

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE ABDERAHMANE MIRA BEJAIA
FACULTE DE TECHNOLOGIE
DEPARTEMENT DE GENIE ELECTRIQUE



جامعة بجاية
Tasdawit n'Bgayet
Université de Béjaïa



Mémoire de Fin d'Etude

En vue l'obtention du diplôme de MASTER en électrotechnique

Option : électromécanique et énergie renouvelable

**Etude, dimensionnement et compensation de l'énergie
réactive de la raffinerie de sucre au sein de l'entreprise**

CEVITAL

Présenté par :
Ouddak Bouzid
Benhacine Mourad

encadré par :
Mr : A. Bouzidi
Mr : A. Sellami

Année Universitaire 2017-2018

Remerciements

Le présent travail n'est pas seulement le fruit de nos propres efforts, mais aussi les efforts de bien de personnes à qui nous exprimons nos vifs remerciements.

Nous remercions le bon DIEU de nous avoir donnés le courage et la foi tout au long de notre travail.

Nous tenons à remercier en première lieu notre encadreur Mr : A.bouzidi pour avoir accepté de nous encadrer et pour ces orientations durant notre travail. Sans oublier Mr : A.selami, pour sa disponibilité, son aide, et d'avoir mis toute la documentation nécessaire, a notre disposition. Ainsi que tous le personnel de la direction technique de Cevital.

Nos vifs remerciements au membre de jurys de bien vouloir accepter d'évaluer notre travaille.

Enfin nous remercions toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail.

Dédicaces

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

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

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

Bouziid.

Dédicaces

Avec ma profonde gratitude et grand amour, je dédie ce modeste mémoire :

A ceux que j'ai tant aimé et respecté, qui pendant mon enfance, m'ont entouré de leurs affections, leurs patience et amour grâce à eux que je suis aujourd'hui ici, vous mes très chers parents. À mes frères et sœurs qui ont étaient présent et m'ont toujours soutenu tout au long de ces longues années d'études.

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

A tous mes amis et personnes avec qui j'ai partagé beaucoup de moments agréables et inoubliables.

Mourad.

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre I : Présentation de l'entreprise	2
I.1. Introduction	2
I.2. La représentation générale du complexe CEVITAL	2
I.2.1. Historique	2
I.2.2. Situation géographique	3
I.2.3. Principales activités de CEVITAL.....	4
I.2.4. Organigramme de CEVITAL.....	4
I.3. Service énergie	6
I.4. Bilan de puissance	7
I.5. Alimentation principale du complexe.....	7
I.5.1. Poste 30kV APL (Ancien Poste de Livraison)	7
I.5.2. Poste 60kV	8
I.5.3. Source de secours (Centrale groupe diesel)	9
I.5.4. Central cogénération	9
I.6. Conclusion	11
Chapitre II : Données de l'installation et bilan de puissance	12
II.1. Introduction.....	12
II.2. Détermination de la puissance.....	12
II.2.1. Puissance installée	12
II.2.2 Puissance utilisée.....	12
II.3. Calcul de la puissance installée	14
II.4. Calcul de la puissance d'utilisation	20
II.4.1. Puissance utile d'une charge Pui	20
II.4.2. Puissance utile dans une branche Puj	20
II.5. La Charge totale de la TGBT	25
II.6. Calcul de facteur de puissance	25
II.7. Conclusion.....	25
Chapitre III : Dimensionnement et choix des éléments d'installation.....	27
III.1. Introduction	27
III.2. Conditions générales.....	27
III.3. Caractéristiques des câbles	28
III.4. Détermination des sections des câbles	28
III.5. Détermination des courants influençant sur la section	29
III.5.1. Courant d'emploi I_e	29
III.5.2. Courant admissible I_{ad}	29
III.5.3. Courant fictif	30
III.6. Calcul et choix des sections des câbles.....	30

III.6.1. Section technique	30
III.6.2. Calcul de la section selon l'échauffement S_j	30
III.7. Vérification de la chute de tension.....	35
III.8. Poste de transformation.....	40
III.8.1. Source de secours (centrale groupe).....	41
III.8.2. Caractéristique du transformateur	41
III.8.3. Dimensionnement du transformateur	41
III.8.4. Calcul du rapport de transformation.....	41
III.8.5. Calcul du courant secondaire	42
III.8.6. Calcul du courant primaire	42
III.9. Calcul des courants de court-circuit.....	42
III.9.1. Les différents types de court-circuit.....	42
III.9.3. Méthode générale de calcul des courants de court-circuit	42
III.10. Vérification des contraintes thermiques.....	47
III.10.1. Calcul du courant admissible maximal	48
III.10.2. Au passage de courant de court-circuit de courte durée.....	49
III.11. Protection	50
III.11.1. Définition et rôle de la protection	50
III.11.2. Problème de la protection.....	51
III.11.3. Protection contre les surcharges et court-circuit	52
III.11.4. Protection par système de liaison à la terre	52
III.11.5. Les différents régimes du neutre	52
III.11.6. Choix du SLT	53
III.11.7. Régime du neutre utilisé dans l'entreprise	53
III.12. Protection par disjoncteur	53
III.12.1. Caractéristique d'un disjoncteur basse tension.....	54
III.12.2. Disjoncteur magnétothermique	55
III.12.3. Principe de fonctionnement.....	55
III.12.4. Protection par fusible	55
III.12.5. Choix d'un fusible.....	56
III.13. Conclusion	56
Chapitre IV : Compensation de l'énergie réactive	57
IV.I. Introduction.....	57
IV.2. Le principe de la compensation	57
IV.3. Déterminer l'équipement de compensation	58
IV.4. Définitions	58
IV.4.1. Energie active.....	58
IV.4.2. Energie réactive.....	58
IV.4.3. Energie apparente	58

IV.4.4. Facteur de puissance.....	58
IV.5. Composante active et réactive du courant	60
IV.5.1. Courant actif (Ia)	60
IV.5.2. Courant réactif (Ir).....	60
IV.5.3. Courant apparent (It)	60
IV.6. Choix de la localisation	61
IV.6.1. Compensation globale.....	61
IV.6.2. Compensation partielle	61
IV.6.3. Compensation locale : (individuelle)	62
IV.7. Avantages et inconvénients	63
IV.8. Choix de type de compensation.....	63
IV.8.1. Compensation fixe.....	63
IV.8.2. Compensation automatique	64
IV.9. Puissance réactive à installer	64
IV.9. Calcul des valeurs de capacités des condensateurs.....	65
IV.10. Calcul de la puissance de compensation.....	66
IV.10. Vérification du type de compensation	67
IV.11. Conclusion	67
Chapitre V : Vérification des calculs avec logiciel ECODIAL.....	68
V.1 Introduction.....	68
V.2. Présentation du logiciel.....	68
V.2.1. Définition.....	68
V.2.2. Utilité du logiciel ECODIAL	68
V.2.3. Description de l'interface graphique du logiciel	69
V.3. Méthode de calcul	70
V.3.1. Définition des caractéristiques électriques générales du réseau.....	70
V.3.2. Réalisation du schéma unifilaire	70
V.3.3. Introduction des caractéristiques des éléments du schéma	71
V.3.4. Bilan de puissance	72
V.3.5. Dimensionnement.....	72
V.4. Etape pratique	73
V.4.1. Les schémas unifilaires des trois TGBT.....	73
V.4.2. Résultats des calculs.....	75
V.5. Interprétation des résultats :	79
V.6. Conclusion	80
Conclusion générale	81

Liste des tableaux

Tableau II.1 : Facteur de simultanéité selon le nombre de récepteurs.....	13
Tableau II.2 : Facteur de simultanéité selon l'utilisation.....	13
Tableau II.3 : Bilan de puissance installée du TGBT 2	14
Tableau II.4 : Bilan de puissance installée du TGBT 3	16
Tableau II.5 : Bilan de puissance installée du TGBT 4	18
Tableau II.6 : Bilan de puissance d'utilisation TGBT2	21
Tableau II.7 : Bilan de puissance d'utilisation TGBT 3	22
Tableau II.8 : Bilan de puissance d'utilisation TGBT 4	23
Tableau II.9 : Valeurs des puissances de la raffinerie de sucre liquide	25
Tableau II.10 : Valeurs des facteurs de puissances	25
Tableau III.1 : valeurs des sections en fonction de l'échauffement de TGBT2	32
Tableau III.2 : valeurs des sections en fonction de l'échauffement de TGBT3	33
Tableau III.3 : valeurs des sections en fonction de l'échauffement de TGBT4	34
Tableau III.4 : Valeurs limites admises de chutes de tension.....	35
Tableau III.5 : Chutes de tension de différents conducteurs	36
Tableau III.6 : valeurs des sections calculées par rapport à la chute de tension TGBT2	37
Tableau III.7 : valeurs des sections calculées par rapport à la chute de tension TGBT3	38
Tableau III.8 : valeurs des sections calculées par rapport à la chute de tension TGBT4	39
Tableau III.9 : Caractéristique du transformateur	41
Tableau III.10 : calcul de courant de court-circuit de TGBT2	44
Tableau III.11 : calcul de courant de court-circuit de TGBT3	45
Tableau III.12 : calcul de courant de court-circuit de TGBT4	46
Tableau III.13 : valeur de K6	48
Tableau III.14 : Principe de protection des circuits.....	51
Tableau IV.1 : avantages et inconvénients de chacune des types de compensation.....	63
Tableau IV.2 : les puissances réactives fournis par les batteries de compensation	67
Tableau IV.3 : Types de compensation de l'énergie réactifs	67

Liste des figures

Figure I.1 : Situation géographique du complexe CEVITAL	3
Figure I.2 : Organigramme du complexe CEVITAL.....	5
Figure I.3 : Organigramme de la direction énergie	6
Figure I.4 : Ancien Poste de Livraison (APL)	8
Figure I.5 : Etage 30kV (Poste 60).....	9
Figure I.6 : Sous Station raffinerie sucre 3500T/j.....	11
Figure III.1 : Constitution d'un câble	28
Figure IV.1 : Diagramme vectorielle des courants	60
Figure IV.2 : Compensation globale.....	61
Figure IV.3 : Compensation partielle	62
Figure IV.4 : Compensation individuelle	62
Figure IV.5 : Triangle de puissance.....	64
Figure V.1 : Interface graphique d'ECODIAL.....	69
Figure V.2 : Caractéristiques générales de l'installation.....	70
Figure V.3 : Palette des macro-composants	71
Figure V.4 : Caractéristique d'un circuit.....	71
Figure V.5 : Bilan de puissance du TGBT 2	72
Figure V.6 : Schémas unifilaire du TGBT 3	73
Figure V.7 : Schémas unifilaire du TGBT 4	73
Figure V.8 : Schémas unifilaire du TGBT 4	74

Introduction générale

Tout projet d'une installation électrique, industrielle ou domestique repose sur le respect des critères et réglementation en vigueur établis et conçus par des spécialistes dans ce domaine.

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 dimensionnement de l'énergie réactive de la raffinerie de sucre de l'installation électrique s'imposent. Une révision du réseau d'alimentation en énergie électrique de la raffinerie sucre suivant les nouvelles charges installées s'impose.

Nous avons réalisé une étude de dimensionnement des canalisations et de compensation de l'énergie réactive de la raffinerie de sucre de 3500 t/j dans le cadre de notre projet fin d'étude master.

La réalisation de cet objectif exige une connaissance détaillée de toute l'installation électrique de l'entreprise et de tous les équipements (machines, transformateurs, etc.). Cela sera suivi par un calcul du bilan de puissance qui nous permettra de dimensionner le système de compensation et les éléments du réseau interne (câbles, éléments de protection).

Pour ce faire, nous avons subdivisé ce travail en cinq chapitres :

Dans le premier chapitre nous présentons le complexe de CEVITAL son historique, sa situation graphique, ses différentes activités et le bilan de puissance.

Le deuxième chapitre est réservé aux données de l'installation, le bilan de puissance et la détermination de la charge totale.

Le troisième chapitre est consacré au dimensionnement des sections des câbles et le choix des éléments d'installation des différents départs de chaque TGBT, Après avoir calculé les courants d'emploi, courants fictif et le courant admissible.

Le quatrième chapitre est destiné au choix du système de compensation, ainsi que le mode et le système de compensation.

Une normalisation et vérification des calculs avec logiciel ECODIEL et effectuée au chapitre cinq.

Et enfin, nous terminerons notre travail avec une conclusion générale.

Chapitre I : Présentation de l'entreprise

I.1. Introduction

CEVITAL est le premier complexe en Algérie dans le domaine agroalimentaire, nous présentons ici son évolution historique, ses multiples activités industrielles, ses principaux objectifs, ensuite que l'organigramme dérivant ses différentes direction. Nous présentant l'organigramme de l'unité énergie et enfin nous nous terminant par une présentation de l'unité d'énergie.

I.2. La représentation générale du complexe CEVITAL

I.2.1. Historique

CEVITAL est une entreprise industrielle agroalimentaire spécialisée dans le raffinage d'huile, de sucre, de la production de la margarine et de la production d'énergie électrique à travers la vapeur ; Elle s'accapare la moitié du marché national d'huile et des graisses. CEVITAL SPA, est parmi les entreprises Algériennes qui en vue le jour dès l'entrée de notre pays dans l'économie de marché. Elle a été créée par des fonds privés en 1998. Son complexe de production se situe dans le port de BEJAIA et s'étend sur une superficie de 45000m^2 . Pour être parmi les meilleurs sur le marché international, CEVITAL a fait appel aux leaders mondiaux pour chaque type de marché et d'équipements faisant de ce complexe l'un des plus performant et modernes du monde.

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

Les nouvelles données économiques nationales dans le marché de l'agroalimentaire, font que les meilleurs sont ceux qui maîtrisent d'une façon efficace et optimale les couts, les charges et ceux qui offrent le meilleur rapport qualité/prix. Ceci est nécessaire pour s'imposer sur le marché, CEVITAL négocie avec les grandes sociétés commerciales internationales telles que CARREFOUR et AUCHAN, OXXO, BRANDT (en France) ROYAL(en suisse) et autre société spécialisée dans l'import-export en Italie, Ukraine, Russe. Ses produits se vendent dans différentes ville africaines (Tunis, Niamey, Bamako....). [1]

I.2.3. Principales 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, cette dernière est devenue fonctionnelle en Aout 1999.

L'ensemble des activités de CEVITAL est concentré sur la production et la commercialisation des huiles végétales, de margarine et de sucre et se présente comme suit :

- Raffinage des huiles (1800 tonnes /jour).
- Conditionnement d'huile (1400 tonnes /jour).
- Production de margarine (600tonnes/jour).
- Fabrication d'emballage (PET) : poly-éthylène-Téréphtalate (9600 unités/heure).
- Raffinage du sucre (2000 tonnes /jour et 3000 tonnes/jour).
- Stockage des céréales (120000 tonnes) .
- La cogénération (une capacité de production arrive jusqu'à 64MW).
- Minoterie et savonnerie en cours d'étude.

I.2.4. Organigramme de CEVITAL

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 a des prix nettement plus compétitifs et cela dans le but et satisfaire le client et le fidéliser.

Les objectifs visés par CEVITAL peuvent se présenter comme suit :

- L'extension de ses produits sure tout le territoire national.
- L'optimisation de ses offres d'emploi sur le marché de travail.
- La modernisation de ses installations en termes des machines et technique pour augmenter le volume de sa production.
- Le positionnement de se produits sur le marché étranger pat leur exportation.
- L'importation de graines oléagineuses pour l'extraction directe des huiles brutes.

L'organigramme suivant donne une vue général sur les différents organes constituants le complexe CEVITAL.

