

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministre de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Abderrahmane Mira de Bejaia
Faculté de Technologie
Département Génie Electrique

Mémoire de fin de cycle

En vue de l'obtention du diplôme de Master en Electrotechnique
Option : Technique de Haute Tension

Thème

**Etude et calcul de l'installation
électrique au niveau de la
raffinerie sucre Cevital**

Réalisé par :

➤ **OUADI AREZKI**

Encadré par :

M^r : A. MEDJDOUB

M^r : K-EDDINE MEBROUK

Promotion 2014-2015

Dédicaces

Aux être les plus chères, mes parents, mes frères et sœurs qui ont étaient à mes côtés et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études. En signe de reconnaissance, qu'ils se trouvent ici, 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 inoubliables en particulier mon chère HABIB.

Arezki

Remerciement

Mes remerciements vont tout d'abord au Dieu le tout puissant pour la santé et la patience qu'il m'a donné.

Le travail présenté dans ce manuscrit a été effectué dans le cadre du projet de Master, sous la direction de Mr A. Medjdoub et Mr K-eddine Mebrouk, auquel je tiens à adresser mes plus vifs remerciements pour m'avoir aidé à diriger cette étude.

Mes vifs remerciements au membre de jurys de bien vouloir accepter d'évaluer mon travail.

Et enfin, à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail sans oublier Mr H.Aboud.

Sommaire

| | |
|-----------------------------|---|
| INTRODUCTION GENERALE | 1 |
|-----------------------------|---|

Présentation de l'entreprise

| | |
|--------------------------------------------------------------|---|
| 1 Présentation du complexe CEVITAL | 2 |
| 1.1 Historique | 2 |
| 1.2 Situation géographique..... | 2 |
| 1.3 Activités de CEVITAL..... | 3 |
| 1.4 Missions et objectifs..... | 3 |
| 1.5 Différents organes constituant le complexe CEVITAL | 4 |
| 2 Présentation Direction raffinerie sucre..... | 5 |
| 2.1 Structure de la raffinerie..... | 5 |
| 2.2 Processus de fabrication de sucre..... | 5 |
| 2.3 Traitement des déchets..... | 7 |

Chapitre I

| | |
|-------------------------------------------------------------|----|
| I.1 Introduction..... | 8 |
| I.2 Les différentes sources de l'énergie électrique | 8 |
| I.2.1 Source « normale » | 8 |
| I.2.1 Source « secours » | 8 |
| I.2.3 Sources « sans interruption » | 9 |
| I.3 Les modes de distribution de l'énergie électrique | 9 |
| I.3.1 Distribution radiale | 9 |
| I.3.2 Distribution en peigne..... | 10 |
| I.3.3 Distribution en boucle..... | 11 |
| I.4 Les canalisations | 12 |
| Définition | 12 |

| | |
|--------------------------------------------------------|----|
| I.4.1 Types de canalisations | 12 |
| I.4.2 Construction générale | 12 |
| I.5 Les équipements électriques | 13 |
| I.5.1 Tableau général BT | 13 |
| I.5.2 Les transformateurs MT/BT et MT/MT | 13 |
| I.5.3 Organes de coupure et tableaux électriques | 13 |
| I.5.3.1 Organes de coupure..... | 14 |
| I.5.3.1.1 Le disjoncteur..... | 14 |
| I.5.3.1.2 Disjoncteur magnétothermique | 14 |
| I.5.3.1.3 Disjoncteur différentiel | 15 |
| I.5.3.1.4 Sectionneur | 16 |
| I.5.3.1.5 Les relais | 16 |
| I.5.3.1.6 Relais thermique | 16 |
| I.5.3.1.7 Relais magnétique | 16 |
| I.5.3.1.8 Le contacteur..... | 17 |
| I.5.3.1.9 Fusibles | 17 |
| I.5.3.2 Tableaux d'énergie électriques | 17 |
| I.6 Conclusion | 17 |

Chapitre II

| | |
|------------------------------------------------------------------|----|
| II.1 Introduction | 18 |
| II.2 Méthodologie de calcul d'une installation industrielle..... | 18 |
| II.2.1 Bilan de puissance | 18 |
| II.2.2 Détermination des sections des câbles..... | 18 |
| II.2.2.1 Section technique..... | 19 |
| II.2.2.1.1 Echauffement normal | 19 |
| II.2.2.1.2 Chute de tension | 19 |

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| II.2.2.1.3 Surcharge due au court-circuit..... | 20 |
| II.2.2.2 Section de sécurité Ss | 20 |
| II.2.3 Détermination des chutes de tension admissibles..... | 20 |
| II.2.3.1 Calcul de la chute de tension en ligne en régime permanent..... | 21 |
| II.3.2 Les limites des chutes de tension en ligne | 21 |
| II.4 Détermination des courants de court-circuit..... | 22 |
| II.4.1 Les différents types de court-circuit | 22 |
| II.4.2 Objectifs du calcul des courants de court-circuit..... | 22 |
| II.4.3 Méthode générale de calcul des courants de court-circuit..... | 23 |
| II.4.4 Détermination des courants de court-circuit de chaque partie de l'installation | 24 |
| II.5 Détermination des calibres In des déclencheurs des disjoncteurs | 25 |
| II.6 Choix des dispositifs de protection..... | 25 |
| II.6.1 Choix des appareils de protections et leur dimensionnement..... | 25 |
| II.6.2 Détermination des caractéristiques du réseau..... | 26 |
| II.6.3 Courant présumé..... | 26 |
| II.6.4 Le pouvoir de limitation | 27 |
| II.6.5 Les principes de déclenchement | 27 |
| II.6.6 Règle générale de la protection | 27 |
| II.7 La sélectivité..... | 27 |
| II.7.1 Sélectivité totale | 28 |
| II.7.2 Sélectivité partielle | 28 |
| II.7.3 Sélectivité ampéremétrique | 29 |
| II.7.4 Sélectivité chronométrique | 30 |
| II.8 La filiation | 30 |
| II.8.1 Conditions de mise en œuvre..... | 30 |
| II.8.2 Avantages de la filiation | 31 |
| II.9 Protection contre les chocs électrique | 31 |

| | |
|-----------------------------------------------------------------------|----|
| II.9.1 Protection contre les chocs directs..... | 31 |
| Définition | 31 |
| II.9.1.1 Dispositif de protection contre les contacts directs | 31 |
| II.9.2 Protection contre les chocs indirects | 32 |
| Définition | 32 |
| II.9.2.1 Dispositif de protection contre les contacts indirects | 32 |
| II.10 Conclusion | 34 |

Chapitre III

| | |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| III .1 Introduction | 35 |
| III. 2 Détermination de la puissance..... | 35 |
| III.2. 1 Puissance installée..... | 35 |
| III. 2.2 Puissance utilisée..... | 35 |
| ➤ a) Facteur d'utilisation K_u | 35 |
| ➤ b) Facteur de simultanéité K_s | 36 |
| ➤ c) Facteur d'extension K_e | 36 |
| III.4 Calcul de la puissance installée..... | 37 |
| III.5 Calcul de la puissance d'utilisation..... | 37 |
| III.5.1 Puissance utile d'une charge P_{ui} | 37 |
| III.5.2 Puissance utile dans une branche P_{uj} | 38 |
| III.5.3 récapitulatifs des charges totales des TGBT | 38 |
| III.5.4 Détermination du facteur de puissance total | 39 |
| III.6 Dimensionnement des transformateurs | 39 |
| III.7 compensation de l'énergie réactive | 40 |
| III.7.1 Introduction : | 40 |
| III.7.2 Le principe de la compensation..... | 40 |
| III.7.3 matériel et mode de compensation d'énergie réactive | 41 |
| III.7.3.1 Mode de compensation..... | 42 |

| | |
|------------------------------------------------------------------|----|
| III.7.4 Installation de batteries de compensation..... | 42 |
| III.7.5 Choix de type de compensation (fixe ou automatique)..... | 43 |
| III.7.6 Puissance réactive à installer..... | 43 |
| III.7.7 Calcul des valeurs de capacités des condensateurs..... | 44 |
| III.7.8 Calcul de la puissance de compensation..... | 45 |
| II.7.8.1 Vérification du type de compensation..... | 46 |
| III.9 Conclusion..... | 46 |

Chapitre IV

| | |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| IV.1 Introduction..... | 48 |
| IV.2 Conditions générales..... | 48 |
| IV.3 Caractéristiques des câbles..... | 49 |
| IV.4 Détermination des sections des câbles :..... | 49 |
| IV.4.1 Détermination des courants influençant sur la section..... | 50 |
| ➤ a. Courant d'emploi I_e :..... | 50 |
| ➤ b. Courant admissible I_{ad} :..... | 50 |
| ➤ c. Courant fictif..... | 50 |
| IV .5 Calcul et choix des sections des câbles en BT..... | 51 |
| IV .5.1 Section technique..... | 51 |
| IV .5.1.a Calcul de la section selon l'échauffement S_j | 51 |
| IV .5.1.b Vérification de la chute de tension..... | 52 |
| IV.6 Dimensionnement des jeux de barres..... | 53 |
| IV.6.1 Effet thermique..... | 53 |
| IV.6.2 Calcul le courant admissible maximal :..... | 55 |
| IV.6.3 L'échauffement du au courant de court-circuit :..... | 55 |
| IV.7 Détermination des courants de court-circuit..... | 56 |
| IV.7.1 Méthode générale de calcul des courants de court-circuit..... | 56 |
| IV. 8 Protection..... | 58 |

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| IV.8.1 Définition et rôle de la protection | 58 |
| IV.8.2 Problème de la protection | 58 |
| IV.8.3 Protection contre les surcharges et court-circuit | 59 |
| IV.8.4 Protection par système de liaison a la terre | 59 |
| Définition | 59 |
| IV.8.4.1 Les différents régimes du neutre | 59 |
| IV.8.4.2 Choix du SLT | 60 |
| IV.8.4.3 Régime du neutre utilisé dans l'entreprise | 60 |
| IV.8.5 Protection par disjoncteur | 60 |
| IV.9 Dimensionnement des appareils de protection..... | 61 |
| IV.9.1 Calibers de disjoncteur:..... | 61 |
| IV.9.2 Calibrage de disjoncteur de tête | 61 |
| IV.9.3 Calibrage de disjoncteur de colonne | 61 |
| IV.9.4 Calibrage des disjoncteurs des récepteurs..... | 62 |
| IV.9.5 Vérification de la sélectivité des disjoncteurs..... | 62 |
| IV.9.5.1 Vérification de la sélectivité entre le disjoncteur de tête Dt et le disjoncteur de la 1 ^{ère} colonne D _{c1} | 62 |
| IV.9.5.2 Vérification de la sélectivité entre le disjoncteur de la 1 ^{ère} colonne D _{c1} et le disjoncteur D ₁ (E695-01) | 64 |
| IV.10 Conclusion | 65 |

Chapitre V

| | |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| V .1 Introduction | 66 |
| V.2 Fonctions d'ECODIAL | 66 |
| V.3 Méthodologie..... | 66 |
| V.4 définition des caractéristiques électriques générales du réseau..... | 66 |
| V.5 Description de l'interface graphique | 67 |
| V.6 réalisation du schéma unifilaire..... | 68 |

| | |
|--------------------------------------------------------------|----|
| V.7 Saisie des caractéristiques des éléments du réseau | 68 |
| V.8 Bilan de puissance | 69 |
| V.9 Présentation des résultats de calcul par Ecodial | 70 |
| V.10 Validation des résultats | 78 |
| V .11 Conclusion..... | 78 |
| | |
| CONCLUSION GENERALE | 79 |

Liste des tableaux

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tableau II. 1: Chute de tension de différents conducteurs | 21 |
| Tableau II. 2: Limites des chutes de tension | 21 |
| Tableau II. 3: Méthodes de calcul des courants de court-circuit | 24 |
| Tableau II.4 : Temps de coupure maximal du dispositif de protection selon les tensions de contact | 33 |
| Tableau III .1 : Facteur de simultanéité selon le nombre de récepteurs..... | 36 |
| Tableau III .2 : Facteur de simultanéité selon l'utilisation..... | 36 |
| Tableau III .3 : Bilan de puissance installée colonne 1 du TGBT 4 | 37 |
| Tableau III.4 : Bilan des puissances à installer | 37 |
| Tableau III .5 : Bilan de puissance d'utilisation colonne 1 du TGBT 4 | 38 |
| Tableau III .6 : Valeurs des puissances de la raffinerie de sucre..... | 38 |
| Tableau III .7 : Valeurs des puissances de la raffinerie de sucre avec extension prévus..... | 39 |
| Tableau III .16 : Valeurs des facteurs de puissance..... | 39 |
| Tableau III .8 : Puissances et tension normalisées des transformateurs | 39 |
| Tableau III .9 : Caractéristique des transformateurs choisis | 40 |
| Tableau III .10 : les puissances réactives fournis par les batteries de compensation | 46 |
| Tableau III.11 : Types de compensation de l'énergie réactifs..... | 46 |
| Tableau IV.1 : Exemple de calcul de courant de court circuit..... | 57 |
| Tableau IV.2 : Réglage des déclencheurs magnétiques et thermique | 62 |

Liste des figures

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1 : Plan de masse du complexe CEVITAL | 2 |
| Figure 2 : Organigramme du complexe CEVITAL | 4 |
| Figure I.1 : Distribution radiale | 10 |
| Figure I.2 : Distribution en peigne | 10 |
| Figure I.3 : Distribution en boucle | 11 |
| Figure I.4 : Courbe de déclenchement d'un disjoncteur | 15 |
| Figure I.5 : Disjoncteur differential | 15 |
| Figure II.1 : Principe de la sélectivité total | 28 |
| Figure II.2 : Principe de la sélectivité partielle | 29 |
| Figure II.3 : Sélectivité ampéremétrique | 29 |
| Figure II.4 : Sélectivité chronométrique | 30 |
| Figure II.5 : Zones temps-courant des effets du courant alternatif sur le corps humain. | 34 |
| Figure III.1 : Compensation globale | 42 |
| Figure III.2 : Compensation partielle | 42 |
| Figure III.3 : Compensation locale | 42 |
| Figure III.4 : Triangle de puissance | 43 |
| Figure IV.1 : Constitution d'un câble | 49 |
| Figure IV.2 : Schéma de réglage | 62 |
| Figure IV.3 : Courbe de sélectivité entre les disjoncteurs D_t et D_{c1} | 63 |
| Figure IV.4 : Courbe de sélectivité entre les disjoncteurs D_{c1} et $DE695-01$ | 64 |
| Figure V.1 : Caractéristiques globales | 67 |
| Figure V.3 : Eléments de réalisation du schéma unifilaire | 68 |
| Figure V.4 : Description d'un circuit..... | 68 |
| Figure V.5 : Bilan de puissance | 70 |

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

La consommation de l'énergie électrique croît avec le progrès technique. La vulgarisation des appareils électrodomestiques et des appareils à usage industriel est la cause d'une demande accrue d'énergie. Cependant l'augmentation du nombre d'utilisateurs et leurs importances ainsi que l'augmentation du niveau de tension, conduisent à la progression des risques d'accidents, surtout en BT. Pour cette raison, le progrès technique nécessite le développement de ce qui est lié avec le processus de production, telle que la protection des personnes et des matériels dans les installations électriques.

La continuité de distribution d'énergie électrique exige un dimensionnement correct de chaque élément du réseau : transformateurs, câbles, lignes. Malheureusement, augmenter les limites de sécurité devient rapidement onéreux et malgré toutes les précautions, un certain nombre d'incident reste inévitable tel que : surtension, coups de foudres, surcharges, fausses manœuvres, vieillissement des isolants.

Vue l'évolution rapide de l'entreprise de CEVITAL (Usine agro-alimentaire à Bejaia pour la fabrication d'huile végétale, de la margarine et du sucre), l'étude et le redimensionnement de l'installation électrique s'imposent. Une révision du réseau d'alimentation en énergie électrique de la raffinerie sucre suivant les nouvelles charges installées est obligatoire. La sélectivité des protections des disjoncteurs existants avec ceux introduits dans la nouvelle installation doit être menée minutieusement afin de satisfaire les conditions de continuité de service, la protection du personnel et des ouvrages de l'entreprise. Le but de notre mémoire est l'étude et le redimensionnement de l'installation électrique 30/0.4 kV de la raffinerie de sucre de CEVITAL d'une capacité de 2000 tonnes/jours en vue d'une extension vers 3000 tonnes/jours.

Pour mener à bien cette tâche, nous avons rappelé la méthodologie de calcul des installations industrielles. Sur la base du cahier des charges et du schéma unifilaire, nous avons réalisé un bilan de puissance qui va nous permettre le choix et le dimensionnement des éléments de l'installation.

Présentation de l'entreprise

1.3 Activités de CEVITAL

Lancé en Mai 1998, le complexe CEVITAL a débuté son activité par le conditionnement d'huile en Décembre 1998.

En Février 1999, les travaux de génie civil de la raffinerie ont débuté, elle est devenue fonctionnelle en Août 1999.

L'ensemble des activités de CEVITAL est concentré sur la production et la commercialisation des huiles végétales, de margarine et de sucre, ainsi que la production de l'énergie électrique qu'elle est en cours d'études, elles se présentent comme suit :

- Raffinage des huiles (1800 tonnes/jour)
- Conditionnement d'huile (1400 tonnes/heure)
- Production de margarine (600 tonnes/jour)
- Fabrication d'emballage (PET) : Poly-Ethylène-Téréphtalate (9600 unités/heure)
- Raffinage du sucre (1600 tonnes/jour) et (3000 tonnes /jour)
- Stockage des céréales (120000 tonnes)
- Minoterie et savonnerie en cours d'étude
- Cogénération (production de l'énergie électrique avec une capacité de 64 MW et de la vapeur)

1.4 Missions et objectifs

L'entreprise a pour mission principale de développer la production et d'assurer la qualité et le conditionnement des huiles, des margarines et du sucre à des prix nettement plus compétitifs et cela dans le but de satisfaire le client et le fidéliser.

Les objectifs visés par CEVITAL peuvent se présenter comme suit :

- L'extension de ses produits sur tout le territoire national
- L'importation de graines oléagineuses pour l'extraction directe des huiles brutes
- L'optimisation de ses offres d'emploi sur le marché du travail
- L'encouragement des agriculteurs par des aides financières pour la production locale de graines oléagineuses
- La modernisation de ses installations en termes de machine et technique pour augmenter le volume de sa production
- Le positionnement de ses produits sur le marché étranger par leurs exportations

1.5 Différents organes constituant le complexe CEVITAL

L'organigramme suivant donne une vue général sur les différents organes constituant le complexe CEVITAL, (Figure. I.2).

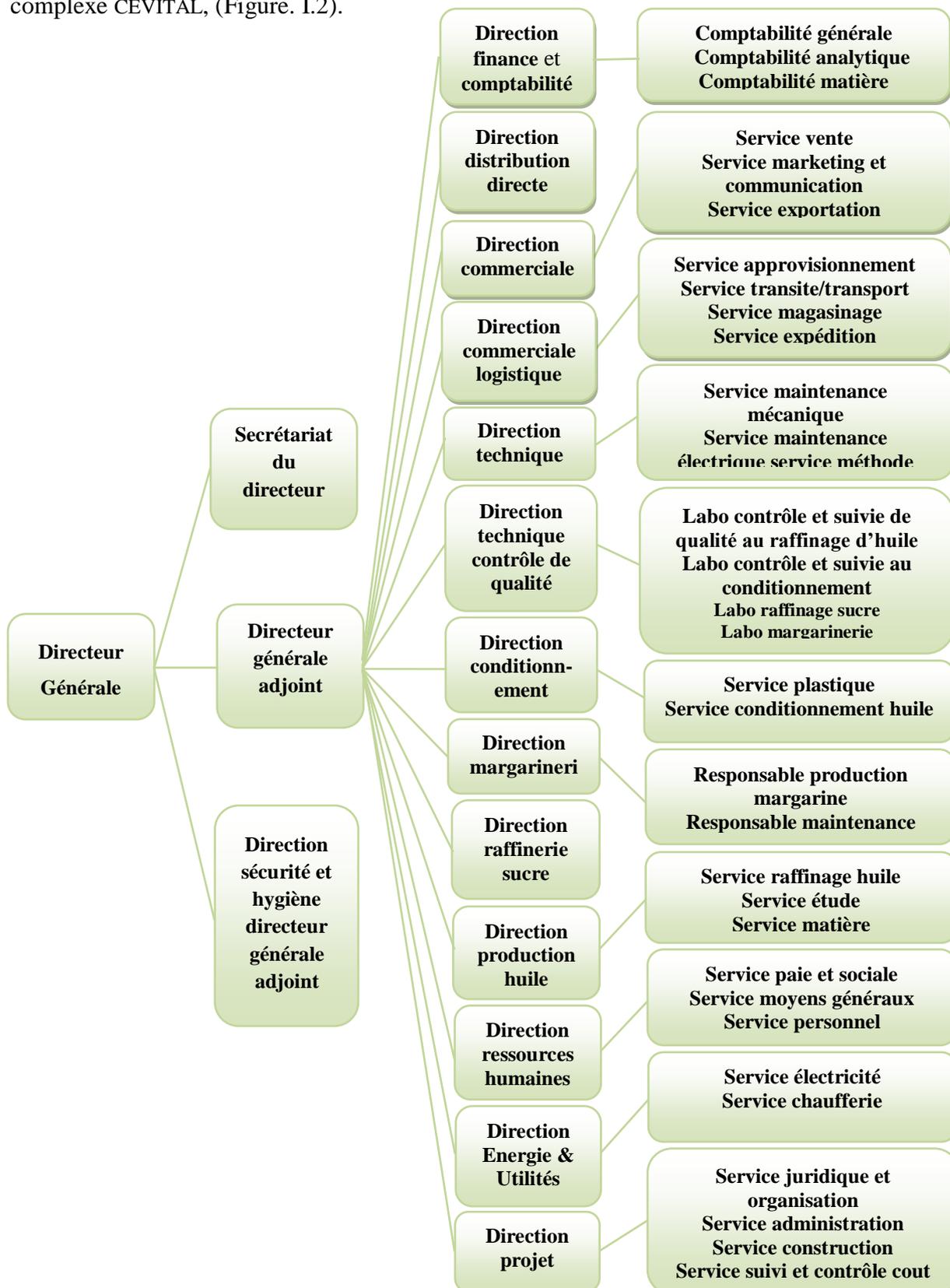
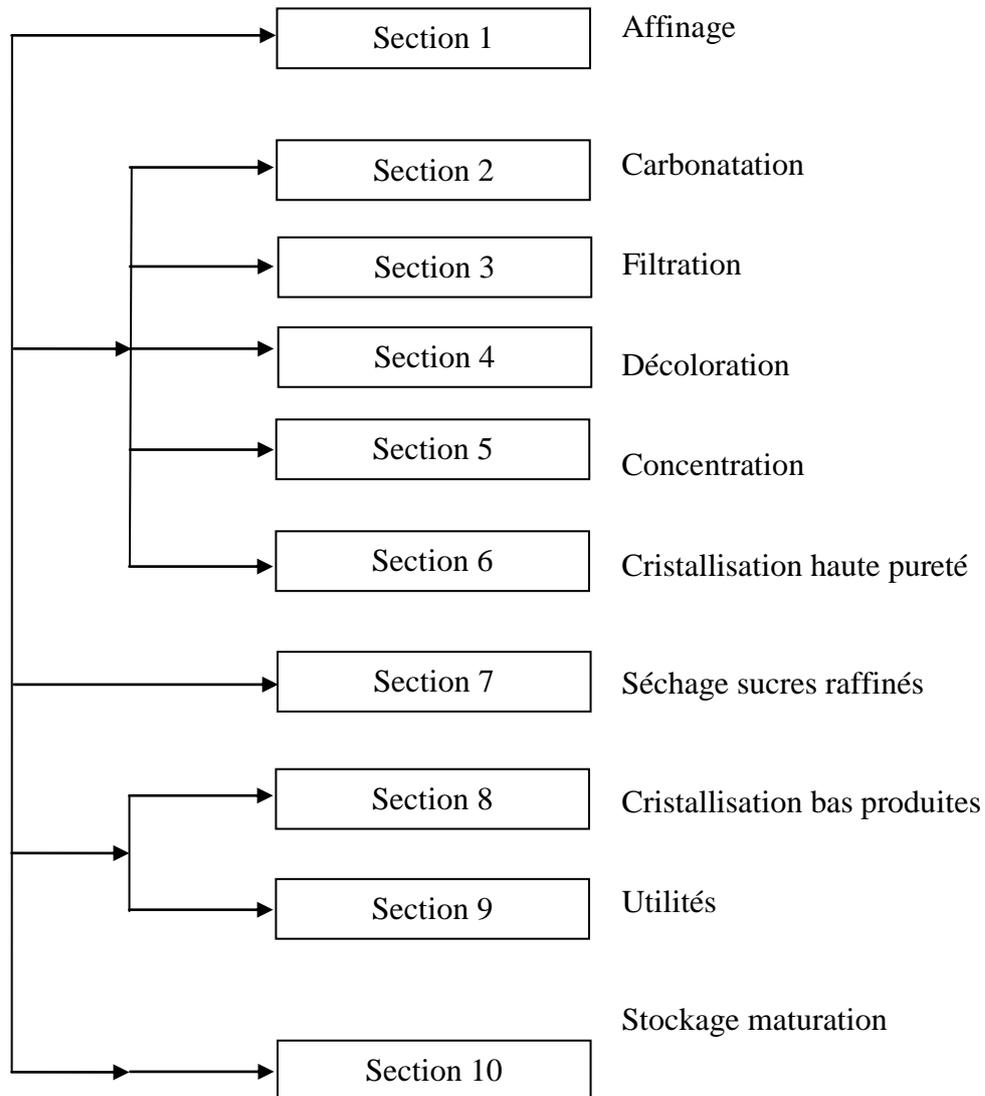


Figure 2 : Organigramme du complexe CEVITAL

2. Présentation direction raffinerie sucre

2.1 Structure de la raffinerie



2.2 Processus de fabrication de sucre

La raffinerie de sucre est composée de plusieurs sections où le sucre roux (le brut de sucre) est extrait de la betterave sucrière ou la canne à sucre subit des traitements et des transformations qui vont l'épurer afin de fabriquer du sucre blanc.

