ Compensation individuelle

IV.5.5.a. Compensation globale

La batterie est raccordée en tête d'installation et assure la compensation pour l'ensemble des charges. Elle convient lorsqu'on cherche essentiellement à supprimer les pénalités et soulager le poste de transformation.

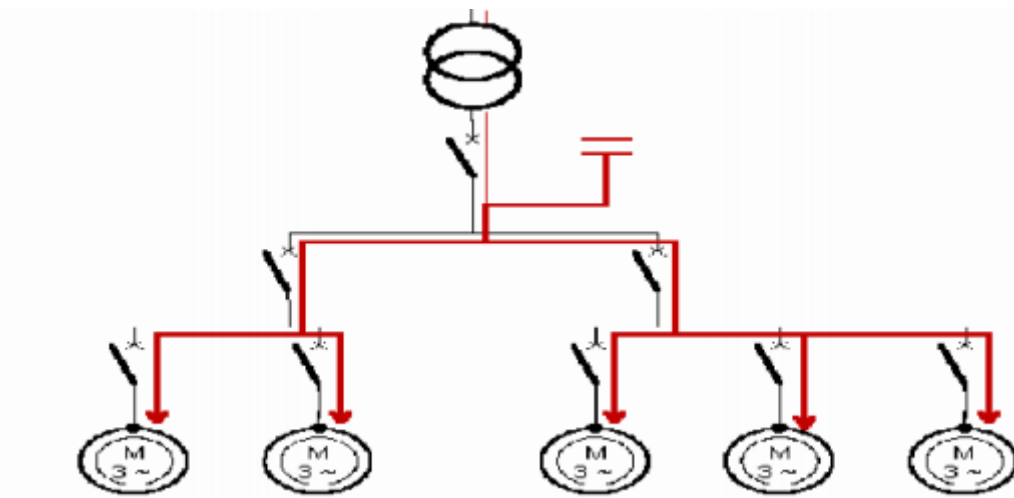


Figure IV.3: Compensation globale

➤ **Avantage :**

- supprimer les pénalités pour consommation excessive d'énergie réactive.
- diminuer la puissance apparente en l'ajustant au besoin en puissance active de l'installation

➤ **inconvénient :**

- les câbles d'alimentation de l'installation en aval de la batterie doivent être prévus pour faire transiter toute la puissance apparente ;
- un entretien périodique doit être effectué.

➤ **Utilisation :**

Lorsque la charge est régulière, une compensation globale convient

IV.5.5.b. Compensation partielle (ou secteur)

La batterie est raccordée au tableau de distribution et fournit l'énergie réactive demandée par un secteur de l'installation.

Une grande partie de l'installation est soulagée, en particulier les canalisations alimentant chaque secteur.

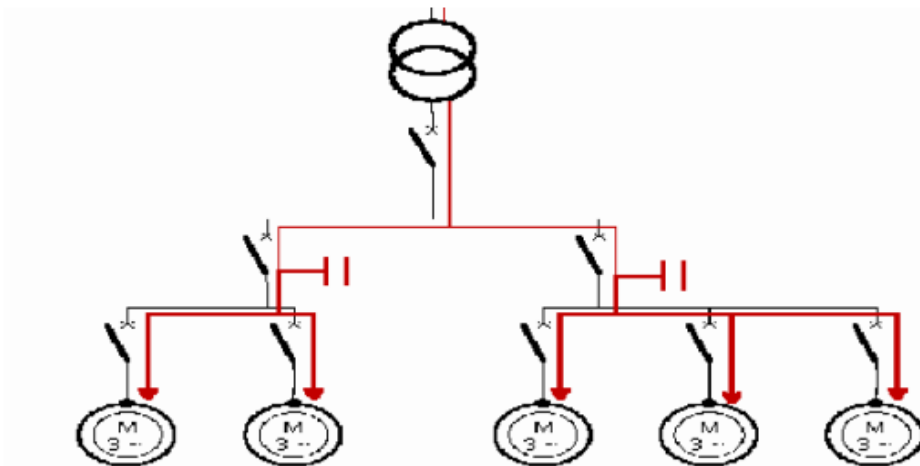


Figure IV.4 : Compensation partielle

➤ **Avantages**

- supprime les pénalités pour consommation excessive d'énergie réactive.
- optimise une partie du réseau, le courant réactif n'étant pas véhiculé entre le niveau qui est en aval vers le secteur compensé.

➤ **Inconvénients**

- Les câbles, en aval de la batterie, alimentant les appareils de l'atelier doivent être dimensionnés pour prendre en considération toute la puissance apparente demandée ;
- Une protection des condensateurs de la batterie (fusibles, disjoncteur, etc....) doit être prévue pour question de sécurité, ce qui augmente le coût de la batterie ;
- Nécessite une maintenance périodique de la batterie.

➤ **Utilisation**

Une compensation par secteur est conseillée lorsque l'installation est étendue et comporte des secteurs à forte consommation d'énergie réactive.

IV.5.5.c. Compensation individuelle

Compensation directe à la machine à compenser ; il s'agit de la solution technique la plus optimale pour réduire directement la consommation de réactive dans la charge.

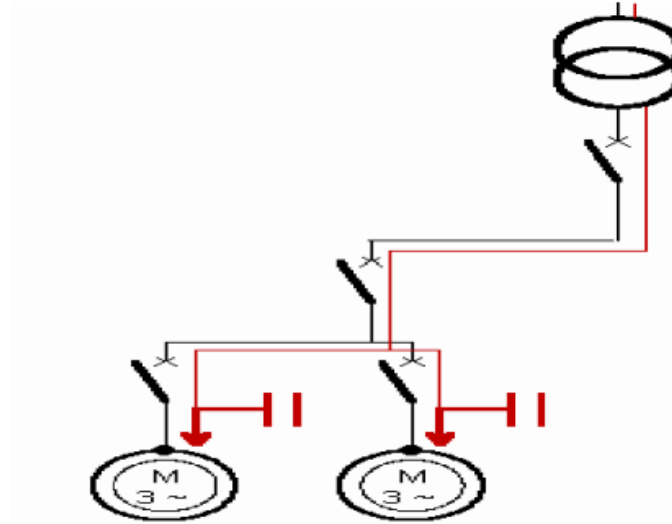


Figure IV.5 : Compensation individuelle

➤ **Avantages**

- supprime les pénalités pour consommation excessive d'énergie réactive.
- réduit les pertes par effet Joule (KWh) et les chutes de tension.
- Économie de dispositifs pour la connexion et la déconnexion des condensateurs.
- Diminution du courant circulant dans les lignes permettant une réduction des dimensions des lignes et des appareils et une augmentation de la puissance active disponible au transformateur.