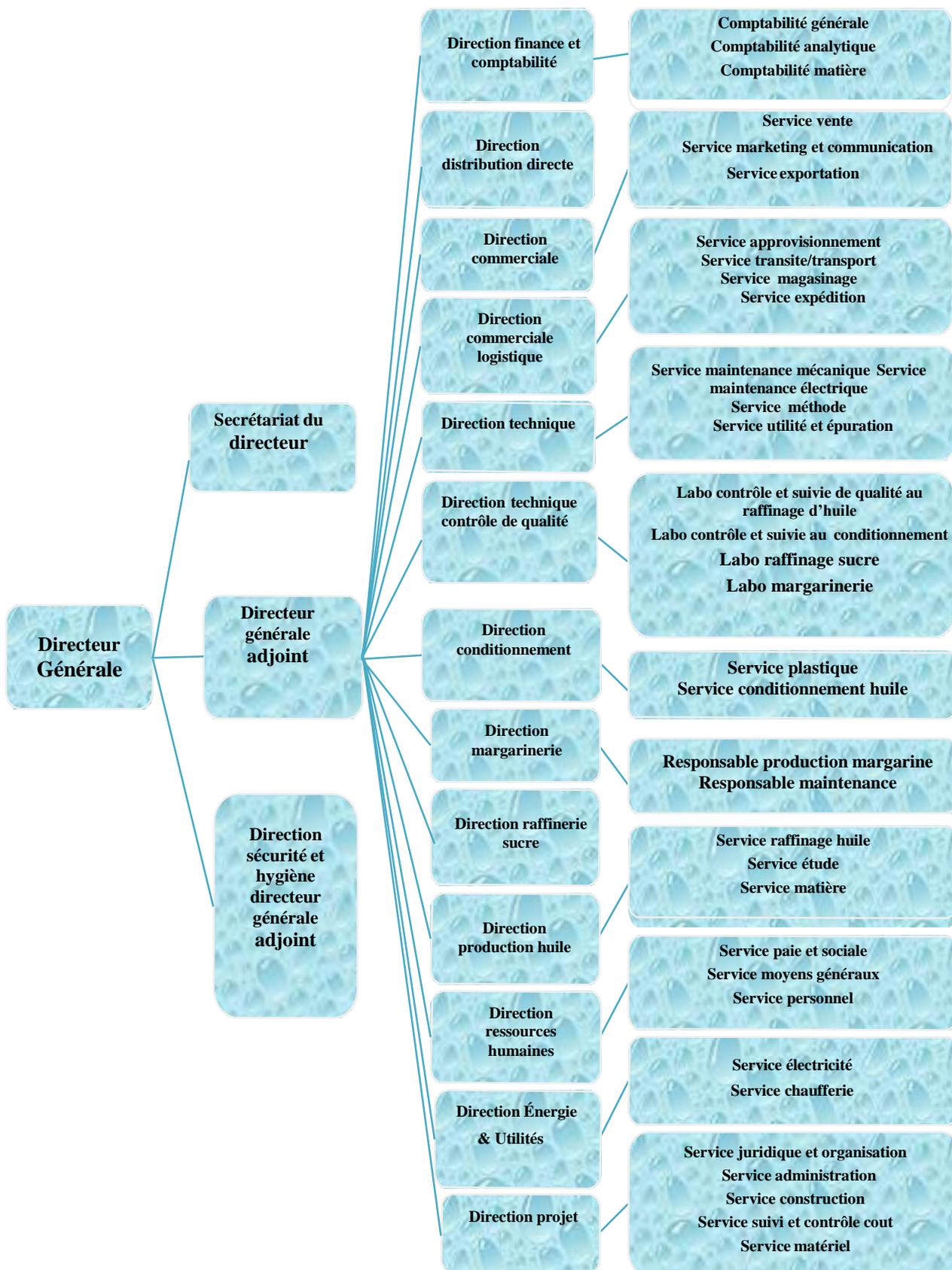


Figure I.2 : Organigramme du complexe CEVITAL

I.3. Service énergie

La direction Energie est constituée de deux départements qui sont :

- Département électrique (production et distribution de l'énergie électrique) on distingue :
 - ✓ Le poste 60KV.
 - ✓ Le poste 30 KV.
 - ✓ La cogénération.
- Département chaufferie (production et distribution de la vapeur).

Les différents départements de la direction Energie sont représentés dans l'organigramme suivant :

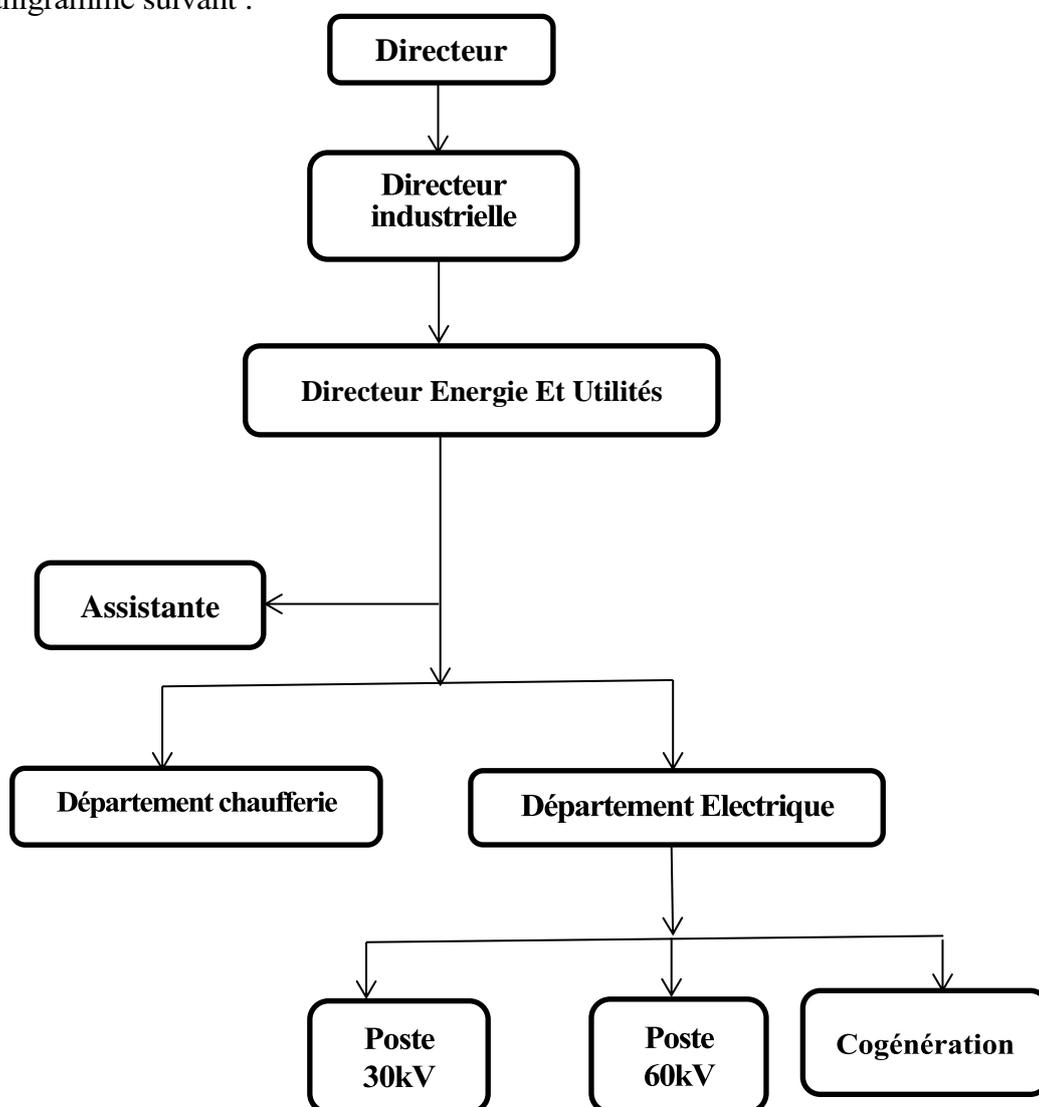


Figure I.3 : Organigramme de la direction énergie

I.4. Bilan de puissance

Pour satisfaire le besoins du complexe en énergie électrique, ce dernier est actuellement alimenté par une ligne de 60kV depuis la centrale de Darguina, située à 50 km environ.

SONALGAZ a réservé la ligne Darguina – Bougie 2 (Bir-slam) et une liaison câble Bougie2-Bougie1 (Cité tobal) spécialement pour l'alimentation de l'entreprise CEVITAL. [1]

Le system de distribution MT existant actuellement comprend essentiellement les éléments suivant :

-Un poste 60, étage 30kV à un jeu de barres et trois travées, soit :

- ✓ Une travée Arrivée lignes 60Kv.
- ✓ Une travée Transformateur T01 60/30kV de 25MVA.
- ✓ Une travée Transformateur T02 60/30kV de 25MVA.

-Un tableau 30kV en deux demi-jeux de barres. Chaque transformateur 60/30kV alimente un jeu de barres de 30kV. Si un transformateur est indisponible, le deuxième est en mesure d'alimenter, seul, toute l'usine en actionnant le couplage des deux jeux de barres. Les divers consommateurs sont alimentés par des départs issus de ces tableaux.

-Sources de secours (Central groupe).

-Les différentes sous stations d'alimentation des unités du complexe.

-Centrale de production (cogénération : 50MW environ en cours d'essai).

I.5. Alimentation principale du complexe [1]

Comme il a été mentionné précédemment le complexe industriel CEVITAL est alimenté par le réseau SONELGAZ, il a subit au cours du temps certaines modifications. Au début était alimenté par une ligne de 30kV et par suite de l'extension qu'a connue le complexe les responsables de la société ont été amené à souscrire une nouvelle ligne 60kV.

I.5.1. Poste 30kV APL (Ancien Poste de Livraison)

Au début l'alimentation en énergie électrique du complexe était assurée par une ligne électrique spécialisée 30kV à partir du poste de transformation 60/30kV SONELGAZ bougie1, situé à une distance de 1500m environ.

La tâche principale de la ligne 30kV (la cellule F35) consiste à alimenter en énergie électrique les parties suivantes :

- ✓ La S/Station raffinerie d'huile par la cellule F31 qui alimente à son tour la S/ Station margarinerie par la cellule F38.
- ✓ Départ réserve (ancien départ prévu pour l'électrolyseur) par la cellule F32.
- ✓ Alimentation des auxiliaires par la cellule F33.
- ✓ La S/Station bouche par la cellule F34 qui alimente à son tour la S/Station conditionnement d'huile par la cellule F18.

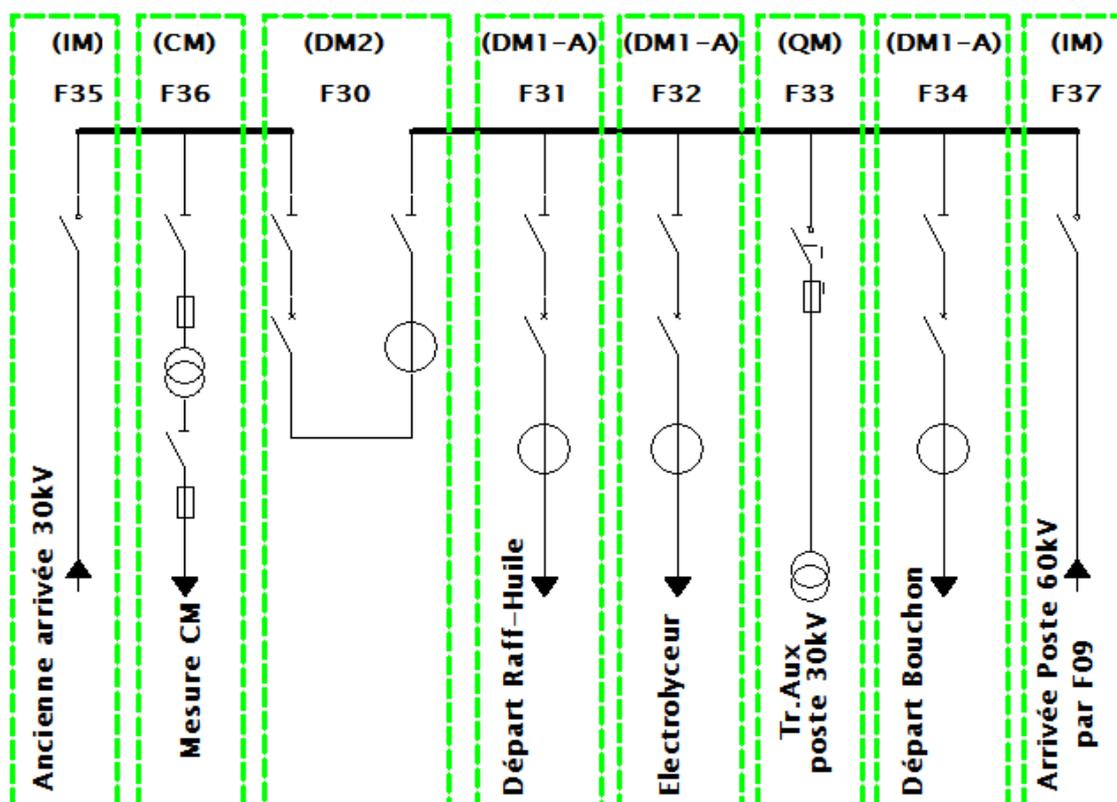


Figure I.4: Ancien Poste de Livraison (APL)

I.5.2. Poste 60kV

Vu l'extension qu'a connu l'entreprise CEVITAL, l'ancienne ligne 30kV n'a pas pu prendre en charge la totalité du complexe en qualité d'énergie électrique, ce qui a poussé les responsables à prévoir une ligne de 60kV qui pourra leur apporter la satisfaction.

La tâche principale de la ligne 60kV est l'alimentation de complexe par :

➤ **Le jeu de barres 30kV N°01 par la cellule F06 :**

- ✓ Départ vers la S/Station raffinerie de sucre 3500T/J par la cellule F00.
- ✓ Alimentation des auxiliaires par la cellule F01.
- ✓ Départ vers la nouvelle S/Station raffinerie sucre 2500T/J par la cellule F02.
- ✓ Départ vers la S/Station Silos céréales sucre roux neuve par la cellule F03.

- ✓ Départ vers la S/Station OSMOSE (affinage, chaufferie) par la cellule F04.
- ✓ Arrivée central diesel par la cellule F05.

Le jeu de barres N°01 est couplée au jeu de barres N°02 à travers une cellule de couplage qu'est la cellule F07.

➤ **Le jeu de barres 30kV N°02 par la cellule de couplage F08:**

- ✓ Départ vers la S/Station APL (30kV) par la cellule F09.
- ✓ Départ vers la S/Station raffinerie de sucre 2500T/J par la cellule F10.
- ✓ Départ vers la S/Station OSMOSE (affinage, chaufferie) par la cellule F11.
- ✓ Départ vers la S/Station conditionnement du sucre (1kg/5kg) par la cellule F12.
- ✓ Alimentation des auxiliaires par la cellule F13.

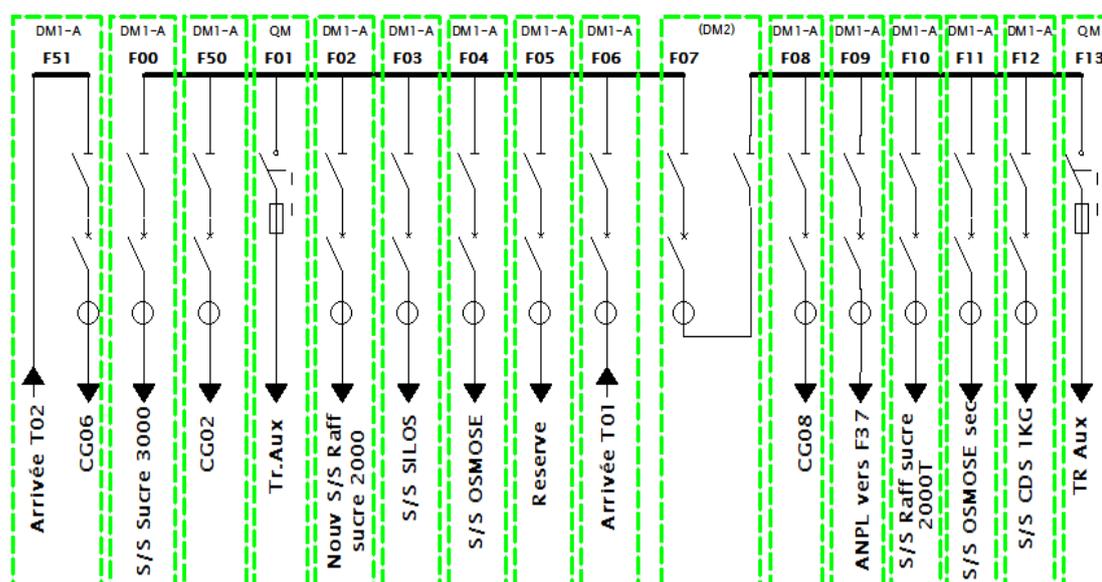


Figure I.5 : Etage 30kV (Poste 60)

I.5.3. Source de secours (Centrale groupe diesel)

Pour remédier au problème majeur qui perturbe le processus de la production, qu'est-ce problème des coupures d'électricité causées par les surcharges à cause de l'augmentation très rapide de la consommation de la ville de Bejaia et ses environs, CEVITAL s'est équipée d'une centrale groupe composée de sept groupes électrogène totalisant une puissance de 12.8MVA 400V, Et sept transformateurs élévateurs de (400/30kV).