1. Affinage et fonte (S1)

L'affinage consiste à enlever les couches d'impuretés présentes à la surface des cristaux du sucre brut. Cette opération se fait par centrifugation dans uneessoreuse

discontinue le sucre affiné obtenu est ensuite refondu à l'eau dans un refondateur pour obtenir un sirop.

L'égout contenant les impuretés est traité dans le processus pour extraire le sucre résiduel.

2. Carbonatation (S2)

La carbonatation est une série de réaction chimique permettant de décolorer le sirop et d'éliminer plus d'impureté obtenue dans la fonte.

Le procédé consiste à additionner au sirop un lait de chaux dosé à 16° baumé et à faire barboter dans ce mélange qui est introduit dans des chaudières à carbonater du gaz CO₂ provenant des chaudières à vapeur, le mélange se transforme en carbonate insoluble qui piège les impuretés contenues dans le sirop de fonte.

3. Filtration (S3)

Cette étape consiste à éliminer le carbonate de calcium dans le sirop carbonaté le dernier est séparé par une filtration autonome. Le sirop filtré est envoyé vers la décoloration et la boue passera par un filtre presse pour récupérer le sucre résiduel, les boues sont évacuées.

4. Décoloration (S4)

Dans cette section le sirop filtré passe à des colonnes de décoloration qui vont se décolorer à l'aide des échangeuses d'ions qui poussent la décoloration du sucre au maximum, c'est une technologie récente au raffinage. Une station nano-filtration est utilisée en suite pour épurer au maximum les rejets de la régénération et permettre le recyclage de la saumure.

5. Concentration (S5)

Cette opération consiste à faire évaporer une certaine quantité d'eau pour ramener la concentration du sirop décoloré à un brix de 70% qui va faciliter la cristallisation du sucre dans cette étape de processus de fabrication.

6. Cristallisation haut pureté (S6)

Dans cette étape on chauffe le sirop sous vide pour évaporer une partie d'eau à fin d'attendre le point de saturation. Cette étape est effectuée par un ajout de sirop et un chauffage simultané à la vapeur (montée de cuite) à un certain niveau la cuite on fait un serrage (chauffage sans ajouter du sirop) pour épuiser le sucre dans le sirop.

On supprime le vide de l'appareil et on coule le mélange dans un malaxeur pour éviter la prise en masse. Cette masse cuite est centrifugée dans uneessoreuse qui sépare les cristaux de la liqueur mère (égout). Le sucre obtenue qui est humide est convoyé au séchage, l'égout qui contient encore du sucre cristallisable est recyclé pour réalisée d'autre cristallisation.

On réalise ainsi trois jets de raffiné, l'égout final qui est de pureté insuffisante pour produire un sucre raffiné est envoyé à la cristallisation bas-produit.

7. Séchage (S7)

Le sucre sortant de la cristallisation est humide (0,05%) alors il est séché par un air chaud dans des cylindre séchoirs, puis refroidi dans un sécheur a lit fluidisant et enfin envoyé vers les silos de maturation pour finalisée la déshumidification et assurer son stockage.

8. Cristallisation bas produits (S8 & S9)

Cette étape permet de récupérer le sucre contenue dans l'égout provenant des cuites HP cela ce fait en trois étapes dans des cuites et centrifuges, la première étape nous donne un sucre A qui peut être séché et consommé comme sucre roux ou refondus pour être retraité et obtenir du sucre blanc. Les sucres B et C ne sont que des moyens d'épuisement complémentaire.

L'égout finale qui contient le non sucre (sucre non cristallisable) s'appel la mélasse.

Mélasse : est un sous produit qui est commercialisable pour diverse utilisation dont :

- La production d'alcool (distillation après fermentation).
- La fabrication de la levure boulangère

9. Maturation et conditionnement (S10)

Dans cette section le sucre provenant du séchage stocké dans des silos pendant une durée de 48 heure minimale pour assurer la maturation avec de l'air conditionné qui élimine l'humidité résiduelle contenue dans les cristaux de sucre. Ce sucre ensuite ensaché sur six lignes, chaque ligne compte une ensacheuse-peseuse, une couseuse et une camionneuse. Le sucre ainsi produit est conditionné en sac PP de 50 kg ou big bag de 1100 kg.

2.3 Traitement des déchets

Les déchets engendrés par les différentes opérations de productions et de raffinement sont traités au niveau du complexe qui compte une station d'épuration des eaux.

Chapitre I

Généralités sur les installations électriques

I.1 Introduction

Dans les installations industrielles, la continuité de la distribution de l'énergie électrique aux différents récepteurs exige un dimensionnement correct de chaque partie de l'installation : transformateurs, câbles, lignes, moteurs et organes de commande et de protection.

I.2 Les différentes sources de l'énergie électrique

Les sources d'énergie électrique sont définies par la qualité de fourniture requise pour les puissances à distribuer dans les implantations et sont dénommées « normale », « secours » et « sans interruption » [1].

I.2.1 Source « normale »

Elle se définit aisément puisqu'elle doit permettre d'alimenter la charge totale du processus principal et des autres besoins du site. La tension de cette source normale est fixée par celle du distributeur en fonction de la puissance demandée et des possibilités locales du réseau existant, dans le respect des performances requises.

I.2.1 Source « secours »

Elle doit permettre d'alimenter, en BT ou en MT, la valeur de la charge à secourir dans les conditions retenues pour la continuité de service.

Lorsque la puissance à secourir est faible et peu dispersée, une source autonome en BT et non pas en MT, est bien suffisante. Cependant, cela peut conduire à créer un réseau BT de secours (avec son inverseur de source en BT) superposé au réseau général BT issu de la MT.

Dès que la puissance à fournir est plus importante et/ou lorsque les équipements à secourir sont en grand nombre et répartis sur le site, une source autonome en MT est préférable, tant pour limiter les pertes de distribution que pour bénéficier d'une plus grande facilité d'adaptation à la plage des besoins. Ainsi, la source autonome en MT, raccordée au poste de livraison, est encore plus pertinente parce qu'elle permet :

- De se dispenser de son propre réseau MT de distribution, généralement très peu utilisé, mais indispensable
- De maintenir l'alimentation du site lors des opérations de maintenance du poste de livraison (effacement total de la source normale)

I.2.3 Sources « sans interruption »

Le réseau de la source de secours depuis chaque TGBT (tableau général BT) fournit son énergie électrique aux matériels des alimentations sans interruption (ASI – statiques ou dynamiques), afin de garantir leur permanence.

À cette fin, il est également plus judicieux de multiplier ces équipements d'alimentation, ce qui réduit au strict minimum les distances qui les séparent des récepteurs et évite de faire courir à ces sources le risque d'une interruption de l'alimentation, en cas d'incident sur leurs liaisons. En bref, ces sources doivent être situées à proximité immédiate des récepteurs, ce qui augmente également leur fiabilité.

Lorsqu'il faut à tout prix maintenir une alimentation sans interruption et qu'un incident grave survient sur la source de secours, cas extrême et rare, on doit installer un petit groupe de secours BT indépendant dédié aux récepteurs très sensibles (par exemple, les ordinateurs centraux dans les sociétés). Le plus contraignant est alors de s'assurer, en permanence, que sa disponibilité est garantie.

I.3 Les modes de distribution de l'énergie électrique

Toute installation doit être convenablement divisée en plusieurs circuits afin de limiter les conséquences résultant d'un défaut survenant sur un circuit, cette division dépend du mode de distribution BT utilisé [2] :

- Le mode radial
- Le mode en peigne
- Le mode en boucle

I.3.1 Distribution radiale

C'est le mode le plus employé, il est conseillé systématiquement dans toute installation industrielle (Figure I.1).

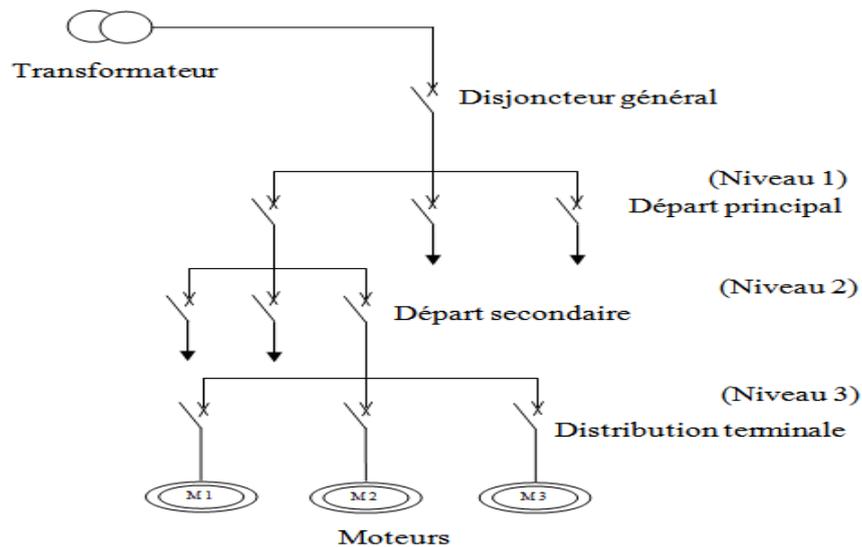


Figure I.1 : Distribution radiale

Avantages et inconvénients

| Les avantages | Les inconvénients |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Seul le circuit en défaut est mis hors service. • Localisation facile • Il est possible d'effectuer les opérations d'entretien sans coupure générale. | <ul style="list-style-type: none"> • Un défaut survenant au niveau (1) d'un départ principal affecte tous les départs au niveau (2) secondaire et la distribution terminale niveau (3) issus du départ principal. |

I.3.2 Distribution en peigne

Elle est surtout utilisée pour les installations peu étendues et de faible puissance (Figure I.2).

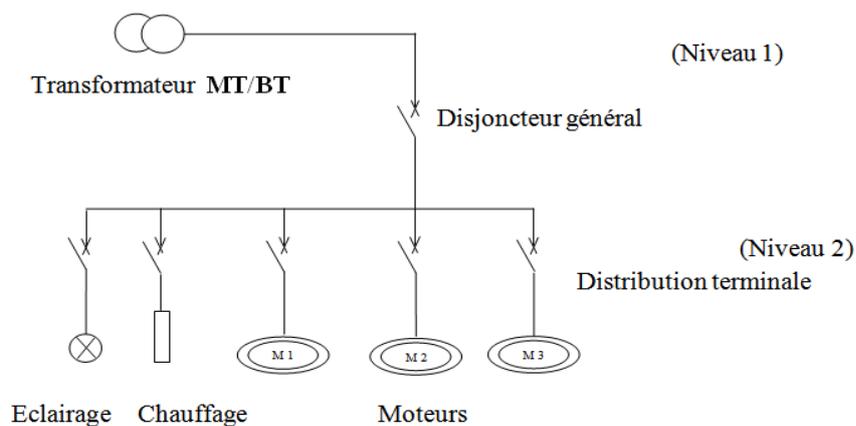


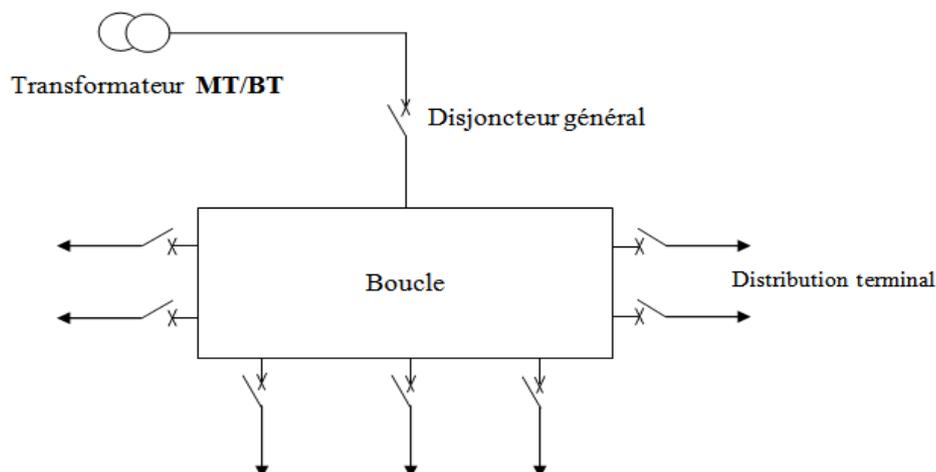
Figure I.2 : Distribution en peigne

Avantages et inconvénients

| Avantages | Inconvénients |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Dans le cas d'un défaut autre que celui du câble principal, seul le circuit en défaut est coupé. | <ul style="list-style-type: none"> • On se trouve devant un grand nombre de circuits séparés, donc de grandes longueurs de lignes et par conséquent, une surabondance de cuivre. • Les caractéristiques de l'appareillage de protection (niveau 2) doivent être surdimensionnées |

I.3.3 Distribution en boucle

La distribution en boucle n'est pratiquement pas utilisée mais elle est très fréquente en Angleterre par exemple, pour les installations domestique (dessertes de prise de courant) (Figure I.3).

**Figure I.3 :** Distribution en boucle

Avantages et inconvénients

| Avantages | Inconvénients |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <ul style="list-style-type: none"> • Réduction des pertes joule. • Un seul dispositif de protection par boucle, dans le cas d'un défaut le courant circule dans un autre sens. | <ul style="list-style-type: none"> • Connexions spéciales aux dérives (ne pas couper la boucle). • Chaque dérivation peut au maximum alimenter deux circuits d'utilisation. • Répartition difficile des intensités. • Difficultés de sélectivité de la protection. |

I.4 Les canalisations

Définition

Une canalisation est l'ensemble constitué par un ou plusieurs conducteurs électriques, les éléments assurant leur fixation et, le cas échéant, leur protection mécanique. Il ne faut pas confondre canalisation et circuit, le premier terme se référant aux conditions physiques de fixation et de protection mécanique, le second aux conditions de protection électrique. Ainsi, une canalisation peut comporter plusieurs circuits dans des conditions qui sont précisées [3].

I.4.1 Types de canalisations

Les canalisations peuvent être de l'un des types suivants :

➤ **Câble unipolaire**

Un câble unipolaire est un conducteur isolé comportant plus d'une ou plusieurs gaines de protections.

➤ **Conducteur isolé**

Un conducteur isolé est un ensemble formé d'une âme conductrice et son enveloppe isolante.

➤ **Câble triphasé**

Un câble triphasé est l'ensemble de conducteurs électriquement distinct mais comportant une protection commune.

I.4.2 Construction générale

Ame :

➤ **Caractéristiques électriques**

L'âme conductrice doit présenter une résistivité très faible pour éviter les pertes par effet joule, les métaux employés à cet effet sont généralement.

Le cuivre de résistivité à 35°C :

$$\rho = 22.5 \text{ m}\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

L'aluminium de résistivité à 35°C :

$$\rho = 36 \text{ m}\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$$

➤ **Caractéristiques mécaniques**

L'âme de conducteur doit être assez souple pour suivre la trace compliquée elle est dite câblée lorsqu'elle est formé de plusieurs assemblé en torons.

I.5 Les équipements électriques

I.5.1 Tableau général BT

Placé en aval et à proximité immédiate du transformateur MT/BT, comporte tous les départs vers le coffret ou l'armoire de chaque équipement principal. En cas d'incident, il assure également, grâce à des automatismes adéquats placés localement, le délestage des départs non secourus (catégories : quelques minutes, quelques heures) pour maintenir l'alimentation secourue du processus (catégories : sans interruption, quelques secondes) uniquement par la source de secours indispensable, après séparation de la source normale [1].

Ce choix de structure permet donc aux TGBT de disposer localement des deux réseaux de puissance prévus, alimentés par les sources normale et de secours.

I.5.2 Les transformateurs MT/BT et MT/MT

Pour la sécurité des intervenants, ces appareils, de préférence de type intérieur, doivent être entièrement isolés. De plus, pour assurer la sécurité incendie, ils doivent être placés en cabine ou en local séparé de celui où sont installés les TGBT. En résumé, pour améliorer ces dispositions, il est souhaitable de placer tous les équipements aux fonctions différentes dans des locaux séparés et de les connecter entre eux par des gaines de barres BT [1].

La puissance de dimensionnement de chaque transformateur doit être supérieure à celle réellement consommée au total, après l'application des coefficients taux d'utilisation (T_{ut}) et d'évolution (C_{ev}), et inférieure à celle installée. Cette fourchette de puissances permet, pour l'ensemble du site, de choisir la même valeur pour plusieurs appareils, afin de limiter le coût des pièces de rechange par cette standardisation. En outre, la possibilité de leur marche occasionnelle avec une surcharge de 10% facilite ce choix.

I.5.3 Organes de coupure et tableaux électriques

Chaque récepteur ou groupe de récepteurs est doté d'un tableau de distribution d'énergie électrique qui regroupe les organes de coupure et les organes de commande, manuelle ou automatique, de son alimentation électrique [1].

I.5.3.1 Organes de coupure

Les fonctions des différents organes de coupure et leur position déterminent en grande partie les types à choisir, en vue d'assurer les fonctions suivants :

- La sécurité des personnes a l'aide d'un sectionneur simple, interrupteur-sectionneur ou bien sectionneur-fusible. Ces appareils sont condamnables par un dispositif de verrouillage, cadénassable, qui rend alors toute manœuvre impossible.
- La coupure en charge à l'aide d'un interrupteur-sectionneur, un interrupteur ou un disjoncteur.
- La coupure en défaut, qui assure la protection des équipements en cas de surcharge ou de court-circuit, est réalisable par un fusible, un discontacteur ou un disjoncteur. Ils doivent donc être placés entre la source (qui alimente le défaut) et l'équipement à protéger, c'est-à-dire à l'amont de ce dernier et non pas à l'aval.

I.5.3.1.1 Le disjoncteur

Un disjoncteur est un appareil mécanique de connexion capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit. Il peut aussi supporter, pendant une durée spécifiée, et les interrompre, des courants dans des conditions de court circuit.

➤ Les différents types de disjoncteur

On peut citer quatre types de disjoncteur [1] :

- Disjoncteur magnétothermique
- Disjoncteur différentiel
- Disjoncteur électrothermique
- Disjoncteur électromagnétique

I.5.3.1.2 Disjoncteur magnétothermique

Il peut assurer :

- La protection contre les surcharges par déclenchement thermique, ces déclencheurs sont caractérisés par leurs intensités nominales (I_n) et leurs courants de réglage thermique I_{rth} , sa courbe de déclenchement est donnée dans la Figure I.4 Avec : $I_{rth} < I_n$

- La protection contre les courants de courts-circuits a déclencheurs magnétiques qui sont caractérisés par leurs courants de réglage magnétique (I_m) et leurs pouvoirs de coupures (pdc) Avec : $pdc \geq I_{cc}$

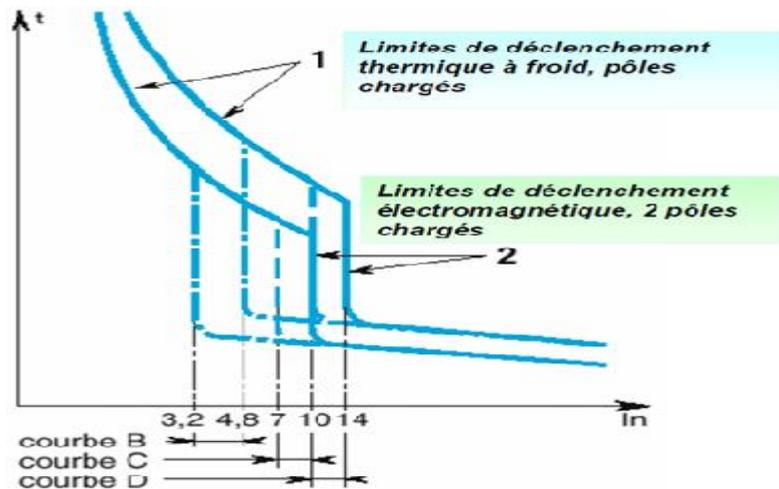


Figure I.4 : Courbe de déclenchement d'un disjoncteur

I.5.3.1.3 Disjoncteur différentiel

Un disjoncteur différentiel (figure I.5) est un interrupteur différentiel réalisant également une protection en courant de court-circuit (surchage).

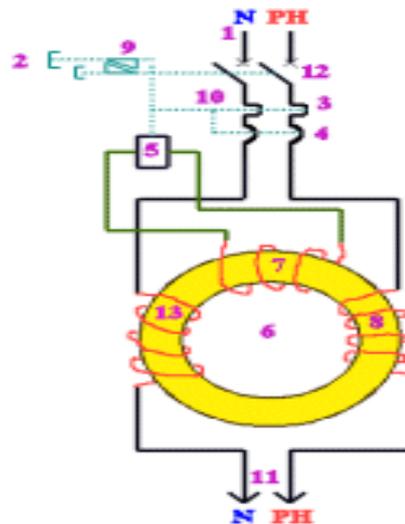


Figure I.5 : Disjoncteur différentiel

- (1) Bornes de raccordements
- (2) Commande pour le réarmement du bloc différentiel, permet de contrôler son fonctionnement en effectuant un essai et provoque l'ouverture du circuit de puissance (12)
- (3) Partie Thermique du disjoncteur, protège contre les surcharges
- (4) Partie magnétique protégée contre les courts circuits

- (5) Électroaimant, provoque l'ouverture du circuit sur un défaut d'isolement
- (6) Tore
- (7) Bobinage qui détecte le défaut d'isolement (détecte une différence d'intensité entre les bobinages (13 et 8)
- (8) Bobinage principal sur la Phase
- (9) Verrouillage mécanique
- (10) Liaisons mécaniques pour les diverses commandes.
- (11) Bornes de raccordement du circuit à protéger
- (12) Partie puissance met sous tension ou hors tension le circuit à protéger de façon manuelle ou automatique
- (13) Bobinage principal sur le Neutre

I.5.3.1.4 Sectionneur

Sa fonction est d'assurer le sectionnement (séparation du réseau) au départ des équipements. Dans la plupart des cas il comporte des fusibles de protection. . Le sectionneur n'a pas de pouvoir de coupure, il doit être manipulé à vide.

Le pouvoir de coupure est le courant maximal qu'un appareil de sectionnement peut interrompre sans aucun endommagement [5].

I.5.3.1.5 Les relais

Les relais de protection sont des appareils qui comparent en permanence les grandeurs électriques des réseaux (courant, tension, fréquence, puissance ...ect.) à des valeurs prédéterminées et qui donnent automatiquement des ordres logiques lorsque la grandeur surveillée atteint la valeur seuil de fonctionnement. Le rôle des relais de protection est de détecter tout phénomène anormal pouvant se produire sur un circuit électrique [4].

I.5.3.1.6 Relais thermique

Le relais de protection thermique est destiné à la protection des circuits et des moteurs contre les surcharges, les coupures de phases et les démarrages trop longs des moteurs.

I.5.3.1.7 Relais magnétique

Le relais magnétique est destiné à la protection des circuits et des moteurs sans pointe de courant (départs, résistances) ou au contrôle des pointes de démarrage des moteurs à bagues. Il détecte les surintensités dépassant le niveau de réglage.

I.5.3.1.8 Fusibles

Le coupe circuit à fusible, est un appareil de connexion dont le rôle est d'ouvrir, par la fusion d'un ou de plusieurs de ses éléments conçus et calibrés à cette effet, le circuit dans lequel il est installé et d'interrompre le courant, lorsque celui-ci dépasse pendant un temps déterminé une valeur donnée [4].

I.5.3.1.9 Le contacteur

Le contacteur est un appareil de commande capable d'établir ou d'interrompre le passage de l'énergie électrique. Il assure la fonction commutation. En technologie des systèmes automatisés ce composant est appelé pré-actionneur puisqu'il se trouve avant l'actionneur dans la chaîne des énergies [5].

I.5.3.2 Tableaux d'énergie électriques

Leur position et leur type dans l'installation sont donc les suivantes :

- Au coffret ou à l'armoire d'alimentation des machines ou équipements, où est inséré un sectionneur simple manœuvrable de l'extérieur.
- Au TGBT :
 - Un disjoncteur en tête des départs BT, d'une part, pour chaque source et pour chaque liaison vers l'armoire d'alimentation des équipements, ainsi que vers les sources du contrôle commande.
 - Un disjoncteur à l'arrivée BT du transformateur.

I.6 Conclusion

L'appareillage d'installation et de protection permet la réalisation des installations électriques dans les immeubles et locaux à usages professionnels.

Ces principaux appareillages électriques sont mis en œuvre pour remplir un certain nombre de fonctions électriques dont les principales sont : la protection, la commande et le sectionnement.

Chapitre II

Méthodologie de calcul d'une
installation industrielle

II.1 Introduction

Dans ce travail nous illustrons les différentes étapes à suivre pour dimensionner une installation électrique basse tension, qui nécessite une détermination précise des canalisations et leurs protections électriques, En outre l'installation doit assurer la protection des biens et des personnes sans nuire au bon fonctionnement.

II.2 Méthodologie de calcul d'une installation industrielle

L'étude d'une installation électrique se fait méthodiquement en respectant les étapes suivantes :

1. Recueillement des données et établissement des bilans de puissance
2. Détermination des sections des câbles
3. Détermination des chutes de tension
4. Détermination des courants de court-circuit
5. Détermination des calibres I_n des déclencheurs des disjoncteurs
6. Choix des dispositifs de protection
7. Sélectivité des protections
8. Mise en œuvre de la technique de filiation
9. Optimisation de la sélectivité des protections
10. Vérification de la protection des personnes

II.2.1 Bilan de puissance

Pour étudier une installation, la connaissance de la réglementation est un préalable. Le mode de fonctionnement des récepteurs (régime normal, démarrage, simultanéité, etc.), et la localisation, sur le plan du ou des bâtiments, des puissances utilisées permettent de réaliser un bilan des puissances installées et utilisées et, ainsi, d'en déduire la puissance et le nombre des sources nécessaires au fonctionnement de l'installation.

Des informations concernant la structure tarifaire sont aussi nécessaires pour faire le meilleur choix du raccordement de l'installation au réseau au niveau de la moyenne tension ou de la basse tension [9].