➤ **Inconvénients**

C'est le type de compensation qui offre le plus d'avantages mais qui est le plus coûteux. Si les charges ne fonctionnent pas en permanence, certains condensateurs restent inactifs.

➤ **Utilisation**

Une compensation individuelle est à envisager lorsque la puissance de certains récepteurs est importante par rapport à la puissance du transformateur. [19]

IV.6. Puissance réactive à installer

La puissance réactive Q_c à compenser d'un équipement électrique peut être déduite à partir de la puissance active et du facteur de puissance de l'installation selon le diagramme des puissances de la figure IV.6. [14]

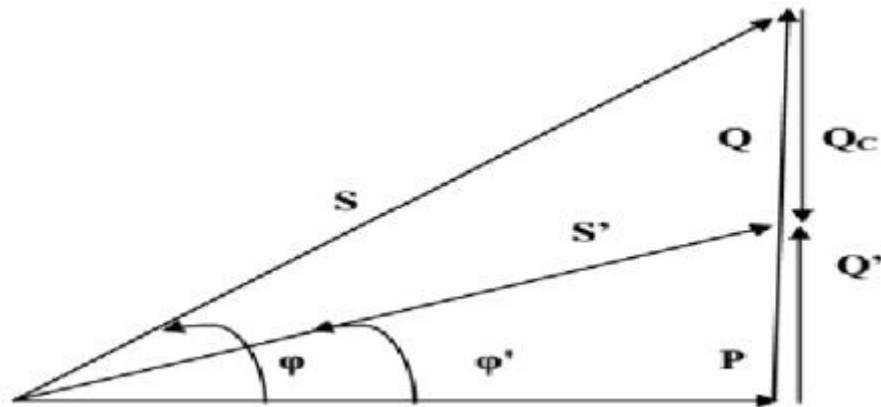


Figure IV.6 : Triangle de puissance

Avant compensation on a :

- Puissance active P (kW)
- Puissance réactive Q en (kVAR)
- Puissance apparente S en (kVA)
- Facteur de puissance $\cos(\varphi)$

Après compensation on a :

- Puissance active P (kW)
- Puissance réactive Q' en (kVAR)
- Puissance apparente S' en (kVA)
- Facteur de puissance $\cos(\varphi')$

Le diagramme des puissances apparentes permet d'établir les relations suivantes :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

$$\operatorname{Tg} \varphi = \frac{Q}{P} \Rightarrow Q = P \cdot \operatorname{Tg} \varphi \quad (\text{IV.1})$$

$$\operatorname{Tg} \varphi' = \frac{Q'}{P} \Rightarrow Q' = P \cdot \operatorname{Tg} \varphi' \quad (\text{IV.2})$$

$$Q = Q' - Q_c \quad (\text{IV.3})$$

Avec : $Q_c < 0$

D'où

$$Q_c = Q' - Q$$

De (IV.1) et (IV.2)

$$Q_c = P \cdot (\operatorname{Tg} \varphi' - \operatorname{Tg} \varphi) \quad (\text{IV.4})$$

IV.6.1. Calcul des valeurs des capacités des condensateurs

❖ En monophasé

La valeur de la capacité se calcul à l'aide de la relation suivante :

$$Q_c = C \cdot W \cdot V^2 \quad (\text{IV.5})$$

❖ En triphasé

a) Montage triangle

La puissance réactive fournie par l'ensemble des condensateurs est donnée par l'expression suivante :

$$Q_{c-\Delta} = 3 \cdot C_{eq} \cdot W \cdot U^2 \quad (\text{IV.6})$$

$$C_{eq} = m / n \cdot C \quad (\text{IV.7})$$

Avec : U : tension composée (V)

W : pulsation des tensions du réseau (rd / s)

C : capacité du condensateur (F)

n : nombre de condensateurs connectés en série

m : nombre de condensateurs connectés en parallèle.

b) Montage étoile

La puissance réactive fournie par l'ensemble des condensateurs est la suivante :

$$Q_c = C \cdot W \cdot V^2$$

$$Q_{c-\Delta} = 3 \cdot C_{eq} \cdot W \cdot U^2$$

$$C_{eq} = \frac{Q_{c-\Delta}}{3 \cdot W \cdot U^2} \implies 3 \cdot C_{eq} = \frac{Q_{c-\Delta}}{W \cdot U^2} \quad (IV.8)$$

$$Q_{c-\lambda} = 3 \cdot C_{eq} \cdot W \cdot U^2 = 3 \cdot C_{eq} \cdot W \cdot (V/\sqrt{3})^2$$

$$Q_{c-\lambda} = C_{eq} \cdot W \cdot U^2 \implies C_{eq} = \frac{Q_{c-\lambda}}{W \cdot U^2} \quad (IV.9)$$

De (IV.8) et (IV.9)

$$C_{c-\lambda} = 3C_{c-\Delta}$$

IV.6.2. Compensation des moteurs de puissance au démarrage et en fonctionnement normal

Les moteurs de l'industrie sont des moteurs à grande puissance nécessitent un courant de démarrage de 4 à 8 fois le courant nominal du moteur.

Le $\cos \varphi$ des moteurs est en général très mauvais à vide ainsi qu'à faible charge et faible en marche normale. Il peut donc être utile d'installer des condensateurs pour ce type de

Récepteurs.

a) Cas du montage des condensateurs aux bornes du moteur

Pour éviter des surtensions dangereuses dues au phénomène d'auto-excitation, il faut s'assurer que la puissance de la batterie vérifie la relation suivante :

$$Q_c \leq 0,9 \sqrt{3} U_n I_0$$

I_0 : courant à vide du moteur. Qui peut être estimé par l'expression suivante

$$I_0 = 2 I_n (1 - \cos \varphi_n) \quad (IV.10)$$

I_n : la valeur du courant nominal du moteur

$\cos \varphi_n$: facteur de puissance du moteur à la puissance nominale

U_n : tension composée nominale

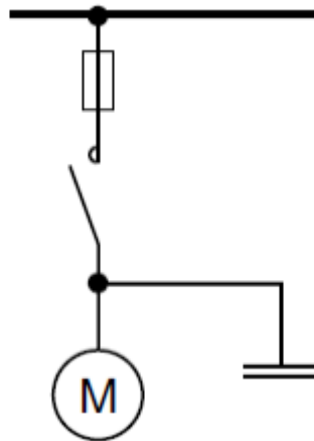


Figure IV.7 : Montage des condensateurs aux bornes du moteur

b) Cas du montage des condensateurs en parallèle avec commande séparée

Pour éviter les surtensions dangereuses par auto-excitation ou bien dans le cas où le moteur démarre à l'aide d'un appareillage spécial (résistances, inductances, autotransformateurs), les condensateurs ne seront enclenchés qu'après le démarrage.