I.5.4. Central cogénération

La cogénération est le principe de production simultanée de deux énergies différentes dans le même processus, le cas le plus fréquent est la production d'électricité et de la chaleur, la

chaleur étant issue de la production d'électricité ou l'inverse. Ces systèmes ont un haut rendement (de 80% à 90%) et ils sont considérés parmi les techniques les plus efficaces énergétiquement pour l'utilisation des énergies fossiles et renouvelables.

Il a été procédé donc à l'achat et à l'installation de deux groupes blocs (turbine-alternateur, transformateur) de 32 MVA de puissance unitaire.

Cette puissance installée étant largement supérieur au besoin du complexe (25MVA) CEVITAL envisage de rétrocéder l'excédent au réseau SONELGAZ.

La centrale débite sur deux transformateurs de 32MVA chacun, qui alimentent à leur tour un jeu de barres TGHT par les deux cellules CG03 et CG07.

➤ **Le jeu de barres TGHT alimente les éléments suivant :**

- ✓ Transformateur auxiliaire Tr 1 par la cellule CG04.
- ✓ Transformateur auxiliaire Tr 2 par la cellule CG05.
- ✓ Jdb 30kV N°01 du poste 60 par la cellule CG02.
- ✓ Jdb 30kV N°02 du poste 60 par la cellule CG08.
- ✓ Arrivé du Tr02 (60/30kV) par la cellule CG06.
- ✓ Arrivé groupe électrogène par la cellule CG01.

➤ **Jeu de barre S/Station raffinerie du sucre 3500T/J**

Il comprend dix cellules 30kV Schneider électrique type SM6-36 suivantes :

- ✓ Arrivée du poste 60 par la cellule F59 remonté de barre (IM).
- ✓ Trois départ vers le transformateur de la raffinerie de sucre 1, 2,3 (DM1-A) avec une

SEPAM 1000+ chacun.

- ✓ Cellule de mesure et comptage (CM) F52.
- ✓ Départ vers la cellule : GAM (IM).
- ✓ Arrivée de cellule : IM (GAM : remonté de barre).
- ✓ Départ vers le transformateur silo 80000 (DM1-A) avec une SEPAM 1000+.
- ✓ Départ vers conditionnement de sucre 1kg (DM1-A) avec une SEPAM 1000+.
- ✓ Départ vers transformateur aéro (DM1-A) avec une SEPAM 1000+.

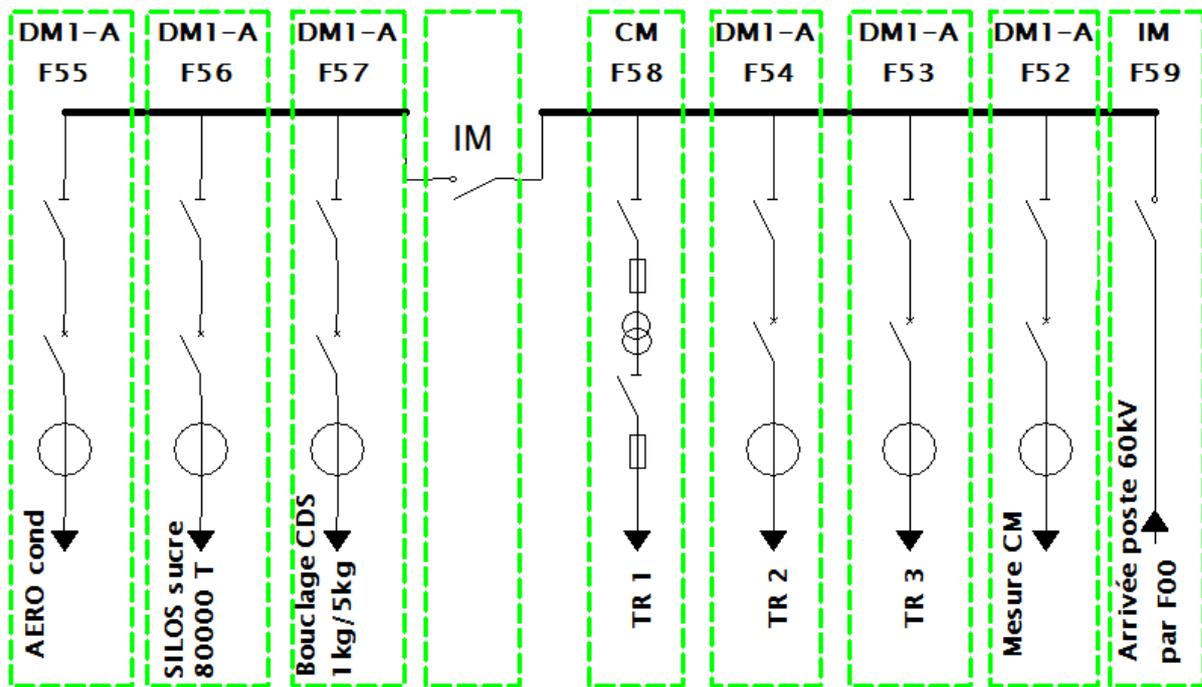


Figure I.6 : Sous Station raffinerie sucre 3500T/j

I.6. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons décrit le réseau HTA du complexe CEVITAL, avec un inventaire détaillé des sources d'alimentations électrique principale : ligne 60 kV, central de cogénération, Poste 30kV APL (Ancien Poste de Livraison), Poste 60kV.

Chapitre II : Données de l'installation et bilan de puissance

II.1. Introduction

Le bilan de puissance permet de dimensionner l'installation à partir des caractéristiques 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 consommées de l'installation qui permet par la fin de déduire le facteur de puissance de l'installation.

II.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. [2]

II.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. [3]

II.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). [3] [4]

a) Facteur d'utilisation

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. [4] [5]

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 II.1) et selon l'utilisation (Tableau II.2).

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

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 II.2 : Facteur de simultanéité selon l'utilisation

Utilisation	Facteurs d'utilisation K_u
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

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 est pris égal à 1. [3]

II.3. Calcul de la puissance installée

Les résultats des calculs des TGBT sont inscrits dans les tableaux II.3, II.4 et II.5

TGBT : tableau général basse tension

Tableau II.3 : Bilan de puissance installée du TGBT 2

N°	Equipement	Repère de l'équipement	Un(V)	In(A)	Pn(KW)	cos φ	Q(KVAR)	S(KVA)
1	Pompe Alimentation	P201 1N	400	68	37	0.78	29.482	47.309
2	Pompe Alimentation (secours)	P201 2N	400	68	37	0.78	29.482	47.309
Colonne 1					74		58.964	94.619
3	1 ^{er} carbonatation tube Richter	A210 1N	400	0.8	0.25	0.45	0.495	0.555
4	1 ^{er} carbonatation tube Richter	A210 2N	400	0.8	0.25	0.45	0.495	0.555
5	1 ^{er} carbonatation tube Richter	A210 3N	400	0.8	0.25	0.45	0.495	0.555
6	1 ^{er} carbonatation tube Richter	A210 4N	400	0.8	0.25	0.45	0.495	0.555
7	1 ^{er} carbonatation tube Richter	A210 5N	400	0.8	0.25	0.45	0.495	0.555
8	1 ^{er} carbonatation tube Richter	A210 6N	400	0.8	0.25	0.45	0.495	0.555
Colonne 2					1.50		2.97	3.327
9	2 ^{ème} carbonatation tube Richter	A220 1N	400	0.8	0.25	0.45	0.495	0.555
10	2 ^{ème} carbonatation tube Richter	A220 2N	400	0.8	0.25	0.45	0.495	0.555
11	2 ^{ème} carbonatation tube Richter	A220 3N	400	0.8	0.25	0.45	0.495	0.555
Colonne 3					0.75		1.485	1.664
12	Agitateur Bac Tampon T240N	A240N	400	17	7.5	0.64	9.050	11.754
13	Pompe Sirop Carbonate	P241 1N	400	68	37	0.78	29.482	47.309
14	Pompe Sirop Carbonate (secours)	P241 2N	400	68	37	0.78	29.482	47.309
Colonne 4					81.50		68.014	106.152
15	Agitateur A253N	A253N	400	4.8	3	0.90	1.450	3.332
16	Agitateur A254N	A254N	400	4.8	2.2	0.66	2.498	3.329
17	Pompe lait de chaux P225N	P255N	400	8.2	4	0.70	4.057	5.697
18	Agitateur bac maturation lait de chaux T256N	A256N	400	6.4	3	0.68	3.251	4.424
19	Agitateur bac maturation lait de chaux T257N	A257N	400	6.4	3	0.68	3.251	4.424

Colonne 5					15.20		14.507	21.012
20	Pompe de distribution lait de chaux	P258 1N	400	21.5	11	0.74	10.019	14.879
21	Pompe de distribution lait de chaux (secours)	P258 2N	400	21.5	11	0.74	10.019	14.879
Colonne 6					22		20.038	29.758
22	Pompe sirop avant filtration (petit débit) 5 filtre	P301 1N	400	68	37	0.78	29.482	47.309
23	Pompe sirop avant filtration (petit débit) 4 filtre	P301 2N	400	68	37	0.78	29.482	47.309
24	Pompe a boues vers T 350N	P322 N	400	35	18.5	0.76	15.760	24.303
25	Agitateur bac a boues T320N	A320 1N	400	8.5	4	0.68	4.318	5.886
26	Agitateur bac a boues T320N	A320 2N	400	8.5	4	0.68	4.318	5.886
Colonne 7					108.50		83.360	136.825
27	Agitateur bac a boues T320N	A320 3N	400	8.5	4	0.68	4.318	5.886
28	Transporteur a vis	A328 N	400	18.1	11	0.87	6.183	12.619
29	Transporteur a vis	A329 N	400	18.1	11	0.87	6.183	12.619
Colonne 8					26		16.684	30.893
30	Pompe de recirculation 1 ^{er} et 2eme effet	P562 N	400	68	37	0.78	29.482	47.309
31	Pompe d'extraction sirop concentre 2eme effet	P565 1N	400	81	35	0.62	44.031	56.247
32	Pompe d'extraction sirop concentre 2eme effet	P565 2N	400	81	35	0.62	44.031	56.247
Colonne 9					107		135.371	172.552
33	Pompe sirop concentrateur 1 ^{er} effet	P501 1N	400	81	35	0.62	44.031	56.247
34	Pompe sirop concentrateur (secours)	P501 2N	400	81	35	0.62	44.031	56.247
35	Pompe de recirculation sur 1 ^{er} effet	P560 N	400	68	37	0.78	29.482	47.309
36	Pompe de recirculation sur 2eme effet	P561 N	400	68	37	0.78	29.482	47.309
Colonne 10					144		147.026	205.798
37	Vis de reprise sucre humide	A700 N	400	57	30	0.76	25.666	39.481
38	Vis d'alimentation sécheur	A701 N	400	42.5	22	0.75	19.476	29.382
39	Vis reprise sucre sortie sécheur	A710 N	400	55	30	0.79	23.363	38.024
40	Sas rotatif (sortie sécheur)	A711 N	400	11	5.5	0.72	5.288	7.630
Colonne 11					87.50		73.793	114.462
41	Élévateur sucre sortie sécheur	A712 N	400	18.1	9.2	0.74	8.435	12.482
42	Tamiseur egrugeonneur	S713 N	400	6.3	2.7	0.62	3.425	4.361
43	Sas rotatif (entrée)	A714 N	400	11	5.5	0.72	5.288	7.629

	refroidisseur)							
44	Sas rotatif (entrée refroidisseur)	A716 N	400	11	5.5	0.72	5.288	7.629
45	Elévateur sucre sec refroidi	A732 N	400	29.5	15	0.74	13.747	20.346
Colonne 12					37.90		36.183	52.399
46	Ventilateur de soufflage général	A725N	400	280	160	0.82	111.033	194.752
47	PPE de circulation eau froide	P745N	400	20	11	0.79	8.495	13.898
48	Pompe eau froide vers E721N	P746N	400	26.5	15	0.82	10.508	18.060
Colonne 13					186		130.036	226.948
49	Tombeur sécheur	A702N	400	203	110	0.78	88.011	140.876
50	Eclairage		400	173.2	120	1	0	120
Colonne 14					230		88.011	246.263
TOTAL					1121.85		876.442	1423.621

Tableau II.4 : Bilan de puissance installée du TGBT 3

Nº	Equipement	Repère de l'équipement	Un(V)	In(A)	Pn(KW)	cos φ	Q(KVAR)	S(KVA)
1	Centrifugeuse discontinue	S651N	400	582	315	0.78	250	402.150
2	Centrifugeuse discontinue	S652N	400	582	315	0.78	250	402.150
3	Centrifugeuse discontinue	S653N	400	582	315	0.78	250	402.150
4	Centrifugeuse discontinue	S654N	400	582	315	0.78	250	402.150
Colonne 1					1260		1000	1608.602
5	Centrifugeuse discontinue	S655N	400	582	315	0.78	250	402.150
6	Centrifugeuse discontinue	S657N	400	582	315	0.78	250	402.150
7	Centrifugeuse discontinue	S656N	400	582	315	0.78	250	402.150
Colonne 2					945		750	1206.451
8	Agitateur cuite Nº1 R1	A612N	400	199	110	0.79	84	138.405
9	Agitateur cuite Nº2 R1	A613N	400	199	110	0.79	84	138.405
10	Agitateur cuite Nº3 R1	A614N	400	199	110	0.79	84	138.405
Colonne 3					330		252	415.216
11	Pompe recirculation LS1	P615N	400	199	110	0.79	84	138.405
12	Agitateur cuite Nº4 R2/R3	A622N	400	199	110	0.79	84	138.405
13	Agitateur cuite Nº5 R2/R3	A632N	400	199	110	0.79	84	138.405

Colonne 4					330		252	415.216
14	Agitateur cuite №1 R1	A612N	400	155	75	0.69	77.32	107.719
15	Agitateur cuite №2 R1	A613N	400	155	75	0.69	77.32	107.719
16	Agitateur cuite №3 R1	A614N	400	155	75	0.69	77.32	107.719
Colonne 5					225		231.96	323.157
17	Agitateur cuite №4 R2/R3	A622N	400	155	75	0.69	77.32	107.719
18	Agitateur cuite №5 R2/R3	A632N	400	155	75	0.69	77.32	107.719
Colonne 6					150		154.64	215.438
19	Malaxeur coulée cuites R1	M617 1N	400	36.5	18.5	0.73	17.196	25.258
20	Malaxeur coulée cuites R1	M617 2N	400	36.5	18.5	0.73	17.196	25.258
21	Malaxeur coulée cuites R2/R3	M624N 3N	400	36.5	18.5	0.73	17.196	25.258
22	Pompe recirculation LS2	P625N	400	68	37	0.78	29.482	47.309
Colonne 7					92.5		81.07	122,998
23	Pompe recirculation LS3	P635N	400	68	37	0.78	29.482	47.309
24	Nocher distribution R1 sur centrifugeuses	M641N	400	35	18.5	0.76	15.762	24.041
25	Nocher distribution R2/R3 sur centrifugeuses	M642N	400	18.5	9	0.70	9.100	12.799
Colonne 8					64.5		54.344	84.342
26	Agitateur refondoir	A666N	400	4.8	2.2	0.66	2.494	3.326
27	Transporteur vibrant	A660N	400	35.9	18.5	0.74	16.664	24.898
Colonne 9					20.7		19.158	28.058
28	Pompe déclassé refondu	P668N	400	4.7	2.2	0.67	2.410	3.263
29	Pompe de reprise ER1	P671N	400	28.5	15	0.75	13.031	19.870
30	Pompe de reprise ER2/ER3	P676N	400	28.5	15	0.75	13.031	19.870
31	Pompe de reprise EP2/EP3	P678N	400	41.5	22	0.76	18.689	28.867
32	Pompe de reprise EP3 vers affinage	P691N	400	28.5	15	0.75	13.031	19.870
Colonne 10					69,2		60.192	90.067
33	Pompe à vide anneau liquide	P698N 1N	400	430	250	0.83	166.831	300.554
34	Pompe à vide anneau liquide	A698N 2N	400	430	200	0.67	220.50	297.692
35	Eclairage		400	173.2	120	1	0	120
Colonne 11					570		387.331	689.148
TOTAL					4054.7		3242.695	5193.603