II.2.2 Détermination des sections des câbles

En conformité avec les recommandations de la norme NF C 15-100, le choix de la section des canalisations et du dispositif de protection doit satisfaire aux conditions suivantes :

- La section doit supporter, durant le temps de fonctionnement, l'échauffement admissible qui se produit en régime normal.
- Elle doit supporter, en cas de court-circuit, et durant le temps qui précède la réaction des protections, l'échauffement imposé par ce régime.
- La chute de tension provoquée par le passage du courant dans les conducteurs doit être compatible avec la tension existante au départ et celle souhaitée à l'arrivée.

Une fois ces conditions sont calculées on détermine quelle est la plus petite section normalisée appartenant au type de câble choisi qui satisfait simultanément les trois conditions ci-dessus.

La détermination de la section d'un câble se fait selon les trois critères suivants :

- Calcul de la section technique
- Calcul de la section économique
- Calcul de la section sécuritaire

II.2.2.1 Section technique

La détermination de la section de l'âme d'un câble consiste à déterminer quelle est la plus petite section normalisée appartenant au type de câble choisi qui satisfait simultanément les trois conditions suivantes :

- Echauffement normal
- Chute de tension
- Surcharge due au court-circuit

II.2.2.1.1 Echauffement normal

La température de l'âme en fonctionnement normal et permanent ne doit pas dépasser la température maximale acceptable par les matériaux constituant le câble retenu. Cette condition détermine une section que nous appellerons S_j .

II.2.2.1.2 Chute de tension

La chute de tension, provoquée par le passage du courant dans les conducteurs, doit être compatible avec les tensions existantes au départ et souhaitées à l'arrivée. Cette condition détermine ce que nous appelons S_z .

II.2.2.1.3 Surcharge due au court-circuit

La température atteinte par l'âme à la fin d'une surcharge de courte durée due par exemple à un court-circuit ne doit pas dépasser la température dite de court-circuit admise par les matériaux constituant le câble retenu. Cette condition détermine la section que nous appellerons S_c .

La plus grande des trois sections S_j , S_z , S_c est la section technique nécessaire à la liaison.

II.2.2.2 Section de sécurité S_s

Elle intervient lors des défauts doubles dans le cas du régime du neutre IT.

- ❖ Pour obtenir la section des conducteurs de phase, il faut [2] :
 - Déterminer une lettre de sélection qui dépend du conducteur utilisé et de son mode de pose (Tableau N°1 de l'annexe 1).
 - Déterminer un coefficient K qui caractérise l'influence des différentes conditions d'installation. Ce coefficient K s'obtient en multipliant les facteurs de correction, K_1 , K_2 , K_3 , K_N et K_S :
 - Le facteur de correction K_1 prend en compte le mode de pose.
 - Le facteur de correction K_2 prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte.
 - Le facteur de correction K_3 prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant.
 - Le facteur de correction du neutre chargé K_N .
 - Le facteur de correction dit de symétrie K_S .

Les tableaux (N°2 ; N°3 ; N°4 ; N°5) de l'Annexe 1 permettent de déterminer la section des conducteurs de phase d'un circuit. Et ils ne sont utilisables que pour des canalisations non enterrées et protégées par disjoncteur.

II.2.3 Détermination des chutes de tension admissibles

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

La bonne marche des récepteurs étant conditionné par la valeur de la tension à leurs bornes, il est nécessaire de limiter cette chute de tension.

Le tableau II.1 donne les formules usuelles qui permettent de calculer la chute de tension dans un circuit donnée [2].

| Type de distribution | Nature de la chute de tension | Chute de tension (V) | Chute de tension en (%) |
|-----------------------|-------------------------------|--------------------------------------------------------------|------------------------------|
| Mono phase biphasé | Entre phase | $\Delta U = 2I_b L(r \cos \varphi + x \sin \varphi)$ | $100 * \frac{\Delta U}{U_n}$ |
| | Entre phase et neutre | $\Delta U = 2I_b L(r \cos \varphi + x \sin \varphi)$ | $100 * \frac{\Delta U}{V_n}$ |
| Triphasé équilibré | Avec ou sans neutre | $\Delta U = \sqrt{3} I_b L(r \cos \varphi + x \sin \varphi)$ | $100 * \frac{\Delta U}{U_n}$ |

Tableau II. 1: Chute de tension de différents conducteurs

r : résistance linéique par unité de longueur des câbles (Ω/km) ; x : réactance linéique par unité de longueur des câbles (Ω/km)

L : longueur du conducteur

V_n : tension simple

U_n : tension composé

II.2.3.1 Calcul de la chute de tension en ligne en régime permanent

La chute de tension en ligne en régime permanent est à prendre en compte pour l'utilisation du récepteur dans des conditions normales [2].

Le tableau N°6 de l'Annexe 1 donne la chute de tension en pour cent (%) pour une longueur de 100 m de câble, d'une installation 400 V/50 Hz triphasé, en fonction de la section du câble et du courant véhiculé, ces valeurs sont données pour un facteur de puissance de 0.85 ($\cos \varphi = 0.85$).

Pour des longueurs de câble différentes de 100 m ; il suffit d'appliqué au résultat le coefficient $L/100$.

II.3.2 Les limites des chutes de tension en ligne

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 du Tableau II. 2 [2] :

| Type de l'installation | Eclairage | Autre usage (force motrice) |
|------------------------------------------------------------|-----------|-----------------------------|
| Abonné alimenté par le réseau BT de distribution publique. | 3% | 5% |
| Abonné propriétaire de son poste HT-A/BT | 6% | 8% |

Tableau II. 2: Limites des chutes de tension

II.4 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.4.1 Les différents types de court-circuit

- Court-circuit entre une phase et la terre (monophasé)
- Court-circuit entre deux phases (biphasé isolé)
- Court-circuit entre deux phases et la terre (biphasé terre)
- Court-circuit triphasé terre
- Court-circuit triphasé

II.4.2 Objectifs du calcul des courants de court-circuit

On calcul les courants de court-circuit pour choisir et régler convenablement les protections. Deux valeurs du courant de court-circuit doivent être connues [4] :

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

Ce courant correspond à un court-circuit à proximité immédiat des bornes aval de l'organe 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 importantes ou lorsque la source est relativement impédante (générateurs, onduleurs).
 - 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.4.3 Méthode générale 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 selon le Tableau II.3, dans lequel on retrouve toujours les éléments suivants [5] :

- le réseau amont
- le/les transformateurs
- 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 :

$$U = \sqrt{3} \cdot Z \cdot I$$

(II-1)

$$\text{Soit: } I_{cc} = \frac{mcU_0}{\sqrt{3}Z_t} \text{ kA} \quad (\text{II-2})$$

U_0 : tension entre phase à vide au secondaire du transformateur (V)

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

m : facteur de charge à vide = 1.05

c : facteur de tension = 1.05

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

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

II.4.4. Détermination des courants de court-circuit de chaque partie de l'installation

Pour le calcul des courants de court-circuit on doit opter au calcul des résistances et réactances de chaque partie de l'installation, pour cela on utilise les lois décrites dans le Tableau II.3.

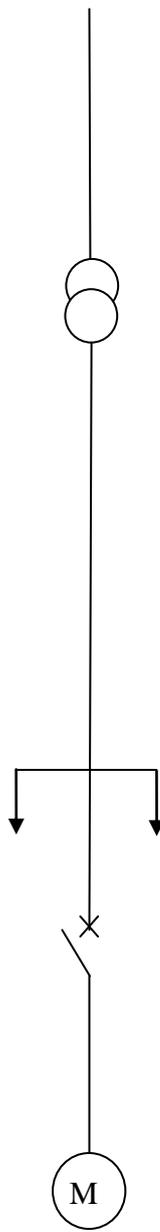
| partie de l'installation | schéma | Valeurs à considérer résistances (mΩ) | réactances (mΩ) | |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Réseau amont (1) |  | $R_a = 0,15 * X_a$ | $Z_a = \frac{U_0^2}{S_{cc}}$ $Z_a = \sqrt{R^2 + X^2}$ S _{cc} : la puissance de court-circuit. | |
| Transformateur | | $R_t = \frac{W_c * U^2}{S^2} * 10^{-3}$ W _c = pertes cuivre (W) S= puissance apparente du transformateur (kVA) | $X_t = \sqrt{Z_2^2 - R_2^2}$ $Z = \frac{U_{cc}}{100} * \frac{U^2}{S}$ U _{cc} = tension de court-circuit du transfo (en %) | |
| en câbles (3) | | $R_3 = \rho \frac{L}{S}$ ρ= 22.5 mΩ.mm ² /m (Cu) ou 36 mΩ.mm ² /m (Al) L en m et S en mm ² | X ₃ = 0.09L (câbles uni jointifs) (mΩ) X ₃ = 0.13L (câbles uni espacés) (mΩ) ; L en m | |
| en barre | | $R_3 = \rho \frac{L}{S}$ ρ=22.5 mΩ.mm ² /m(Cu) ou 36 mΩ.mm ² /m (Al) L en m et S en mm ² | X ₃ = 0.15L (mΩ) L en m | |
| disjoncteur Rapide | | R ₄ négligeable | X ₄ négligeable | |
| sélectif | | R ₄ négligeable | X ₄ =0.156 (mΩ) | |
| Moteur | |  | R _m =0.2*X _m | $X_m = \frac{X_m \% * U_n^2}{100 * \left(\frac{P_n}{\cos \varphi * \mu} \right) * 10^3}$ U _n : tension au secondaire du transformateur. X _m % : réactance des moteurs en %. P _m : puissance active des moteurs. μ : rendement des moteurs. cos φ : facteur de puissance. |
| | | | | |

Tableau II. 3: Méthodes de calcul des courants de court-circuit

II.5 Détermination des calibres In des déclencheurs des disjoncteurs

Le calibre du disjoncteur est normalement choisi en fonction de la section des canalisations qu'il protège. Ces canalisations sont définies à partir du courant d'emploi des récepteurs. Ce courant d'emploi est [2] :

- Soit fourni directement par le constructeur.
- Soit calculé simplement à partir de la puissance nominale et de la tension d'utilisation. Souvent celui-ci peut être choisi immédiatement supérieur au courant d'emploi dans la liste des calibres existants.

II.6 Choix des dispositifs de protection

La protection des circuits contre les surintensités due aux surcharges ou aux courts-circuits et la protection des personnes contre les contacts indirects nécessite une bonne précision du choix de l'appareille de protection.

L'appareillage électrique se situe entre la production et l'utilisation de l'énergie électrique il assure le contrôle de l'énergie transporté.

II.6.1 Choix des appareils de protections et leur dimensionnement

L'étude de l'installation électrique est fondée sur la détermination correcte des canalisations et leur protection en commençant à bout de l'installation pour aboutir aux circuits terminaux, cette étude se fait méthodiquement en tenant compte des étapes suivantes :

- Détermination des caractéristiques du réseau (tension, fréquence, puissance de transformateurs utilisé,... etc.)
- Détermination des sections des câbles.
- Détermination de la chute de tension en fonction des caractéristiques des canalisations (longueurs et section des câbles)
- Détermination des courants de court-circuit
- Choix des dispositifs de protections
- Sélectivité des protections
- Vérification de la protection des personnes contre les contacts indirects

II.6.2 Détermination des caractéristiques du réseau

➤ Tension

La tension nominale du disjoncteur doit être supérieure ou égale à la tension entre phases du réseau.

➤ Fréquence

La fréquence nominale du disjoncteur doit correspondre à la fréquence du réseau.

➤ Intensité

L'intensité de réglage ou le calibre du déclencheur du disjoncteur doit être supérieur au courant permanent véhiculé par l'artère sur laquelle il est installé et doit être inférieur au courant admissible par cette artère.

➤ Calibre

Un disjoncteur est équipé d'un bloc de protection (ou déclencheur) magnétothermique ou électrique dont le rôle est de provoquer l'ouverture de l'appareil lorsque le courant dépasse une certaine valeur.

➤ Le pouvoir de coupure

C'est la plus grande intensité de courant de court-circuit (courant présumé) qu'un disjoncteur peut interrompre sous une tension donnée, il s'exprime en kA efficace.

II.6.3 Courant présumé

C'est le courant qui s'en couperait dans le cas de courts circuit en l'absence de toute protection sa valeur de crête est d'autant plus élevée que le facteur de puissance est faible.

- En respectant les conditions ci-dessous, le disjoncteur assure la protection contre les courants de courts-circuits, à l'aide de son déclenchement magnétique satisfait les conditions suivantes :

$$I_b \leq I_n \leq I_z \quad (\text{II-4})$$

$$P_{dc} \geq I_{cc} \quad (\text{II-5})$$

I_b : courant d'emploi de circuit.

I_n : courant nominale ou de réglage de dispositif.

I_z : courant admissible de la canalisation.

P_{dc} : pouvoir de coupure de l'appareil de protection.

I_{cc} : courant de court-circuit.

II.6.4 Le pouvoir de limitation

Le pouvoir de limitation d'un disjoncteur traduit sa capacité plus au moins grande à ne laisser passé sur court-circuit qu'un courant de défaut présumé.

II.6.5 Les principes de déclenchement

Le type de protection assuré par le disjoncteur dépend essentiellement de la nature de déclenchement :

- Déclencheur à maximum de courant
- Déclencheur à maximum de tension
- Déclencheur à retour de courant en courant continu seulement
- Déclencheur à courant différentiel résiduel
- Déclencheur thermique à bilame (surcharge)
- Déclencheur magnétique instantané (court-circuit)

II.6.6 Règle générale de la protection

Conformément à la NFC15-100 un appareil (disjoncteur ou fusible) assurera correctement la protection d'un câble contre les surintensités s'il est choisi en fonction des équations de courant de court-circuit (II-2) et de l'impédance totale (II-3) sachant que :

$$I_b = \frac{P}{\sqrt{3} * U * \cos \varphi * \eta} \quad (\text{II-6})$$

P : puissance active.

η: Rendement de moteur.

II.7 La sélectivité

Dans une installation radial l'objectif de la sélectivité est de déconnecter du réseau le récepteur ou le départ en défaut, et seulement celui-ci, en maintenant sous tension la plus grande partie possible de l'installation.

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

C'est une notion particulièrement importante pour les appareils de forte puissance, ceux-ci étant généralement situés en tête de l'installation et leurs déclenchement injustifié ayant de ce fait des conséquences d'autant plus importantes.

La sélectivité est dite totale si elle est garantie quelle que soit la valeur du courant de défaut, jusqu'à la valeur maximale disponible dans l'installation. Elle est dite partielle dans le cas contraire.

A chaque type de défaut correspond un dispositif de protection spécifique (protection contre les courants de surcharge, de court-circuit de défaut à la terre, ou contre les manques de tension.)

Chacun de ces défauts peut provoquer une perte de sélectivité si la coordination des dispositifs de protection n'a pas été prise en compte.

C'est la coordination des dispositifs de coupure automatique de tel sort qu'un défaut, survenant en un point quelconque du réseau, soit éliminé par le disjoncteur placé immédiatement en amont du défaut, et par lui seul.

II.7.1 Sélectivité totale

Dans une sélectivité totale, quelle que soit l'intensité de courant de défaut dans une portion du réseau, c'est l'appareil chargé d'assurer la protection de cette portion et seulement lui qui agit (figure II.1) [2].

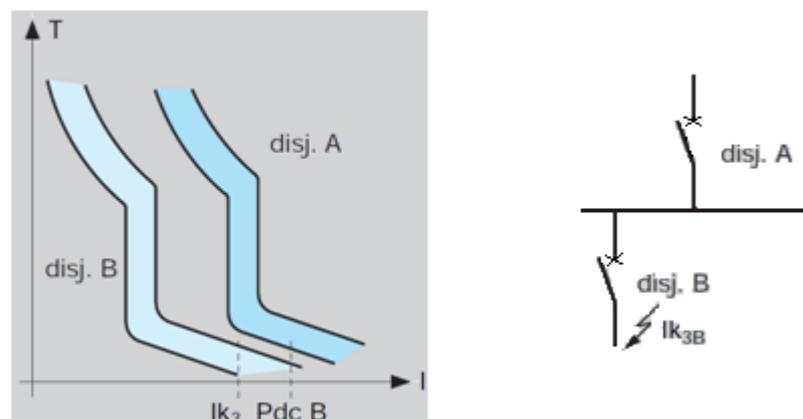


Figure II. 1: Principe de la sélectivité total

II.7.2 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'à une valeur inférieure. Cette valeur est appelée limite sélectivité [2].

Cette sélectivité n'est obtenue que pour une certaine gamme de courants (figure II.2).

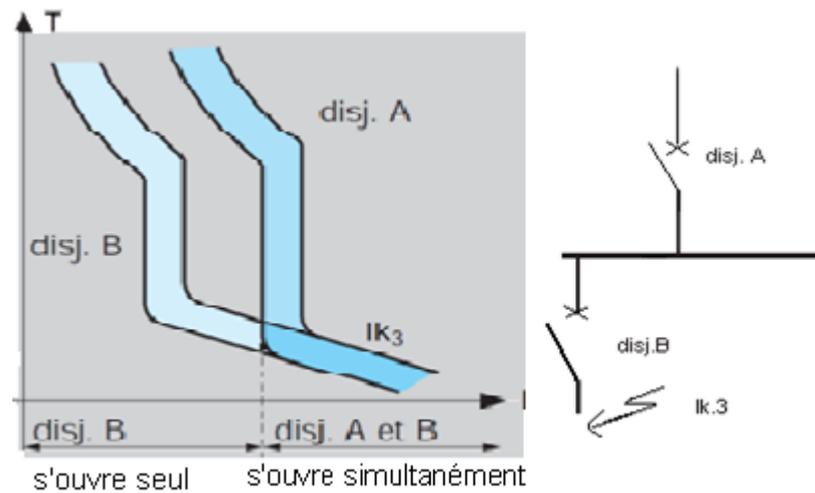


Figure II.2 : Principe de la sélectivité partielle

II.7.3 Sélectivité ampéremétrique

Elle résulte de l'écart entre les seuils des déclencheurs instantanés ou un court retard des disjoncteurs successifs. Surtout utilisée en distribution terminale, elle fait appel à des disjoncteurs rapides, dépourvus de dispositif de retard intentionnel au déclenchement.

Elle s'applique dans le cas de défauts de court-circuit et conduit généralement à une sélectivité partielle. Elle est d'autant plus efficace que les courants de défaut sont différents selon qu'ils apparaissent en un point ou un autre du réseau, ceci du fait de la résistance non négligeable des conducteurs de faible section (figure II.3). La zone de sélectivité est d'autant plus importante que l'écart entre les seuils des déclencheurs instantanés de D1 et de D2 est important, et que le point de défaut est éloigné de D2 ($I_{cc} \text{ faible} < I_{ins} \text{ de D1}$). Le rapport minimal entre I_{ins1} et I_{ins2} est de 1,5 pour tenir compte de la précision des seuils.

$$I_{ins1}/I_{ins2} > 1.5$$

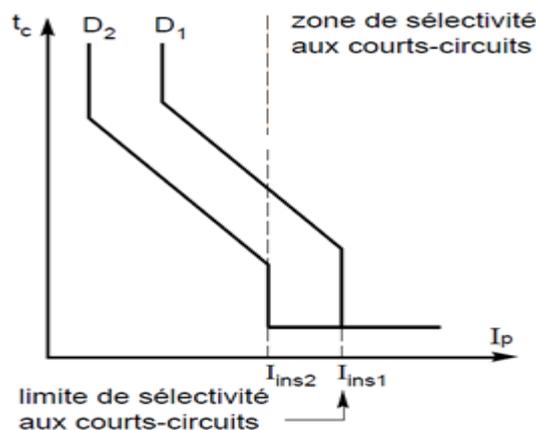


Figure II.3: Sélectivité ampéremétrique

II.7.4 Sélectivité chronométrique

Pour garantir une sélectivité totale les courbes de déclenchement des deux disjoncteurs ne doivent se superposer en aucun point quelle que soit la valeur du courant de court-circuit présumé.

Pour les courants de défaut importants, la sélectivité totale est garantie si les deux parties horizontales des courbes, à droite de I_{ins1} , sont distinctes. Plusieurs solutions sont utilisées pour atteindre cet objectif (figure II.4):

- la plus classique consiste à choisir des disjoncteurs sélectifs équipés d'un dispositif de retard intentionnel.
- la deuxième s'applique seulement au dernier étage de la distribution et consiste en l'utilisation d'un disjoncteur limiteur.

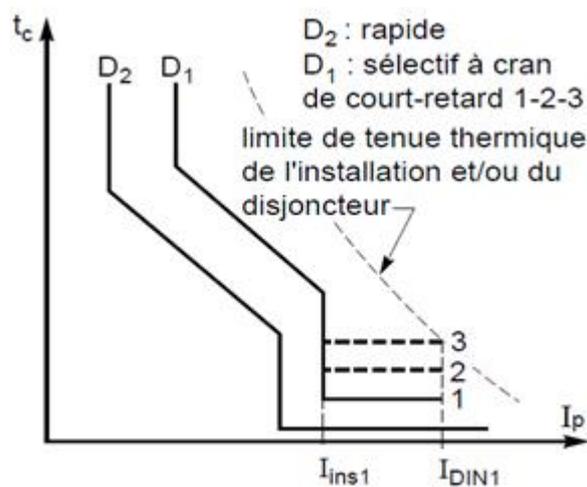


Figure II.4: Sélectivité chronométrique

II.8 La filiation

La filiation est l'utilisation du pouvoir de limitation des disjoncteurs, qui permet d'installer en aval des disjoncteurs ayant un pouvoir de coupure très inférieur au courant de court-circuit présumé [6].

II.8.1 Conditions de mise en œuvre

L'utilisation d'un appareil de protection possédant un pouvoir de coupure moins important que le courant de court-circuit présumé en son point d'installation est possible si un autre appareil est installé en amont avec le pouvoir de coupure nécessaire. Dans ce cas les caractéristiques de ces deux appareils doivent être telles que l'énergie limitée par

l'appareil amont ne soit pas plus importante que celle que peut supporter l'appareil aval et que les câbles protégés par ces appareils ne subissent aucun dommage.

II.8.2 Avantages de la filiation

Grâce à la filiation, des disjoncteurs possédant des pouvoirs de coupeurs inférieurs au courant de court-circuit présumé de l'installation peuvent être installés en aval de disjoncteurs limiteurs. Il s'en suit que de substantielles économies peuvent être fait au niveau de l'appareillage et des tableaux.

II.9 Protection contre les chocs électrique

II.9.1 Protection contre les contacts directs

Définition

C'est le contact d'une personne avec une partie active normalement sous tension d'un matériel ou d'un équipement électrique (phase ou neutre).

En moyenne tension, la notion de contact direct est beaucoup plus sévère qu'en BT, et les moyennes tensions mise en œuvre pour la protection sont plus contraignantes bien qu'il soit de même nature [7].

II.9.1.1 Dispositif de protection contre les contacts directs

Principaux moyens mis en œuvre [8]

La protection s'effectue principalement par :

- **L'isolation** des parties actives (conducteurs actifs y compris le neutre et pièces conductrices normalement sous tension).
- **L'inaccessibilité** des parties actives :
 - Au moyen de barrières ou d'enveloppes (coffrets, armoires).
 - L'ouverture de l'enveloppe ne doit se faire que sous certaines conditions (clef...).
 - Au moyen d'obstacles : localement à au moins 100 mm d'une partie active.
- **Dispositions complémentaires**

La protection par dispositifs à courants différentiels résiduels à haute sensibilité inférieur ou égale à 30 mA est complémentaire aux précédentes dispositions mais non suffisante.

- **L'utilisation d'une très basse tension de sécurité** : Tension secondaire inférieure à 25 V, tension d'isolement primaire / secondaire de 400 V présente des conditions d'installation si sévères (respect des tensions d'isolement en tout point de l'installation) que les utilisations sont très limitées : baladeuse, jouet, sonnerie...

II.9.2 Protection contre les contacts indirects

Définition

Il s'agit du contact accidentel de personnes avec un conducteur actif (phase ou neutre) ou une pièce conductrice habituellement sous tension. Dans le cas où le risque est très important, Les mesures de protection consistent à mettre ces parties actives hors de portée ou à les isoler par l'utilisation d'isolants, d'enveloppes, de barrières. Une mesure complémentaire contre les contacts directs consiste à utiliser des dispositifs différentiels résiduels (DDR) instantanés à haute sensibilité.

II.9.2.1 Dispositif de protection contre les contacts indirects

Conditions générales

- **Mise à la terre**

Toutes les masses des matériels électriques de l'installation et tous les éléments conducteurs accessibles doivent être reliés à la terre par un conducteur de protection : PE de couleur J/V. Exceptions : les matériels de classe II et les circuits alimentés en Très Basse Tension de Sécurité (TBTS) [8].

- **Coupure automatique**

Lorsqu'un défaut d'isolement apparaît entre deux masses (ou une masse et un élément conducteur qui peut être la terre) simultanément accessibles, il y a apparition d'une tension de contact.

La protection vis-à-vis des contacts indirects doit être réalisée par une coupure automatique de l'alimentation de façon à empêcher le maintien d'une tension de contact dangereuse pendant une durée telle qu'il risque d'en résulter un danger pour les personnes.