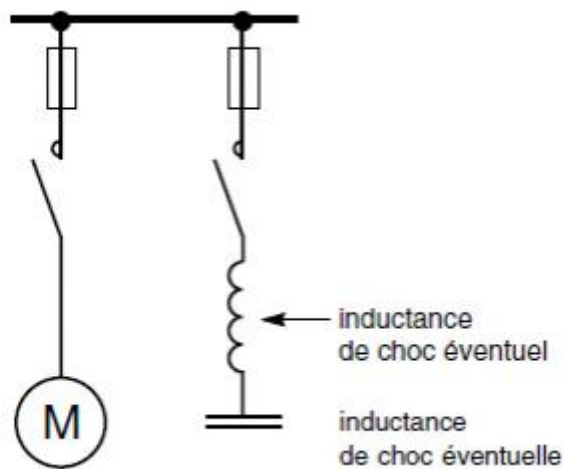


Figure IV.8: Montage des moteurs en parallèle avec commande séparée

IV.7. Calcul de la puissance compensée

Pour calculer la puissance réactive compensée Q_c , on utilise les formules citées précédemment :

❖ Au niveau du jeu de barre on a :

$$\cos \varphi = 0,84$$

$$\tan \varphi = 0,65$$

Désiré

$$\cos \varphi' = 0,96$$

$$\tan \varphi' = 0,29$$

$$Q_c = P * (\tan \varphi' - \tan \varphi) = - 817,841 \text{ kVAR}$$

$$Q' = Q + Q_c = 1469,574 - 817,841 = 651.733 \text{ kVAR}$$

$$C = \frac{|Q_c|}{3.W.U^2} = \frac{817,841}{3*314*400^2}$$

$$C = 5,42 \mu\text{F}$$

| | Avant compensation | | | | Après compensation | | | |
|--------------|---------------------|-----------------------|----------------------|----------------|--------------------|-------------------|-----------------|------------------|
| Charge | $P_{ut}(\text{KW})$ | $Q_{ut}(\text{KVAR})$ | $S_{ut}(\text{KVA})$ | $\cos \varphi$ | $Q_c(\text{KVAR})$ | $Q'(\text{KVAR})$ | $\cos \varphi'$ | $C(\mu\text{F})$ |
| Jeu de barre | 2271,78 | 1469,574 | 2705,667 | 0,84 | - 817,841 | 651.733 | 0,96 | 5,42 |

Tableau IV.1 : puissance réactive fournie par les batteries de compensation

IV.7.1. Le choix de système de compensation

Choix de système de compensation est donné en fonction :

$$\frac{|Q_c|}{S_n}$$

on a : $\frac{Q_c}{S_n} = \frac{817,841}{2989,746} = 27.35 \%$ qui est supérieur à 15% donc la compensation est automatique.

IV.7.2 Vérification du mode de compensation des moteurs asynchrones**En mode individuel**

Pour une compensation individuelle il faut avoir :

$$|Q_c| \leq 0,9\sqrt{3} U_n I_0 \text{ sachant que : } I_0 = 2 I_n (1 - \cos \varphi_n)$$

Exemple :

$$\text{TBRs1 : } I_0 = 18,97 \text{ A}$$

$$0,9\sqrt{3} U_n I_0 = 11,828 \text{ KVAR}$$

On a trouvé que $|Q_c| > 11,828 \text{ KVAR}$

On conclue que la compensation individuelle au démarrage n'est pas convenable donc on va utilisée le mode compensation globale.

IV.8. Compensation d'énergie réactive en présence d'harmoniques

Les harmoniques sont des ondes à fréquences multiples de la fréquence du réseau qui se superposent à l'onde fondamentale de fréquence 50 Hz.

La principale source des harmoniques dans les réseaux électriques est l'utilisation de plus en plus croissante d'équipements à base de l'électronique de puissance dits :

« Semi-conducteur ».

IV.8.1. les différents types d'harmonique [19]

Il existe deux types principaux d'harmonique

➤ **Les inter-harmoniques**

Ce sont des signaux qui superposent à l'onde fondamentale, et qui ne sont pas des multiples entiers de fréquence du réseau. 130Hz, 170Hz, 220Hz.....

➤ **Les infra-harmoniques**

Ce sont des composant sinusoïdaux qui sont à des fréquences inférieure à celle du fondamental : 10Hz, 30Hz....

IV.8.2. Les nuisances causées par les harmoniques sur les réseaux

Les harmoniques circulant dans les réseaux apportent de nombreuses nuisances :

- Dégradation du facteur de puissance
- Perturbation des circuits électroniques
- surcharge et vieillissement des condensateurs de compensation d'énergie réactive
- surcharge des conducteurs de neutre en raison de la sommation des harmoniques de rang 3 créés par les charges monophasées
- déformation de la tension d'alimentation pouvant perturber des récepteurs sensibles
- surcharge des réseaux de distribution par l'augmentation du courant efficace
- surcharge, vibrations et vieillissement des alternateurs, transformateurs, moteurs
- perturbation des lignes téléphoniques.

Toutes ces nuisances ont un impact économique important, en coût de matériel qui doit être surdimensionné ou dont la durée de vie est réduite, en pertes énergétiques supplémentaires et en perte de productivité.

IV.8.3. Le filtrage des harmoniques

Les harmoniques générés par certains équipements d'électronique de puissance (ponts redresseurs, variateurs de vitesse, les fours à arcs, machines à souder), nuisent au fonctionnement des installations électriques, leur filtrage permet :

- d'éliminer les nuisances.
- de garantir le bon fonctionnement d'une installation.
- d'éliminer les surcoûts générés par les harmoniques.

Plusieurs solutions pour résoudre ces problèmes sont envisageables :

IV.8.3.a. Filtre passif [14]

Le principe d'un filtre passif est de modifier localement l'impédance du réseau, de façon à « dériver » les courants harmoniques et à éliminer les tensions harmoniques y afférentes.

Des éléments capacitifs et inductifs sont, en effet, associés de manière à obtenir une résonance série accordée sur une fréquence choisie.