Tableau II.5 : Bilan de puissance installée du TGBT 4

N°	Equipement	Repère de l'équipement	Un(V)	In(A)	Pn(KW)	cos φ	Q(KVAR)	S(KVA)
1	Compresseur air instrumentation	A983N	400	186	110	0,85	67,884	129,260
Colonne 1					110		67,884	129,260
2	Centrifugee discontinue MCA	S851N	400	582	315	0,78	252,328	403,602
3	Centrifugee continue MCA	S852N	400	138	75	0,78	59,830	95,941
4	Centrifugee continue MCA	S853N	400	138	75	0,78	59,830	95,941
5	Centrifugee continue MCB	S854N	400	138	75	0,78	59,830	95,941
6	Centrifugee continue MCC	S855N	400	138	75	0,78	59,830	95,941
7	Centrifugee continue MCB/MCC (secours)	S856N	400	138	90	0,94	32,619	95,729
8	Compresseur air instrumentation	A983N 1N	400	186	110	0,85	67,884	129,260
Colonne 2					815		592,151	1007,406
9	Compresseur air instrumentation	A983 2N	400	186	110	0,85	67,884	129,260
10	Agitateur cuite MCA	A812N	400	141	80	0,82	55,913	97,602
11	Agitateur cuite MCB	A822N	400	141	80	0,82	55,913	97,602
12	Agitateur cuite MCC	A832N	400	141	80	0,82	55,913	97,602
Colonne 3					350		235,623	421,922
13	Agitateur cuite MCA	A812N	400	97	54	0,80	40,322	67,393
14	Agitateur cuite MCB	A822N	400	97	54	0,80	40,322	67,393
15	Agitateur cuite MCA	A832N	400	97	54	0,80	40,322	67,393
Colonne 4					162		120,966	202,180
16	Malaxeur coulée MCA	M813N	400	22	11	0,72	10,577	15,260
17	Malaxeur MAGMA B	M814N	400	15,3	7,5	0,71	7,465	10,582
18	Pompe recirculation LSA	P818N	400	57	30	0,76	25,666	39,481
19	Malaxeur coulée MCB	M823N	400	22	11	0,72	10,577	15,260
20	Malaxeur MAGMA C	M824N	400	15,3	7,5	0,71	7,465	10,582
21	Pompe recirculation LSB	P828N	400	35	18,5	0,76	15,759	24,302
Colonne 5					85,50		77,509	115,403
22	Malaxeur coulée MCC	M833N	400	22	11	0,72	10,577	15,260
23	Pompe recirculation LSC	P838N	400	21,5	11	0,74	10,019	14,878
24	Nocher distribution centrifugeuse MCA	M841N	400	17	9	0,76	7,655	11,815
25	Nocher distribution centrifugeuse MCB	M842N	400	11,5	5,5	0,70	5,689	7,913
26	Nocher distribution	M843N	400	11,5	5,5	0,70	5,689	7,913

	centrifugeuse MCC							
27	Malaxeur sous vide de transfert pied MCC	M850N	400	11,5	7.5	0,94	2,718	7,977
28	Vis de reprise sucre A (réversible)	A860N	400	29,5	15	0,74	13,747	20,346
Colonne 6					64,50		56,094	85,479
29	Pompe de recirculation	P866N	400	21,5	11	0,74	10,019	14,878
30	Empâteur sucre B	M870N	400	42	22	0,76	18,912	29,011
31	Pompe MAGMA B	P871N	400	28,5	15	0,76	12,833	19,740
Colonne 7					48		41,764	63,626
32	Empâteur sucre C	M875N	400	42	22	0,76	18,912	29,011
33	Pompe MAGMA C	P876N	400	21,5	11	0,74	10,019	14,878
34	Pompe reprise ERA	P881N	400	15,5	7.5	0,70	7,668	10,726
35	Pompe reprise EPA	P883N	400	21,5	11	0,74	10,019	14,878
Colonne 8					51.50		46,618	69,466
36	Pompe reprise EPB	P886N	400	15,5	7.5	0,70	7,668	10,726
37	Pompe reprise MELASSE	P888N	400	11,4	5.5	0,70	5,640	7,878
Colonne 9					13		13,308	18,604
38	Pompe circulation eau adoucie chaude	P916 1N	400	21,5	11	0,74	10,019	14,878
39	Pompe circulation vers T850N	P917 1N	400	54	30	0,81	21,939	37,166
40	Pompe eau chaude de service	P918 1N	400	32,5	18.5	0,82	12,888	22,546
41	Pompe eau brute	P940 1N	400	54	30	0,80	22,447	37,468
42	Pompe eau brute (secours)	P940 2N	400	54	30	0,80	22,447	37,468
Colonne 10					119.50		89,74	149,444
43	Pompe eau adoucie froide (secours)	P919 1N	400	54	30	0,80	22,447	37,468
44	PPE d'extraction condensats	P975N	400	7,8	3	0,56	4,477	5,389
Colonne 11					33		26,924	42,589
45	Pompe d'extraction condensats	P981N	400	54	30	0,80	22,447	37,468
46	Pompe eau de clairçage	P985N	400	59	15	0,37	37,975	40,830
47	Pompe à vide anneau liquide	P 898 1 N	400	430	250	0,84	161,643	297,705
48	Eclairage		400	173,2	120	1	0	120
Colonne 12					415		222,065	470,678
TOTAL					2267		1590,646	2769,376

Le bilan de puissance effectué, donne une puissance installée de :

TGBT 2 = 1423.621 KVA ; TGBT 3 = 5192.132 KVA et TGBT 4 = 2769.376 KVA

II.4. Calcul de la puissance d'utilisation

II.4.1. 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. [3]

Elle est donnée par la relation suivante :

$$P_{ui} = K_u * P_n \quad (\text{II.1})$$

Avec P_{ui} : Puissance utile demandée.

P_n : Puissance nominale.

K_u : Facteur d'utilisation.

II.4.2. 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 :

$$P_{uj} = K_s * \sum_{i=1}^n P_{ui} \quad (\text{II.2})$$

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.

Les résultats calculés sont inscrit dans les tableaux II.6, II.7 et II.4 :

Tableau II.6 : Bilan de puissance d'utilisation TGBT 2

Nº	K_u	Pui (kw)	Qui (kvar)	Sui (kva)	Puj (kw)	Quj(kvar)	Suj (kva)
1	0.75	27.75	22.112	35.481			
2	0.75	27.75	22.112	35.481			
Colonne 1	$k_s=0.9$	55.5	44.224	70.965	49.95	39.802	63.868
3	0.75	0.188	0.371	0.416			
4	0.75	0.188	0.371	0.416			
5	0.75	0.188	0.371	0.416			
6	0.75	0.188	0.371	0.416			
7	0.75	0.188	0.371	0.416			
8	0.75	0.188	0.371	0.416			
Colonne 2	$k_s=0.7$	1.125	2.226	2.494	0.787	1.558	1.745
9	0.75	0.188	0.371	0.416			
10	0.75	0.188	0.371	0.416			
11	0.75	0.188	0.371	0.416			
Colonne 3	$k_s=0.9$	0.564	1.113	1.247	0.507	1.002	1.123
12	0.75	5.625	6.788	8.815			
13	0.75	27.75	22.112	35.482			
14	0.75	27.75	22.112	35.482			
Colonne 4	$k_s=0.9$	61.125	51.012	79.615	55.012	45.911	71.653
15	0.75	2.25	1.087	2.499			
16	0.75	1.65	1.874	2.497			
17	0.75	3	3.023	4.273			
18	0.75	2.25	2.438	3.318			
19	0.75	2.25	2.438	3.318			
Colonne 5	$k_s=0.7$	11.40	10.86	15.745	7.98	7.602	11.021
20	0.75	8.25	7.514	11.159			
21	0.75	8.25	7.514	11.159			
Colonne 6	$k_s=0.9$	16.5	15.028	22.318	14.85	13.525	20.064
22	0.75	27.75	22.112	35.482			
23	0.75	27.75	22.112	35.482			
24	0.75	13.875	11.82	18.227			
25	0.75	3	3.238	4.415			
26	0.75	3	3.238	4.415			
Colonne 7	$k_s=0.7$	75.375	62.52	97.929	52.762	43.764	68.550
27	0.75	3	3.238	4.415			
28	0.75	8.25	4.637	9.464			
29	0.75	8.25	4.637	9.464			
Colonne 8	$k_s=0.9$	19.5	12.512	23.169	17.55	11.261	20.852
30	0.75	27.75	22.112	35.482			
31	0.75	26.25	33.023	42.185			
32	0.75	26.25	33.023	42.185			
Colonne 9	$k_s=0.9$	80.25	88.158	119.234	72.225	79.342	107.292

33	0.75	26.25	33.023	42.185			
34	0.75	26.25	33.023	42.185			
35	0.75	27.75	22.112	35.482			
36	0.75	27.25	22.112	35.482			
Colonne 10	$k_s=0.8$	108	110.27	154.348	86.4	88.216	123.478
37	0.75	22.5	19.249	29.611			
38	0.75	16.5	14.607	22.036			
39	0.75	22.5	17.522	28.518			
40	0.75	4.125	3.966	5.722			
Colonne 11	$k_s=0.8$	65.625	55.344	85.846	52.5	44.275	68.676
41	0.75	6.9	6.326	9.362			
42	0.75	2.025	2.568	3.271			
43	0.75	4.125	3.966	5.722			
44	0.75	4.125	3.966	5.722			
45	0.75	11.25	10.310	15.259			
Colonne 12	$k_s=0.7$	28.425	27.136	39.298	19.897	18.995	27.508
46	0.75	120	83.274	146.064			
47	0.75	8.25	6.371	10.423			
48	0.75	11.25	7.881	13.545			
Colonne 13	$k_s=0.9$	139.5	97.526	170.210	125.55	87.773	153.189
49	0.75	82.5	66.008	105.657			
50	1	120	0	120			
Colonne 14	$k_s=0.9$	202.5	66.008	212.986	182.25	59.407	191.688
TOTAL		865.389	643.937	1078.681	738.22	542.433	916.079

Tableau II.7 : Bilan de puissance d'utilisation TGBT 3

Nº	K_u	Pui (kw)	Qui (kvar)	Sui (kva)	Puj (kw)	Quj (kvar)	Suj (kva)
1	0.75	236.25	187.5	301.612			
2	0.75	236.25	187.5	301.612			
3	0.75	236.25	187.5	301.612			
4	0.75	236.25	187.5	301.612			
Colonne 1	$k_s=0.8$	945	750	1206.45	756	600	965.161
5	0.75	236.25	187.5	301.612			
6	0.75	236.25	187.5	301.612			
7	0.75	236.25	187.5	301.612			
Colonne 2	$k_s=0.9$	708.75	562.5	904.836	637.875	506.25	814.355
8	0.75	82.5	63	103.803			
9	0.75	82.5	63	103.803			
10	0.75	82.5	63	103.803			
Colonne 3	$k_s=0.9$	247.5	189	311.409	222.75	170.1	280.270
11	0.75	82.5	63	103.803			
12	0.75	82.5	63	103.803			
13	0.75	82.5	63	103.803			
Colonne 4	$k_s=0.9$	247.5	189	311.409	222.75	170.1	280.270

14	0.75	75	57.99	80.789			
15	0.75	75	57.99	80.789			
16	0.75	75	57.99	80.789			
Colonne 5	$k_s=0.9$	225	173.97	284.412	202.5	156.573	255.971
17	0.75	56.25	57.99	80.789			
18	0.75	56.25	57.99	80.789			
Colonne 6	$k_s=0.9$	112.5	115.98	161.578	101.25	104.382	145.401
19	0.75	13.875	12.897	18.944			
20	0.75	13.875	12.897	18.944			
21	0.75	13.875	12.897	18.944			
22	0.75	27.75	22.112	35.481			
Colonne 7	$k_s=0.8$	69,375	60,803	92,313	55.5	48.642	73.850
23	0.75	27.75	22.112	35.481			
24	0.75	13.875	11.822	18.030			
25	0.75	6.75	6.825	9.599			
Colonne 8	$k_s=0.9$	48.375	40.759	63.11	43.537	36,683	57.799
26	0.75	1.65	1.870	2.495			
27	0.75	13.875	12.498	18.674			
Colonne 9	$k_s=0.9$	15.525	14.368	21.169	13.973	12.932	19.038
28	0.75	1.65	1.807	2.447			
29	0.75	11.25	9.773	14.903			
30	0.75	11.25	9.773	14.903			
31	0.75	16.5	14.016	21.650			
32	0.75	11.25	9.773	14.903			
Colonne 10	$k_s=0.8$	51.9	45.142	68.806	41.52	36.114	55.028
33	0.75	187.5	125.123	225.415			
34	0.75	150	165.375	223.269			
35	1	120	0	120			
Colonne 11	$k_s=0.9$	457.5	290.498	568.684	411.75	261.448	487.742
TOTAL		3128.925	2432.02	3962.940	2709.405	2103.134	3429.875

Tableau II.8 : Bilan de puissance d'utilisation TGBT 4

N°	K_u	Pui (kw)	Qui (kvar)	Sui (kva)	Puj (kw)	Quj (kvar)	Suj (kva)
1	0.75	82.5	50.913	96.945			
Colonne 1	$k_s=0.9$	82.5	50.913	96.945	74.25	45.822	87.251
2	0.75	236.25	189.246	302.202			
3	0.75	56.25	44.873	71.956			
4	0.75	56.25	44.873	71.956			
5	0.75	56.25	44.873	71.956			
6	0.75	56.25	44.873	71.956			
7	0.75	67.5	24.464	71.796			
8	0.75	82.5	50.913	96.945			

Colonne 2	$k_s=0.7$	611.25	444.115	755.556	427.875	310.881	528.889
9	0.75	82.5	50.913	96.945			
10	0.75	60	41.935	73.202			
11	0.75	60	41.935	73.202			
12	0.75	60	41.935	73.202			
Colonne 3	$k_s=0.8$	262.5	176.718	316.442	210	141.374	253.153
13	0.75	40.5	30.242	50.545			
14	0.75	40.5	30.242	50.545			
15	0.75	40.5	30.242	50.545			
Colonne 4	$k_s=0.9$	121.5	90.726	151.636	109.35	81.653	136.472
16	0.75	8.25	7.933	11.445			
17	0.75	5.625	5.599	7.936			
18	0.75	22.5	19.245	29.611			
19	0.75	8.25	7.933	11.445			
20	0.75	5.625	5.599	7.936			
21	0.75	13.875	11.819	18.226			
Colonne 5	$k_s=0.7$	64.125	58.128	86.549	44.887	40.689	60.584
22	0.75	8.25	7.933	11.445			
23	0.75	8.25	7.514	11.158			
24	0.75	6.75	5.714	8.861			
25	0.75	4.125	4.267	5.935			
26	0.75	4.125	4.267	5.935			
27	0.75	5.625	2.038	5.983			
28	0.75	11.25	10.31	15.259			
Colonne 6	$k_s=0.7$	48.375	42.043	64.092	33.862	29.43	44.864
29	0.75	8.25	7.514	11.158			
30	0.75	16.5	14.184	21.758			
31	0.75	11.25	9.625	14.805			
Colonne 7	$k_s=0.9$	36	31.323	47.719	32.4	28.191	42.947
32	0.75	16.5	14.184	21.758			
33	0.75	8.25	7.514	11.158			
34	0.75	5.625	5.751	8.045			
35	0.75	8.25	7.514	11.158			
Colonne 8	$k_s=0.8$	38.625	34.963	52.099	30.9	27.97	41.679
36	0.75	5.625	5.751	8.045			
37	0.75	4.125	4.23	5.908			
Colonne 9	$k_s=0.9$	9.75	9.981	13.953	8.775	8.983	12.558
38	0.75	8.25	7.514	11.158			
39	0.75	22.5	16.454	27.874			
40	0.75	13.875	9.666	16.909			
41	0.75	22.5	16.835	28.101			
42	0.75	22.5	16.835	28.101			
Colonne 10	$k_s=0.7$	89.625	67.304	112.082	62.737	47.112	78.457

43	0.75	22.5	16.835	28.101			
44	0.75	2.25	3.358	4.042			
Colonne 11	$k_s=0.9$	24.75	20.193	31.942	22.275	18.174	28.748
45	0.75	22.5	16.835	28.101			
46	0.75	11.25	28.481	30.623			
47	0.75	187.5	121.232	223.278			
48	1	120	0	120			
Colonne 12	$k_s=0.8$	341.25	166.548	379.723	273	133.238	303.778
TOTAL		1730.25	1192.955	2101.643	1330.311	913.517	1613.766

II.5. La Charge totale de la TGBT

Tableau II.9 : Valeurs des puissances de la raffinerie de sucre liquide

Charges	P_{inst} (kw)	P_{uj} (kw)	Q_{uj} (kvar)	S_{uj} (kva)
TGBT 2	1113,85	738.22	542.433	916.079
TGBT 3	4056,9	2709,405	2103.134	3429.875
TGBT 4	2267	1330.311	913.517	1613.766

II.6. Calcul de facteur de puissance

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

Tableau II.10 : Valeurs des facteurs de puissances

Charges	P_{uj} (kw)	S_{uj} (kva)	cos φ
TGBT 2	738.22	916.079	0.81
TGBT 3	2709,405	3429.875	0.80
TGBT 4	1330.311	1613.766	0.82

II.7. Conclusion

Après avoir réalisé le bilan de puissance de l'installation en utilisant les différents coefficients, on a pu estimer les puissances utiles des différents récepteurs et la puissance totale consommée afin de déterminer le facteur de puissance.