La coupure est obligatoire si elle dépasse la tension limite U_L , soit 50 V pour les locaux secs ou humides comme dans notre cas. Le Tableau II.4 et la Figure II.5 donnent le temps de coupure maximal du dispositif de protection à installer selon le type du local

(local sec ou humide et local mouillé) selon qu'il s'agisse d'une installation en courant alternatif ou en courant continu.

| Tension de contact présumée(V) | Temps de coupure maximal du dispositif de protection (s) | |
|---------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|------------------------|
| | Courant alternatif | Courant continu |
| Locaux ou emplacements secs ou humides : $U_L \leq 50V$ | | |
| <50 | - | - |
| 50 | 5 | 5 |
| 75 | 0.60 | 5 |
| 90 | 0.45 | 5 |
| 120 | 0.34 | 5 |
| 150 | 0.27 | 1 |
| 220 | 0.17 | 0.40 |
| 280 | 0.12 | 0.30 |
| 350 | 0.08 | 0.20 |
| 500 | 0.04 | 0.1 |
| Locaux ou emplacements mouillés $U_L \leq 25V$ | | |
| 25 | 5 | 5 |
| 50 | 0.48 | 5 |
| 75 | 0.30 | 2 |
| 90 | 0.25 | 0.80 |
| 110 | 0.18 | 0.50 |
| 150 | 0.10 | 0.25 |
| 220 | 0.05 | 0.06 |
| 280 | 0.02 | 0.02 |

Tableau II. 4: Temps de coupure maximal du dispositif de protection selon les tensions de contact

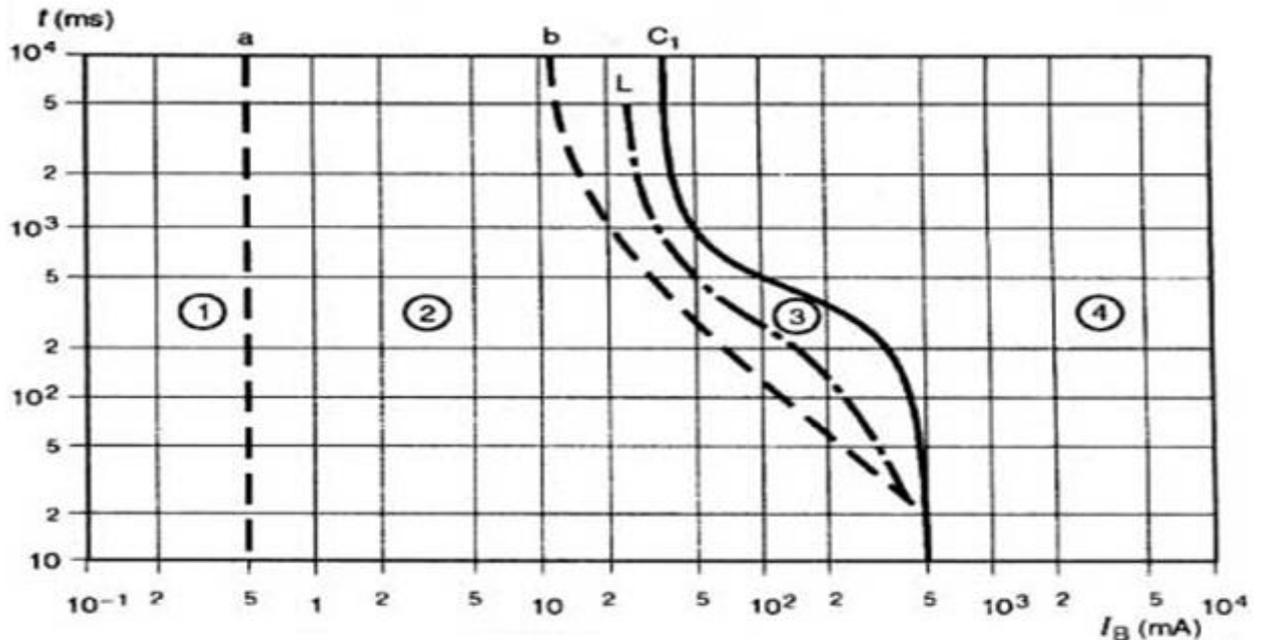


Figure II. 5 : Zones temps-courant des effets du courant alternatif sur le corps humain.

I_B : courant passant par le corps humain

t : durée de passage du courant

L : courbe donnant le temps de coupure, c'est-à-dire le temps pendant lequel le courant peut passer par le corps humain sans provoquer d'effets dangereux

La norme CEI 479 donne les courbes de temps en fonction des intensités traversant le corps humain et fixe les zones dangereuses et non dangereuses.

- **Zone 1:** aucune réaction.
- **Zone 2:** aucun effet physiologique dangereux.
- **Zone 3 :** aucun dommage organique, mais probabilité de contractions musculaires et de difficultés de respiration jusqu' à la courbe C 1. Possibilité de risques cardiaques jusqu' à C 3.
- **Zone 4:** risque d'arrêt du cœur, de la respiration et de brûlures graves.

II.10 Conclusion

Dans ce travail, nous avons présenté un récapitulatif des étapes à suivre pour le dimensionnement d'une installation industrielle assurant un fonctionnement fiable par un choix judicieux des éléments de l'installation et la mise en oeuvre des protections des matériels et des personnes.

Chapitre III

Bilan de puissance et détermination de
la charge totale

III .1 Introduction

Le bilan de puissance est un outil qui va permettre de dimensionner l'installation à partir de la définition des récepteurs. C'est la première étape essentielle de l'étude de conception d'un réseau électrique. Elle doit cerner et localiser géographiquement les valeurs des puissances actives et réactives.

III. 2 Détermination de la puissance

La puissance d'une installation n'est pas la somme arithmétique de celle des récepteurs. Sa détermination nécessite de connaître la puissance et la localisation des récepteurs pour accéder à la puissance d'utilisation et à la détermination de la puissance du transformateur nécessaire [10].

III.2. 1 Puissance installée

La puissance active installée, dans une entreprise représente la somme des puissances actives nominales de tous les récepteurs. Cette puissance servira ensuite, au calcul des puissances réellement consommées et ce, en utilisant des facteurs d'utilisation et de simultanéité correspondant à chaque niveau de l'installation et dont les définitions sont données ci après [11].

III. 2.2 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) [12], [11].

a) 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 [13].

b) Facteur de simultanéité K_s

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 K_s |
|----------------------|--------------------------------|
| 1 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 de simultanéité K_s |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 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 | 0,75 |

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

c) Facteur d'extension K_e

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 varie entre un TGBT et un autre [13].

III.4 Calcul de la puissance installée

Exemple de calcul de puissance installée colonne 1 du TGBT4

| Equipements | Cos φ | P_n (w) | U_n (V) | I_N (A) | Q_n (var) | S_n (va) |
|-----------------|---------------|-------------------|-----------|---------------|-------------------|-------------------|
| E695_01 | 0,81 | 55 000,00 | 400,00 | 98,00 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_02 | 0,81 | 55 000,00 | 400,00 | 98,00 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_03 | 0,81 | 55 000,00 | 400,00 | 98,00 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_04 | 0,81 | 55 000,00 | 400,00 | 98,00 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_05 | 0,81 | 55 000,00 | 400,00 | 98,00 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_06 | 0,81 | 55 000,00 | 400,00 | 98,00 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| Colonne 1 Aeros | | 330 000,00 | | 588,00 | 235 999,68 | 405 704,14 |

Tableau III .3 : Bilan de puissance installée colonne 1 du TGBT 4

Les résultats de calcul pour les autres départs sont inscrits dans les Tableaux N°1 de l'annexe 2.

Le bilan de puissance effectué, donne les puissances installées suivantes :

| charges | S (VA) |
|---------------|------------------|
| TGBT 1 | 3 657 725, 47 VA |
| TGBT 2 | 3 397 636,07 VA |
| TGBT 3 | 5 385 957,18 VA |
| TGBT 4 | 3 803 601,06 VA |
| TGBT 5 | 484 564,80 VA |

Tableau III.4 : Bilan des puissances à installer

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 du récepteur par rapport à sa puissance nominale. Ainsi, la détermination de cette puissance nécessite une bonne connaissance du facteur d'utilisation [11].

Elle est donnée par la relation suivante :

$$P_{ui} = K_u * P_n$$

P_{ui} : Puissance utile demandée

P_n : Puissance nominale

K_u : Facteur d'utilisation

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 récepteurs alimenté par la même branche, multipliée par le facteur de simultanéité correspondant. Elle est donnée par la relation suivante :

$$P_{uj} = K_s * \sum_{i=1}^n P_{ui}$$

P_{uj} : Puissance utile dans une branche

K_s : Facteur de simultanéité

n : Nombre de récepteurs

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

$$P_{ut} = K_s * K_e \sum_{i=1}^n P_{uj}$$

P_{ut} : Puissance utile totale dans l'installation, K_e : Facteur d'extension

Exemple de calcul de puissance installée colonne 1 du TGBT4

| Equipements | K_u | Pui (w) | Qui (var) | Sui (va) | Puj (w) | Quj (var) | Suj (va) |
|---------------------------|-------|----------------|-------------------|-------------------|---------------|------------------|------------------|
| E695_01 | 0,75 | 41 250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_02 | 0,75 | 41 250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_03 | 0,75 | 41 250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_04 | 0,75 | 41 250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_05 | 0,75 | 41 250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_06 | 0,75 | 41 250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| Colonne 1 Aeros $K_s=0,7$ | | 247 500 | 176 999,76 | 304 278,12 | 173250 | 123899,83 | 212994,68 |

Tableau III .5 : Bilan de puissance d'utilisation colonne 1 du TGBT 4

Les résultats de calcul pour les autres départs sont inscrits dans les Tableaux N°2 'annexe 2.

III.5.3 Récapitulatifs des charges totales des TGBT

Les charges des TGBT sont notées dans le Tableau suivant

| Charges | K_s | P_{uj} (w) | Q_{uj} (var) | S_{uj} (va) |
|---------------|-------|--------------|----------------|---------------|
| TGBT 1 | 0,6 | 1 113 829,35 | 842 796,48 | 1 388 964,92 |
| TGBT 2 | 0,7 | 904 117 | 655 652,90 | 1 118 502,00 |
| TGBT 3 | 0,9 | 1 772 334 | 1 619 582,69 | 2 421 886,95 |
| TGBT 4 | 0,7 | 1 165 462 | 841 923,05 | 1 416 396,06 |
| TGBT 5 | 0,9 | 182 385 | 137 523,58 | 228 956,85 |

Tableau III .6 : Valeurs des puissances de la raffinerie de sucre

Après application du facteur d'extension on aura :

| Charges | Ke | P _{uj} (w) | Q _{uj} (var) | S _{uj} (va) |
|---------|-----|---------------------|-----------------------|----------------------|
| TGBT 1 | 1,5 | 1 670 744,03 | 1 264 194,72 | 2 083 447,38 |
| TGBT 2 | 1,5 | 1 356 175,80 | 983 479,35 | 1 677 753 |
| TGBT 3 | 1,2 | 2 126 800,80 | 1 943 499,23 | 2 906 264,34 |
| TGBT 4 | 1,5 | 1 748 192,25 | 1 262 884,57 | 2 124 594,09 |
| TGBT 5 | 1,5 | 273 577,50 | 206 285,37 | 343 435,275 |

Tableau III .7 : Valeurs des puissances de la raffinerie de sucre avec extension prévus

III.5.4 Détermination du facteur de puissance total

Le facteur de puissance est le quotient de la puissance active totale consommée et de la puissance apparente totale fournie.

| Charges | P _{uj} (w) | S _{uj} (va) | cos φ |
|---------|---------------------|----------------------|---------------|
| TGBT 1 | 1 670 744,03 | 2 083 447,38 | 0,80 |
| TGBT 2 | 1 356 175,80 | 1 677 753,00 | 0,81 |
| TGBT 3 | 2 126 800,80 | 2 906 264,34 | 0,73 |
| TGBT 4 | 1 748 192,25 | 2 124 594,09 | 0,82 |
| TGBT 5 | 273 577,50 | 343 435,28 | 0,80 |

Tableau III .16 : Valeurs des facteurs de puissance

III.6 Dimensionnement des transformateurs

Le réseau délivre une moyenne de tension de 30 KV, et au sein du projet la tension au niveau des récepteurs est de 400V [11] .

Après le calcul des puissances, on choisira des transformateurs de puissance normalisé dans le Tableau III.8.

| | |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Transformateur sur poteau (KVA) | 25-50-100 |
| Transformateurs en cabine (KVA) | 25-50-100-160-250-400-360-800-1000-1250-1600-2000-3150 |
| Tension primaires (KV) | 5.5-10-15-20-30 |
| Tension secondaires (KV) | 231-400 |

Tableau III .8 : Puissances et tension normalisées des transformateurs

Le choix des transformateurs se portera sur :

Transformateur 1 : 3 150 kVA

Transformateur 4 : 3 150 kVA

Transformateur 2 : 2 000 kVA

Transformateur 5 : 400 kVA

Transformateur 3 : 3 150 kVA

Après avoir effectué le bilan de puissance, et le choix des transformateurs nécessaires pour l'installation de la station de raffinerie de sucre ces derniers doivent être caractérisés comme suit :

| Transformateurs | Puissance apparente (KVA) | Tension primaire (KV) | Tension secondaire (V) | Courant primaire (A) | Courant secondaire (A) | Rapport de transformation | Tension de court-circuit en % |
|-----------------|---------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------------|
| Transfo 1 | 3150 | 30 | 400 | 60.47 | 4546.63 | 0.0133 | 6% |
| Transfo 2 | 2000 | 30 | 400 | 38.39 | 2886.75 | 0.0133 | 6% |
| Transfo 3 | 3150 | 30 | 400 | 60.47 | 4546.63 | 0.0133 | 6% |
| Transfo 4 | 3150 | 30 | 400 | 60.47 | 4546.63 | 0.0133 | 6% |
| Transfo 5 | 400 | 30 | 400 | 7.67 | 577.35 | 0.0133 | 6% |

Tableau III .9 : Caractéristique des transformateurs choisis

III.7 Compensation de l'énergie réactive

III.7.1 Introduction

L'énergie électrique distribuée par le réseau, sous forme de courant alternatif via le TGBT, est composée d'une partie active et d'une partie réactive. La partie active se transforme intégralement en puissance mécanique (travail) et en chaleur (pertes), tandis que la partie réactive sert essentiellement à l'alimentation des circuits magnétiques des machines électriques (charges inductives).

L'utilisateur ne bénéficie que de l'apport énergétique de la partie active. La partie réactive ne peut pas être éliminée du courant fourni. Le but de la compensation de l'énergie réactive est de réduire le courant soutiré sur le réseau.

En effet, l'appel important du courant donc de l'énergie réactive sur les réseaux de distribution, entraîne des surcharges au niveau des transformateurs et l'échauffement des câbles d'alimentation. Cela génère aussi des pertes supplémentaires et des chutes de tension importantes.

III.7.2 Le principe de la compensation

L'énergie réactive consommée, par les charges qui présentent une composante inductive (transformateurs, moteurs, 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 entretien onéreux.

Pratiquement, on utilise les condensateurs statiques dont le diélectrique est constitué d'un papier imprégné de 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 TGBT et la batterie ne doit pas dépasser 15 m. 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 ($\cos\phi$) d'origine et du $\cos\phi$ requis à l'arrivée [14].

III.7.3 matériel et mode de compensation d'énergie réactive

En basse tension, la compensation est réalisée avec deux familles de produits :

- Les condensateurs de valeurs fixes.
- Les équipements à régulation automatique ou batteries automatiques qui permettent d'ajuster en permanence la compensation aux besoins de l'installation, elles permettent l'adaptation immédiate de la compensation aux variations de la charge.

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.

Il est utilisé dans le cas où la puissance active varie dans des proportions importantes, c'est-à-dire essentiellement aux bornes des tableaux généraux BT et pour les gros départs.

III.7.3.1 Mode de compensation

La compensation d'une installation peut être réalisée de différentes façons :

1. Globale :

La batterie est raccordée en tête d'installation Et assure une compensation pour l'ensemble de l'installation, Elle reste en service de façon permanente pendant la marche normale de l'usine (Figure III.1).

Lorsque la charge est stable et continue, une compensation globale convient.

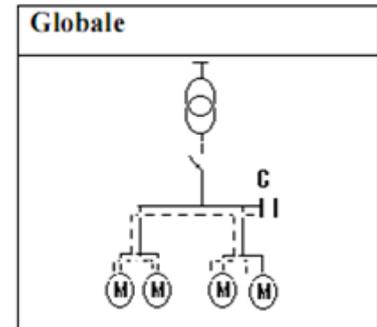


Figure III.1 : Compensation globale

2. Partielle :

La batterie est raccordée au tableau de distribution et fournit l'énergie réactive par atelier à un groupe de récepteurs. Une grande partie de l'installation est soulagée, en particulier les câbles d'alimentation de chaque atelier (Figure III.2).

Une compensation partielle est conseillée lorsque l'installation est étendue et comporte des ateliers dont les régimes de charge sont différents.

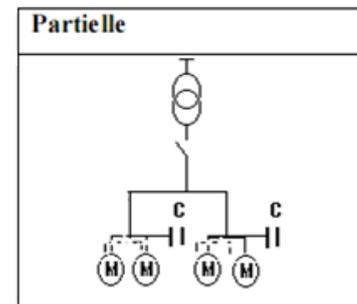


Figure III.2 : compensation partielle

3. Locale : (individuelle)

La batterie est raccordée directement aux bornes de chaque récepteur de type inductif. Lorsqu'elle est possible, cette compensation produit l'énergie réactive à l'endroit même ou est consommée et en quantité ajustée aux besoins (Figure III.3).

Une compensation individuelle est à envisager lorsque la puissance de certains récepteurs est importante par rapport à la puissance totale.

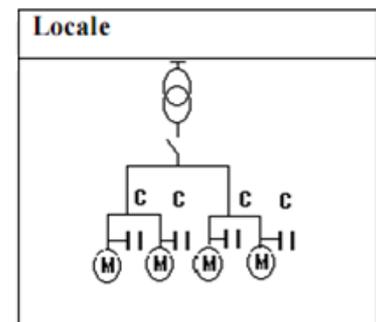


Figure III.3 : Compensation locale

III.7.4 Installation de batteries de compensation

Dans ce projet l'installation des batteries de compensation se fait dans les postes de transformation, elle reste en service de façon permanente.

Cette position permet en particulier, de tenir compte du facteur de simultanéité des récepteurs, d'où une puissance installée mieux utilisée, qui limite les intensités en ligne au

niveau de la répartition de l'énergie.

III.7.5 Choix de type de compensation (fixe ou automatique)

Dans le cas de la compensation globale ou par ateliers, le ratio Q_c/S_n permet de choisir entre un équipement de compensation fixe ou automatique. Le seuil de 15% est une valeur indicative conseillée [11].

Pour éviter les effets de la surcompensation à vide :

$Q_c/S_n \leq 15\%$: compensation fixe

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

III.7.6 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. [12]

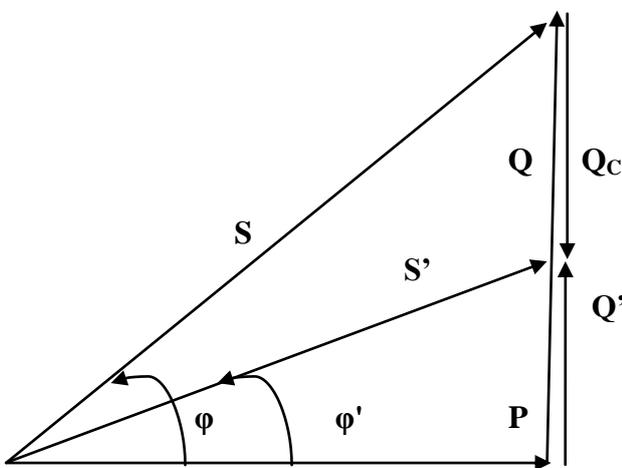


Figure. III.4 : Triangle de puissance

Avant compensation

- Puissance active P (en KW)
- Puissance réactive Q (KVAR)
- Puissance apparente S (en KVA)
- Facteur de puissance $\cos\varphi$

Après compensation avec une Puissance réactive de compensation Q_c (en KVAR)

- Puissance active P (en KW)
- Puissance réactive Q' (KVAR)
- Puissance apparente S' (en KVA)
- Facteur de puissance $\cos\varphi'$

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

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{Q}{P} \quad \stackrel{1}{\Rightarrow} \quad Q = P * \operatorname{tg} \varphi$$

$$\operatorname{tg} \varphi' = \frac{Q'}{P} \quad \stackrel{2}{\Rightarrow} \quad Q' = P * \operatorname{tg} \varphi'$$

$$\vec{Q} = \vec{Q}' + \vec{Q}_c$$

$$D'où \quad Q_C = Q - Q'$$

$$\text{De 1 et 2} \quad Q_C = P \cdot (\operatorname{tg}\varphi - \operatorname{tg}\varphi')$$

III.7.7 Calcul des valeurs de capacités des condensateurs

❖ En monophasé

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

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

❖ En triphasé

Dans ce cas il existe deux façons pour monter les condensateurs :

a) Montage triangle

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

$$Q_C = 3 \cdot C_{eq} \cdot W \cdot U^2$$

$$C_{eq} = \frac{m}{n} \cdot C$$

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 :

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

Et

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

$$C_{eq} = \frac{Q_{C-\Delta}}{3 \cdot \omega \cdot U^2} \quad \stackrel{1}{\Rightarrow} \quad 3 \cdot C_{eq} = \frac{Q_{C-\Delta}}{\omega \cdot U^2}$$

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

$$Q_{C-\lambda} = \frac{3}{3} \cdot C_{eq} \cdot \omega \cdot U^2 \quad \stackrel{2}{\Rightarrow} \quad C_{eq} = \frac{Q_{C-\lambda}}{\omega \cdot U^2}$$

$$\text{De 1 et 2} \Rightarrow C_{eq-\Delta} = 3 \cdot C_{eq} - \Delta$$

III.7.8 Calcul de la puissance de compensation

Nous avons opté pour le mode de compensation globale qu'on trouve meilleur sur le plan d'investissement à long terme ; elle permet d'éliminer l'énergie réactive qui circule en amont des batteries. La diminution du courant réactif transitant, nous permet d'avoir des sections des câbles faibles et aussi une faible chute de tension.

Pour calculer la puissance réactive compensée Q_C , il faut tenir compte des étapes citées ci-dessus pour le mode à choisir.

➤ Exemple de calcul des batteries de compensation pour le TGBT 4

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

❖ Au niveau de **TGBT₄** on a :

$$\cos\varphi = 0,82$$

$$\tan\varphi = 0,69$$

$$\text{On a } Q_{uj-TGBT4} = 1\,262,884 \text{ kVAR}$$

$$P_{uj-TGBT4} = 1\,748,192 \text{ kW}$$

$$\cos\varphi' \text{ désiré } 0,86 \text{ ainsi } \tan\varphi' = 0,59$$

$$Q_C = P \cdot (\tan\varphi - \tan\varphi') = 1748,192 \cdot (0,69 - 0,59) = 174,81 \text{ kVAR}$$

La nouvelle puissance sera égale à la somme vectorielle de la puissance de l'installation et la puissance des condensateurs à installer, mais en valeur algébrique c'est la soustraction.

$$Q' = Q - Q_C$$

$$\Rightarrow Q' = 1\,262,884 - 174,81 = 1088,07 \text{ kVAR}$$

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

$$C_{eq} = \frac{Q_C}{3WU^2} = \frac{1088,07}{3 \cdot 314 \cdot 400^2} = 1\,159,894 \mu F$$

$$\Rightarrow C_{\Delta} = 1\,159,894 \mu F$$

$$\Rightarrow C_Y = 386,631 \mu F$$

Même application pour le TGBT₁, TGBT₂, TGBT₃ et TGBT₅

Les puissances réactives avant et après compensation et les valeurs des capacités des condensateurs pour les TGBT sont données dans le tableau III.10

| Charges | Avant compensation | | | | Après compensation | | | | |
|---------|--------------------|--------------------|-------------------|----------------|--------------------|----------------|----------------|-------------------------|------------------|
| | P_{uj} (KW) | Q_{uj} (KVAR) | S_{uj} (KVA) | $\cos \varphi$ | Q_C (KVAR) | Q' (KVAR) | $\cos \varphi$ | C_{Δ} μF | C_Y μF |
| TGBT 1 | 1 657 ,25 | 1 253 ,63 | 2066,31 | 0,80 | 267,31 | 996,88 | 0,86 | 1773,614 | 591,205 |
| TGBT 2 | 1 356 ,17 | 983 ,47 | 1677,75 | 0,81 | 176,30 | 807,18 | 0,86 | 1169,738 | 389,913 |
| TGBT 3 | 2 126 ,80 | 1 943 ,49 | 2906,26 | 0,73 | 723,11 | 1 220,39 | 0,86 | 4797,719 | 1599,240 |
| TGBT 4 | 1 748 ,19 | 1 262 ,88 | 2124,59 | 0,82 | 174,81 | 1 088,07 | 0,86 | 1159,894 | 386,631 |
| TGBT 5 | 273 ,57 | 206 ,28 | 343,43 | 0,80 | 43,77 | 162,51 | 0,86 | 290,422 | 96,807 |

Tableau III .10 : les puissances réactives fournis par les batteries de compensation

II.7.8.1 Vérification du type de compensation

| Q_c (kVAR) | S_n (kVA) | Q_c/S_n (%) | Type de compensation |
|--------------|-------------|---------------|----------------------|
| 267,31 | 2083,45 | 12,83 | Automatique |
| 176,30 | 1677,75 | 10,51 | Automatique |
| 723,11 | 2906,26 | 24,88 | fixe |
| 174,81 | 2124,59 | 8,23 | Automatique |
| 43,77 | 343,44 | 12,75 | Automatique |

Tableau III.11 : Types de compensation de l'énergie réactifs

D'après nos résultats la compensation de ces installations s'effectue avec une compensation automatique sauf pour le TGBT 3 avec une compensation fixe.

III.8 Conclusion

Dans cette étape de notre travail, après avoir réalisé le bilan de puissance de l'installation nous avons procédé au choix et dimensionnement des transformateurs de puissance.

Par ailleurs les puissances des différents circuits, ainsi déterminés, nous serviront au dimensionnement, des appareils de protection et des sections des câbles.

D'après les résultats obtenus, nous constatons que l'installation électrique de raffinerie de sucre présente un facteur de puissance moyen entraînant des pertes importantes non exploitées, une compensation de l'énergie réactive a été donc proposée.

L'amélioration du facteur de puissance $\cos\varphi$ permet une diminution au niveau des sections des câbles, des pertes en lignes, une réduction de la chute de tension et une augmentation de la puissance disponible du transformateur.

Dans la partie qui suit, nous serons amenés à dimensionner les différentes canalisations issues des TGBT4 (extension) et de faire un choix des éléments de l'installation.

Chapitre IV

Dimensionnement et choix des éléments
de l'installation (extension)

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre nous allons étudier les caractéristique de chaque partie de l'installation, à cet effet, nous allons vérifier les section des câbles, les courants d'emplois, les chutes de tension et les courants de court-circuit, d'une manière à supporter différentes contraintes pour le bon fonctionnement, à savoir disponibilité, sécurité et protection.