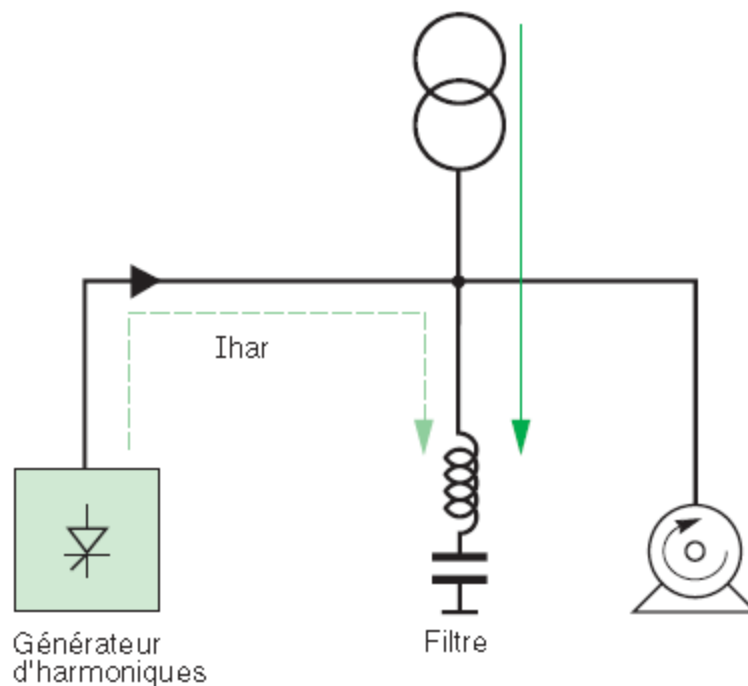


Figure IV.9 : Filtre passif BT [14]

Cette solution présente plusieurs avantages dont, la simplicité d'utilisation et de maintenance, en plus d'être la solution la plus économique pour l'élimination d'un rang d'harmonique.

IV.8.3.b. Filtre actif

Les filtres actifs sont basés sur une technologie électronique de puissance. Ils sont en général installés en parallèle des charges non linéaires. Les filtres actifs analysent en permanence les courants harmoniques générés par la charge et injectent des courants harmoniques, de même valeur mais en opposition de phase, dans la charge. En conséquence, les courants harmoniques sont totalement neutralisés au point considéré. Cela signifie qu'ils ne circulent plus sur les circuits en amont et ne sont plus « fournis » par la source. [20]

Cette solution moderne représente ainsi des différents avantages dont, l'élimination des risques des surcharges, solution peut s'adapter aux évolutions de la charge et du réseau électrique et ceci sans toucher aux installations du fournisseur d'énergie et du consommateur, et la facilité d'utilisation.

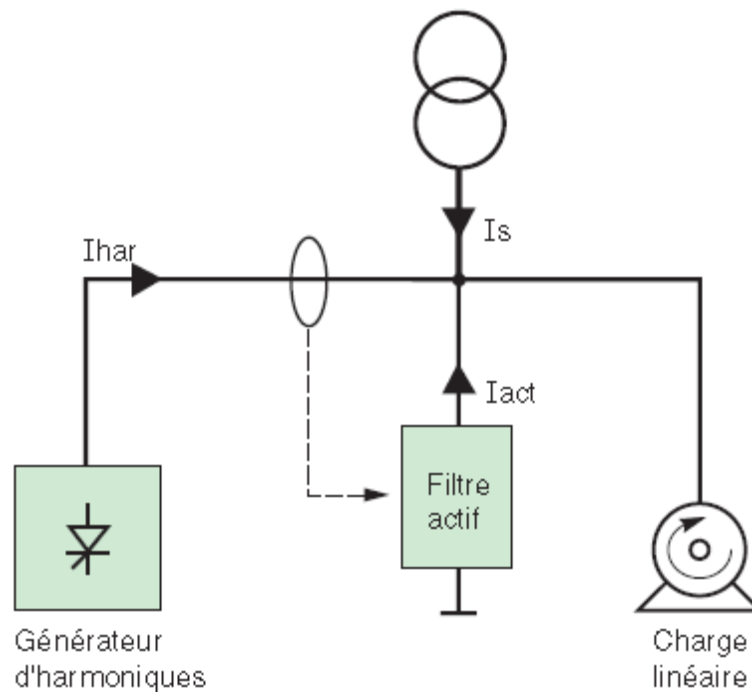


Figure IV.10 : Filtre actif BT [14]

IV.8.3.c. Le filtre hybride BT [14]

Ces types de filtre combinent les avantages des filtres passifs et actifs. Le courant harmonique à une des fréquences peut être filtré par le filtre passif et tous les courants aux autres fréquences sont filtrés par le filtre actif.

Le filtre hybride est un compromis idéal pour assurer le filtrage de plusieurs harmoniques tout en assurant une compensation d'énergie réactive et son installation est très simple.

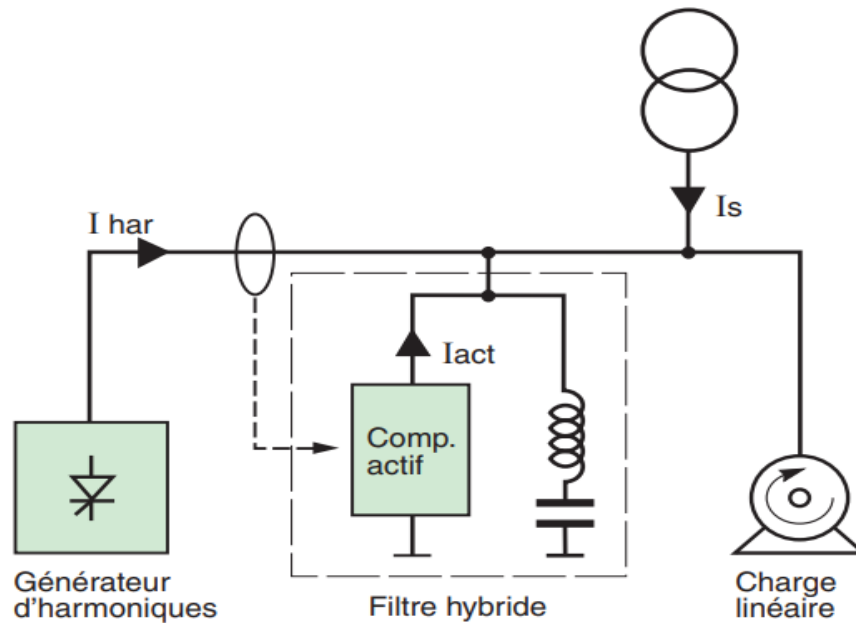


Figure IV.11 : Filtre hybride [7]