Avec l'utilisation de facteur d'utilisation et le facteur simultanéité qui nous a permis de déduire le facteur de puissance des différents tableaux général basse tension qui présente un

facteur de puissance moyen entraînant des pertes d'énergie importantes non exploitées. La bonne maîtrise de la puissance réactive consommée par l'installation permet alors de limiter les impacts économique, diminuer la facture énergétique et d'obtenir une exploitation optimale.

Le calcul des différents circuits nous servira au dimensionnement des appareils de protection et des sections des câbles.

Chapitre III : Dimensionnement et choix des éléments d'installation

III.1. Introduction

L'étude dans le domaine d'électricité est basée sur la connaissance de la consommation des récepteurs, et par conséquent les dimensions des équipements de transit de la puissance et des protections électriques.

Nous allons étudier dans ce chapitre les caractéristiques de chaque partie de l'installation. A cet effet, nous allons vérifier les sections 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.

III.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. [6]

III.3. Caractéristiques des câbles

Les câbles basse tension qui sont utilisés dans cette installation sont de type U1000R2V multipolaire, dont les caractéristiques sont données ci-dessous selon la norme NFC 32-321. [7]

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

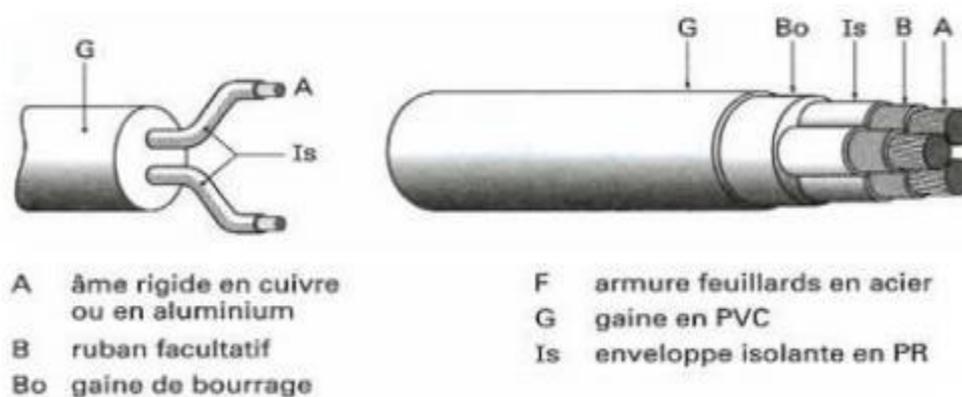


Figure III.1 : Constitution d'un câble

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.

III.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.

III.5. Détermination des courants influençant sur la section

III.5.1. Courant d'emploi I_e

Au niveau des circuits terminaux, c'est le courant qui correspond à la puissance apparente des récepteurs. [7] [8]

$$I_e = P_u \times a \times b \times c \times d \times e \quad (\text{III.1})$$

Avec :

P_u : Puissance utile du récepteur [kW] (indique sur la plaque signalétique de l'appareil).

a : facteur tenant compte du facteur de puissance et du rendement des récepteurs.

$$A = \frac{1}{\eta \cdot \cos \varphi} \quad (\text{III.2})$$

b : (K_u) facteur d'utilisation des appareils.

On peut prendre 0,75 pour les moteurs et 1 pour l'éclairage.

c : facteur de simultanéité.

d : facteur tenant compte des prévisions d'extension.

e : facteur de conversion des puissances en intensités.

$$\text{En monophasé : } e = \frac{1000}{V}$$

$$\text{En triphasé : } e = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot U}$$

III.5.2. 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. [7] [8]

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

- ✓ Constitution du câble (cuivre, aluminium, isolation PVC ou PR, nombre de conducteurs actifs).
- ✓ 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.

$$I_{ad} \geq \frac{I_e}{K} \quad (\text{III.3})$$

I: Courant d'emploi.

K : facteur de correction ($K=K1 * K2 * K3 * Kn * Ks * \dots$).

III.5.3. 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 :

$$I_f = \frac{I_e}{K} \leq I_{ad} \quad (\text{III.4})$$

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

III.6. Calcul et choix des sections des câbles

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

- ✓ Calcul de la section technique.
- ✓ Calcul de la section économique.

III.6.1. 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.

III.6.2. 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 : [9]

- ✓ 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 .

Les facteurs de correction K_1, K_2, K_3, K_n et K_s peuvent être calculer de la manière suivante :

- 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 K_1 prend en compte le mode de pose comme le montre le tableau N°2 de l'annexe 1.
- Le facteur de correction K_2 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 K_3 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 (élément N°1 ; équipement : pompe d'alimentation ; repère de l'équipement : P201 1N)

$$\text{On a: } I_f = \frac{I_e}{K_1 + K_2 + K_3 + K_n + K_s} \quad (\text{III.5})$$

$I_n = 68\text{A}$, $U_n = 400\text{V}$, $\cos \varphi = 0.78$

- **Le courant d'emploi**

$$I_e = P_u \times a \times b \times c \times d \times e$$

-Le facteur (a) est calculé à base de la formule suivante :

$$a = \frac{1}{\eta \cdot \cos \varphi} \quad (\text{III.6})$$

$$a = 1 / (0.98 \cdot 0.78) = 1.3$$

- ✓ le facteur d'utilisation est estimé à : $b = 0,75$ pour les moteurs ; $b = 1$ pour l'éclairage et le chauffage.
- ✓ Et le facteur de simultanéité est estimé à : $c = 0,9$.
- ✓ Le facteur d'extension dans une installation industrielle : $d = 1,2$.
- ✓ Le facteur de conversion est :

$$e = \frac{1000}{\sqrt{3} \cdot 400} = 1,4$$

$$\text{Donc } I_e = 37 \cdot 1,3 \cdot 0,75 \cdot 0,9 \cdot 1,2 \cdot 1,4 = 54,89 \text{ A}$$

Le courant d'emploi est estimé à $I_e = 54,89 \text{ A}$

On utilise un câble multiconducteur alors on prend la lettre E.

$$I_f = I_e / (k_1 + k_2 + k_3 + k_n + k_s) = 54,89 / (1 + 0,78 + 0,91 + 0,84 + 1) = 91,484 \text{ A}$$

Les résultats de calcul sont inscrits dans les tableaux III.

Tableau III.1 : valeurs des sections en fonction de l'échauffement de TGBT2

N°	I_e (A)	K	I_f (A)	I_{ad} (A)	S_j (mm ²)
1	54,890	0,6	91,484	100	16
2	54,890	0,6	91,484	100	16
3	0,643	0,6	1,071	23	1,5
4	0,643	0,6	1,071	23	1,5
5	0,643	0,6	1,071	23	1,5
6	0,643	0,6	1,071	23	1,5
7	0,643	0,6	1,071	23	1,5
8	0,643	0,6	1,071	23	1,5
9	0,643	0,6	1,071	23	1,5
10	0,643	0,6	1,071	23	1,5
11	0,643	0,6	1,072	23	1,5
12	13,560	0,6	22,600	23	1,5
13	54,890	0,6	91,484	100	16
14	54,890	0,6	91,484	100	16
15	3,857	0,6	6,429	23	1,5
16	3,857	0,6	6,429	23	1,5
17	6,612	0,6	11,020	23	1,5
18	5,105	0,6	8,508	23	1,5
19	5,105	0,6	8,508	23	1,5
20	17,201	0,6	28,668	31	2,5
21	17,201	0,6	28,668	31	2,5
22	54,881	0,6	91,468	100	16
23	54,890	0,6	91,484	100	16
24	28,167	0,6	46,945	54	6
25	6,807	0,6	11,345	23	1,5
26	6,807	0,6	11,345	23	1,5
27	6,807	0,6	11,345	23	1,5
28	14,631	0,6	24,384	31	2,5
29	14,631	0,6	24,384	31	2,5
30	54,890	0,6	91,484	100	16
31	65,323	0,6	108,871	127	25

32	65,323	0,6	108,871	127	25
33	65,323	0,6	108,871	127	25
34	65,323	0,6	108,871	127	25
35	54,890	0,6	91,484	100	16
36	54,890	0,6	91,484	100	16
37	45,677	0,6	76,128	100	16
38	33,943	0,6	56,571	75	10
39	43,954	0,6	73,256	75	10
40	8,839	0,6	14,732	23	1,5
41	14,386	0,6	23,977	31	2,5
42	5,039	0,6	8,399	23	1,5
43	8,839	0,6	14,732	23	1,5
44	8,839	0,6	14,732	23	1,5
45	23,456	0,6	39,093	42	4
46	225,784	0,6	376,307	395	150
47	16,112	0,6	26,854	31	2,5
48	21,167	0,6	35,279	42	4
49	163,187	0,6	271,978	298	95
50	185,143	0,6	308,571	346	120

Tableau III.2 : valeurs des sections en fonction de l'échauffement de TGBT3

Nº	Ie (A)	K	If (A)	Iad (A)	Sj (mm ²)
1	467,308	0,6	778,846	868	500
2	467,308	0,6	778,846	868	500
3	467,308	0,6	778,846	868	500
4	467,308	0,6	778,846	868	500
5	467,308	0,6	778,846	868	500
6	467,308	0,6	778,846	868	500
7	467,308	0,6	778,846	868	500
8	161,121	0,6	268,535	298	95
9	161,121	0,6	268,535	298	95
10	161,121	0,6	268,535	298	95
11	161,121	0,6	268,535	298	95
12	161,121	0,6	268,535	298	95
13	161,121	0,6	268,535	298	95
14	125,776	0,6	209,627	246	70
15	125,776	0,6	209,627	246	70
16	125,776	0,6	209,627	246	70
17	1,258	0,6	2,096	23	1,5
18	1,258	0,6	2,096	23	1,5
19	29,325	0,6	48,875	54	6
20	29,325	0,6	48,875	54	6
21	29,325	0,6	48,875	54	6

22	54,890	0,6	91,484	100	16
23	54,890	0,6	91,484	100	16
24	28,167	0,6	46,945	54	6
25	14,878	0,6	24,796	31	2,5
26	3,857	0,6	6,429	23	1,5
27	28,929	0,6	48,214	54	6
28	3,800	0,6	6,333	23	1,5
29	23,143	0,6	38,571	42	4
30	23,143	0,6	38,571	42	4
31	33,496	0,6	55,827	75	10
32	23,143	0,6	38,571	42	4
33	348,537	0,6	580,895	621	300
34	345,416	0,6	575,693	621	300
35	185,143	1	185,143	192	50

Tableau III.3 : valeurs des sections en fonction de l'échauffement de TGBT4

N°	Ie (A)	K	If (A)	Iad (A)	Sj (mm2)
1	149,748	0,6	249,580	298	95
2	467,308	0,6	778,846	868	500
3	111,264	0,6	185,440	192	50
4	111,264	0,6	185,440	192	50
5	111,264	0,6	185,440	192	50
6	111,264	0,6	185,440	192	50
7	110,790	0,6	184,650	192	50
8	149,748	0,6	249,580	298	95
9	149,748	0,6	249,580	298	95
10	112,892	0,6	188,153	192	50
11	205,753	0,6	342,922	346	120
12	112,892	0,6	188,153	192	50
13	78,107	0,6	130,179	158	35
14	78,107	0,6	130,179	158	35
15	78,107	0,6	130,179	158	35
16	17,679	0,6	29,464	31	2,5
17	12,223	0,6	20,372	23	1,5
18	45,677	0,6	76,128	100	16
19	17,679	0,6	29,464	31	2,5
20	12,223	0,6	20,372	23	1,5
21	28,167	0,6	46,945	54	6
22	16,316	0,6	27,193	31	2,5
23	17,201	0,6	28,668	31	2,5
24	13,703	0,6	22,838	23	1,5
25	9,093	0,6	15,155	23	1,5
26	9,093	0,6	15,155	23	1,5

27	9,236	0,6	15,393	23	1,5
28	23,456	0,6	39,093	42	4
29	17,201	0,6	28,668	31	2,5
30	33,496	0,6	55,827	75	10
31	22,838	0,6	38,064	42	4
32	33,496	0,6	55,827	75	10
33	17,201	0,6	28,668	31	2,5
34	12,400	0,6	20,667	23	1,5
35	17,201	0,6	28,668	31	2,5
36	12,400	0,6	20,667	23	1,5
37	9,093	0,6	15,155	23	1,5
38	17,201	0,6	28,668	31	2,5
39	43,954	0,6	73,256	75	10
40	26,097	0,6	43,495	54	6
41	43,393	0,6	72,321	75	10
42	43,393	0,6	72,321	75	10
43	43,393	0,6	72,321	75	10
44	6,199	0,6	10,332	23	1,5
45	43,393	0,6	72,321	75	10
46	46,911	0,6	78,185	100	16
47	344,388	0,6	573,980	621	300
48	185,143	1	185,143	192	50

III.7. Vérification de la chute de tension

L'impédance d'un câble est faible mais non nulle, lorsqu'il est traversé par le courant de service, il y a une chute de tension entre son origine et son extrémité. La norme NF C 15-100 impose que la chute de tension entre l'origine de l'installation BT et tout point d'utilisation n'excède pas les valeurs indiquées dans le tableau III.4. [6]

Tableau III.4 : Valeurs limites admises de chutes de tension

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

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

Tableau III.5 : Chutes de tension de différents conducteurs

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

I_e : Courant d'emploi dans le circuit.

R : Résistance d'un conducteur en (Ω).

U_n: Tension nominale entre phases.

V_n: Tension nominale simple.

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

L : longueur du câble.

cos φ : Facteur de puissance.

- Pour le cuivre : $\rho = 22,5 \Omega \cdot \text{Mm}^2/\text{Km}$.
- Pour l'aluminium : $\rho = 36 \Omega \cdot \text{Mm}^2/\text{Km}$.

Pour le cuivre :

$$R = \frac{\rho \left(\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{km}} \right) * L(\text{km})}{S(\text{mm}^2)} \quad (\text{III.7})$$

Connaissant le courant I_e, le cos φ 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).

Confirmer au cahier de charge la chute de tension est prise 8 %.