IV.2 Conditions générales

La section d'un câble doit satisfaire aux conditions techniques suivantes :

- Un échauffement normal de l'âme conductrice n'entraînant pas détérioration des propriétés isolantes des constituants de l'enveloppe et de la gaine lorsqu'elle fait transiter l'intensité admissible en régime permanent, cette condition doit prendre en compte :
 - La constitution du câble
 - Le mode et les conditions de pose qui limitent les échanges thermiques du câble avec l'environnement
 - La température du milieu ambiant (air ou terre)
- Une chute de tension au plus égale :
 - Aux limites réglementaires
 - Ou à l'écart accepté entre la tension disponible au départ et la tension souhaitée à l'arrivée
- Une bonne tenue à une surintensité de courte durée due à un courant de court-circuit et qui se traduit par des courants intenses dans les écrans métalliques des câbles d'où une augmentation de l'échauffement et un risque de détérioration accrue.

A ces conditions s'ajoutent :

- Des conditions de sécurité, protection contre les contacts indirects.
- Une condition économique, cette condition, consiste à rechercher la section qui, en régime permanent, rend minimale la somme du coût d'investissement et du coût d'exploitation [16].

IV.3 Caractéristiques des câbles

Les câbles basse tension que nous allons utiliser dans cette installation sont de type U1000R2V multipolaire, dont les caractéristiques sont données ci-dessous selon la norme NFC 32-321 [9].

U : câble normalisé ; **1000** : tension nominale (V) ; **R** : conducteur isolé au polyéthylène réticulé chimiquement (PRC) ; **2** : gain épaisse de protection et **V** : polychlorure de vinyle.

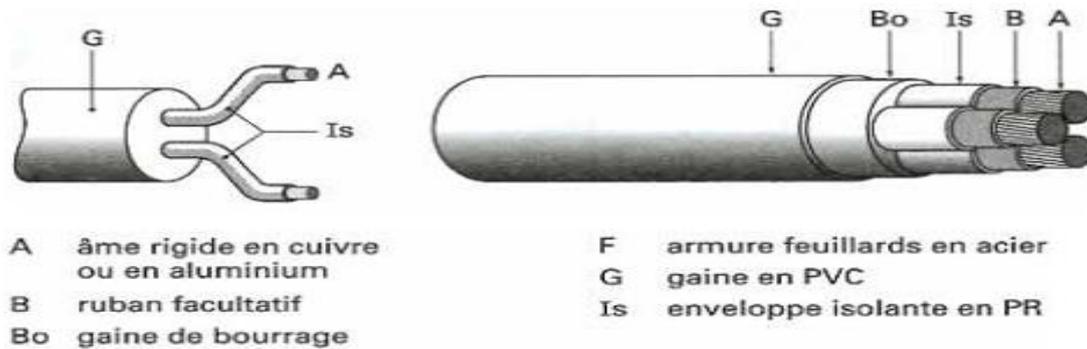


Figure IV.1 Constitution d'un câble

Température maximale à l'âme :

85°C en permanence

250°C en court-circuit

Le PRC est peu résistant aux propagations des flammes, et interdit dans :

- Les piscines
- Les industries chimiques
- Les carrières (chocs mécaniques)
- Les industries importantes (vibration)
- Les endroits où les effets sismiques sont importants

IV.4 Détermination des sections des câbles

Les câbles doivent assurer le transit de l'intensité du courant dans les conditions normales sans échauffement de l'âme conductrice et doivent supporter l'intensité du courant de court-circuit pendant une durée déterminée.

IV.4.1 Détermination des courants influençant sur la section

a. Courant d'emploi I_e

C'est le courant correspondant à la plus grande puissance transportée par le circuit en service normal.

$$\text{En triphasé : } I_e = \frac{p}{\sqrt{3}.U.\cos\varphi}$$

$$\text{En monophasé } I_e = \frac{p}{V.\cos\varphi}$$

U : tensions composée en triphasée

V : tensions simple en monophasée

P : Puissance absorbée, en tenant compte de l'ensemble des facteurs

$\cos\varphi$: facteur de puissance de récepteur

b. Courant admissible I_{ad}

Le courant admissible est défini comme la valeur maximale du courant qui peut parcourir en permanence un conducteur, dans des conditions données, sans que la température en régime permanent soit supérieure à une valeur spécifiée.

Cette définition fait apparaître que la valeur du courant admissible dépend essentiellement des facteurs suivants :

- La température maximale admissible en régime permanent
- Les conditions d'installation

Le courant admissible par l'âme conductrice d'un câble est donné par l'expression:

$$I_{ad} \geq \frac{I_e}{K}$$

c. Courant fictif

Le calcul du courant fictif I_f est nécessaire pour déterminer la section du câble, ce courant fictif est une correction maximum de courant d'emploi, réellement transite dans le câble suivant l'expression :

$$I_f = \frac{I_e}{K} \leq I_{ad}$$

K: facteur de correction tenant compte de condition d'exploitation du câble.

IV .5 Calcul et choix des sections des câbles en BT

La détermination de la section d'un câble se fait selon les critères suivants :

- Calcul de la section technique
- Calcul de la section économique

IV .5.1 Section technique

La détermination de cette section consiste à trouver la section normalisée appartenant au type de câble choisi, et satisfait les trois conditions suivantes :

- Échauffement normal
- Chute de tension admissible
- Surcharge due au court-circuit

IV .5.1.a Calcul de la section selon l'échauffement S_j

Le calcul de la section d'un conducteur, d'une ligne électrique est fonction des différents paramètres de l'installation [3] :

- Le mode de pose
- Le type d'éléments conducteurs
- L'influence mutuelle des autres circuits
- La température ambiante
- La nature de l'isolant
- L'intensité nominale du courant d'emploi I_e

Le mode de pose dans notre étude c'est corbeau qui est sélectionné par la lettre E d'après le tableau N°1 de l'annexe 1

Le facteur de correction K1 prend en compte le mode de pose comme le montre le tableau N°2 de l'annexe 1

Le facteur de correction K2 prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés côte à côte donné dans le tableau N°3 de l'annexe 1

Le facteur de correction K3 prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant donné dans le tableau N°4 de l'annexe 1

Le facteur de correction du neutre chargé K_n

Selon la norme (NF C15-100 § 523.5.2) : $K_n = 0,84$

Le facteur de correction dit de symétrie K_s

Selon la norme (NF C15-105 § B.5.2) :

$K_s = 1$ pour 2 et 4 câbles par phase avec le respect de la symétrie

$K_s = 0,8$ pour 2, 3 et 4 câbles par phase si non respect de la symétrie.

Exemple de calcul effectué sur la colonne 1 du TGBT 4 (élément E695_01)

$$\text{On a :} \quad I_f = \frac{I_e}{K} = \frac{I_e}{K_1 * K_2 * K_3 * K_n * K_s}$$

$$I_f = \frac{98}{1 * 0,78 * 0,91 * 0,84 * 1} = \frac{98}{0,59} = 166,10 \text{ A}$$

Le courant admissible choisi directement supérieur au courant fictif est de 192 A ce qui correspond à une section de 50 mm²

Le courant admissible correspondant au courant fictif I_f et la section S_j sont choisis à partir du Tableau N°5 de l'annexe 1.

Les résultats obtenus pour chacun des circuits du TGBT 4 sont résumés dans le Tableau N°1 de l'annexe 3

IV .5.1.b Vérification de la chute de tension

Connaissant le courant I_e , le $\cos \varphi$ et la chute de tension admissible dans les charges à étudier et la longueur de la canalisation, on détermine la section du conducteur convenable (S_z).

Exemple de calcul effectué sur la colonne 1 du TGBT 4 (Elément E695_01)

$$I_e = 98 \text{ A}$$

$$U = 400 \text{ V}, \quad l = 70 \text{ m}, \quad \cos \varphi = 0,81, \quad S_j = 50 \text{ mm}^2$$

$$R = \frac{\rho * l}{S}$$

$$R = \frac{22,5 * 0,07}{50} = 0,0315 \Omega$$

$$\Delta U = \sqrt{3} I_b (R \cos \varphi + \lambda l \sin \varphi)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} * 98 * (0,0315 * 0,81 + 0,08 * 0,07 * 0,58)$$

$$\Delta U = 4,88 \text{ V}$$

$$\text{Soit en \% : } \frac{4,88}{400} * 100 = 1,22\% < 6 \%$$

$$\Rightarrow S_z = 50 \text{ mm}^2$$

La section choisie selon le critère de l'échauffement vérifie la condition de chute de tension donc la section sera retenue est de 50 mm^2 par phase.

On récapitule les résultats de vérification des chutes de tension dans les différents départs dans le Tableau N°2 de l'annexe 3.

IV.6 Dimensionnement des jeux de barres

Le dimensionnement du jeu de barres se fait en tenant compte des conditions normales d'exploitation. C'est pour cela qu'il faut s'assurer que les barres résistent aux effets mécaniques, thermiques dues aux courants de court-circuit et de non résonance de la période de vibration propre des barres avec la période du courant [12].

IV.6.1 Effet thermique

La formule de MELSON et BOTH permet de définir l'intensité admissible dans un conducteur :

$$I = K * \frac{24,9 * (\theta - \theta_n)^{0,61} * S^{0,5} * P^{0,39}}{\sqrt{\rho_{20} * [1 + \alpha * (\theta - 20)]}}$$

I : Courant admissible (A)

P : Périmètre d'une barre (cm)

α : Coefficient de température de résistivité. Avec $\alpha = 0,004$

S : Section d'une barre (cm^2)

ρ_{20} : Résistivité du conducteur ($\mu\Omega / \text{cm}$)

θ : Température du conducteur (voir le Tableau N°8 dans l'annexe)

θ_n : Température ambiante ($\theta_n \leq 40^\circ\text{C}$)

K : Coefficient de conditions, avec $K = k_1 * k_2 * k_3 * k_4 * k_5 * k_6$

k_1 : est fonction du nombre de barres méplates par phase.

- 1 barre ($k_1 = 1$)
- 2 ou 3 barres, voir le Tableau N°7 de l'annexe 1 :

$$k_1 = 1,63$$

k_2 : est fonction de l'état de surface des barres :

- nues : $k_2 = 1$.
- peintes : $k_2 = 1,15$.

k_3 : est fonction de la position des barres :

- barres sur chant : $k_3 = 1$
- 1 barre à plat : $k_3 = 0,95$
- plusieurs barres à plat : $k_3 = 0,75$.

k_4 : est fonction de l'endroit où sont installées les barres :

- Atmosphère calme à l'intérieur : $k_4 = 1$
- Atmosphère calme à l'extérieur : $k_4 = 1,2$
- Barres dans une gaine non ventilée : $k_4 = 0,80$

k_5 : est fonction de la ventilation artificielle :

- Sans ventilation artificielle : $k_5 = 1$
- Le cas avec ventilation devra être traité au cas par cas et ensuite validé par des essais.

k_6 : est fonction de la nature du courant :

- pour un courant alternatif de fréquence ≤ 60 Hz, k_6 est fonction du nombre de barres n par phase et de leur écartement. $K_6 = 1$

| | | | |
|-----------|---|---|------|
| n | 1 | 2 | 3 |
| k6 | 1 | 1 | 0,98 |

IV.6.2 Calcul du courant admissible maximal

Le courant admissible maximal est estimé à 120% du courant nominal qui parcourt les jeux de barres. Le courant nominal est donné par l'équation suivante :

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n}$$

Exemple de calcul

$$S_n = 3150 \text{ KVA}$$

$$U_n = 400 \text{ V}$$

$$I_n = 4546,63 \text{ A}$$

$$I_{ad} = 1,2 * 4546,63$$

$$I_{ad} = 5455,96 \text{ A}$$

Connaissant le courant admissible, on peut choisir la section des barres directement à partir du tableau N°5 de l'annexe 1.

La section obtenue est 2*(200*10) ce qui donne une section de 2* 2000 mm² par phase.

▪ Vérification :

$$I = 1,94 * \frac{24,9 * (90 - 40)^{0,61} * 20^{0,5} * 42^{0,39}}{\sqrt{1,83 * [1 + 0,004 * (90 - 20)]}}$$

$$I = 6593,62 \text{ A} > I_{ad}$$

On constate que le courant trouvé est supérieur au courant admissible, donc la section choisie vérifie la tenue thermique du au passage du courant admissible.

IV.6.3 L'échauffement du au courant de court-circuit

La formule suivante peut être utilisée pour calculer l'échauffement :

$$\Delta\theta_{cc} = 0,24 * \frac{\rho_{20} * I_{th}^2 * t_k}{(n * S)^2 * C * \delta}$$

$\Delta\theta_{cc}$: échauffement du au courant de court circuit

I_{th} : est le courant de court-circuit de courte durée

t_k : durée du court-circuit de courte durée (1 à 3 s)

δ : masse volumique du métal (cuivre : 8,9 g/cm³)

ρ_{20} : résistivité du conducteur (cuivre : 1,83 $\mu\Omega$ cm)

n : nombre de barre (s) par phase

C : chaleur spécifique du métal (cuivre : 0,091 kcal/daN°C)

S : section d'une barre cm²

$$I_{cc} = \frac{U_n}{\sqrt{3} Z_{cc}} = \frac{400}{\sqrt{3} * 3,68 * 10^{-3}} = 62755,46 \text{ A eff.}$$

Pour une durée de court-circuit $t_k = 3$ s nous aurons

$$\Delta\theta_{cc} = 0,24 * \frac{1,83 * 10^{-6} * 62755,46^2 * 3}{(2 * 12,5)^2 * 0,091 * 8,9} = 4^\circ\text{C}$$

La température θ_t du conducteur après le court-circuit sera :

$$\theta_t = \theta_n + (\theta - \theta_n) + \Delta\theta_{cc}$$

$$\theta_t = 40 + (90 - 40) + 4 = 94^\circ\text{C.}$$

$\theta_{max} = 200^\circ\text{C}$ (température maximale supportable par les pièces en contact avec le jeu de barres).

$\theta_t < \theta_{max}$ d'où ; le jeu de barre choisi convient.

IV.7 Détermination des courants de court-circuit

IV.7.1 Méthode générale de calcul des courants de court-circuit

Dans ce cadre, 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_{cc3} . La disposition d'un réseau de distribution de moyenne tension ou basse tension comporte toujours les éléments suivants :

- Le réseau amont
- Le ou les transformateurs
- Le ou les disjoncteurs
- Les câbles, les jeux de barres et les canalisations préfabriquées

La méthode consiste à décomposer le réseau en tronçons et à calculer, pour chacun des tronçons, R et X, puis à les additionner arithmétiquement en appliquant les formules données dans le Tableau II.3.

Le Tableau IV.1 illustre un exemple de calcul des courant de court circuit dans les différents niveaux de l'installation.

| L'installation | | Caractéristique | R (mΩ) | X (mΩ) | Z (mΩ) | Zt (mΩ) | I _{cc} (KA) |
|-----------------------|--|-------------------------------------------------|--------|--------|--------|---------|----------------------|
| Réseau amont | | 500 MVA | 0,047 | 0,316 | 0,32 | 0,32 | - |
| Un transformateur | | 3150 KVA 30/0,4 KV U _{CC} = 6% | 0,53 | 3,001 | 3,04 | 3,36 | 119,04 |
| Gaine à barres | | L = 4 m 2*2000 mm ² Par phase | 0,0225 | 0,32 | 0,32 | 3,68 | 108,69 |
| Disjoncteur principal | | Disjoncteur général | 0 | 0 | - | - | - |
| Jeu de barres | | L = 10 m 2*2000 mm ² Par phase | 0,056 | 1,5 | 1,5 | 5,18 | 77,22 |
| Disjoncteur | | Disjoncteur | 0 | 0 | - | - | - |
| Jeu de barres | | L = 2 m 1*252 mm ² | 0,17 | 0,3 | 0,34 | 5,52 | 72,46 |
| Disjoncteur | | Disjoncteur | 0 | 0 | - | - | - |
| Câble de E695_01 | | L = 70 m 50 mm ² | 31,5 | 5,6 | 31,99 | 37,51 | 10,66 |

Tableau IV.1 : Exemple de calcul de courant de court circuit

On récapitule les résultats de calcul des courants de court-circuit dans les différents départs dans le Tableau N°3 de l'annexe 3.

IV. 8 Protection

IV.8.1 Définition et rôle de la protection

Le rôle fondamental des protections d'un réseau électrique est d'assurer la sécurité des personnes et des biens, ainsi que la continuité de service, c'est à dire la permanence de l'alimentation des différents récepteurs [2].

Pour cela, ces protections doivent pouvoir faire face à un certain nombre d'incidents inévitables :

- ✓ Surcharges
- ✓ Conditions anormales de fonctionnement
- ✓ Fausse manœuvres
- ✓ Vieillessement et détérioration des isolants

En bref, un système de protection bien établi doit répondre aux exigences suivantes :

- ✓ Éliminer seule la partie affectée d'un défaut
- ✓ Être rapide et préserver la stabilité du réseau et la continuité de fonctionnement
- ✓ Avoir un comportement d'autonomie
- ✓ Être fiable
- ✓ préserver la sécurité des personnes et des biens

IV.8.2 Problème de la protection

Le problème de la protection des installations consiste à définir la nature du défaut contre lesquels on doit se protéger puis à choisir l'appareil capable de détecter des défauts et d'opérer leur suppression.

Les principales perturbations sur une installation électrique se traduisent par :

- Les surintensités : surcharges ou courts-circuits
- Les surtensions ou les baisses de tension

IV.8.3 Protection contre les surcharges et court-circuit

Conformément à la norme NFC 15-100 un appareil (disjoncteur ou fusible) assurera correctement la protection d'un câble contre les surintensités s'il est choisi de telle sorte que :

$$I_e \leq I_r \leq I_z$$

$$I_f \leq 1,45 I_z$$

$$I_{cc} \leq pdc$$

I_e : intensité de service

I_r : intensité de réglage (ou calibre de l'appareil de protection)

I_z : intensité admissible dans le câble

I_f : intensité de fonctionnement de l'appareil de protection

I_{cc} : intensité de court-circuit triphasée au point d'installation de l'appareil de protection

PDC: Pouvoir de coupure de l'appareil de protection

IV.8.4 Protection par système de liaison à la terre

Définition

Les schémas des liaisons à la terre (SLT) sont appelés aussi régimes de neutre d'une installation BT. Ils caractérisent le mode de raccordement à la terre du neutre du secondaire du transformateur MT/BT ou de la source et les moyens de mise à la terre des masses de l'installation.

IV.8.4.1 Les différents régimes du neutre

Conformément aux normes CEI 60364 et NFC 15-100 des régimes du neutre l'identification des types de schémas est définie au moyen de deux lettres [15] :

- La première lettre, désigne la situation du neutre du transformateur par rapport à la terre.
- La deuxième lettre, désigne la situation des masses par rapport à la terre.

La combinaison de ces deux lettres donne trois configurations possibles :

TT : neutre du transformateur à la terre et les masses sont reliées à la terre par l'intermédiaire d'un PE.

TN : neutre du transformateur à la terre et les masses sont reliées au neutre par l'intermédiaire d'un PE.

IT : neutre du transformateur isolé ou relié à la terre à travers une impédance de forte valeur et les masses sont reliées à la terre par l'intermédiaire d'un PE.

Le schéma TN, selon les normes CEI 60364 et NF C 15-100, comporte plusieurs sous schémas :

- TN-C : si les conducteurs du neutre N et du PE sont confondus (PEN).
- TN-S : si les conducteurs du neutre N et du PE sont séparés.

IV.8.4.2 Choix du SLT

C'est le croisement des impératifs réglementaires, de continuité de service, de condition d'exploitation et de nature du réseau et des récepteurs qui déterminent le ou les types de schémas les plus judicieux [11].

Le choix résulte des éléments suivants :

D'abord des textes réglementaires qui imposent dans certains cas un régime de neutre. Puis de choix de l'utilisateur lorsqu'il est alimenté par un transformateur HT/BT dont il est propriétaire (abonné HT) ou qu'il possède sa propre source d'énergie. Lorsque l'utilisateur est libre de son choix, la définition du régime de neutre ne pourra pas résulter que d'une concertation entre lui-même et le concepteur du réseau (bureau d'étude, installateur). Elle portera :

- En premier lieu sur les impératifs d'exploitation (continuité de services) et sur les conditions d'exploitation (entretien assuré par un personnel électricien ou non).
- En second lieu, sur les caractéristiques particulières du réseau et des récepteurs.

IV.8.4.3 Régime du neutre utilisé dans l'entreprise

Pour la continuité de service impérative et service entretien compétent l'unité raffinée de sucre impose le régime IT en aval du TGBT.

IV.8.5 Protection par disjoncteur

Un disjoncteur est un interrupteur à ouverture automatique qui assure la protection d'une installation contre les surcharges, les courts-circuits, les défauts d'isolement, par ouverture rapide du circuit en défaut.

IV.9 Dimensionnement des appareils de protection

IV.9.1 calibers de disjoncteur:

Le choix de caliber de disjoncteur s'effectue a partir de la condition suivante [7]:

$$I_n \geq I_b$$

I_n : le courant nominal du disjoncteur

I_b : le courant d'emploi

IV.9.2 Calibrage de disjoncteur de tête

Le disjoncteur de tête est choisi selon les caractéristiques, énumérés ci-dessus et placé au premier départ de l'installation.

Le calibre qui est déterminé à partir de la puissance apparente (S) du transformateur placé en amont tel que:

$$S = \sqrt{3} * U_n * I_b \quad \text{d'où} \quad I_b = \frac{S}{\sqrt{3} U}$$

$$I_b = \frac{3150000}{\sqrt{3} * 400} = 4546,63 \text{ A}$$

Le pouvoir de coupure est déterminé en fonction du courant de court-circuit établi tel que :

$$I_{cc} = 77,22 \text{ kA}$$

Selon la loi générale : $pdc \geq I_{cc}$

Soit $pdc = 100 \text{ kA}$

Le disjoncteur qui reprend aux caractéristiques est le disjoncteur NW50H1 de caliber 5000 A est d'un pdc de 100 kA

IV.9.3 Calibrage de disjoncteur de colonne

Le choix de calibre de disjoncteur à installer s'effectue a partir des différents courants qui alimentent tous les répéteurs de la colonne.

Exemple de disjoncteur de colonne 1 TGBT 4

$$I_b = I_{bE695-1} + I_{bE695-2} + I_{bE695-3} + I_{bE695-4} + I_{bE695-5} + I_{bE695-6} = 588 \text{ A}$$

$$I_{cc} = 72,46 \text{ kA}$$

D'où le disjoncteur à choisir est NSX630S de calibre nominal $I_n = 630$ A et d'un pdc de 100 kA.

IV.9.4 Calibrage des disjoncteurs des récepteurs

Exemple de disjoncteur de l'élément E695-01

Le courant d'emploi est de 98 A et le calcul de courant de court circuit nous a révélé un courant de 10,66 kA.

D'où le disjoncteur à choisir est NSX100B de calibre nominal $I_n = 100$ A et d'un PDC de 25 kA

On récapitule le choix des disjoncteurs des différents départs dans le Tableau N°4 de l'annexe 3.

IV.9.5 Vérification de la sélectivité des disjoncteurs

IV.9.5.1 Vérification de la sélectivité entre le disjoncteur de tête D_t et le disjoncteur de la 1^{ère} colonne D_{c1}

Le Tableau IV.2 résume les conditions de réglage des déclencheurs magnétiques et thermique à remplir pour une meilleure sélectivité.

| Application | Protection thermique $I_r \text{ amont} / I_r \text{ aval} \geq$ | Protection magnétique $I_m \text{ amont} / I_m \text{ aval} \geq$ |
|--------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Distribution | 1,6 | 2 |
| | 1,6 | 1,5 |
| Moteur | 3 | 2 |
| | 3 | 1,5 |

Tableau IV.2 : Réglage des déclencheurs magnétiques et thermique

D'après le Tableau IV.2 qui nous donne les conditions qu'il faut remplir afin d'assurer une sélectivité entre deux appareils de protection figure IV.2 :

- Protection thermique : $I_r \text{ amont} / I_r \text{ aval} \geq 1,6$
- Protection magnétique : $I_m \text{ amont} / I_m \text{ aval} \geq 2$

Application numérique :

Le courant nominal de $D_t = 5000$ A

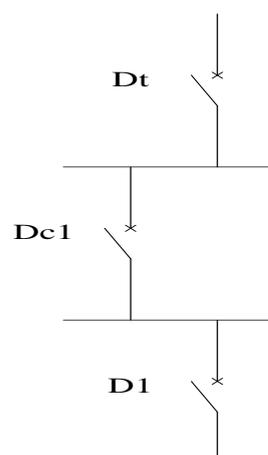


Figure IV.2 : Schéma de réglage

Le courant nominal de $D_{c1} = 630 \text{ A}$

1) Vérification de la protection thermique :

$$I_r \text{ amont } D_t = 0,9 \times 5000 = 4500 \text{ A}$$

$$I_r \text{ aval } D_{c1} = 1 \times 630 = 630 \text{ A}$$

D'où : $I_r \text{ mont } D_t / I_r \text{ aval } D_{c1} = 7.14 \geq 1,6 \Rightarrow$ la sélectivité est assurée

2) Vérification de la protection magnétique :

$$I_r \text{ mont } D_t = 7 \times 5000 = 35000 \text{ A}$$

$$I_r \text{ aval } D_{c1} = 5 \times 630 = 3150 \text{ A}$$

D'où : $I_r \text{ mont } D_t / I_r \text{ aval } D_{c1} = 11.1 \geq 2 \Rightarrow$ la sélectivité est assurée

Une courbe de sélectivité entre le disjoncteur de tête et le disjoncteur de la première colonne nous sera utile pour bien vérifier la sélectivité (Figure IV.3).