IV.9. Optimisation d'énergies électriques

A travers l'analyse des consommations en électricité d'unité CDS, il a été enregistré une consommation très importante de l'énergie électrique comme indique le tableau des données suivant (Tableau IV.2)

| Mois | Production (Tonnes) | Energie kWh | P (kW) |
|-----------|---------------------|-------------|----------|
| Janvier | 54166,535 | 552100 | 742,070 |
| Février | 44249,322 | 431300 | 641,815 |
| Mars | 58037,293 | 528100 | 709,812 |
| Avril | 57352,39 | 534900 | 742,917 |
| Mai | 63625,95 | 600000 | 806,452 |
| Juin | 54166,535 | 588200 | 816,944 |
| Juillet | 54166,535 | 651000 | 875,000 |
| Aout | 54166,535 | 723100 | 971,909 |
| Septembre | 54166,535 | 453800 | 630,278 |
| Octobre | 54166,535 | 641200 | 861,828 |
| Novembre | 54166,535 | 453800 | 630,278 |
| Décembre | 54166,535 | 467800 | 628,763 |
| total | 656597,235 | 6625300 | 9 058,07 |

Tableau IV.2. Production et consommation mensuelle avant compensation d'unité CDS

| Mois | Avant compensation | | Après compensation | |
|-----------|--------------------|------------|--------------------|-----------|
| | Cos φ | S | cos φ' | S' |
| Janvier | 0,84 | 883,417 | 0,96 | 772,990 |
| Février | | 764,066 | | 668,557 |
| Mars | | 845,014 | | 739,388 |
| Avril | | 884,425 | | 773,872 |
| Mai | | 960,061 | | 840,054 |
| Juin | | 972,553 | | 850,983 |
| Juillet | | 1 041,667 | | 911,458 |
| Aout | | 1 157,034 | | 1 012,405 |
| Septembre | | 750,331 | | 656,540 |
| Octobre | | 1 025,986 | | 897,738 |
| Novembre | | 750,331 | | 656,540 |
| Décembre | | 748,528 | | 654,961 |
| total | | 10 783,411 | | 9 435,485 |

Tableau IV.3 : Consommation mensuelle (puissances apparentes) avant et après compensation d'unités CDS

IV.10. Calcul des pertes dans les câbles

a) la résistance du câble

Connaissant les sections et les longueurs des câbles, nous allons calculer les résistances de chaque tronçon de câble en utilisant la relation suivante :

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (\text{IV.11})$$

ρ : la résistivité du câble en cuivre ($\text{mm}^2\Omega/\text{km}$).

L : la longueur du câble (m).

S : la section du câble (mm^2).

b) Les Pertes Joules dans les câbles

Les pertes Joules dans les canalisations précédentes sont calculées en utilisant la relation :

$$P_{jr} = 3 \cdot R \cdot I^2 \tag{IV.12}$$

R : la résistance du câble

I : le courant qui circule dans le câble

Les résultats de calcul sont donnés dans les tableaux suivants :

- **Unité de sucre 1 kg et 5kg**

| lignes | équipements | $\rho(\text{mm}^2 \cdot \Omega / \text{km})$ | L(m) | S (mm ²) | R (mΩ) | P _{jr} (w) |
|----------|------------------|--|------|----------------------|---------|---------------------|
| B | Conditionneuse 1 | 22,5 | 120 | 10 | 270 | 324,000 |
| | Conditionneuse 2 | 22,5 | 120 | 10 | 270 | 324,000 |
| | Conditionneuse 3 | 22,5 | 120 | 10 | 270 | 324,000 |
| | Conditionneuse 4 | 22,5 | 120 | 10 | 270 | 324,000 |
| | Fardeleuse | 22,5 | 100 | 16 | 140,625 | 892,688 |
| | Four | 22,5 | 100 | 50 | 45 | 408,375 |
| | palettiseur | 22,5 | 80 | 16 | 112,5 | 843,750 |
| C | Conditionneuse 1 | 22,5 | 100 | 10 | 225 | 270,000 |
| | Conditionneuse 2 | 22,5 | 100 | 10 | 225 | 270,000 |
| | Conditionneuse 3 | 22,5 | 100 | 10 | 225 | 270,000 |
| | Conditionneuse 4 | 22,5 | 100 | 10 | 225 | 270,000 |
| | Fardeleuse | 22,5 | 80 | 16 | 112,5 | 714,150 |
| | Four | 22,5 | 80 | 50 | 36 | 326,700 |
| | palettiseur | 22,5 | 70 | 16 | 98,4375 | 598,008 |
| D | Conditionneuse 1 | 22,5 | 100 | 10 | 225 | 270,000 |
| | Conditionneuse 2 | 22,5 | 100 | 10 | 225 | 270,000 |
| | Conditionneuse 3 | 22,5 | 100 | 10 | 225 | 270,000 |
| | Conditionneuse 4 | 22,5 | 100 | 10 | 225 | 270,000 |
| | Fardeleuse | 22,5 | 80 | 16 | 112,5 | 714,150 |
| | Four | 22,5 | 80 | 50 | 36 | 326,700 |
| | palettiseur | 22,5 | 70 | 16 | 98,4375 | 738,281 |