Exemple de calcul :

Élément N°1 ; équipement : pompe d'alimentation ; repère de l'équipement : P201 1N

I_e=54,54A ; U=400V ; L=60m ; cos φ =0,78 ; S_j=16mm²

R=22,5*0,06/16=0,084 Ω

$$\Delta U = \sqrt{3} * I_e (R \cos \varphi + \lambda L \sin \varphi) \quad (\text{III.8})$$

$$\Delta U = \sqrt{3} * 54,54 * (0,084 * 0,78 + 0,08 * 0,06 * 0,62)$$

$$\Delta U = 6,463 \text{ V}$$

$$\text{Soit en \% : } (6,463/400) * 100 = 1,634 \% < 8 \% \Rightarrow S_z = 16 \text{mm}^2$$

Si $\Delta U > 8 \%$ on doit augmenter la section

Exemple : (élément n=16 de TGBT4)

$\Delta U = 11.267 \%$, $\lambda = 0.08$, $L \text{ (Km)} = 60\text{m}$ $\cos\varphi = 0.72$

$$R = \frac{22.5 \cdot 0.06}{4} = 0.335 \Omega$$

Donc : $\Delta U = \sqrt{3} \cdot 17.679 \cdot (0.335 \cdot 0.72 + 0.08 \cdot 0.06 \cdot 0.69) = 7.452 \%$

$S_z = 4 \text{ (mm}^2\text{)}$

On récapitule les résultats de calcul des chutes de tension dans les différents départs dans les tableaux suivants :

Tableau III.6 : valeurs des sections calculées par rapport à la chute de tension TGBT2

Nº	R (Ω)	X(Ω)	Cos φ	L (Km)	ΔU(%)	Sj(mm2)	Sz(mm2)
1	0,084	0,005	0,78	0,06	1,634	16	16
2	0,084	0,005	0,78	0,06	1,634	16	16
3	0,900	0,005	0,45	0,06	0,114	1,5	1,5
4	0,900	0,005	0,45	0,06	0,114	1,5	1,5
5	0,900	0,005	0,45	0,06	0,114	1,5	1,5
6	0,900	0,005	0,45	0,06	0,114	1,5	1,5
7	0,900	0,005	0,45	0,06	0,114	1,5	1,5
8	0,900	0,005	0,45	0,06	0,114	1,5	1,5
9	0,900	0,005	0,45	0,06	0,114	1,5	1,5
10	0,900	0,005	0,45	0,06	0,114	1,5	1,5
11	0,900	0,005	0,45	0,06	0,114	1,5	1,5
12	0,900	0,005	0,64	0,06	3,400	1,5	1,5
13	0,098	0,006	0,78	0,07	1,907	16	16
14	0,098	0,006	0,78	0,07	1,907	16	16
15	1,800	0,010	0,9	0,12	2,710	1,5	1,5
16	1,800	0,010	0,66	0,12	1,994	1,5	1,5
17	1,800	0,010	0,7	0,12	3,623	1,5	1,5
18	1,800	0,010	0,68	0,12	2,718	1,5	1,5
19	1,800	0,010	0,68	0,12	2,718	1,5	1,5
20	1,080	0,010	0,74	0,12	5,991	2,5	2,5
21	1,080	0,010	0,74	0,12	5,991	2,5	2,5
22	0,113	0,006	0,78	0,08	2,191	16	16
23	0,113	0,006	0,78	0,08	2,179	16	16
24	0,300	0,006	0,76	0,08	2,828	6	6
25	1,200	0,006	0,68	0,08	2,416	1,5	1,5
26	1,200	0,006	0,68	0,08	2,416	1,5	1,5

27	1,350	0,007	0,68	0,09	2,718	1,5	1,5
28	0,450	0,004	0,87	0,05	2,490	2,5	2,5
29	0,450	0,004	0,87	0,05	2,490	2,5	2,5
30	0,098	0,006	0,78	0,07	1,907	16	16
31	0,063	0,006	0,62	0,07	1,227	25	25
32	0,063	0,006	0,62	0,07	1,227	25	25
33	0,054	0,005	0,62	0,06	1,052	25	25
34	0,054	0,005	0,62	0,06	1,052	25	25
35	0,098	0,006	0,78	0,07	1,907	16	16
36	0,098	0,006	0,78	0,07	1,907	16	16
37	0,084	0,005	0,76	0,06	1,328	16	16
38	0,158	0,006	0,75	0,07	1,788	10	10
39	0,135	0,005	0,79	0,06	2,086	10	10
40	0,900	0,005	0,72	0,06	2,490	1,5	1,5
41	0,630	0,006	0,74	0,07	2,923	2,5	2,5
42	0,900	0,005	0,62	0,06	1,224	1,5	1,5
43	0,900	0,005	0,72	0,06	2,490	1,5	1,5
44	1,200	0,006	0,72	0,08	3,320	1,5	1,5
45	0,506	0,007	0,74	0,09	3,847	4	4
46	0,012	0,006	0,82	0,08	1,317	150	150
47	0,855	0,008	0,79	0,095	4,739	2,5	2,5
48	0,534	0,008	0,82	0,095	4,051	4	4
49	0,014	0,005	0,78	0,06	0,996	95	95

Tableau III.7 : valeurs des sections calculées par rapport à la chute de tension TGBT3

Nº	R (Ω)	X(Ω)	Cos φ	L (Km)	ΔU(%)	Sj(mm2)	Sz(mm2)
1	0,002	0,003	0,78	0,04	4,256	500	500
2	0,002	0,003	0,78	0,04	4,256	500	500
3	0,002	0,003	0,78	0,04	4,256	500	500
4	0,002	0,003	0,78	0,04	4,256	500	500
5	0,002	0,003	0,78	0,04	4,256	500	500
6	0,002	0,003	0,78	0,04	4,256	500	500
7	0,002	0,003	0,78	0,04	4,256	500	500
8	0,017	0,006	0,79	0,07	3,263	95	95
9	0,017	0,006	0,79	0,07	3,263	95	95
10	0,017	0,006	0,79	0,07	3,263	95	95
11	0,014	0,005	0,79	0,06	2,797	95	95
12	0,017	0,006	0,79	0,07	3,263	95	95
13	0,017	0,006	0,79	0,07	3,263	95	95

14	0,023	0,006	0,69	0,07	2,736	70	70
15	0,023	0,006	0,69	0,07	2,736	70	70
16	0,023	0,006	0,69	0,07	2,736	70	70
17	1,050	0,006	0,69	0,07	0,413	1,5	1,5
18	1,050	0,006	0,69	0,07	0,413	1,5	1,5
19	0,225	0,005	0,73	0,06	2,461	6	6
20	0,225	0,005	0,73	0,06	2,461	6	6
21	0,225	0,005	0,73	0,06	2,461	6	6
22	0,084	0,005	0,78	0,06	2,262	16	16
23	0,084	0,005	0,78	0,06	2,262	16	16
24	0,150	0,003	0,76	0,04	1,630	6	6
25	0,360	0,003	0,7	0,04	1,749	2,5	2,5
26	0,750	0,004	0,66	0,05	0,867	1,5	1,5
27	0,113	0,002	0,74	0,03	1,219	6	6
28	0,750	0,004	0,67	0,05	0,867	1,5	1,5
29	0,225	0,003	0,75	0,04	1,887	4	4
30	0,225	0,003	0,75	0,04	1,887	4	4
31	0,090	0,003	0,76	0,04	1,277	10	10
32	0,281	0,004	0,75	0,05	2,359	4	4
33	0,005	0,006	0,83	0,07	5,561	300	300
34	0,005	0,006	0,67	0,07	5,710	300	300

Tableau III.8 : valeurs des sections calculées par rapport à la chute de tension TGBT4

Nº	R (Ω)	X(Ω)	Cos φ	L (Km)	ΔU (%)	Sj(mm ²)	Sz(mm ²)
1	0,009	0,003	0,85	0,04	2,306	95	95
2	0,001	0,002	0,78	0,03	1,310	500	500
3	0,014	0,002	0,78	0,03	2,136	50	50
4	0,014	0,002	0,78	0,03	2,136	50	50
5	0,014	0,002	0,78	0,03	2,136	50	50
6	0,014	0,002	0,78	0,03	2,136	50	50
7	0,014	0,002	0,94	0,03	2,491	50	50
8	0,009	0,003	0,85	0,04	2,302	95	95
9	0,009	0,003	0,85	0,04	2,302	95	95
10	0,036	0,006	0,82	0,08	6,478	50	50
11	0,015	0,006	0,82	0,08	5,677	120	120
12	0,036	0,006	0,82	0,08	6,478	50	50
13	0,051	0,006	0,8	0,08	6,052	35	35
14	0,051	0,006	0,8	0,08	6,052	35	35
15	0,051	0,006	0,8	0,08	6,052	35	35
16	0,540	0,005	0,72	0,06	11,967	2,5	4

17	0,900	0,005	0,71	0,06	13,566	1,5	4
18	0,056	0,003	0,76	0,04	3,460	16	16
19	0,315	0,003	0,72	0,035	6,962	2,5	2,5
20	0,525	0,003	0,71	0,035	7,900	1,5	1,5
21	0,150	0,003	0,76	0,04	5,606	6	6
22	0,450	0,004	0,72	0,05	9,194	2,5	4
23	0,315	0,003	0,74	0,035	6,960	2,5	2,5
24	0,525	0,003	0,76	0,035	9,478	1,5	2,5
25	0,525	0,003	0,7	0,035	5,795	1,5	1,5
26	0,525	0,003	0,7	0,035	5,795	1,5	1,5
27	0,600	0,003	0,94	0,04	9,020	1,5	2,5
28	0,225	0,003	0,74	0,04	6,798	4	4
29	0,360	0,003	0,74	0,04	7,958	2,5	2,5
30	0,090	0,003	0,76	0,04	4,024	10	10
31	0,225	0,003	0,76	0,04	6,797	4	4
32	0,090	0,003	0,76	0,04	4,024	10	10
33	0,360	0,003	0,74	0,04	7,958	2,5	2,5
34	0,600	0,003	0,7	0,04	9,034	1,5	2,5
35	0,360	0,003	0,74	0,04	7,958	2,5	2,5
36	0,600	0,003	0,7	0,04	9,034	1,5	2,5
37	0,600	0,003	0,7	0,04	6,625	1,5	1,5
38	0,900	0,008	0,74	0,1	20,009	2,5	10
39	0,225	0,008	0,81	0,1	14,299	10	16
40	0,375	0,008	0,82	0,1	14,140	6	10
41	0,225	0,008	0,8	0,1	13,963	10	16
42	0,225	0,008	0,8	0,1	13,963	10	16
43	0,225	0,008	0,8	0,1	13,963	10	16
44	0,900	0,005	0,56	0,06	5,437	1,5	1,5
45	0,158	0,006	0,8	0,07	9,679	10	16
46	0,098	0,006	0,37	0,07	3,322	16	16
47	0,006	0,006	0,84	0,08	5,062	300	300

III.8. Poste de transformation [10]

Le poste de transformation (30kV/400V) est constitué de deux (02) cellules :

- Une cellule d'arrivée et de protection, qui assure la liaison entre le réseau d'alimentation et le transformateur.
- Une cellule transformatrice (transformateur), qui assure l'alimentation des récepteurs BT par un jeu de barre (JDB).

III.8.1. Source de secours (centrale groupe)

Pour parer à ces multiples coupures et pannes qui perturbent le processus de production, CEVITAL s'est équipée d'une centrale groupe composée de sept groupes électrogènes de puissance globale de 12,2MVA montés en parallèle et de sept transformateurs élévateurs de 400V/30KV.

III.8.2. Caractéristique du transformateur

Tableau III.9 : Caractéristique du transformateur

Tension nominale(V)	Courant nominal(A)	couplage	Puissance nominale (kVA)
400	5000	ΔYN11	3150

III.8.3. Dimensionnement du transformateur

Dans installation BT, les récepteurs ne fonctionnent pas tous ensembles, ni même bien souvent à pleine charge. Il n'est donc pas nécessaire, ni même souhaitable que la puissance des transformateurs soit égale à la somme des puissances installés.

Par contre, il faut prévoir dans le temps une certaine croissance des besoins en énergie, des extensions. Une fois la puissance d'utilisation globale calculée, on détermine la puissance du transformateur.

Le réseau délivre une moyenne tension de 30 KV, et au sein du projet on a choisi un transformateur de puissance normalisée de 3150KVA avec une tension secondaire de 400V.

III.8.4. Calcul du rapport de transformation

On utilise la formule suivante pour le calcul du rapport de transformation, en supposant que le primaire et le secondaire ont le même couplage :

$$m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_1}{I_2}$$

Avec :

U_1, U_2 : Tension primaire et secondaire du transformateur.

I_1, I_2 : Courant primaire et secondaire du transformateur.

$$m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{400}{3000} = 0,013 \quad \Rightarrow \quad m = 0,013$$

III.8.5. Calcul du courant secondaire

$$S = \sqrt{3} * U_2 * I_2 \quad \Rightarrow \quad I_2 = \frac{S}{\sqrt{3} * U_2} = \frac{3150000}{\sqrt{3} * 400} = 4546,633 \text{ A}$$

$$\Rightarrow I_2 = 4546,633 \text{ A}$$

III.8.6. Calcul du courant primaire

$$m = \frac{I_1}{I_2} \quad \Rightarrow \quad I_1 = m * I_2 = 0,013 * 4546,633 = 59,106 \text{ A}$$

$$\Rightarrow I_1 = 59,106 \text{ A}$$

III.9. Calcul des courants de court-circuit [11]

La connaissance des intensités de court-circuit (I_{cc}) aux différents points d'une installation est indispensable pour la conception d'un réseau. Le calcul de I_{cc} a pour but de déterminer:

- Le pouvoir de coupure du dispositif de protection (PDC).
- La section des conducteurs permettant :
 - ✓ De supporter la contrainte thermique du courant de court-circuit.
 - ✓ De garantir l'ouverture du dispositif de protection par les normes NFC 15 100 et CEI 60 364.

III.9.1. Les différents types de court-circuit

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

III.9.3. Méthode générale de calcul des courants de court-circuit

Le calcul des courants de court-circuit peut se faire suivant l'une des trois méthodes :

a) Méthode conventionnelle

Elle donne la valeur de I_{cc} minimal à l'extrémité d'une installation qui n'est pas alimentée par un alternateur.

$$I_{cc} = A * \left(\frac{0,8 * U_0 * S}{\rho * L} \right) \quad (III.9)$$

U_0 : Tension entre phase en (V).

L : longueur en (m) de la canalisation.

S : section des conducteurs en (mm²).

ρ =0,028 mΩ.m pour le Cu en protection fusible.

0,044 mΩ.m pour l'Al en protection fusible.

0,023 mΩ.m pour le Cu en protection disjoncteur.

0,037 mΩ.m pour l'Al en protection disjoncteur.

A=1 pour les circuits avec neutre (section neutre=section de phase).

1,73 pour les circuits sans neutre.

0,67 pour les circuits avec neutre (section=0,5 section phase).

b) Méthode des impédances

Cette méthode consiste à additionner toutes les résistances et toutes les réactances du circuit en amont du court-circuit.

La méthode des impédances consiste à totaliser les résistances et réactances des boucles de défaut depuis la source jusqu'au point considéré et en calculer l'impédance équivalente.

Les différents courants de court-circuit et de défaut sont alors déduits par l'application de la loi d'Ohm suivante :

$$U = \sqrt{3} * Z_t * I \quad (\text{III.10})$$

$$I_{cc} = \frac{U_0}{\sqrt{3} * Z_t} \quad (\text{III.11})$$

U₀ : Tension de l'installation entre phase et neutre

Le calcul de l'intensité 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.

D'où :

$$Z_t = \sqrt{(\sum_{i=1}^n R_i)^2 + (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \quad (\text{III.12})$$

Pour notre cas, 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/les transformateurs.
- ✓ Le/les disjoncteurs.
- ✓ Les câbles, les jeux de barres, les canalisations préfabriquées.
- ✓ Les récepteurs (moteurs, pompes, ...).

On récapitule les résultats de calcul de R, X, Zt, et le courants de court-circuit des différents départs dans les tableaux suivants :

Tableau III.10 : calcul de courant de court-circuit de TGBT2

Nº	R (Ω)	X(Ω)	Zt(m Ω)	Icc(KA)
1	0,084	0,005	84,511	2,736
2	0,084	0,005	84,511	2,736
3	0,900	0,005	900,013	0,257
4	0,900	0,005	900,013	0,257
5	0,900	0,005	900,013	0,257
6	0,900	0,005	900,013	0,257
7	0,900	0,005	900,013	0,257
8	0,900	0,005	900,013	0,257
9	0,900	0,005	900,013	0,257
10	0,900	0,005	900,013	0,257
11	0,900	0,005	900,013	0,257
12	0,900	0,005	900,013	0,257
13	0,098	0,006	98,597	2,345
14	0,098	0,006	98,597	2,345
15	1,800	0,010	1800,026	0,128
16	1,800	0,010	1800,026	0,128
17	1,800	0,010	1800,026	0,128
18	1,800	0,010	1800,026	0,128
19	1,800	0,010	1800,026	0,128
20	1,080	0,010	1080,043	0,214
21	1,080	0,010	1080,043	0,214
22	0,113	0,006	112,682	2,052
23	0,113	0,006	112,682	2,052
24	0,300	0,006	300,068	0,771
25	1,200	0,006	1200,017	0,193
26	1,200	0,006	1200,017	0,193
27	1,350	0,007	1350,019	0,171
28	0,450	0,004	450,018	0,514
29	0,450	0,004	450,018	0,514
30	0,098	0,006	98,597	2,345
31	0,063	0,006	63,248	3,656
32	0,063	0,006	63,248	3,656

33	0,054	0,005	54,213	4,265
34	0,054	0,005	54,213	4,265
35	0,098	0,006	98,597	2,345
36	0,098	0,006	98,597	2,345
37	0,084	0,005	84,511	2,736
38	0,158	0,006	157,600	1,467
39	0,135	0,005	135,085	1,712
40	0,900	0,005	900,013	0,257
41	0,630	0,006	630,025	0,367
42	0,900	0,005	900,013	0,257
43	0,900	0,005	900,013	0,257
44	1,200	0,006	1200,017	0,193
45	0,506	0,007	506,301	0,457
46	0,012	0,006	13,600	17,001
47	0,855	0,008	855,034	0,270
48	0,534	0,008	534,429	0,433
49	0,014	0,005	14,999	15,415