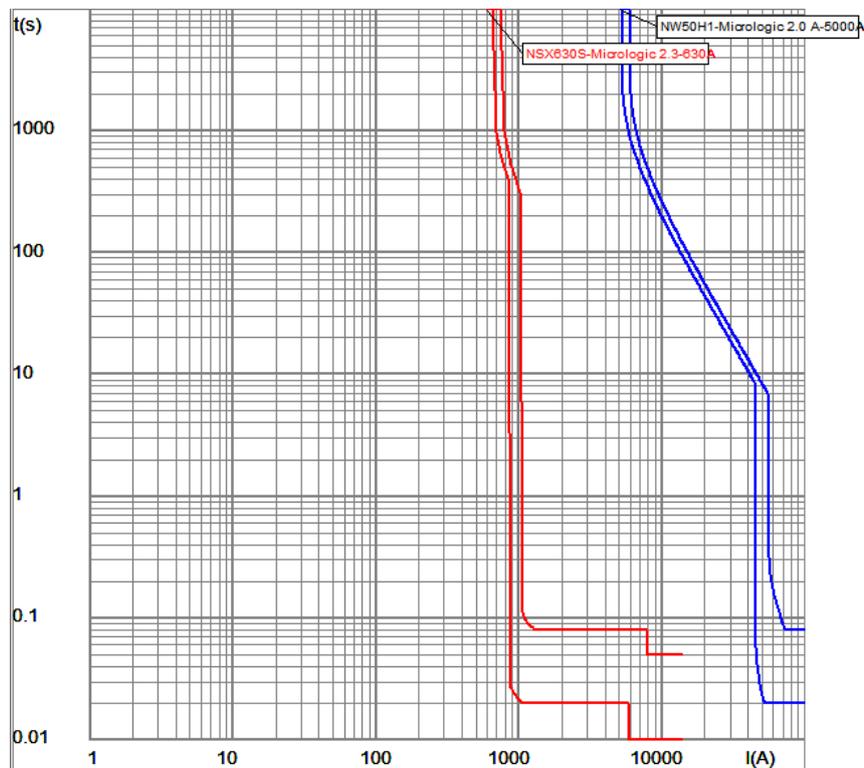


Figure IV.3 : Courbe de sélectivité entre les disjoncteurs D_t et D_{c1}

IV.9.5.2 Vérification de la sélectivité entre le disjoncteur de la 1^{ère} colonne D_{c1} et le disjoncteur D_1 (E695-01)

Pour procéder en suite la même méthode de sélectivité entre le disjoncteur de tête D_t et le disjoncteur de la 1^{ère} colonne D_{c1} .

Application numérique :

Le courant nominal de $D_{c1} = 630$ A

Le courant nominal de $D_1 = 100$ A

3) Vérification de la protection thermique :

$$I_r \text{ amont } D_{c1} = 1 \times 630 = 630 \text{ A}$$

$$I_r \text{ aval } D_1 = 0,8 \times 100 = 80 \text{ A}$$

$$D'où : I_r \text{ amont } D_{c1} / I_r \text{ aval } D_1 = 7,87 \geq 1,6 \quad \Rightarrow \text{ la sélectivité est assurée}$$

4) Vérification de la protection magnétique :

$$I_r \text{ mont } D_{c1} = 5 \times 630 = 3150 \text{ A}$$

$$I_r \text{ aval } D_1 = 6 \times 100 = 600 \text{ A}$$

$$D'où \quad I_r \text{ amont } D_{c1} / I_r \text{ aval } D_1 = 5,25 \geq 2 \quad \Rightarrow \text{ la sélectivité est assurée}$$

Une courbe de sélectivité entre le disjoncteur de la première colonne et le disjoncteur de l'élément E695-01 nous sera bien utile pour montrer la sélectivité entre ces deux éléments (Figure IV.4).

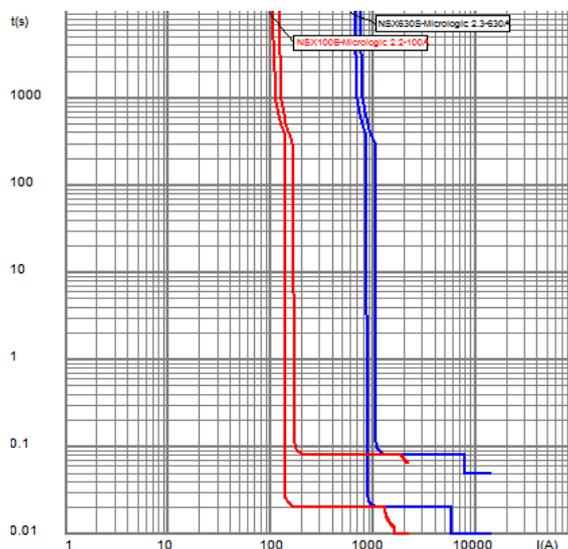


Figure IV.4 : Courbe de sélectivité entre les disjoncteurs D_{c1} et $D_{E695-01}$

L'ensemble de choix des éléments de protection effectuer et noter dans le tableau N°4 de l'annexe 4.

IV.10 Conclusion

Dans cette étape de notre travail nous avons procédé au choix et redimensionnement des câbles et leurs sections utilisées au niveau de chaque tronçon tout en respectant les caractéristiques électriques de notre installation.

Nous avons calculé les courants de court-circuit qui vont permettre de faire le choix et le dimensionnement des appareils de protection.

Le dimensionnement d'une installation nécessite de nombreux calculs délicats qui n'excluent pas l'erreur humaine lors du dimensionnement. Un logiciel informatique s'avère nécessaire pour remédier.

Chapitre V

Vérification des résultats avec
Ecodial

V.1 Introduction

Vue les difficultés qu'on rencontre généralement dans les calculs et le dimensionnement des installations électrique, un logiciel informatique serai nécessaire pour faciliter la tâche des calculs et éviter les erreurs.

V.2 Fonctions d'ECODIAL

ECODIAL est un logiciel d'aide à la conception de réseau de distribution Basse Tension, il permet de [9] :

- Dessiner le schéma unifilaire d'un réseau électrique
- Définir les différents éléments constituant ce réseau, c'est-à-dire :
 - Calculer les sections des conducteurs pour les câbles
 - Déterminer les disjoncteurs à installer, en prenant en compte I_n , I_{cc} , la température, la sélectivité et la filiation
 - Vérifier la protection des personnes
- Calculer, en tout point du réseau, les valeurs de **R**, **X**, **I_{cc}** et ΔU

V.3 Méthodologie

La méthodologie à suivre lors de la création d'un projet avec le logiciel ECODIAL est la suivante :

- Réalisation du schéma électrique unifilaire du réseau
- Bilan de puissance
- Calcul du réseau

V.4 définition des caractéristiques électriques générales du réseau

Avant de commencer la réalisation du schéma, on doit saisir les caractéristiques générales de l'installation. La boîte de dialogue «Caractéristiques globales » est automatiquement affichée (Figure V.1).

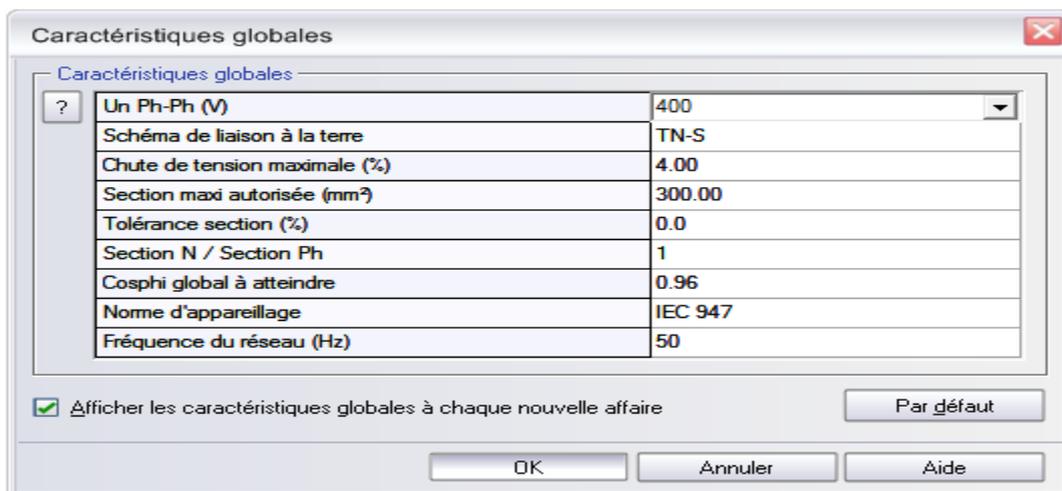


Figure V.1 : Caractéristiques globales

V.5 Description de l'interface graphique

La Figure V.2 illustre l'interface graphique du logiciel Ecodial

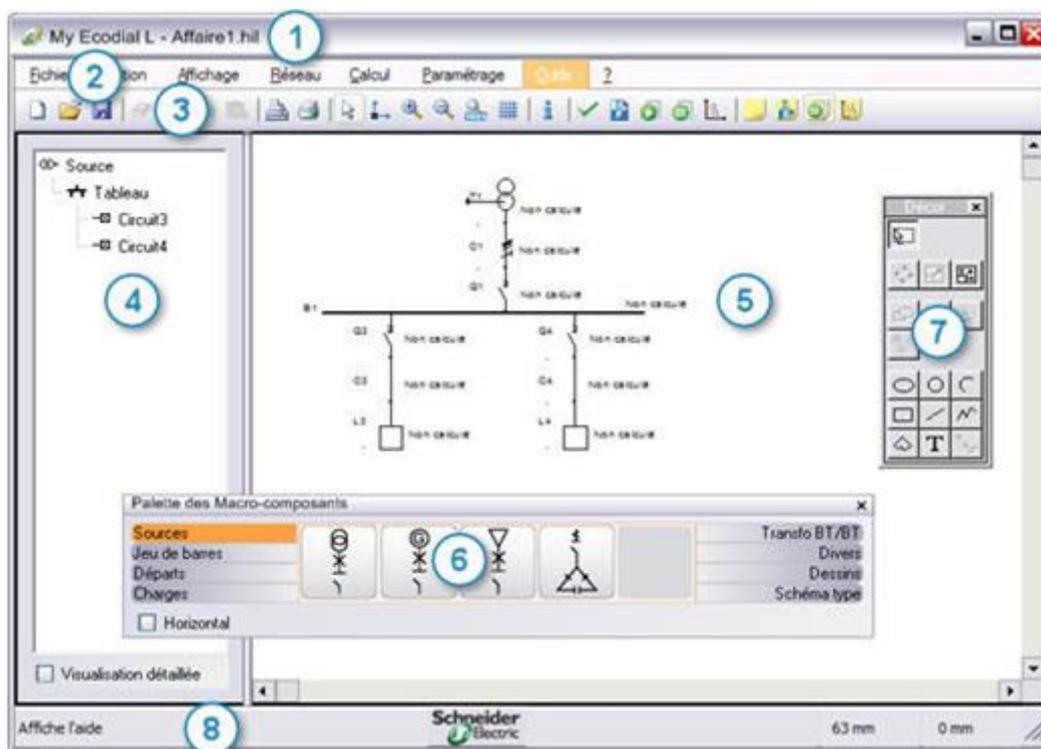


Figure V.2 : Description de l'interface graphique

- (1) **Barre de titre** : Elle indique le nom du logiciel et le nom de l'affaire en cours.
- (2) **Barre de menus** : La barre de menus présente, dans des menus déroulants, les commandes nécessaires à l'utilisation du logiciel.

(3) **Barre d'outils** : Les boutons de la barre d'outils offrent un accès rapide aux commandes les plus fréquemment utilisées.

(4) **Vue Unifilaire** : Ce volet situé à gauche de la fenêtre présente une vue hiérarchique du réseau. Vous pouvez choisir entre deux niveaux de vue :

- La vue détaillée
- La vue simplifiée

(5) **Espace de dessin** : C'est dans cet espace que vous dessinez le schéma du réseau.

(6) **Palette des Macro-composants** : Cette palette présente les circuits électriques pré-dessinés qui vous permettront de réaliser rapidement vos schémas.

(7) **Palette Décor** : cette palette regroupe les outils permettant de dessiner des formes géométriques et de manipuler les graphismes.

(8) **Barre d'état** : Elle indique la description de la commande sélectionnée dans la barre de menus ou dans la barre d'outils ainsi les coordonnées de la position de la pointe de la souris dans l'espace de dessin.

V.6 Réalisation du schéma unifilaire

Pour réaliser ce schéma unifilaire il faut utiliser la palette des symboles électriques qui est affichée automatiquement en bas de l'écran (Figure V.3).

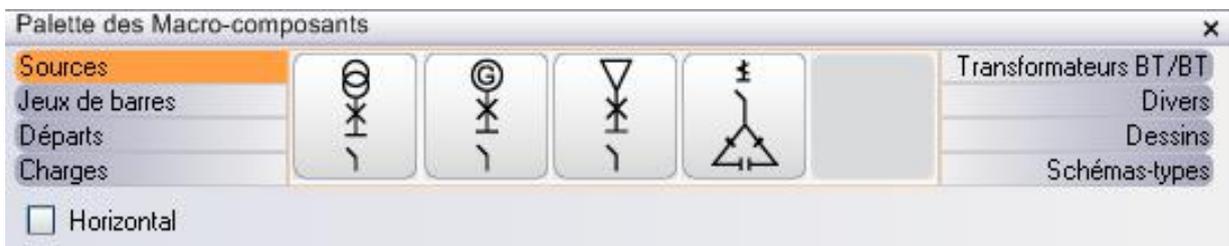


Figure V.3 : Eléments de réalisation du schéma unifilaire

V.7 Saisie des caractéristiques des éléments du réseau

Pour faciliter l'exploitation ultérieure du schéma, il est préférable de donner un nom à chaque départ du schéma et saisir ses caractéristiques (courant, puissance, ... etc.).

On illustre un exemple sur la Figure V.4.

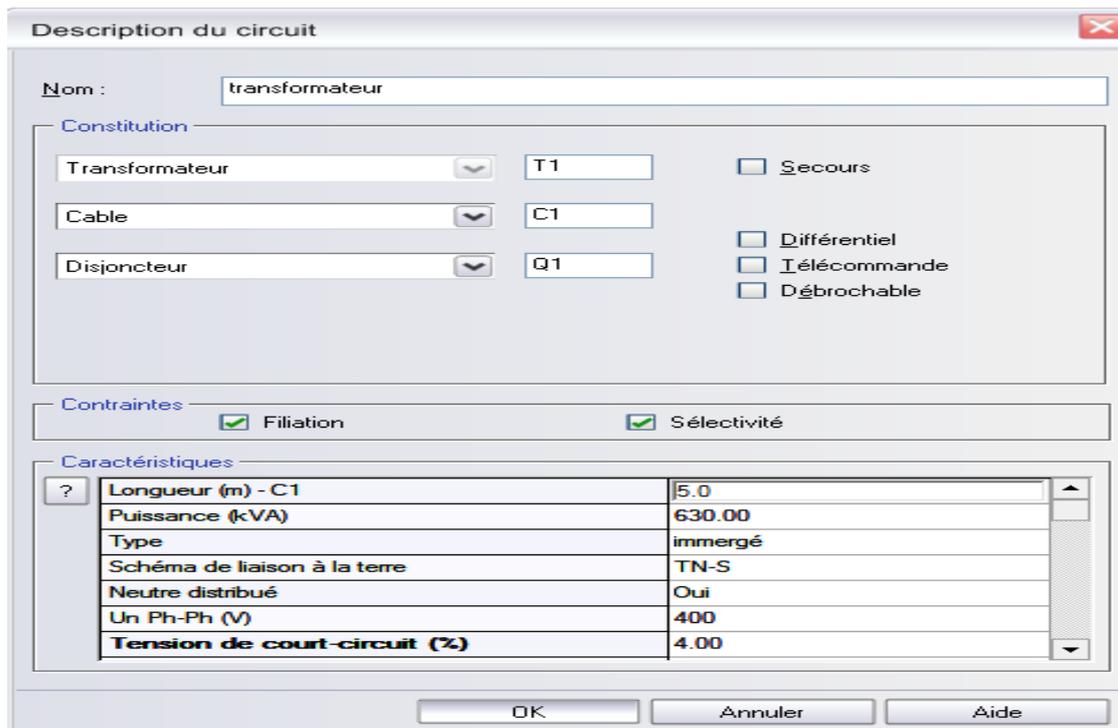


Figure V.4 : Description d'un circuit

V.8 Bilan de puissance

Afin de dimensionner correctement la source de l'installation, il faut réaliser le bilan de puissance. Pour permettre au logiciel de réaliser le bilan complet des puissances, il faut saisir soit le courant, soit la puissance de chaque récepteur. Le logiciel en déduira la puissance de la source et proposera un choix dans le champ « P choisie la source ».

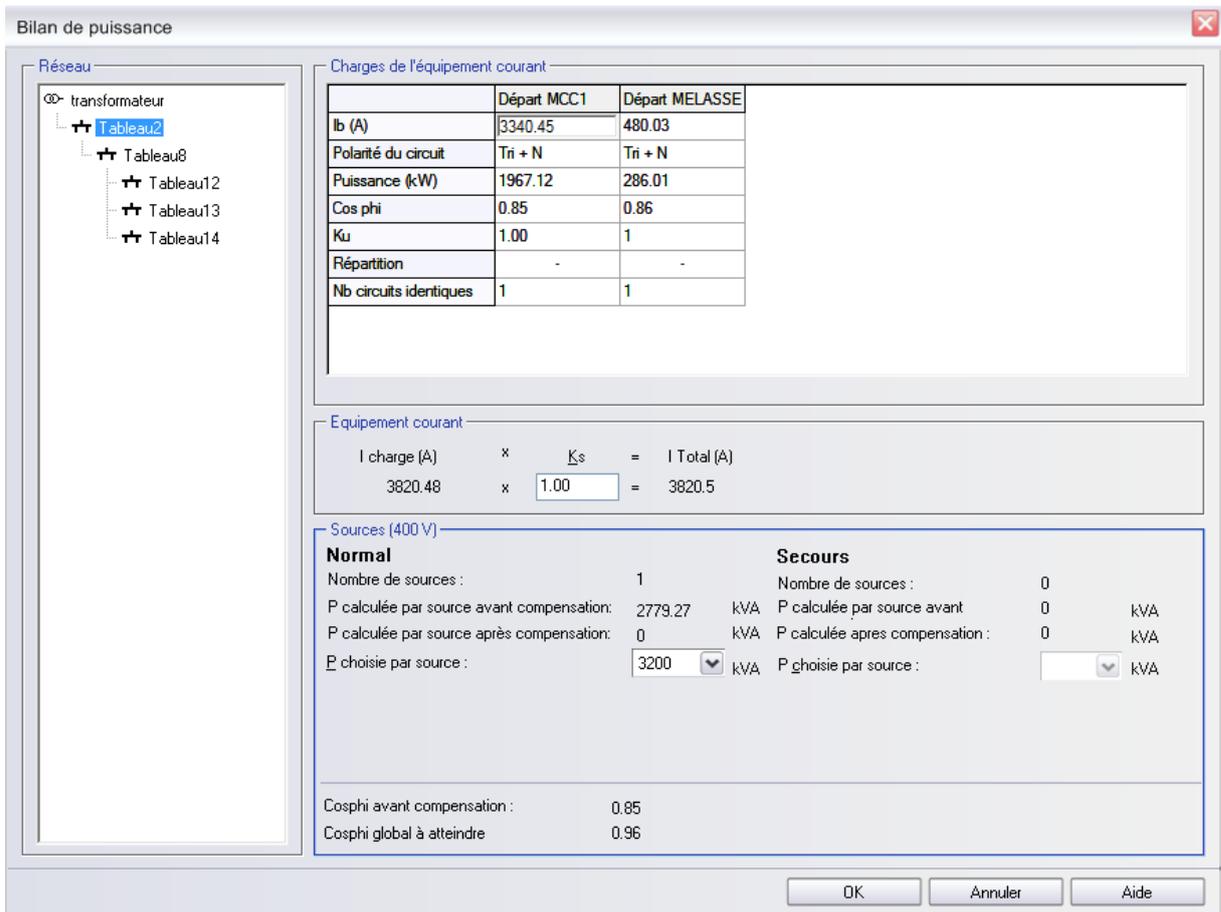


Figure V.5 : Bilan de puissance

V.9 Présentation des résultats de calcul par Ecodial

Le logiciel ECODIAL offre deux modes de calcul selon les besoins de l'utilisateur :

- Pré-dimensionnement : évaluation rapide du dimensionnement de l'installation.
- Calcul pas à pas : étude détaillée en fonction des contraintes et des caractéristiques définies.

A partir des paramètres d'entrées introduits, Ecodial effectue le dimensionnement des différents tronçons de l'installation et donne les paramètres de sorties suivantes :

Transformateur

R Ph réseau HT (mΩ) : Résistance équivalente par phase du réseau Haute Tension

X Ph réseau HT (mΩ) : Impédance équivalente par phase du réseau Haute Tension

R Ph transfo (mΩ) : Résistance par phase du transformateur

X Ph transfo (mΩ) : Impédance par phase du transformateur

I_{CC} max par source (KA) : Courant de court circuit maximum en aval d'un transformateur

I_b (A) : Courant nominal du transformateur

Jeux de barres

I disponible (A) : Courant nominal du jeu de barres

R (mOhm) : Résistance par phase

X (mOhm) : Réactance par phase

I_{CC} crête (KA) : Courant de court circuit crête

I_{CC} max (KA) : Courant de court circuit maximum

Câbles

Nombre théorique de conducteurs par phase

Section théorique de phase (mm²)

I_z dans les conditions normales d'utilisation (A)

I_z dans les conditions réelles d'utilisation (A)

Nombre théorique de conducteurs pour le PE

Section théorique du PE (mm²)

I_{k1max} (kA)

I_{k2max} (kA)

I_{k3max} (kA)

I_{k2min} (I_{cc} min ph-ph) (kA)

I_{k1min} (I_{cc} min ph-ne) (kA)

Courant de défaut (kA)

Disjoncteurs

I_n (A) : Calibre nominal

I_r (A) : Courant de réglage thermique

I_m (A) : Courant de réglage magnétique

Circuit : transformateur (T1-C1-Q1) - Calculé

Amont :
 Aval : JDB principal
 Tension : 400 V

Source : T1

Reseau amont
 Puissance de court-circuit amont : 500 MVA
 Impédances du circuit amont : Résistance Rt : 0.0351 mOhm
 Inductance Xt : 0.3510 mOhm

Transformateur :

Type: immergé
 Nombre de transformateurs : 1 Schéma des liaisons à la terre : IT
 Puissance globale : 3200 kVA Puissance unitaire : 3200.0 kVA
 Couplage : Triangle-Etoile Tension de court-circuit : 6.00 %
 Impédances de la source : Résistance Rt : 0.5685 mOhm
 Inductance Xt : 3.2583 mOhm
 Ib: 4398.86 A
 CPI: TR22A
 Pcc HT max.(MVA) : 500 MVA
 Pcc HT min.(MVA) : 500 MVA

Cable : C1

Longueur : 5.0 m
 Mode de pose : 13-Câble sur chemin de câble (ou tablette) perforé
 Jointifs
 Type de câble : Monoconducteur Nb de couches : 1
 Isolant : PR Nb de circuits jointifs supplémentaires: 0
 Arrangement des conducteurs : Trèfle
 Température ambiante : 30 °C Niveau de THDI: de 15% à 33% inclus

Courant admissible par le câble (Iz):

Iz dans les conditions normales d'utilisation: 7516.8 A
 Iz x facteurs de correction (conditions réelles d'utilisation): 4510.1 A

Contrainte de dimensionnement : surcharges

| | | | |
|--------------------------|--------------------------------|--------|-----------------------|
| Facteurs de correction : | Température | : 1.00 | (52F + 52K) |
| | x Résistivité thermique du sol | : 1.00 | (52M) |
| | x Mode de pose | : 1.00 | (52G) |
| | x Neutre chargé | : 0.84 | (§524.2.4) |
| | x groupement | : 0.72 | (52N/4) |
| | x symétrie | : 1.00 | (§523.6) |
| | x Nb Couches | : 1.00 | (52N/52O/52R/52S/52T) |
| | x Utilisateur | : 1.00 | |
| | / Protection) | : 1.00 | (§433.1) |

 0.60

| Sections (mm ²) | théoriques | choisies | désignation | métal |
|-----------------------------|------------|-----------|-------------|--------|
| Par phase | 9 x 380.2 | 9 x 400.0 | | Cuivre |
| Neutre | 9 x 380.2 | 9 x 400.0 | | Cuivre |
| PE | 1 x 279.5 | 1 x 300.0 | | Cuivre |

| Chutes de tension | amont | circuit | aval |
|-------------------|-------|---------|------|
| ΔU (%) | 0.00 | 0.1004 | 0.10 |

Résultats de calcul :

| | Icc amont | Ik3max | Ik2max | Ik1max | Ik2min | Ik1min | I défaut |
|--------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| (kA) | | 68.6737 | 59.4731 | 67.7922 | 53.7912 | 61.2944 | 31.4273 |
| R (mΩ) | | 0.6293 | 1.2586 | 0.6550 | 1.2730 | 0.6694 | 0.6365 |
| X (mΩ) | | 3.6538 | 7.3075 | 3.6982 | 7.3075 | 3.6982 | 3.6093 |
| Z (mΩ) | | 3.7076 | 7.4151 | 3.7558 | 7.4176 | 3.7583 | 3.6650 |

Résultats de calcul conformes au guide UTE C15-500 (rapport CENELEC R064-003).

Avis technique UTE 15L-602.

Hypothèses et choix de l'appareillage à la responsabilité de l'utilisateur.

Disjoncteur :

Q1

Nom : NW50H1-100.0 kA Calibre nominal : 5000 A
 Calibre de la protection (In) : 5000.00 A Déclencheur : Micrologic 5.0 A
 Nombre de pôles : 4P4d
 Sélectivité :
 Pdc renforcé par filiation :
 Protection différentielle : Non

Désignation de la protection différentielle : -
 Sensibilité : -
 Cran de temporisation : -
 Sélectivité différentielle : -

Réglages :

Surcharge : I_r = 0.90 I_n = 4500.00 A
 Magnétique : I_m(I_{sd}) = 10.0 x I_r = 45000.00 A
 t_m = 50 ms

Les conditions de la norme dans le cas du double défaut en IT sont respectées.

Circuit : JDB principal (B2) - Calculé

Amont : transformateur
 Aval : D JDB4-1
 Tension : 400 V

Jeu de barres : B2

| | | | |
|--------------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|
| Référence : | MANU | Dimensions : | 10.0 m-2// 10.0 mmx200 mm |
| Type : | Personnalisé sur chant | Métal : | Cuivre |
| Température ambiante : | 40 °C | I disponible : | 4714 A |
| Température sur court-circuit: | 200 °C | Icc max : | 68.67 kA |
| Ks : | 0.70 | Icc crête (kA) : | 151.08 kA |
| Chute de tension: | 0.9246 % | | |

Circuit : D JDB4-1 (Q3-C3) - Calculé

Amont : JDB principal
 Aval : JDB4-1
 Tension : 400 V

Disjoncteur : Q3

Nom : NSX400H-70.0 kA Calibre nominal : 400 A
 Calibre de la protection (In) : 400.00 A Déclencheur : Micrologic 2.3
 Nombre de pôles : 4P4d
 Sélectivité : T
 Pdc renforcé par filiation : Non
 Protection différentielle : Non

Désignation de la protection différentielle : -
 Sensibilité : -
 Cran de temporisation : -
 Sélectivité différentielle : -

Réglages :

Surcharge : $I_r = 0.80 \times 0.92 I_n = 294.40 \text{ A}$
 Magnétique : $I_m(I_{sd}) = 10.0 \times I_r = 2944.00 \text{ A}$

Les conditions de la norme dans le cas du double défaut en IT sont respectées.