| | | | | | | |
|-----------------|---------------------|------|-----|-----|----------|-----------|
| E | Conditionneuse 1 | 22,5 | 100 | 10 | 225 | 270,000 |
| | Conditionneuse 2 | 22,5 | 100 | 10 | 225 | 270,000 |
| | Conditionneuse 3 | 22,5 | 100 | 10 | 225 | 270,000 |
| | Conditionneuse 4 | 22,5 | 100 | 10 | 225 | 270,000 |
| | Fardeleuse | 22,5 | 80 | 16 | 112,5 | 714,150 |
| | Four | 22,5 | 80 | 50 | 36 | 326,700 |
| | palettiseur | 22,5 | 70 | 16 | 98,4375 | 738,281 |
| F | Conditionneuse 13 | 22,5 | 100 | 10 | 225 | 270,000 |
| | Conditionneuse 14 | 22,5 | 100 | 10 | 225 | 270,000 |
| | Conditionneuse 15 | 22,5 | 100 | 10 | 225 | 270,000 |
| | Conditionneuse 16 | 22,5 | 100 | 10 | 225 | 270,000 |
| | Fardeleuse | 22,5 | 80 | 16 | 112,5 | 714,150 |
| | Four | 22,5 | 80 | 50 | 36 | 326,700 |
| | palettiseur | 22,5 | 70 | 16 | 98,4375 | 598,008 |
| H | Conditionneuse 17 | 22,5 | 120 | 10 | 270 | 324,000 |
| | Conditionneuse 18 | 22,5 | 120 | 10 | 270 | 324,000 |
| | Conditionneuse 19 | 22,5 | 120 | 10 | 270 | 324,000 |
| | Conditionneuse 20 | 22,5 | 120 | 10 | 270 | 324,000 |
| | Fardeleuse | 22,5 | 100 | 16 | 140,625 | 1 185,047 |
| | Four | 22,5 | 100 | 50 | 45 | 408,375 |
| | palettiseur | 22,5 | 100 | 16 | 140,625 | 1 084,425 |
| G | Conditionneuse | 22,5 | 110 | 10 | 247,5 | 297,000 |
| | palettiseur | 22,5 | 120 | 16 | 168,75 | 455,625 |
| Utilités | Housseuse A | 22,5 | 100 | 16 | 140,625 | 780,046 |
| | Housseuse B | 22,5 | 100 | 16 | 140,625 | 780,046 |
| | Convoyeur a palette | 22,5 | 120 | 16 | 168,750 | 316,406 |
| | TBRS 1 | 22,5 | 180 | 16 | 253,125 | 1 291,498 |
| | TBRS 2 | 22,5 | 180 | 10 | 405 | 516,599 |
| | TBRS 3 | 22,5 | 180 | 10 | 405 | 516,599 |
| | TBRS 4 | 22,5 | 180 | 10 | 405 | 516,599 |
| | Compresseur 1 | 22,5 | 50 | 95 | 11,84210 | 1 510,524 |
| | Compresseur 2 | 22,5 | 50 | 130 | 8,653846 | 2 336,538 |
| | Compresseur 3 | 22,5 | 50 | 95 | 11,84210 | 1 510,524 |

| | | | | | | |
|--|----------------------|------|-----|-----|----------|------------|
| | Sécheur | 22,5 | 60 | 50 | 27 | 4 498,005 |
| | Récupérateur déchets | 22,5 | 150 | 25 | 135 | 787,648 |
| | Dépoussiérage | 22,5 | 150 | 50 | 67,5 | 1 385,961 |
| | Nettoyage centralisé | 22,5 | 150 | 25 | 135 | 640,892 |
| | Clauger | 22,5 | 250 | 220 | 25,56818 | 29 718,716 |
| | Daikin | 22,5 | 250 | 110 | 51,13636 | 25 562,133 |
| | Ciat | 22,5 | 10 | 10 | 22,5 | 0,422 |

Tableau IV.4: Calcul des pertes dans les câbles (1 kg et 5 kg)

• Unité sucre morceau et doypack

| lignes | Equipements | $\rho(\text{mm}^2 \cdot \Omega / \text{km})$ | L(m) | S (mm ²) | R (m Ω) | P _{jr} (w) |
|------------------|---|--|------|----------------------|-----------------|---------------------|
| Sucre morceau | Machine elbecuber, elebadryer, elebapacker | 22 ,5 | 40 | 50 | 18 | 573,000 |
| | Formeuse de boits | 22 ,5 | 70 | 6 | 262,5 | 4,312 |
| | Fermeuse | 22 ,5 | 60 | 6 | 225 | 22,007 |
| | Transport de boites | 22 ,5 | 60 | 6 | 225 | 0,312 |
| | Encartonneuse | 22 ,5 | 80 | 16 | 112,5 | 150,000 |
| | Palettiseur | 22 ,5 | 100 | 10 | 225 | 133,436 |
| | Conditionneuse mispack | 22 ,5 | 60 | 16 | 84,375 | 601,320 |
| | Trieuses pondétales | 22 ,5 | 60 | 16 | 84,375 | 34,652 |
| Doypack | Encaisseuses COMBI 15 | 22 ,5 | 70 | 10 | 157,5 | 664,098 |
| | Convoyeur carton entre encaisseuse et pal | 22 ,5 | 90 | 6 | 337,5 | 64,800 |
| | Robot de palettisation ligne Doypack | 22 ,5 | 110 | 16 | 154,6875 | 40,7432 |
| | Convoyeur TMG | 22 ,5 | 150 | 16 | 210,9375 | 520,515 |
| | ascenseurs | 22 ,5 | 150 | 16 | 210,9375 | 162,405 |

| | | | | | | |
|--|------------------|------|-----|-----|--------|----------|
| | Housseuse | 22,5 | 200 | 16 | 281,25 | 226,935 |
| | Palamatic (A ,B) | 22,5 | 20 | 16 | 28,125 | 26,733 |
| | Eclairage | 22,5 | 120 | 2,5 | 1080 | 1230,115 |

Tableau IV.5:Calculs des pertes dans les câbles (morceau et doypack)

IV.11. Vérification de la chute de tension

L'impédance d'un câble est faible mais non nulle, lorsqu'il est traversé par le courant de service, il y a chute de tension entre son origine et son extrémité.

La norme NF C 15-100 impose que la chute de tension entre l'origine de l'installation BT et tout point d'utilisation n'excède pas les valeurs indiquées dans le Tableau IV.6 :

| Branchement | Eclairage | Autre usages |
|--|-----------|--------------|
| Alimentation par le réseau BT de distribution publique | 3% | 5% |
| Alimentation par poste privé HT/BT | 6% | 8% |

Tableau IV.6: Valeurs limites admise de chute de tension

Lorsque la chute de tension est supérieure aux valeurs du tableau ci-dessus, il sera nécessaire d'augmenter la section de certains circuits jusqu'à ce que l'on arrive à des valeurs inférieures à ces limites.

Le calcul de la chute de tension des différents conducteurs sont résumé dans le tableau ci-après :

| Type distribution | Nature de la chute de tension | Chute de tension V | Chute de tension en % |
|--------------------|-------------------------------|---|----------------------------|
| Monophasé | Entre phase | $\Delta U = 2 I_e (R \cos \varphi + \lambda l \sin \varphi)$ | $100 \frac{\Delta U}{U_n}$ |
| | Entre phase et neutre | $\Delta U = 2 I_e (R \cos \varphi + \lambda l \sin \varphi)$ | $100 \frac{\Delta U}{V_n}$ |
| Triphasé équilibré | Entre phase | $\Delta U = \sqrt{3} I_e (R \cos \varphi + \lambda l \sin \varphi)$ | $100 \frac{\Delta U}{U_n}$ |
| | Entre phase et neutre | $\Delta U = \sqrt{3} I_e (R \cos \varphi + \lambda l \sin \varphi)$ | $100 \frac{\Delta U}{V_n}$ |

Tableau IV.7 : Chute de tension des différents conducteurs

Ie: Courant d'emploi (A) $I_e = I_n * K_s * K_u * K_e$

Vn : Tension nominale simple (V)