Tableau III.11 : calcul de courant de court-circuit de TGBT3

Nº	R (Ω)	X(Ω)	Zt(m Ω)	Icc(KA)
1	0,002	0,003	3,672	62,975
2	0,002	0,003	3,672	62,975
3	0,002	0,003	3,672	62,975
4	0,002	0,003	3,672	62,975
5	0,002	0,003	3,672	62,975
6	0,002	0,003	3,672	62,975
7	0,002	0,003	3,672	62,975
8	0,017	0,006	17,499	13,213
9	0,017	0,006	17,499	13,213
10	0,017	0,006	17,499	13,213
11	0,014	0,005	14,999	15,415
12	0,017	0,006	17,499	13,213
13	0,017	0,006	17,499	13,213
14	0,023	0,006	23,186	9,972
15	0,023	0,006	23,186	9,972
16	0,023	0,006	23,186	9,972
17	1,050	0,006	1050,015	0,220
18	1,050	0,006	1050,015	0,220
19	0,225	0,005	225,051	1,027
20	0,225	0,005	225,051	1,027
21	0,225	0,005	225,051	1,027
22	0,084	0,005	84,511	2,736
23	0,084	0,005	84,511	2,736

24	0,150	0,003	150,034	1,541
25	0,360	0,003	360,014	0,642
26	0,750	0,004	750,011	0,308
27	0,113	0,002	112,526	2,055
28	0,750	0,004	750,011	0,308
29	0,225	0,003	225,023	1,028
30	0,225	0,003	225,023	1,028
31	0,090	0,003	90,057	2,567
32	0,281	0,004	281,278	0,822
33	0,005	0,006	7,676	30,121
34	0,005	0,006	7,676	30,121

Tableau III.12 : calcul de courant de court-circuit de TGBT4

Nº	R (Ω)	X(Ω)	Zt(m Ω)	Icc(KA)
1	0,009	0,003	10,000	23,122
2	0,001	0,002	2,754	83,967
3	0,014	0,002	13,712	16,863
4	0,014	0,002	13,712	16,863
5	0,014	0,002	13,712	16,863
6	0,014	0,002	13,712	16,863
7	0,014	0,002	13,712	16,863
8	0,009	0,003	10,000	23,122
9	0,009	0,003	10,000	23,122
10	0,036	0,006	36,564	6,323
11	0,015	0,006	16,308	14,178
12	0,036	0,006	36,564	6,323
13	0,051	0,006	51,825	4,461
14	0,051	0,006	51,825	4,461
15	0,051	0,006	51,825	4,461
16	0,540	0,005	540,021	0,428
17	0,900	0,005	900,013	0,257
18	0,056	0,003	56,341	4,104
19	0,315	0,003	315,012	0,734
20	0,525	0,003	525,007	0,440
21	0,150	0,003	150,034	1,541
22	0,450	0,004	450,018	0,514
23	0,315	0,003	315,012	0,734
24	0,525	0,003	525,007	0,440
25	0,525	0,003	525,007	0,440
26	0,525	0,003	525,007	0,440
27	0,600	0,003	600,009	0,385
28	0,225	0,003	225,023	1,028
29	0,360	0,003	360,014	0,642

30	0,090	0,003	90,057	2,567
31	0,225	0,003	225,023	1,028
32	0,090	0,003	90,057	2,567
33	0,360	0,003	360,014	0,642
34	0,600	0,003	600,009	0,385
35	0,360	0,003	360,014	0,642
36	0,600	0,003	600,009	0,385
37	0,600	0,003	600,009	0,385
38	0,900	0,008	900,036	0,257
39	0,225	0,008	225,142	1,027
40	0,375	0,008	375,085	0,616
41	0,225	0,008	225,142	1,027
42	0,225	0,008	225,142	1,027
43	0,225	0,008	225,142	1,027
44	0,900	0,005	900,013	0,257
45	0,158	0,006	157,600	1,467
46	0,098	0,006	98,597	2,345
47	0,006	0,006	8,773	26,356

III.10. Vérification des contraintes thermiques

Les efforts thermiques sont dus au dégagement de chaleur par effet joule pendant le régime de court-circuit. [12]

Pendant le fonctionnement normal, les jeux de barres se trouvent à une température initiale θ , lorsqu'un court-circuit apparaît, la température des jeux de barres augmente de $\Delta\theta$. Pour que les barres résistent aux effets thermiques, il faut que la chaleur finale de la température de ces barres ne dépasse pas une valeur limite qui est la température admissible du matériau.

a) Au passage de courant assigné

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

$$I = K * \frac{24,9 * (\theta - \theta_n)^{0,61} * S^{0,5} * P^{0,39}}{\sqrt{\rho_{20} * [1 + \alpha * (\theta - 20)]}} \quad (\text{III.13})$$

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 (cm²).

ρ₂₀ : Résistivité du conducteur à 20°C (cuivre : 1,83 μΩ cm, aluminium : 2,90 μΩ cm)

θ : Température du conducteur.

θ_n : Température ambiante (θ_n ≤ 40°C).

K : coefficient de conditions, avec $K=K1 * K2 * K3 * K4 * K5 * K6$.

K1 : en fonction du nombre de barres méplates par phase (pour 1 barre k1 = 1, pour 2 ou 3 barres voir le tableau N°5 de l'annexe 1).

K2 : en fonction de l'état de surface des barres (1 pour une barre nues, et 1,15 pour une barre peintes).

K3 : 1 pour barre sur chant, 0,95 pour barre à plat, 0,75 pour plusieurs barre à plat.

K4 : en fonction de l'endroit où sont installées les barres égale à 1 pour atmosphère calme à l'intérieur, 1,2 atmosphère calme à l'extérieur, 0,8 pour des barres dans une gaine non ventilée.

K5 : 1 sans ventilation artificielle.

K6 : pour un courant alternatif de fréquence ≤ 60 Hz, k6 est fonction du nombre de barres n par phase et de leur écartement, et pour un écartement égale à l'épaisseur des barres on donne le tableau suivant :

Tableau III.13 : valeur de K6

N	1	2	3
K6	1	1	0,98

III.10.1. 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 :

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U_n} \quad (\text{III.14})$$

Exemple de calcul :

S_n=3150KVA,

U_n=400V,

I_n=4546,633A

Donc : I_{ad}=1.2*4546.633= 5455.9596A

Connaissant le courant admissible, on peut choisir la section des barres directement à partir du tableau N°6 de l'annexe 1.

La section obtenue est 9*300mm² par phase.

Vérifications des résultats :

Exemple de calcul :

K1=1,69 ; K2=1,15 ; K3=1 ; K4=1,2 ; K5= 1; K6=1 ;P=45cm ;S=27cm.

$$I=1,38 \cdot \frac{24,9 \cdot (90-40)^{0,61} \cdot 27^{0,5} \cdot 45^{0,39}}{\sqrt{1,83 \cdot [1+0,004 \cdot (90-20)]}} = 5598,606 \text{ A}$$

$$I = 5598,606 \text{ A} > I_{ad}$$

Le courant trouvé est supérieur au courant admissible, donc la section choisie vérifie la tenue thermique du au passage du courant admissible.

III.10.2. Au passage de courant de court-circuit de courte durée

Pendant une durée de court-circuit (1 à 3s), on admet que:

- Toute la chaleur dégagée sert à élever la température des conducteurs.
- Les effets du rayonnement sont négligeables.

On utilise la formule ci-dessous pour calculer l'échauffement dû au court-circuit :

[13]

$$\Delta\theta_{cc} = 0,24 \cdot \frac{\rho_{20} \cdot I_{th}^2 \cdot t_k}{(n \cdot S)^2 \cdot C \cdot \delta} \quad (\text{III.14})$$

$$I_{cc} = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_{cc}}$$

Avec :

$\Delta\theta_{cc}$: échauffement dû au courant de court-circuit (°C).

I_{th} : Courant de court-circuit de courte durée (A).

t_k : Durée de court-circuit (1 à 3s).

n : Nombre de barres par phase.

C : Chaleur spécifique du métal (cuivre : 0,091 kcal/daN°C, aluminium : 0,23 kcal/daN°C).

δ : Masse volumique du métal (cuivre : 8,9 g/cm³, aluminium : 2,7 g/cm³).

I_{cc} : Courant de court-circuit (A).

Z_{cc} : Impédance de court-circuit (Ω).

S : section d'une barre cm^2 .

Exemple de calcul :

$$I_{cc} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 17,38 \cdot 10^{-3}} = 13287,693 \text{ A}$$

Pour une durée de court-circuit $t_k = 3 \text{ s}$ nous aurons :

$$\Delta\theta_{cc} = 0,24 \cdot \frac{1,38 \cdot 10^{-6} \cdot 13287,693^2 \cdot 3}{(2 \cdot 27)^2 \cdot 0,091 \cdot 8,9} = 12,56^\circ\text{C}$$

La température θ_{cc} du conducteur après le court-circuit sera :

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

$$\theta_t = 40 + (90 - 40) + 12,56 = 102,56^\circ\text{C}$$

$\theta_{\max} = 200^\circ\text{C}$ (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.

III.11. Protection

III.11.1. 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. [14]

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 :

- Eliminer 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.

III.11.2. Problème de la protection

Le problème de la protection des installations consiste à définir la nature du défaut contre lequel 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 : [7]

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

On donne sur le tableau III.7, les principales perturbations dans les réseaux électriques, leurs causes, leurs effets et leurs moyens de protection.

Tableau III.14 : Principe de protection des circuits

Perturbations	Causes	Effets	Moyens de protection
Surcharges	Dès que l'appareil d'utilisation demande une puissance plus importante dans un circuit électrique	-Accroissement normal de courant absorbé par le circuit d'où échauffement lent mais pouvant entraîner la détérioration de l'installation	-Contacteur avec relais thermique -Disjoncteur
Courts circuits	Elévation brutale d'un courant absorbé par le circuit due à un contact électrique entre deux conducteurs de polarités différentes	-Création d'un arc électrique -Echauffement très important	-Disjoncteur avec relais magnétique -Temps de coupure inférieur au temps d'échauffement des conducteurs
Surtensions	-Un défaut d'isolement -Des surtensions atmosphériques -Des phénomènes de résonance	Une surtension peut provoquer le claquage d'isolants et entraîner une surcharge ou court circuit et la détérioration des appareils	-Séparation des circuits de tension -Parafoudre -Contrôleur d'isolement de l'installation
Baisse de Tension	Lors de déséquilibre d'un réseau triphasé ou par suite de la coupure d'une phase ou de sa mise à la terre	Mauvais fonctionnement des récepteurs	-Relais à baisse tension souvent temporisé pour éviter les coupures intempestives.

III.11.3. 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 : [11]

$$I_e \leq I_r \leq I_z$$

$$I_f \leq 1,45 I_z$$

$$I_{cc} \leq p_{dc}$$

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.

III.11.4. 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.

III.11.5. 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.

III.11.6. 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. [15]

Le choix du régime du neutre 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 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.

III.11.7. Régime du neutre utilisé dans l'entreprise

Pour une continuité de service impérative et assurée par un service entretien compétent l'unité raffinerie de sucre impose le régime TN-S en aval du TGBT.

III.12. Protection par disjoncteur

Un disjoncteur est un interrupteur à ouverture automatique qui permet d'interrompre le courant lors d'un court-circuit ou d'une surcharge, par rapprochement et séparation de contacts, jusqu'aux valeurs les plus élevées des courants de défaut. Les conditions de déclenchement sont ajustables au niveau des relais. [12]

La caractéristique essentielle qui nous intéresse ici est le pouvoir de coupure (pdc) qui définit le courant maximal que le disjoncteur est capable d'interrompre. Les disjoncteurs possèdent une bonne endurance mécanique, largement suffisante pour tous les besoins usuels. L'endurance électrique dépend beaucoup du courant coupé. Un appareil est généralement capable de couper plusieurs fois un courant correspondant à son pouvoir de coupure. Comme, en plus, le courant de défaut atteint rarement cette valeur, il suffit de refermer le disjoncteur pour remettre en service après réparation du défaut.

a) Courant nominal I_n

C'est la valeur maximale du courant permanent que peut supporter le disjoncteur dans les conditions d'essai spécifiées, en respectant les limites d'échauffement.

Le courant nominal est déterminé en fonction de l'intensité du courant admissible passant dans la section du conducteur à protéger.

b) Courant de réglage I_r

C'est le courant maximal que peut supporter le disjoncteur, sans déclenchement. Il peut être réglable de $0.7 I_n$ à I_n pour les déclencheurs thermiques, de $0,4 I_n$ à I_n pour les déclencheurs électroniques.

c) Pouvoir de coupure PDC

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

$$PDC \geq I_{cc}$$

d) Pouvoir de limitation

C'est la capacité d'un disjoncteur à ne laisser passer qu'un courant inférieur au courant de court-circuit présumé.

III.12.1. Caractéristique d'un disjoncteur basse tension

Les caractéristiques à prendre en compte dans le choix d'un disjoncteur sont:

- ✓ La tension assignée (U_e) : ou tension d'utilisation.
- ✓ Le courant assigné (I_n) : courant d'utilisation dans les conditions normales.
- ✓ Le nombre de pôles : les schémas des liaisons à la terre et la fonction requise (protection, commande, sectionnement) détermine le nombre de pôles.

- ✓ Le pouvoir de coupure (PDC) : ou courant maximal ($I_{cc\max}$) que peut couper l'appareil. [11]

III.12.2. Disjoncteur magnétothermique

C'est un appareil capable d'établir, de supporter et d'interrompre des courants dans les conditions normales du circuit.

- ✓ disjoncteur magnétique : protection contre les courts circuits.
- ✓ disjoncteur thermique : protection contre les surcharges.
- ✓ disjoncteur magnétique (assure les deux fonctions ci-dessus).

III.12.3. Principe de fonctionnement

Le disjoncteur assure la protection des canalisations selon deux principes:

a) Thermique

Une lame bimétallique (bilame) est parcourue par le courant. Le bilame est calibré de telle manière qu'avec un courant nominal I_n , elle ne subisse aucune déformation. Par contre si des surcharges sont provoquées par les récepteurs, en fonction du temps, la lame va se déformer et entraîner l'ouverture du contact en 0,1sec au minimum.

b) Magnétique

En service normal, le courant nominal circulant dans la bobine, n'a pas assez d'influence magnétique (induction magnétique) pour pouvoir attirer l'armature mobile fixée sur le contact mobile. Le circuit est fermé.

Si un défaut apparaît dans le circuit aval du disjoncteur de canalisation, le courant augmente jusqu'à atteindre la valeur du courant de court-circuit. Dès cet instant, le courant de court-circuit provoque une violente aimantation de l'armature mobile. Cela a comme conséquence d'ouvrir le circuit aval du disjoncteur en 0,1sec au maximum.

III.12.4. Protection par fusible

Ce sont des appareils de protection dont la fonction est d'ouvrir par fusion, une ou plusieurs parties de circuits lorsque le courant dépasse une valeur donnée pendant un temps déterminé.

Les normes définissent en fonction de l'usage deux types de coupe circuit :

Coupe circuit à fusible gf à usage domestique.

Coupe circuit à fusible gL et gLL et AM à usage industriel.

La différence entre les courts-circuits domestiques et industriels réside dans la tension d'utilisation, la taille, et le pouvoir de coupure.

III.12.5. Choix d'un fusible

Les fusibles se caractérisent par un excellent pouvoir de coupure et sont appréciés dans le cas de court-circuit important cela grâce à leur rapidité de fusion qui fait que le courant de défaut est éliminé avant d'atteindre sa valeur maximale.

En fin le choix d'un fusible gl ou gf est fait de telle sorte que :

$$I_e \leq I_r \leq C \cdot I_z$$

$$P_{dc} \geq I_{cc}$$

Avec :

$$C=0,76 \text{ pour } I_r \leq 10 \text{ A}$$

$$C=0,83 \text{ pour } 12 \text{ A} \leq I_r \leq 25 \text{ A}$$

$$C=0,91 \text{ pour } I_r \geq 32 \text{ A}$$

III.13. Conclusion

Ce chapitre nous a permis de présenter une méthodologie et des étapes à suivre pour le dimensionnement d'une installation industrielle.

Nous avons calculé les sections des câbles à utiliser au niveau de chaque canalisation en respectant les caractéristiques électriques de notre installation. A cet effet nous avons vérifié les sections des câbles par le calcul de la chute de tension, nous avons aussi calculé les courants de court-circuit qui nous ont permis de choisir les pouvoirs de coupure des disjoncteurs et qui nous servira au dimensionnement des appareils de protection.

Chapitre IV : Compensation de l'énergie réactive

IV.1. Introduction

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

Les équipements de compensation de l'énergie réactive (condensateurs et Batteries) permettent de réaliser des économies sur les factures d'électricité et d'optimiser les équipements électriques. Tangente Phi ($\tan \varphi$) est un indicateur de consommation d'énergie réactive. Elle est égale au rapport de la puissance réactive à la puissance active consommée. Le cosinus Phi ($\cos \varphi$) est une mesure du rendement électrique d'une installation. C'est le quotient de la puissance active consommée par l'installation sur la puissance apparente fournie à l'installation. Un bon rendement correspond à un $\cos \varphi$ proche de 1.