Cable : C3

Longueur : 5.0 m
 Mode de pose : 13-Câble sur chemin de câble (ou tablette) perforé
 Jointifs

| | | | |
|-------------------------------|----------------|------------------------------------------|---------------------|
| Type de câble : | Monoconducteur | Nb de couches : | 1 |
| Isolant : | PR | Nb de circuits jointifs supplémentaires: | 0 |
| Arrangement des conducteurs : | Trèfle | | |
| Température ambiante : | 40 °C | Niveau de THDI: | de 15% à 33% inclus |

Courant admissible par le câble (Iz):

Iz dans les conditions normales d'utilisation: 381.9 A
 Iz x facteurs de correction (conditions réelles d'utilisation): 294.1 A

Contrainte de dimensionnement : surcharges

Facteurs de correction :

| | | |
|--------------------------------|--------|-----------------------|
| Température | : 0.91 | (52F + 52K) |
| x Résistivité thermique du sol | : 1.00 | (52M) |
| x Mode de pose | : 1.00 | (52G) |
| x Neutre chargé | : 0.84 | (§524.2.4) |
| x groupement | : 1.00 | |
| x symétrie | : 1.00 | (§523.6) |
| x Nb Couches | : 1.00 | (52N/52O/52R/52S/52T) |
| x Utilisateur | : 1.00 | |
| / Protection) | : 1.00 | (§433.1) |

0.77

| Sections (mm²) | théoriques | choisies | désignation | métal |
|----------------|------------|-----------|-------------|--------|
| Par phase | 1 x 121.0 | 1 x 120.0 | | Cuivre |
| Neutre | 1 x 121.0 | 1 x 120.0 | | Cuivre |
| PE | 1 x 60.0 | 1 x 70.0 | | Cuivre |

| Chutes de tension | amont | circuit | aval |
|-------------------|-------|---------|------|
| ΔU (%) | 1.03 | 0.1290 | 1.16 |

Vérification de la contrainte thermique:

Energie reçue par le conducteur de phase : 120000000 A²s

Contrainte admissible : 294465600 A²s

Résultats de calcul :

| | Icc amont | Ik3max | Ik2max | Ik1max | Ik2min | Ik1min | I défaut |
|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| (kA) | 68.6737 | 50.7574 | 43.9572 | 32.4811 | 39.2108 | 34.9127 | 16.7735 |
| R (mΩ) | 0.6732 | 1.4445 | 2.8890 | 2.2854 | 3.3528 | 2.7493 | 3.4215 |
| X (mΩ) | 4.4038 | 4.8038 | 9.6075 | 7.4982 | 9.6075 | 5.9982 | 5.9538 |
| Z (mΩ) | 4.4550 | 5.0163 | 10.0325 | 7.8388 | 10.1757 | 6.5983 | 6.8669 |

Résultats de calcul conformes au guide UTE C15-500 (rapport CENELEC R064-003).

Avis technique UTE 15L-602.

Hypothèses et choix de l'appareillage à la responsabilité de l'utilisateur.

| | | | | |
|---------------|------------------------------|-----------|----------------------------------|---------|
| Charge | I : | 288.15 A | Polarité du circuit : | Tri + N |
| | P : | 161.70 kW | Schéma des liaisons à la terre : | IT |
| | cosφ : | 0.81 | Répartition: | - |
| | | | Ku : | 1.0 |
| | Nombre de circuit identiques | 1 | | |

Circuit : JDB4-1 (B4) - Calculé

Amont : D JDB4-1
 Aval : E695-01
 Tension : 400 V

Jeu de barres : B4

| | | | |
|--------------------------------|-----------------------|------------------|------------------------|
| Référence : | STANDARD | Dimensions : | 0.0 m-1// 5.0 mmx32 mm |
| Type : | Standardisé sur chant | Métal : | Cuivre |
| Température ambiante : | 40 °C | I disponible : | 400 A |
| Température sur court-circuit: | 145 °C | Icc max : | 50.76 kA |
| Ks : | 0.70 | Icc crête (kA) : | 111.67 kA |
| Chute de tension: | 0.0000 % | | |

Circuit : E695-01 (695-1) - Calculé

Amont : JDB4-1
 Aval :
 Tension : 400 V

Disjoncteur :

Nom : NSX100F-36.0 kA Calibre nominal : 100 A
 Calibre de la protection (In) : 100.00 A Déclencheur : TM-D
 Nombre de pôles : 4P4d
 Sélectivité : T
 Pdc renforcé par filiation : 70.0 kA
 Protection différentielle : Non

Désignation de la protection différentielle : -
 Sensibilité : -
 Cran de temporisation : -
 Sélectivité différentielle : -

Réglages :

Surcharge : $I_r = 1.00 I_n = 100.00 \text{ A}$
 Magnétique : $I_m(I_{sd}) = 800 \text{ A}$

Les conditions de la norme dans le cas du double défaut en IT sont respectées.

Cable : 695-1

Longueur : 70.0 m
 Mode de pose : 13-Câble sur chemin de câble (ou tablette) perforé
 Jointifs
 Type de câble : Multiconducteur Nb de couches : 1
 Isolant : PR Nb de circuits jointifs supplémentaires: 0

Arrangement des conducteurs : Trèfle
 Température ambiante : 40 °C Niveau de THDI: de 15% à 33% inclus

Courant admissible par le câble (Iz):

Iz dans les conditions normales d'utilisation: 198.2 A
 Iz x facteurs de correction (conditions réelles d'utilisation): 115.0 A

Contrainte de dimensionnement : surcharges

| | | | |
|--------------------------|--------------------------------|--------|-----------------------|
| Facteurs de correction : | Température | : 0.91 | (52F + 52K) |
| | x Résistivité thermique du sol | : 1.00 | (52M) |
| | x Mode de pose | : 1.00 | (52G) |
| | x Neutre chargé | : 0.84 | (§524.2.4) |
| | x groupement | : 1.00 | |
| | x symétrie | : 1.00 | (§523.6) |
| | x Nb Couches | : 1.00 | (52N/52O/52R/52S/52T) |
| | x Utilisateur | : 0.75 | |
| | / Protection) | : 1.00 | (§433.1) |
| | | | 0.58 |

| Sections (mm²) | théoriques | choisies | désignation | métal |
|----------------|------------|----------|-------------|--------|
| Par phase | 1 x 40.7 | 1 x 50.0 | | Cuivre |
| Neutre | 1 x 40.7 | 1 x 50.0 | | Cuivre |
| PE | 1 x 14.0 | 1 x 25.0 | | Cuivre |

| Chutes de tension | amont | circuit | aval |
|-------------------|-------|---------|------|
| ΔU (%) | 1.15 | 1.2796 | 2.43 |

Vérification de la contrainte thermique:

Energie reçue par le conducteur de phase : 19200000 A²s
 Contrainte admissible : 51122500 A²s

Résultats de calcul :

| | Icc amont | Ik3max | Ik2max | Ik1max | Ik2min | Ik1min | I défaut |
|--------|----------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| (kA) | 50.7574 | 8.6988 | 7.5333 | 4.4471 | 5.4859 | 3.2355 | 1.1038 |
| R (mΩ) | 1.4445 | 27.3585 | 54.7170 | 54.1134 | 69.6927 | 69.0891 | 102.9313 |
| X (mΩ) | 4.8038 | 10.4038 | 20.8075 | 18.6982 | 20.8075 | 17.1982 | 17.1538 |
| Z (mΩ) | 5.0163 | 29.2699 | 58.5397 | 57.2528 | 72.7326 | 71.1975 | 104.3509 |

Résultats de calcul conformes au guide UTE C15-500 (rapport CENELEC R064-003).

Avis technique UTE 15L-602.

Hypothèses et choix de l'appareillage à la responsabilité de l'utilisateur.

Charge I : 98.01 A Polarité du circuit : Tri + N
 P : 55.00 kW Schéma des liaisons à la terre : IT

| | | | |
|------------------------------|------|--------------|-----|
| cos ϕ : | 0.81 | Répartition: | - |
| | | Ku : | 0.7 |
| Nombre de circuit identiques | | 1 | |

V.10 validation des résultats

Après avoir analysé les résultats trouvés à l'aide d'Ecodial, et ceux trouvés analytiquement. Nous avons constaté que les résultats sont pratiquement pareilles exceptés quelques résultats qui se différent.

Ces légères différences peuvent être justifiées par la majoration du deuxième chiffre après la virgule imposée par Ecodial, ainsi que le choix effectués automatiquement par logiciel qui peut être modifiés en passant en mode manuel et aussi par notre choix du transformateur normalisé (3200 kVA).

V.11 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons vérifié et validé nos calculs à l'aide d'un logiciel informatique « Ecodial » conçu pour dimensionnement des installations électriques.

Après avoir analysé les résultats trouvés et ceux calculés analytiquement, nous avons constaté une bonne concordance des résultats.

Nous avons aussi constaté l'importance des logiciels informatiques dans l'aide à l'étude et au dimensionnement des installations électriques conformément aux normes.

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

Dans notre présente étude, nous avons passé en revue toutes les étapes utiles d'un avant projet de redimensionnement du tableau général basse tension de l'unité raffinerie de sucre de CEVITAL.

On a débuté par décrire l'unité du point de vue équipements électriques. Elaboré le bilan de puissance après avoir ajouté des nouvelles charges, on a constaté que l'installation d'un nouveau transformateur s'impose.

La difficulté de bien évaluer les problèmes liés à la circulation d'énergie réactive, en particulier dans les réseaux d'usines, pourrait conduire à envisager des batteries de compensation qui permet de maîtriser la facturation énergétique, éliminer la fluctuation et la chute de tension ainsi que l'échauffement des câbles. C'est pour cela nous avons opté pour une compensation globale, qui serait capable de résoudre par nature les problèmes de tension.

L'étude des différents régimes du neutre en basse tension et le calcul des différents courants de défauts, nous a permis de mettre en évidence les conditions minimales à respecter pour assurer une meilleure protection des personnes et du matériels.

L'étude détaillée des caractéristiques des différentes parties de l'installation nous a permis de déterminer les sections des câbles, les chutes de tension, et les courants de court-circuit au niveau des différents tronçons de l'installation.

D'après notre étude sur la sélectivité, on a remarqué que pour assurer un bon fonctionnement d'une installation électrique, il est nécessaire de choisir un réglage convenable des disjoncteurs. Nous avons dimensionné les disjoncteurs de protection en prenant en considération le critère de la sélectivité verticale. Une telle tâche nous a permis de mettre en continue la disponibilité de l'énergie électrique pour la totalité des charges de l'installation.

Enfin, une vérification et validation des résultats de calcul a été faite par le logiciel Ecodial conçu pour cette tâche par le leader Schneider Electric.

Annexe 1

Paramètres normalisés des installations

Lettre de sélection

| type d'éléments conducteurs | mode de pose | lettre de sélection |
|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|
| conducteurs et câbles multiconducteurs | <ul style="list-style-type: none"> ■ sous conduit, profilé ou goulotte, en apparent ou encastré ■ sous vide de construction, faux plafond ■ sous caniveau, moulures, plinthes, chambranles | B |
| | <ul style="list-style-type: none"> ■ en apparent contre mur ou plafond ■ sur chemin de câbles ou tablettes non perforées | C |
| câbles multiconducteurs | <ul style="list-style-type: none"> ■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé ■ fixés en apparent, espacés de la paroi ■ câbles suspendus | E |
| câbles monoconducteurs | <ul style="list-style-type: none"> ■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé ■ fixés en apparent, espacés de la paroi ■ câbles suspendus | F |

Tableau N°1

Facteur de correction K1

| lettre de sélection | cas d'installation | K1 |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| B | ■ câbles dans des produits encastrés directement dans des matériaux thermiquement isolants | 0,70 |
| | ■ conduits encastrés dans des matériaux thermiquement isolants | 0,77 |
| | ■ câbles multiconducteurs | 0,90 |
| | ■ vides de construction et caniveaux | 0,95 |
| C | ■ pose sous plafond | 0,95 |
| B, C, E, F | ■ autres cas | 1 |

Tableau N°2

Facteur de correction K2

| lettre de sélection | disposition des câbles jointifs | facteur de correction K2 | | | | | | | | | | | |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | | nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs | | | | | | | | | | | |
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 12 | 16 | 20 |
| B, C | encastrés ou noyés dans les parois | 1,00 | 0,80 | 0,70 | 0,65 | 0,60 | 0,57 | 0,54 | 0,52 | 0,50 | 0,45 | 0,41 | 0,38 |
| C | simple couche sur les murs ou les planchers ou tablettes non perforées | 1,00 | 0,85 | 0,79 | 0,75 | 0,73 | 0,72 | 0,72 | 0,71 | 0,70 | 0,70 | | |
| | simple couche au plafond | 0,95 | 0,81 | 0,72 | 0,68 | 0,66 | 0,64 | 0,63 | 0,62 | 0,61 | 0,61 | | |
| E, F | simple couche sur des tablettes horizontales perforées ou sur tablettes verticales | 1,00 | 0,88 | 0,82 | 0,77 | 0,75 | 0,73 | 0,73 | 0,72 | 0,72 | 0,72 | | |
| | simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc. | 1,00 | 0,87 | 0,82 | 0,80 | 0,80 | 0,79 | 0,79 | 0,78 | 0,78 | 0,78 | | |

Tableau N°3

Facteur de correction K3

| températures ambiantes (°C) | isolation | | |
|-----------------------------------|----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| | élastomère (caoutchouc) | polychlorure de vinyle (PVC) | polyéthylène réticulé (PR) butyle, éthylène, propylène (EPR) |
| 10 | 1,29 | 1,22 | 1,15 |
| 15 | 1,22 | 1,17 | 1,12 |
| 20 | 1,15 | 1,12 | 1,08 |
| 25 | 1,07 | 1,07 | 1,04 |
| 30 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 35 | 0,93 | 0,93 | 0,96 |
| 40 | 0,82 | 0,87 | 0,91 |
| 45 | 0,71 | 0,79 | 0,87 |
| 50 | 0,58 | 0,71 | 0,82 |
| 55 | – | 0,61 | 0,76 |
| 60 | – | 0,50 | 0,71 |

Tableau N°4

| lettre de sélection | isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2) | | | | | | | | | |
|-----------------------------------------|---------------------------------------------------|------|------|------|------|-----------------------------|-------|-----|-------|-----|
| | caoutchouc ou PVC | | | | | butyle ou PR ou éthylène PR | | | | |
| section cuivre (mm ²) | B | PVC3 | PVC2 | | PR3 | | PR2 | | | |
| | C | | PVC3 | | PVC2 | PR3 | | PR2 | | |
| | E | | | PVC3 | | PVC2 | PR3 | | PR2 | |
| | F | | | | PVC3 | | PVC2 | PR3 | | PR2 |
| 1,5 | 15,5 | 17,5 | 18,5 | 19,5 | 22 | 23 | 24 | 26 | | |
| 2,5 | 21 | 24 | 25 | 27 | 30 | 31 | 33 | 36 | | |
| 4 | 28 | 32 | 34 | 36 | 40 | 42 | 45 | 49 | | |
| 6 | 36 | 41 | 43 | 48 | 51 | 54 | 58 | 63 | | |
| 10 | 50 | 57 | 60 | 63 | 70 | 75 | 80 | 86 | | |
| 16 | 68 | 76 | 80 | 85 | 94 | 100 | 107 | 115 | | |
| 25 | 89 | 96 | 101 | 112 | 119 | 127 | 138 | 149 | 161 | |
| 35 | 110 | 119 | 126 | 138 | 147 | 158 | 169 | 185 | 200 | |
| 50 | 134 | 144 | 153 | 168 | 179 | 192 | 207 | 225 | 242 | |
| 70 | 171 | 184 | 196 | 213 | 229 | 246 | 268 | 289 | 310 | |
| 95 | 207 | 223 | 238 | 258 | 278 | 298 | 328 | 352 | 377 | |
| 120 | 239 | 259 | 276 | 299 | 322 | 346 | 382 | 410 | 437 | |
| 150 | | 299 | 319 | 344 | 371 | 395 | 441 | 473 | 504 | |
| 185 | | 341 | 364 | 392 | 424 | 450 | 506 | 542 | 575 | |
| 240 | | 403 | 430 | 461 | 500 | 538 | 599 | 641 | 679 | |
| 300 | | 464 | 497 | 530 | 576 | 621 | 693 | 741 | 783 | |
| 400 | | | | | 656 | 754 | 825 | | 940 | |
| 500 | | | | | 749 | 868 | 946 | | 1 083 | |
| 630 | | | | | 855 | 1 005 | 1 088 | | 1 254 | |

Tableau N°5

| Dimensions Des barres en mm | Épaisseur des barres : e = 6,3 mm | | | | | Épaisseur des barres : e = 8 mm | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|----------------------------------|------|------|------|-------|
| | Nombre de barre // et par phases | | | | | Nombre de barre // et par phases | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 25 | | | | | | 516 | 1057 | 1439 | 1759 | 2074 |
| 31,5 | | | | | | 622 | 1219 | 1679 | 2065 | 2377 |
| 40 | 662 | 1236 | 1718 | 2115 | 2524 | 756 | 1444 | 2004 | 2472 | 2934 |
| 50 | 798 | 1469 | 2048 | 2527 | 3002 | 910 | 1702 | 2366 | 2912 | 3477 |
| 63 | 972 | 1749 | 2429 | 3012 | 3566 | 1105 | 2034 | 2835 | 3499 | 4156 |
| 80 | 1193 | 2099 | 2922 | 3578 | 4282 | 1354 | 2438 | 3386 | 4199 | 4971 |
| 100 | 1447 | 2503 | 3472 | 4282 | 5092 | 1640 | 2887 | 4018 | 4921 | 5888 |
| 125 | | | | | | 1989 | 3441 | 4773 | 5867 | 7001 |
| 160 | | | | | | 2465 | 4166 | 5792 | 7148 | 8504 |
| 200 | | | | | | 2995 | 4972 | 6916 | 8536 | 10213 |

| Dimensions Des barres en mm | Épaisseur des barres : e = 10 mm | | | | | Épaisseur des barres : e = 12,5 mm | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|------|------|------|-------|------------------------------------|------|------|-------|-------|
| | Nombre de barre // et par phases | | | | | Nombre de barre // et par phases | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 25 | 591 | 1247 | 1684 | 2050 | 2411 | | | | | |
| 31,5 | 709 | 1450 | 1975 | 2414 | 2846 | 811 | 1711 | 2311 | 2813 | 3308 |
| 40 | 859 | 1683 | 2319 | 2852 | 3375 | 979 | 1995 | 2719 | 3326 | 3923 |
| 50 | 1031 | 1969 | 2732 | 3372 | 4000 | 1171 | 2296 | 3162 | 3889 | 4603 |
| 63 | 1249 | 2336 | 3248 | 3998 | 4772 | 1415 | 2703 | 3750 | 4628 | 5491 |
| 80 | 1528 | 2803 | 3908 | 4824 | 5729 | 1726 | 3228 | 3228 | 5524 | 6594 |
| 100 | 1847 | 3325 | 4617 | 5726 | 6778 | 2083 | 3823 | 3823 | 6579 | 7812 |
| 125 | 2237 | 3937 | 5480 | 6710 | 8030 | 2519 | 4534 | 4534 | 7808 | 9243 |
| 160 | 2769 | 4790 | 6644 | 8195 | 9745 | 3113 | 5479 | 5479 | 9339 | 11176 |
| 200 | 3361 | 5680 | 7899 | 9747 | 11596 | 3775 | 6531 | 6531 | 11175 | 13289 |

Tableau N°6

| n | d/a | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0,05 | 0,06 | 0,08 | 0,10 | 0,12 | 0,14 | 0,16 | 0,18 | 0,20 | 0,25 |
| 2 | 1,69 | 1,73 | 1,76 | 1,80 | 1,83 | 1,85 | 1,87 | 1,89 | 1,91 | 1,91 |
| 3 | 2,40 | 2,45 | 2,50 | 2,55 | 2,60 | 2,63 | 2,65 | 2,68 | 2,70 | 2,70 |
| 4 | 3,05 | 3,12 | 3,18 | 3,23 | 3,31 | 3,35 | 3,38 | 3,41 | 3,44 | 3,44 |
| 5 | 3,67 | 3,74 | 3,82 | 3,90 | 3,98 | 4,02 | 4,06 | 4,09 | 4,13 | 4,13 |
| 6 | 4,23 | 4,32 | 4,41 | 4,50 | 4,59 | 4,63 | 4,68 | 4,72 | 4,77 | 4,77 |
| 7 | 4,75 | 4,85 | 4,95 | 5,05 | 5,15 | 5,20 | 5,25 | 5,30 | 5,35 | 5,35 |

Tableau N°7

| Nature de l'organe, du matériau et du diélectrique (Cf : 1, 2 et 3) | Température θ (°C) | ($\theta - \theta_n$) avec $\theta_n = 40$ °C |
|------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------|
| Raccords par boulons ou dispositifs équivalents (Cf : 7) | | |
| cuivre nu, alliage de cuivre nu ou alliage d'aluminium dans | | |
| l'air | 90 | 50 |
| le SF6 * | 105 | 65 |
| l'huile | 100 | 60 |
| argentés ou nickelés dans | | |
| l'air | 115 | 75 |
| le SF6 | 115 | 75 |
| l'huile | 100 | 60 |
| étamés dans | | |
| l'air | 105 | 65 |
| le SF6 | 105 | 65 |
| l'huile | 100 | 60 |

Tableau N° 8

Annexe 2

Bilan de puissance

Bilan de puissance installé

| Equipements | Cos ϕ | P_n (w) | U_n (V) | I_N (A) | Q_n (var) | S_n (va) |
|-----------------|------------|-----------|-----------|-----------|-------------|------------|
| E695_01 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_02 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_03 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_04 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_05 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_06 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| Colonne 1 Aeros | | 330000 | | 588 | 235 999,68 | 405 704,14 |
| E695_07 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_08 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_09 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_10 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_11 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_12 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| Colonne 2 Aeros | | 330000 | | 588 | 235 999,68 | 405 704,14 |
| E695_13 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_14 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_15 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_16 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_17 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_18 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| Colonne 3 Aeros | | 330000 | | 588 | 235 999,68 | 405 704,14 |
| E695_19 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_20 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_21 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_22 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_23 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_24 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| Colonne 4 Aeros | | 330000 | | 588 | 235 999,68 | 405 704,14 |
| E695_25 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_26 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_27 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_28 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_29 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_30 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| Colonne 5 Aeros | | 330000 | | 588 | 235 999,68 | 405 704,14 |
| E695_31 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_32 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_33 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_34 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_35 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E695_36 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| Colonne 6 Aeros | | 330000 | | 588 | 235 999,68 | 405 704,14 |

| Equipements | Cos ϕ | P_n (w) | U_n (V) | I_N (A) | Q_n (var) | S_n (va) |
|------------------------|------------|----------------|-----------|-----------|---------------------|---------------------|
| E575_01 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E575_02 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E575_03 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E575_04 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E575_05 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E575_06 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| Colonne 7 Aeros | | 330000 | | 588 | 235 999,68 | 405 704,14 |
| E575_07 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E575_08 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| E575_09 | 0,81 | 55000 | 400 | 98 | 39 333,28 | 67 617,36 |
| P956AE | 0,80 | 30000 | 400 | 54 | 22 420,80 | 37 452,53 |
| P956BE | 0,80 | 30000 | 400 | 54 | 22 420,80 | 37 452,53 |
| P997-01E | 0,80 | 11000 | 400 | 19,9 | 8 262,48 | 13 757,49 |
| P997-02E | 0,80 | 11000 | 400 | 19,9 | 8 262,48 | 13 757,49 |
| Colonne 8 Aeros | | 247000 | | 441,8 | 179 366,40 | 305 272,12 |
| E995_1E | 0,80 | 15000 | 400 | 27 | 11 210,40 | 18 726,27 |
| Onduleur | 0,80 | 20000 | 400 | 36 | 14 947,20 | 24 968,36 |
| Eclairage | 0,80 | 11000 | 400 | 19,9 | 8 262,48 | 13 757,49 |
| Gpe froid trane01 741S | 0,80 | 296400 | 400 | 535 | 222 132,00 | 370 399,22 |
| Gpe froid trane02 742S | 0,80 | 184800 | 400 | 332 | 137 846,40 | 230 548,63 |
| Colonne 9 Aeros | | 527200 | | 949,9 | 394 398,48 | 658 399,97 |
| TOTAL | | 3084200 | | | 2 225 762,64 | 3 803 601,06 |