Un : Tension nominale composée (V)

λ : Réactance linéique des conducteurs, pour un câble tripolaire est de 0,08 Ω /Km

l : Longueur du câble (km)

ϕ : Déphasage entre le courant et la tension

R : Résistance d'un conducteur (Ω)

On résume les résultats de calcul des différentes canalisations dans les tableaux suivant :

✓ **Unité de sucre 1kg et 5k**

| Lignes | équipements | Cos (ϕ) | Ie(A) | ΔU (V) | $\Delta U\%$ (V) |
|----------|-------------------|----------------|-------|----------------|------------------|
| B | Conditionneuse 1 | 0,99 | 18 | 8,33 | 2,083 |
| | Conditionneuse 2 | 0,99 | 18 | 8,33 | 2,083 |
| | Conditionneuse 3 | 0,99 | 18 | 8,33 | 2,083 |
| | Conditionneuse 4 | 0,99 | 18 | 8,33 | 2,083 |
| | Fardeleuse | 0,596 | 41,4 | 6,01 | 1,503 |
| | Four | 0,997 | 46,2 | 3,59 | 0,898 |
| | palettiseur | 0,433 | 45 | 3,80 | 0,949 |
| C | Conditionneuses 1 | 0,99 | 18 | 6,94 | 1,736 |
| | Conditionneuses 2 | 0,99 | 18 | 6,94 | 1,736 |
| | Conditionneuses 3 | 0,99 | 18 | 6,94 | 1,736 |
| | Conditionneuses 4 | 0,99 | 18 | 6,94 | 1,736 |
| | Fardeleuse | 0,596 | 41,4 | 4,81 | 1,202 |
| | Four | 0,997 | 46,2 | 2,87 | 0,718 |
| | palettiseur | 0,77 | 40,5 | 5,32 | 1,329 |
| D | Conditionneuses 1 | 0,99 | 18 | 6,94 | 1,736 |
| | Conditionneuses 2 | 0,99 | 18 | 6,94 | 1,736 |
| | Conditionneuses 3 | 0,99 | 18 | 6,94 | 1,736 |

| | | | | | |
|-----------------|--------------------|-------|--------|-------|-------|
| | Conditionneuses 4 | 0,99 | 18 | 6,94 | 1,736 |
| | Fardeleuse | 0,596 | 41,4 | 4,81 | 1,202 |
| | Four | 0,997 | 46,2 | 2,87 | 0,718 |
| | palettiseur | 0,433 | 45 | 3,32 | 0,831 |
| E | Conditionneuses 1 | 0,99 | 18 | 6,94 | 1,736 |
| | Conditionneuses 2 | 0,99 | 18 | 6,94 | 1,736 |
| | Conditionneuses 3 | 0,99 | 18 | 6,94 | 1,736 |
| | Conditionneuses 4 | 0,99 | 18 | 6,94 | 1,736 |
| | Fardeleuse | 0,596 | 41,4 | 4,81 | 1,202 |
| F | Four | 0,997 | 46,2 | 2,87 | 0,718 |
| | palettiseur | 0,433 | 45 | 3,32 | 0,831 |
| | Conditionneuses 13 | 0,99 | 18 | 6,94 | 1,736 |
| | Conditionneuses 14 | 0,99 | 18 | 6,94 | 1,736 |
| | Conditionneuses 15 | 0,99 | 18 | 6,94 | 1,736 |
| | Conditionneuses 16 | 0,99 | 18 | 6,94 | 1,736 |
| | Fardeleuse | 0,596 | 41,4 | 4,81 | 1,202 |
| | Four | 0,997 | 46,2 | 2,87 | 0,718 |
| | palettiseur | 0,77 | 40,5 | 5,32 | 1,329 |
| H | Conditionneuses 17 | 0,7 | 18 | 5,89 | 1,473 |
| | Conditionneuses 18 | 0,7 | 18 | 5,89 | 1,473 |
| | Conditionneuses 19 | 0,7 | 18 | 5,89 | 1,473 |
| | Conditionneuses 20 | 0,7 | 18 | 5,89 | 1,473 |
| | Fardeleuse | 0,789 | 47,7 | 9,17 | 2,292 |
| | Four | 0,997 | 46,2 | 3,59 | 0,898 |
| | palettiseur | 0,552 | 45,63 | 6,14 | 1,534 |
| G | Conditionneuses | 0,99 | 18 | 7,64 | 1,910 |
| | palettiseur | 0,77 | 27 | 6,08 | 1,519 |
| Utilités | TBRS 1 | 0,77 | 37,116 | 12,53 | 3,133 |
| | TBRS 2 | 0,77 | 18,558 | 10,02 | 2,506 |
| | TBRS 3 | 0,77 | 18,558 | 10,02 | 2,506 |
| | TBRS 4 | 0,77 | 18,558 | 10,02 | 2,506 |
| | Compresseur 1 | 0,77 | 247,44 | 3,91 | 0,977 |
| | Compresseur 2 | 0,77 | 360 | 4,16 | 1,039 |

| | | | | | |
|--|----------------------|------|---------|-------|-------|
| | Compresseur 3 | 0,77 | 247,44 | 3,91 | 0,977 |
| | Sécheur | 0,98 | 282,78 | 12,96 | 3,240 |
| | Récupérateur déchets | 0,9 | 39,69 | 8,35 | 2,088 |
| | Dépoussiérage | 0,82 | 74,457 | 7,14 | 1,785 |
| | Nettoyage centralisé | 0,82 | 35,802 | 6,87 | 1,716 |
| | Clauger | 0,8 | 560,205 | 19,86 | 4,965 |
| | Daikin | 0,8 | 367,367 | 26,04 | 6,510 |
| | CIAT | 0,8 | 7,308 | 0,23 | 0,057 |
| | Housseuse A | 0,57 | 38,7 | 5,37 | 1,343 |
| | Housseuse B | 0,57 | 38,7 | 5,37 | 1,343 |
| | Convoyeur palette | 0,75 | 22,5 | 4,93 | 1,233 |

Tableau IV.8 : Calcul de chute de tension pour l'unité 1 kg et 5 kg

✓ Unité sucre morceau et doypack

| Lignes | Equipements | Cos (φ) | I _e (A) | ΔU (V) | ΔU %(V) |
|------------------|---|-------------------|--------------------|----------------|-----------------|
| Sucre morceau | Machine elbecuber, elebadryer, elebapacker | 0,77 | 55,674 | 1,34 | 0,334 |
| | Formeuse de boits | 0,77 | 1,26522 | 0,44 | 0,111 |
| | Fermeuse | 0,77 | 3,08718 | 0,93 | 0,232 |
| | Transport de boites | 0,77 | 0,295488 | 0,09 | 0,022 |
| | Encartonneuse | 0,77 | 11,38752 | 1,71 | 0,427 |
| | Palettiseur | 0,77 | 7,59186 | 2,28 | 0,570 |
| | Conditionneuse mispack | 0,77 | 26,31798 | 2,96 | 0,740 |
| | Trieuses pondétales | 0,77 | 0,162 | 0,02 | 0,005 |

| | | | | | |
|----------------|---|------|---------|-------|-------|
| doypack | Encaisseuses COMBI 15 | 0,77 | 20,2446 | 4,25 | 1,063 |
| | Convoyeur carton entre encaisseuse et pal | 0,77 | 4,30218 | 1,94 | 0,484 |
| | Robot de palettisation ligne Doypack | 0,77 | 5,06088 | 1,04 | 0,261 |
| | Convoyeur TMG | 0,77 | 15,4872 | 4,36 | 1,089 |
| | ascenseurs | 0,77 | 8,65458 | 2,43 | 0,609 |
| | Housseuse | 0,77 | 8,856 | 3,32 | 0,831 |
| | Palamatic (A, B) | 0,77 | 9,612 | 0,36 | 0,090 |
| | Eclairage | 1 | 14,029 | 26,24 | 6,5 |

Tableau IV.9 : calcul de chute de tension morceau et doypack

IV.12. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le principe de la compensation de l'énergie réactive dans les installation industrielles, ainsi que les types, les modes et les avantages principales de cette compensation. Nous avons aussi présenté les solutions envisagées aux batteries de condensateur en présence d'harmonique qui ont un impact négative sur leur fonctionnement .

Nous avons opté pour une compensation globale et automatique dans le but de dimensionner les batteries de condensateur à installer pour l'unité CDS

Conclusion générale

Dans ce travail, nous avons procédé au dimensionnement de système de compensation de l'énergie réactive de l'unité CDS CEVITAL, ce qui nous a permis de découvrir l'environnement industriel, de combler nos insuffisances et d'approfondir nos connaissances dans le domaine des installations électriques industrielles.

Elle nous a aussi permis de toucher à la pratique, de maîtriser la méthodologie du calcul de bilan de puissance; la technique de compensation d'énergie, ainsi d'acquérir des connaissances dans les techniques de dimensionnement des protections, et la maîtrise d'une bonne exploitation électrique.

Avant de commencer la tâche principale du travail, nous avons fait une présentation de l'entreprise et définir les différents types de défaut et ces divers moyens de protection puis, on a abordé les différents régimes de neutre afin de choisir le régime IT qui le plus utiliser dans le domaine industrielle car il sert a la continuité de service.

Ensuite, nous avons recueillis les données de l'installation et élaborer son bilan de puissance pour déterminer la puissance total de l'unité CDS, la valeur de facteur de puissance obtenu est de 0,84 entraînant des pertes d'énergie importantes non exploitées est pour cela notre objective d'atteindre le $\cos(\varphi)$ global a 0,96 permet à une réduction de la chute de tension et une diminution d'énergie réactive. Notre résultat obtenu a été vérifié et confirmé par logiciel ECODIAL.

Dans la dernière partie on a étudié les différents modes et système de compensation d'énergie réactive par des batteries de condensateur, pour cela on a opté une compensation globale et automatique pour supprimer les pénalités dus à la consommation excessive d'énergie réactive et diminuer la puissance apparente en l'ajustant au besoin en puissance active de l'installation.

Le nouveau facteur de puissance permet d'optimiser l'énergie mensuelle de l'unité CDS et cela engendre à la minimisation de l'impact économique afin de vérifier les chutes de tension et déterminer les pertes joules dans les câbles.

Les perspective futures est d'étudier la compensation d'énergie réactive de l'unité CDS avec d'autre compensateur.

Référence bibliographie

- [1] Document interne de la direction des ressources humaines CEVITAL
- [2] **R. CHOQUET**, la sécurité électrique, technique de prévention, BOURDAS, PARIS, 1984
- [3] **LUIS FECHAN**, Appareillage électrique à basse tension, cahier technique de l'ingénieur N°D4860
- [4] **Henri Ney, Noël Morel**, 3 installations électriques, Électrotechnique et normalisation, Bourg-en-Bresse ,17/04/2001
- [5] **B.DE METZ-NOBLAT, F.DUMAS et C.POULAIN**, calcul des courants de court circuit, cahier technique N°158, Scheider Electric, 2005
- [6] **Groupe Schneider Electric**, guide de la distribution électrique basse tension et HTA, 2009
- [7] **JP. NEREAU**, «Sélectivité avec les disjoncteurs de puissance basse tension», Cahier technique Merlin Gerin N°201, Edition juin 2000.
- [8] **Mr. ZELLAGUI Mohamed**, mémoire magistère en électrotechnique (Modélisation et Commande des Machines Electriques)à université de Constantine « Étude des protections des réseaux MT (30 & 10 kV) »,2010
- [9] **F. SAUTRIAU**, «protection des réseaux par le Système de Sélectivité Logique», Cahier technique Merlin Gerin N°2, Edition 11/1990
- [10] **ABB**, «Guide installation ABB», Guide technique N°11, Edition.2011
- [11] **Les schémas de liaisons à la terre en BT** (régimes de neutre), B. LACROX, R. CALVAS, Cahier Technique n° 172.
- [12] **L'habilitation en électricité**. Démarche en vue de l'habilitation du personnel", ED 1456, 1995, 12 p., Documentation INRS,
- [13] **J.L.LILIEN**, « Effets indirects des champs électromagnétiques », Thèse doctorat Institut Montefiore, Université de Liège, 2005.
- [14] **Groupe Schneider Electric**, «Guide de l'installation électrique installation», Edition 2010.
- [15]**Groupe Schneider Electric**, catalogue de distribution électrique 2002

[16] **Groupe Schneider Electric**, «Guide de La compensation d'énergie réactive et du filtrage des harmonique », Guide expert basse tension n°6, Edition 2001

[17] **Legrand**, Coffrets, armoires de distribution, protection et mesure.

[18] **ENERDIS CHAUVIN ARNOUX**, «compensation de l'énergie réactive condensateur et armoire de rephasage», Edition 2011.

[19] **C. PRÉVÉ R. JEANNOT** « Guide de conception des réseaux électriques industriels »
Edition 1997

[20] **Groupe Schneider Electric**, «Guide de l'installation électrique installation», Edition
07/2017