Tableau N°1 : Bilan de puissance à installé pour les différents départs du TGBT4

Bilan de puissance d'utilisation

| Equipements | K_u | Pui (w) | Qui (var) | Sui (va) | Puj (w) | Quj (var) | Suj (va) |
|---------------------------|-------|---------|------------|------------|---------|-----------|-----------|
| E695_01 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_02 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_03 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_04 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_05 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_06 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| Colonne 1 Aeros $K_s=0,7$ | | 247500 | 176 999,76 | 304 278,10 | 173250 | 123899,83 | 212994,67 |
| E695_07 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_08 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_09 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_10 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_11 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_12 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| Colonne 2 Aeros $K_s=0,7$ | | 247500 | 176 999,76 | 304 278,10 | 173250 | 123899,83 | 212994,67 |

| Equipements | Ku | Pui (w) | Qui (var) | Sui (va) | Puj (w) | Quj (var) | Suj (va) |
|------------------------|------|---------|------------|------------|---------|-----------|-----------|
| E695_13 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_14 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_15 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_16 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_17 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_18 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| Colonne 3 Aeros Ks=0,7 | | 247500 | 176 999,76 | 304 278,10 | 173250 | 123899,83 | 212994,67 |
| E695_19 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_20 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_21 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_22 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_23 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_24 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| Colonne 4 Aeros Ks=0,7 | | 247500 | 176 999,76 | 304 278,10 | 173250 | 123899,83 | 212994,67 |
| E695_25 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_26 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_27 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_28 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_29 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_30 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| Colonne 5 Aeros Ks=0,7 | | 247500 | 176 999,76 | 304 278,10 | 173250 | 123899,83 | 212994,67 |
| E695_31 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_32 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_33 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_34 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_35 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E695_36 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| Colonne 6 Aeros Ks=0,7 | | 247500 | 176 999,76 | 304 278,10 | 173250 | 123899,83 | 212994,67 |
| E575_01 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E575_02 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E575_03 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E575_04 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E575_05 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E575_06 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| Colonne 7 Aeros Ks=0,7 | | 247500 | 176 999,76 | 304 278,10 | 173250 | 123899,83 | 212994,67 |
| E575_07 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E575_08 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| E575_09 | 0,75 | 41250 | 29 499,96 | 50 713,02 | | | |
| P956AE | 0,75 | 22500 | 16 815,60 | 28 089,40 | | | |
| P956BE | 0,75 | 22500 | 16 815,60 | 28 089,40 | | | |

| Equipements | Ku | Pui (w) | Qui (var) | Sui (va) | Puj (w) | Quj (var) | Suj (va) |
|-------------------------------------|------|---------|--------------|--------------|-----------|------------|------------|
| P997-01E | 0,75 | 8250 | 6 196,86 | 10 318,12 | | | |
| P997-02E | 0,75 | 8250 | 6 196,86 | 10 318,12 | | | |
| Colonne 8 Aeros K _s =0,7 | | 185250 | 134 524,80 | 228 954,09 | 129675 | 94167,36 | 129675,00 |
| E995_1E | 0,75 | 11250 | 8 407,80 | 14 044,70 | | | |
| Onduleur | 1 | 20000 | 14 947,20 | 24 968,36 | | | |
| Eclairage | 1 | 11000 | 8 262,48 | 13 757,49 | | | |
| Gpe froid trane01 741S | 0,75 | 222300 | 166 599,00 | 277 799,42 | | | |
| Gpe froid trane02 742S | 0,75 | 138600 | 103 384,80 | 172 911,47 | | | |
| Colonne 9 Aeros K _s =0,8 | | 403150 | 301 601,28 | 503 481,44 | 322520 | 241281,02 | 402785,15 |
| TOTAL | | 2320900 | 1 675 124,40 | 2 862 382,26 | 1 664 945 | 1202747,21 | 2053933,47 |

Tableau N°2 : Bilan de puissance d'utilisation pour les différents départs du TGBT4

Annexe 3

Résultats de calcul

Résultats de calcul de la section selon l'échauffement

| Equipements | I_n (A) | K | I_f (A) | I_{ad} (A) | S_j (mm ²) |
|-------------|-----------|------|-----------|--------------|--------------------------|
| E695_01 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_02 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_03 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_04 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_05 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_06 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_07 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_08 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_09 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_10 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_11 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_12 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_13 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_14 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_15 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_16 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_17 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_18 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_19 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_20 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_21 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_22 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_23 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_24 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_25 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_26 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_27 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_28 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_29 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_30 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_31 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_32 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_33 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_34 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_35 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E695_36 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E575_01 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E575_02 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E575_03 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E575_04 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |

| Equipements | I_n (A) | K | I_f (A) | I_{ad} (A) | S_j (mm ²) |
|------------------------|-----------|------|-----------|--------------|--------------------------|
| E575_05 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E575_06 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E575_07 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E575_08 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| E575_09 | 98 | 0,59 | 166,10 | 192 | 50 |
| P956AE | 54 | 0,59 | 91,53 | 100 | 16 |
| P956BE | 54 | 0,59 | 91,53 | 100 | 16 |
| P997-01E | 19,9 | 0,59 | 33,73 | 42 | 4 |
| P997-02E | 19,9 | 0,59 | 33,73 | 42 | 4 |
| E995_1E | 27 | 0,59 | 45,76 | 54 | 6 |
| Onduleur | 36 | 0,59 | 61,02 | 75 | 10 |
| Eclairage | 19,9 | 0,59 | 33,73 | 42 | 4 |
| Gpe froid trane01 741S | 535 | 0,59 | 906,78 | 2*538 | 2*240 |
| Gpe froid trane02 742S | 332 | 0,59 | 562,71 | 2*298 | 2*95 |

Tableau I : Calcul de la section selon l'échauffement

Vérification de la chute de tension

| Equipements | I_n (A) | R(Ω) | X(Ω) | Cos φ | L(m) | ΔU (V) | ΔU (%) | S_J (mm ²) | S_Z (mm ²) |
|-------------|-----------|---------------|---------------|---------------|------|----------------|----------------|--------------------------|--------------------------|
| E695_01 | 98 | 0,0315 | 0,0056 | 0,81 | 0,07 | 4,88 | 1,22 | 50 | 50 |
| E695_02 | 98 | 0,036 | 0,0064 | 0,81 | 0,08 | 5,58 | 1,40 | 50 | 50 |
| E695_03 | 98 | 0,045 | 0,008 | 0,81 | 0,1 | 6,98 | 1,74 | 50 | 50 |
| E695_04 | 98 | 0,0495 | 0,0088 | 0,81 | 0,11 | 7,67 | 1,92 | 50 | 50 |
| E695_05 | 98 | 0,054 | 0,0096 | 0,81 | 0,12 | 8,37 | 2,09 | 50 | 50 |
| E695_06 | 98 | 0,0585 | 0,0104 | 0,81 | 0,13 | 9,07 | 2,27 | 50 | 50 |
| E695_07 | 98 | 0,0315 | 0,0056 | 0,81 | 0,07 | 4,88 | 1,22 | 50 | 50 |
| E695_08 | 98 | 0,036 | 0,0064 | 0,81 | 0,08 | 5,58 | 1,40 | 50 | 50 |
| E695_09 | 98 | 0,045 | 0,008 | 0,81 | 0,1 | 6,98 | 1,74 | 50 | 50 |
| E695_10 | 98 | 0,0495 | 0,0088 | 0,81 | 0,11 | 7,67 | 1,92 | 50 | 50 |
| E695_11 | 98 | 0,054 | 0,0096 | 0,81 | 0,12 | 8,37 | 2,09 | 50 | 50 |
| E695_12 | 98 | 0,0585 | 0,0104 | 0,81 | 0,13 | 9,07 | 2,27 | 50 | 50 |
| E695_13 | 98 | 0,0315 | 0,0056 | 0,81 | 0,07 | 4,88 | 1,22 | 50 | 50 |
| E695_14 | 98 | 0,036 | 0,0064 | 0,81 | 0,08 | 5,58 | 1,40 | 50 | 50 |
| E695_15 | 98 | 0,045 | 0,008 | 0,81 | 0,1 | 6,98 | 1,74 | 50 | 50 |
| E695_16 | 98 | 0,0495 | 0,0088 | 0,81 | 0,11 | 7,67 | 1,92 | 50 | 50 |
| E695_17 | 98 | 0,054 | 0,0096 | 0,81 | 0,12 | 8,37 | 2,09 | 50 | 50 |
| E695_18 | 98 | 0,0585 | 0,0104 | 0,81 | 0,13 | 9,07 | 2,27 | 50 | 50 |
| E695_19 | 98 | 0,0315 | 0,0056 | 0,81 | 0,07 | 4,88 | 1,22 | 50 | 50 |
| E695_20 | 98 | 0,036 | 0,0064 | 0,81 | 0,08 | 5,58 | 1,40 | 50 | 50 |
| E695_21 | 98 | 0,045 | 0,008 | 0,81 | 0,1 | 6,98 | 1,74 | 50 | 50 |
| E695_22 | 98 | 0,0495 | 0,0088 | 0,81 | 0,11 | 7,67 | 1,92 | 50 | 50 |
| E695_23 | 98 | 0,054 | 0,0096 | 0,81 | 0,12 | 8,37 | 2,09 | 50 | 50 |

| Equipements | $I_n(A)$ | $R(\Omega)$ | $X(\Omega)$ | $\cos\phi$ | $L(m)$ | $\Delta U(V)$ | $\Delta U(\%)$ | $S_J(mm^2)$ | $S_Z(mm^2)$ |
|------------------------|----------|-------------|-------------|------------|--------|---------------|----------------|-------------|-------------|
| E695_24 | 98 | 0,0585 | 0,0104 | 0,81 | 0,13 | 9,07 | 2,27 | 50 | 50 |
| E695_25 | 98 | 0,0315 | 0,0056 | 0,81 | 0,07 | 4,88 | 1,22 | 50 | 50 |
| E695_26 | 98 | 0,036 | 0,0064 | 0,81 | 0,08 | 5,58 | 1,40 | 50 | 50 |
| E695_27 | 98 | 0,045 | 0,008 | 0,81 | 0,1 | 6,98 | 1,74 | 50 | 50 |
| E695_28 | 98 | 0,0495 | 0,0088 | 0,81 | 0,11 | 7,67 | 1,92 | 50 | 50 |
| E695_29 | 98 | 0,054 | 0,0096 | 0,81 | 0,12 | 8,37 | 2,09 | 50 | 50 |
| E695_30 | 98 | 0,0585 | 0,0104 | 0,81 | 0,13 | 9,07 | 2,27 | 50 | 50 |
| E695_31 | 98 | 0,0315 | 0,0056 | 0,81 | 0,07 | 4,88 | 1,22 | 50 | 50 |
| E695_32 | 98 | 0,036 | 0,0064 | 0,81 | 0,08 | 5,58 | 1,40 | 50 | 50 |
| E695_33 | 98 | 0,045 | 0,008 | 0,81 | 0,1 | 6,98 | 1,74 | 50 | 50 |
| E695_34 | 98 | 0,0495 | 0,0088 | 0,81 | 0,11 | 7,67 | 1,92 | 50 | 50 |
| E695_35 | 98 | 0,054 | 0,0096 | 0,81 | 0,12 | 8,37 | 2,09 | 50 | 50 |
| E695_36 | 98 | 0,0585 | 0,0104 | 0,81 | 0,13 | 9,07 | 2,27 | 50 | 50 |
| E575_01 | 98 | 0,063 | 0,0112 | 0,81 | 0,14 | 9,77 | 2,44 | 50 | 50 |
| E575_02 | 98 | 0,0675 | 0,012 | 0,81 | 0,15 | 10,46 | 2,62 | 50 | 50 |
| E575_03 | 98 | 0,072 | 0,0128 | 0,81 | 0,16 | 11,16 | 2,79 | 50 | 50 |
| E575_04 | 98 | 0,0765 | 0,0136 | 0,81 | 0,17 | 11,86 | 2,96 | 50 | 50 |
| E575_05 | 98 | 0,081 | 0,0144 | 0,81 | 0,18 | 12,56 | 3,14 | 50 | 50 |
| E575_06 | 98 | 0,09 | 0,016 | 0,81 | 0,2 | 13,95 | 3,49 | 50 | 50 |
| E575_07 | 98 | 0,063 | 0,0112 | 0,81 | 0,14 | 9,77 | 2,44 | 50 | 50 |
| E575_08 | 98 | 0,0675 | 0,012 | 0,81 | 0,15 | 10,46 | 2,62 | 50 | 50 |
| E575_09 | 98 | 0,072 | 0,0128 | 0,81 | 0,16 | 11,16 | 2,79 | 50 | 50 |
| P956AE | 54 | 0,1125 | 0,0064 | 0,8 | 0,08 | 8,77 | 2,19 | 16 | 16 |
| P956BE | 54 | 0,1125 | 0,0064 | 0,8 | 0,08 | 8,77 | 2,19 | 16 | 16 |
| P997-01E | 19,9 | 0,45 | 0,0064 | 0,8 | 0,08 | 12,53 | 3,13 | 4 | 4 |
| P997-02E | 19,9 | 0,45 | 0,0064 | 0,8 | 0,08 | 12,53 | 3,13 | 4 | 4 |
| E995_1E | 27 | 0,3 | 0,0064 | 0,8 | 0,08 | 11,39 | 2,85 | 6 | 6 |
| Onduleur | 36 | 0,0225 | 0,0008 | 0,8 | 0,01 | 1,15 | 0,29 | 10 | 10 |
| Eclairage | 19,9 | 0,5625 | 0,008 | 0,8 | 0,1 | 15,66 | 3,91 | 4 | 4 |
| Gpe froid trane01 741S | 535 | 0,005625 | 0,0096 | 0,8 | 0,12 | 9,50 | 2,37 | 2*240 | 2*240 |
| Gpe froid trane02 742S | 332 | 0,01 | 0,0096 | 0,8 | 0,12 | 9,84 | 2,46 | 2*95 | 2*95 |

Tableau II : Vérification de la chute de tension

Courants de court circuit pour les différents départs

| Equipements | $R(\Omega)$ | $X(\Omega)$ | $L(m)$ | $S_Z(mm^2)$ | $Z(\Omega)$ | $Z_t(\Omega)$ | $I_{cc}(KA)$ |
|-------------|-------------|-------------|--------|-------------|-------------|---------------|--------------|
| E695_01 | 31,5 | 5,6 | 70 | 50 | 31,99 | 37,51 | 10,66 |
| E695_02 | 36 | 6,4 | 80 | 50 | 36,56 | 42,08 | 9,50 |
| E695_03 | 45 | 8 | 100 | 50 | 45,71 | 51,23 | 7,81 |
| E695_04 | 49,5 | 8,8 | 110 | 50 | 50,28 | 55,80 | 7,17 |
| E695_05 | 54 | 9,6 | 120 | 50 | 54,85 | 60,37 | 6,63 |
| E695_06 | 58,5 | 10,4 | 130 | 50 | 59,42 | 64,94 | 6,16 |

| Equipements | R(Ω) | X(Ω) | L(m) | S _Z (mm ²) | Z(Ω) | Zt(Ω) | Icc(KA) |
|-------------|---------------|---------------|------|-----------------------------------|---------------|----------------|---------|
| E695_07 | 31,5 | 0,0056 | 70 | 50 | 31,50 | 37,02 | 10,80 |
| E695_08 | 36 | 0,0064 | 80 | 50 | 36,00 | 41,52 | 9,63 |
| E695_09 | 45 | 0,008 | 100 | 50 | 45,00 | 50,52 | 7,92 |
| E695_10 | 49,5 | 0,0088 | 110 | 50 | 49,50 | 55,02 | 7,27 |
| E695_11 | 54 | 0,0096 | 120 | 50 | 54,00 | 59,52 | 6,72 |
| E695_12 | 58,5 | 0,0104 | 130 | 50 | 58,50 | 64,02 | 6,25 |
| E695_13 | 31,5 | 0,0056 | 70 | 50 | 31,50 | 37,02 | 10,80 |
| E695_14 | 36 | 0,0064 | 80 | 50 | 36,00 | 41,52 | 9,63 |
| E695_15 | 45 | 0,008 | 100 | 50 | 45,00 | 50,52 | 7,92 |
| E695_16 | 49,5 | 0,0088 | 110 | 50 | 49,50 | 55,02 | 7,27 |
| E695_17 | 54 | 0,0096 | 120 | 50 | 54,00 | 59,52 | 6,72 |
| E695_18 | 58,5 | 0,0104 | 130 | 50 | 58,50 | 64,02 | 6,25 |
| E695_19 | 31,5 | 0,0056 | 70 | 50 | 31,50 | 37,02 | 10,80 |
| E695_20 | 36 | 0,0064 | 80 | 50 | 36,00 | 41,52 | 9,63 |
| E695_21 | 45 | 0,008 | 100 | 50 | 45,00 | 50,52 | 7,92 |
| E695_22 | 49,5 | 0,0088 | 110 | 50 | 49,50 | 55,02 | 7,27 |
| E695_23 | 54 | 0,0096 | 120 | 50 | 54,00 | 59,52 | 6,72 |
| E695_24 | 58,5 | 0,0104 | 130 | 50 | 58,50 | 64,02 | 6,25 |
| E695_25 | 31,5 | 0,0056 | 70 | 50 | 31,50 | 37,02 | 10,80 |
| E695_26 | 36 | 0,0064 | 80 | 50 | 36,00 | 41,52 | 9,63 |
| E695_27 | 45 | 0,008 | 100 | 50 | 45,00 | 50,52 | 7,92 |
| E695_28 | 49,5 | 0,0088 | 110 | 50 | 49,50 | 55,02 | 7,27 |
| E695_29 | 54 | 0,0096 | 120 | 50 | 54,00 | 59,52 | 6,72 |
| E695_30 | 58,5 | 0,0104 | 130 | 50 | 58,50 | 64,02 | 6,25 |
| E695_31 | 31,5 | 0,0056 | 70 | 50 | 31,50 | 37,02 | 10,80 |
| E695_32 | 36 | 0,0064 | 80 | 50 | 36,00 | 41,52 | 9,63 |
| E695_33 | 45 | 0,008 | 100 | 50 | 45,00 | 50,52 | 7,92 |
| E695_34 | 49,5 | 0,0088 | 110 | 50 | 49,50 | 55,02 | 7,27 |
| E695_35 | 54 | 0,0096 | 120 | 50 | 54,00 | 59,52 | 6,72 |
| E695_36 | 58,5 | 0,0104 | 130 | 50 | 58,50 | 64,02 | 6,25 |
| E575_01 | 63 | 0,0112 | 140 | 50 | 63,00 | 68,52 | 5,84 |
| E575_02 | 67,5 | 0,012 | 150 | 50 | 67,50 | 73,02 | 5,48 |
| E575_03 | 72 | 0,0128 | 160 | 50 | 72,00 | 77,52 | 5,16 |
| E575_04 | 76,5 | 0,0136 | 170 | 50 | 76,50 | 82,02 | 4,88 |
| E575_05 | 81 | 0,0144 | 180 | 50 | 81,00 | 86,52 | 4,62 |
| E575_06 | 90 | 0,016 | 200 | 50 | 90,00 | 95,52 | 4,19 |
| E575_07 | 63 | 0,0112 | 140 | 50 | 63,00 | 68,52 | 5,84 |
| E575_08 | 67,5 | 0,012 | 150 | 50 | 67,50 | 73,02 | 5,48 |
| E575_09 | 72 | 0,0128 | 160 | 50 | 72,00 | 77,52 | 5,16 |
| P956AE | 112,5 | 0,0064 | 80 | 16 | 112,50 | 118,02 | 3,39 |
| P956BE | 112,5 | 0,0064 | 80 | 16 | 112,50 | 118,02 | 3,39 |
| P997-01E | 450 | 0,0064 | 80 | 4 | 450,00 | 455,52 | 0,88 |

| Equipements | R(Ω) | X(Ω) | L(m) | S _Z (mm ²) | Z(Ω) | Zt(Ω) | Icc(KA) |
|------------------------|---------------|---------------|------|-----------------------------------|---------------|----------------|---------|
| P997-02E | 450 | 0,0064 | 80 | 4 | 450,00 | 455,52 | 0,88 |
| E995_1E | 300 | 0,0064 | 80 | 6 | 300,00 | 305,52 | 1,31 |
| Onduleur | 22,5 | 0,0008 | 10 | 10 | 22,50 | 28,02 | 14,28 |
| Eclairage | 562,5 | 0,008 | 100 | 4 | 562,50 | 568,02 | 0,70 |
| Gpe froid trane01 741S | 5,625 | 0,0096 | 120 | 2*240 | 5,63 | 11,15 | 35,89 |
| Gpe froid trane02 742S | 14,21 | 0,0096 | 120 | 2*95 | 14,21 | 19,73 | 20,27 |

Tableau III : Calcul des courants de court circuit pour les différents départs

Les disjoncteurs choisis pour les différents départs

| Equipements | Ie (A) | Icc(KA) | In(A) | PDC(KA) | Type de disjoncteur(KA) |
|-----------------|--------|---------|-------|---------|-------------------------|
| E695_01 | 98,00 | 10,66 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_02 | 98,00 | 9,5 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_03 | 98,00 | 7,81 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_04 | 98,00 | 7,17 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_05 | 98,00 | 6,63 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_06 | 98,00 | 6,16 | 100 | 25 | NSX100B |
| Colonne 1 Aeros | 588,00 | 72,22 | 630 | 100 | NSX360S |
| E695_07 | 98,00 | 10,8 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_08 | 98,00 | 9,63 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_09 | 98,00 | 7,92 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_10 | 98,00 | 7,27 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_11 | 98,00 | 6,72 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_12 | 98,00 | 6,25 | 100 | 25 | NSX100B |
| Colonne 2 Aeros | 588,00 | 72,22 | 630 | 100 | NSX360S |
| E695_13 | 98,00 | 10,8 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_14 | 98,00 | 9,63 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_15 | 98,00 | 7,92 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_16 | 98,00 | 7,27 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_17 | 98,00 | 6,72 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_18 | 98,00 | 6,25 | 100 | 25 | NSX100B |
| Colonne 3 Aeros | 588,00 | 72,22 | 630 | 100 | NSX360S |
| E695_19 | 98,00 | 10,8 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_20 | 98,00 | 9,63 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_21 | 98,00 | 7,92 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_22 | 98,00 | 7,27 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_23 | 98,00 | 6,72 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_24 | 98,00 | 6,25 | 100 | 25 | NSX100B |
| Colonne 4 Aeros | 588,00 | 72,22 | 630 | 100 | NSX360S |
| E695_25 | 98,00 | 10,8 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_26 | 98,00 | 9,63 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_27 | 98,00 | 7,92 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_28 | 98,00 | 7,27 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_29 | 98,00 | 6,72 | 100 | 25 | NSX100B |

| Equipements | Ie (A) | Icc(KA) | In(A) | PDC(KA) | Type de disjoncteur(KA) |
|------------------------|--------|---------|-------|---------|-------------------------|
| E695_30 | 98,00 | 6,25 | 100 | 25 | NSX100B |
| Colonne 5 Aeros | 588,00 | 72,22 | 630 | 100 | NSX360S |
| E695_31 | 98,00 | 10,8 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_32 | 98,00 | 9,63 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_33 | 98,00 | 7,92 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_34 | 98,00 | 7,27 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_35 | 98,00 | 6,72 | 100 | 25 | NSX100B |
| E695_36 | 98,00 | 6,25 | 100 | 25 | NSX100B |
| Colonne 6 Aeros | 588,00 | 72,22 | 630 | 100 | NSX360S |
| E575_01 | 98,00 | 5,84 | 100 | 25 | NSX100B |
| E575_02 | 98,00 | 5,48 | 100 | 25 | NSX100B |
| E575_03 | 98,00 | 5,16 | 100 | 25 | NSX100B |
| E575_04 | 98,00 | 4,88 | 100 | 25 | NSX100B |
| E575_05 | 98,00 | 4,62 | 100 | 25 | NSX100B |
| E575_06 | 98,00 | 4,19 | 100 | 25 | NSX100B |
| Colonne 7 Aeros | 588,00 | 72,22 | 630 | 100 | NSX360S |
| E575_07 | 98,00 | 5,84 | 100 | 25 | NSX100B |
| E575_08 | 98,00 | 5,48 | 100 | 25 | NSX100B |
| E575_09 | 98,00 | 5,16 | 100 | 25 | NSX100B |
| P956AE | 54,00 | 3,39 | 100 | 25 | NSX100B |
| P956BE | 54,00 | 3,39 | 100 | 25 | NSX100B |
| P997-01E | 19,90 | 0,88 | 100 | 25 | NSX100B |
| P997-02E | 19,90 | 0,88 | 100 | 25 | NSX100B |
| Colonne 8 Aeros | 441,80 | 72,22 | 630 | 100 | NSX360S |
| E995_1E | 27,00 | 1,31 | 100 | 25 | NSX100B |
| Onduleur | 36,00 | 14,28 | 100 | 25 | NSX100B |
| Eclairage | 19,90 | 0,7 | 100 | 25 | NSX100B |
| Gpe froid trane01 741S | 535,00 | 35,89 | 630 | 50 | NSX630N |
| Gpe froid trane02 742S | 332,00 | 20,27 | 630 | 36 | NSX400F |
| Colonne 9 Aeros | 949,90 | 72,22 | 1000 | 150 | NS1000L |

Tableau IV : Les disjoncteurs choisi pour les déferents départs

Annexe 4

Schéma unifilaire

Bibliographie

- [1] **A.BIANCOTO et P.BPYE**, « la construction normalisée en électrotechnique », Tome1
- [2] **Groupe Schneider**, « Guide de distribution basse tension BT», 1998, Schneider Electric SA.
- [3] **H. PEROZ, J. CLAUDE LEMOINE, P. SAPET, G. SANTUCCI**, « La planification des réseaux électriques », éditions EYROLLES, 1984.
- [4] **B. DE METZ-NOBLAT, F. DUMAS et C. POULAIN**, « Calcul des courants de court-circuit », Cahier Technique n° 158, Schneider Electric, 2005.
- [5] **Schneider Electric** « Guide de la distribution électrique basse tension et HTA », 2009.
- [6] **Schneider Electric** « Guide de la distribution électrique basse et moyenne tension », 2002
- [7] **Schneider Electric**, « Guide de l'installation électrique », janvier1982.
- [8] **R. CALVAS, B. LACROIX**, «Les schéma de liaison à la terre en BT », Cahier Technique n° 172, 2005
- [9] **Schneider Electric**, « Guide de l'installation électrique », 2010
- [10] **B.AZZOUG**, « Projet de fin d'études ; 'Etude et redimensionnement des systèmes de protection des personnes et des matériels de L'unité CEVITAL' »,2003.
- [11] **J.L.Lilien**, Université de Liège, Effets indirects des champs électromagnétiques, Institut montefiore Année académique 2004 – 2005.
- [12] **Groupe Schneider électrique**, « Guide technique Merlin Gerin Moyenne tension »
- [13] **Schneider Electric** : catalogue distribution BT 98.
- [14] **S.HOCINE et B.DJAMEL**, « Projet de fin d'études ; 'Etude de l'extension de l'installation électrique de chaufferie-Raffinerie CEVITAL Bejaia' »2005/2006.
- [16] **A. BIANCOTTO et P.BOYE**, « La construction normalisée en électrotechnique», Tome 1, AFNOR 1985.