L'énergie réactive est consommée par les récepteurs, tels que les transformateurs, les moteurs, les ballasts de tubes fluorescents, etc. Pour compenser celle-ci, il est nécessaire de fournir l'énergie réactive à la place du réseau de distribution par l'installation d'équipements de compensation. [14]

IV.2. Le principe de la compensation

De nombreux récepteurs consomment de l'énergie réactive pour créer les champs électromagnétiques (moteurs, transformateurs, ballasts de tubes fluorescents, etc.).

Compenser l'énergie réactive, c'est fournir cette énergie à la place du réseau de distribution par l'installation des batteries de condensateurs, sources d'énergie réactive de puissance Q_C , des machines tournantes de types synchrones ou asynchrone, 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 condensateur, qui peuvent être directement raccordées en BT ou en MT.

Dans une installation industrielle, la distance entre la TGBT et la batterie ne doit pas dépasser 15m. Ce dispositif doit être mis au plus près de la charge pour éviter que l'énergie réactive ne soit appelée sur le réseau. La puissance réactive des condensateurs à mettre en

œuvre, doit être déterminée en fonction de la puissance de l'installation, du facteur de puissance ($\cos \varphi$) d'origine et du $\cos \varphi$ requis à l'arrivée. [16]

IV.3. Déterminer l'équipement de compensation

Le choix d'un équipement de compensation s'effectue en fonction : [14]

- de la puissance réactive à installer.
- du mode de compensation.
- du type d'équipement nécessaire.
- Du taux d'harmoniques généré dans le réseau.

IV.4. Définitions [16]

IV.4.1. Energie active

Elle résulte de la puissance active P (kW) et elle est utilisable après sa transformation par le récepteur sous forme de chaleur. Elle s'exprime en kilo watt heure (kWh).

IV.4.2. Energie réactive

Elle sert à la magnétisation des circuits magnétiques des machines (transformateurs et moteurs). De plus, les lignes et les câbles consomment ou produisent de la puissance réactive suivant leur charge. Elle s'exprime en kilo var heure (kVarh). Elle correspond à la puissance réactive Q (kVar) des récepteurs.

IV.4.3. Energie apparente

L'énergie apparente (kVAh) est la somme vectorielle des deux énergies précédentes. Elle correspond à la puissance apparente S(kVA) des récepteurs, somme vectorielle de P(kW) et Q(kVar).

IV.4.4. Facteur de puissance

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

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

$$\mathbf{FP} = \frac{\mathbf{P(kW)}}{\mathbf{S(kVA)}} \quad (\text{IV.1})$$

En général $\mathbf{FP} = \mathbf{Cos\varphi}$

Les appareils de comptage d'énergie enregistrent les consommations d'énergie active et réactive. Les fournisseurs d'électricité utilisent généralement apparaitre le terme $\tan \varphi$ au niveau de leur facteur.

$\cos \varphi$ et $\tan \varphi$ sont liés par la relation suivante :

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1+\tan^2 \varphi}} \quad (\text{IV.2})$$

a) Amélioration du facteur de puissance

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

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

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

b) Avantage d'un bon facteur de puissance

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

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

Un bon facteur de puissance c'est :

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

c) Inconvénient d'un mauvais facteur de puissance

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

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

IV.5. Composante active et réactive du courant

A chacune des énergies active et réactive, correspond un courant.

IV.5.1. Courant actif (I_a)

Le courant actif (I_a) est en phase avec la tension du réseau engendre la puissance active.

IV.5.2. Courant réactif (I_r)

Le courant réactif (I_r) est déphasé de 90° par rapport au courant actif, soit en retard (récepteur inductif), soit en avance (récepteur capacitif). Il est nécessaire pour l'excitation magnétique des récepteurs.

IV.5.3. Courant apparent (I_t)

Le courant apparent (I_t) est le courant résultant qui parcourt la ligne depuis la source jusqu'au récepteur. Si les courants sont parfaitement sinusoïdaux, on peut utiliser la représentation de Fresnel.

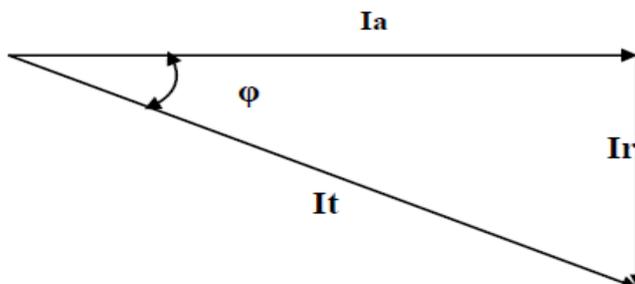


Figure IV.1 : Diagramme vectorielle des courants

$$I_a = \sqrt{(I_a^2) + (I_r^2)}$$

$$I_a = I_t \cdot \cos \varphi$$

$$I_r = I_t \cdot \sin \varphi$$

φ : Angle de déphasage entre les composantes active et les composantes apparentes

IV.6. Choix de la localisation [14]

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

IV.6.1. Compensation 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 IV.2).

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

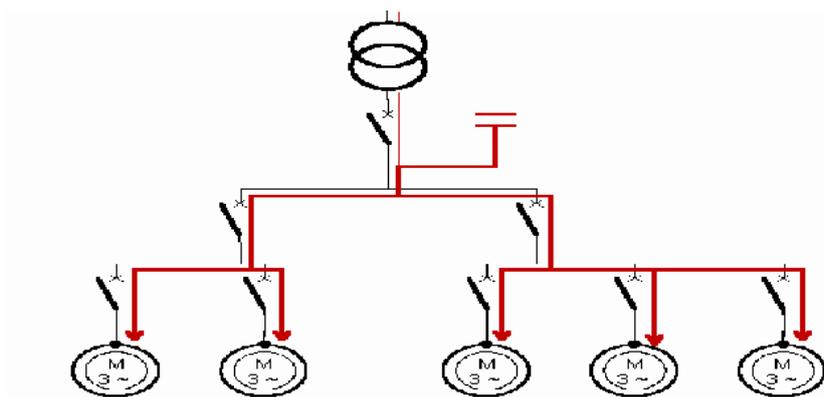


Figure IV.2: Compensation globale

IV.6.2. Compensation 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 IV.2.1).

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

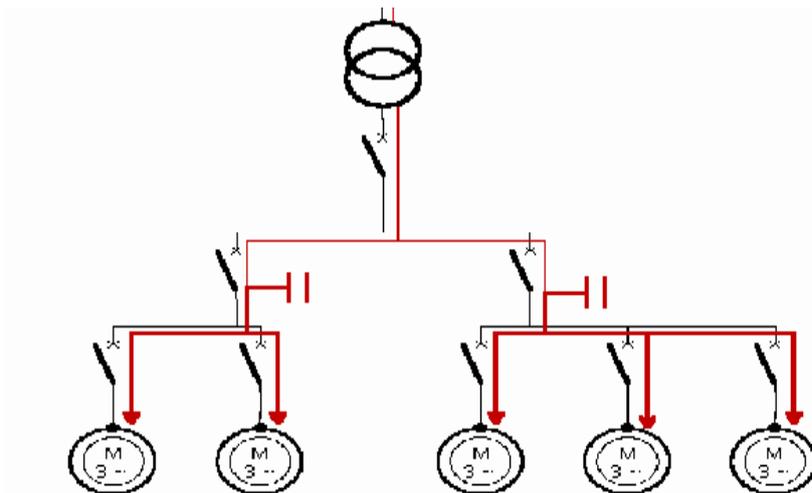


Figure IV.3 : Compensation partielle

IV.6.3. Compensation 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 où elle est consommée et en quantité ajustée aux besoins (Figure IV.2.2).

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

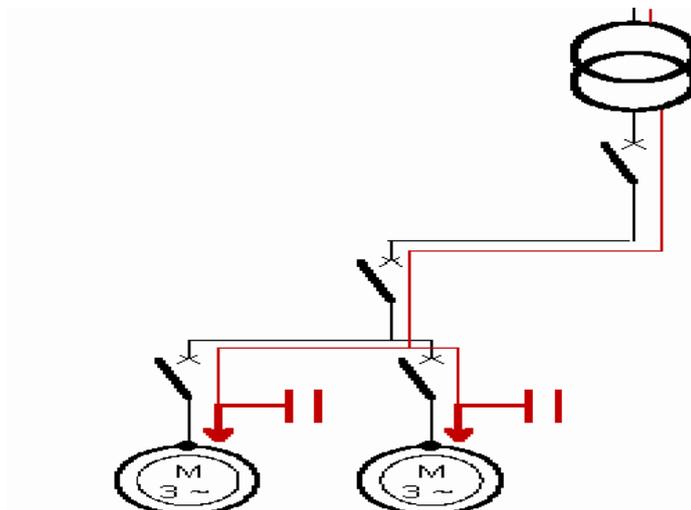


Figure IV.4 : Compensation individuelle

IV.7. Avantages et inconvénients

Le tableau IV.1 suivant en indiquant les avantages et les inconvénients de chacune des types de compensation. [14]

Tableau IV.1 : Avantages et les inconvénients de chacune des types de compensation

Type de compensation	Avantages	Inconvénients
Compensation globale	Ce type de compensation convient pour une installation simple de moyenne puissance, elle permet : de supprimer les pénalités pour consommation excessive d'énergie réactive (tarif vert). d'ajuster le besoin réel de l'installation (kW) à la souscription de la puissance apparente (kVA) dans le cas d'un tarif bleu ou jaune. de soulager le poste de transformation (une partie de l'énergie réactive est fournie par les condensateurs).	Toutefois ce mode de compensation ne soulage pas les installations en aval car la totalité du courant réactif est présente dans les câbles jusqu'aux récepteurs.
Compensation partielle	Les condensateurs sont installés aux départs de chaque atelier. Cette compensation est conseillée lorsque la puissance est importante ou lorsque les ateliers fonctionnent à des régimes différents. Ce type de compensation en plus des avantages de la compensation globale permet de soulager les câbles alimentant les différents ateliers. La totalité du courant réactif n'est plus présente que dans les câbles allant de l'armoire de distribution de l'atelier aux récepteurs.	Une protection de la batterie (fusibles, disjoncteur, etc...) doit être prévue pour question de sécurité, ce qui augmente le cout de la batterie.
Compensation individuelle	la puissance du récepteur est importante par rapport à la puissance souscrite. Ce type de compensation est techniquement idéal, puisque il introduit l'énergie réactive à l'endroit où elle est consommée.	

IV.8. Choix de type de compensation [17]

Il existe deux types de compensation:

IV.8.1. Compensation fixe

La mise en service peut être manuelle (par disjoncteur ou interrupteur), semi-automatique (Par contacteur), asservie aux bornes des moteurs. Ce type de compensation est utilisé lorsque la puissance réactive est faible ($\frac{Q_C}{S_N} \leq 15\%$ de la puissance du transformateur) et la charge relativement stable.

IV.8.2. Compensation automatique

La batterie de condensateurs est fractionnée en gradins, avec possibilité de mettre en service plus ou moins de gradins, en général de façon automatique. Ce type de batterie est installé en tête de la distribution BT ou d'un secteur important. Elle permet une régulation pas à pas de l'énergie réactive. L'enclenchement et le déclenchement des gradins est piloté par un relais var-métrique ($\frac{Q_c}{S_N} > 15\%$).

IV.9. 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. [10]

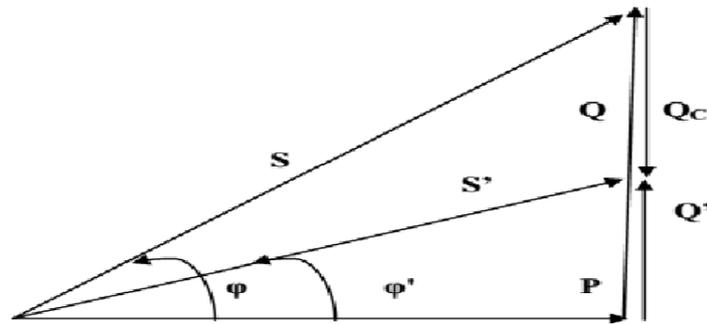


Figure IV.5 : Triangle de puissance

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 $\cos\varphi'$.

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

$$\tan \varphi = \frac{Q}{P} \quad \Rightarrow Q = P \cdot \tan \varphi \quad (\text{IV.3})$$

$$\tan \varphi' = \frac{Q'}{P} \quad \Rightarrow Q' = P \cdot \tan \varphi' \quad (\text{IV.4})$$

$$Q = Q' + Q_c$$

$$\text{D'où } Q_c = Q - Q'$$

$$\text{De (IV.3) et (IV.4) } Q_c = P \cdot (\tan \varphi - \tan \varphi') \quad (\text{IV.5})$$

IV.9. Calcul des valeurs de capacités des condensateurs

En monophasé

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

$$Q_c = C \cdot \omega \cdot V^2 \quad (\text{IV.6})$$

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 :

$$Q_c = 3 \cdot C_{eq} \cdot \omega \cdot U^2 \quad (\text{IV.7})$$

$$C_{eq} = \frac{m}{n \cdot C} \quad (\text{IV.8})$$

U : tension composée (V).

ω : 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 :

$$Q_c = C \cdot \omega \cdot V^2 \quad (\text{III -9})$$

$$Q_c = 3 \cdot C_{eq} \cdot \omega \cdot U^2 \quad (\text{III -10})$$

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

$$3C_{eq} = \frac{Q_{c-\Delta}}{\omega \cdot U^2} \quad (\text{III -11})$$

$$C_{eq-\lambda} = 3 * C_{eq} * \omega * V^2 = 3 * C_{eq} * \omega \left(\frac{U}{\sqrt{3}}\right)^2$$

$$C_{eq-\lambda} = \frac{3}{3} * C_{eq} * \omega * U^2$$

$$C_{eq} = \frac{Q_{c-\lambda}}{\omega * U^2} \quad (III -12)$$

Des équations (III -11) et (III -12), on obtien $C_{eq-\lambda} = 3 * C_{eq-\Delta}$ (III -13)

IV.10. 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.

Calcul des batteries de compensation pour le TGBT.

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

Au niveau de TGBT 2 on a :

$$\cos \varphi = 0,81$$

$$\tan \varphi = 0,72$$

On a les puissances utilisées comme suit :

$$Q_{ujTGBT2} = 542.433 \text{ KVAR}$$

$$\cos \varphi' \text{ désire et de } 0,94 \text{ ainsi } \tan \varphi' = 0,36$$

$$Q_c = P * (\tan \varphi - \tan \varphi') = 265,759 \text{ KVAR}$$

$$Q = Q' + Q_c$$

$$Q' = Q - Q_c$$

$$\Rightarrow Q' = 542.433 - 265,759 = 276,674 \text{ KVAR}$$

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

$$C_{eq} = \frac{Q_c}{3 * W * U^2} = \frac{276674}{3 * 314 * 400^2} = 1835,682 \mu F$$

$$\Rightarrow C_{\Delta} = 1835,682 \mu F$$

$$\Rightarrow C_Y = 5507,046 \mu\text{F}$$

Même application pour les : TGBT 3 et TGBT 4

Les puissances réactives avant et après la compensation et les valeurs des capacités des condensateurs pour les trois TGBT sont données dans le tableau IV.2.

Tableau IV.2 : les puissances réactives fournis par les batteries de compensation

Charges	Avant la compensation				Après la compensation				
	P _{uj} (KW)	Q _{uj} (KVAR)	S _{uj} (KVA)	cos φ	Q _c (KVAR)	Q'	cos φ'	C _Δ μF	C _Y μF
TGBT2	738,22	542,433	916,079	0,81	265,759	276,674	0,94	1835,682	5507,046
TGBT3	2709,405	2103,476	3430,085	0,80	1056,668	1046,808	0,94	7010,801	21032,403
TGBT4	1330,311	913,517	1613,766	0,82	439,003	474,514	0,94	3148,315	9444,945

IV.10. Vérification du type de compensation

Tableau IV.3 : Types de compensation de l'énergie réactive

Charges	Q _c (kVAR)	S _n (kVA)	Q _c /S _n (%)	Type de compensation
TGBT 2	265,759	916,079	29,010	Automatique
TGBT 3	1056,668	3430,085	30,801	Automatique
TGBT 4	439,003	1613,766	27,204	Automatique

IV.11. Conclusion

D'après l'étude de la compensation de l'énergie réactive, nous constatons que l'installation électrique de la raffinerie de sucre présente un facteur de puissance moyen de $\cos \varphi = 0,81$ entraînant des pertes importantes au niveau des canalisations non exploitées. Nous avons proposé une compensation globale de l'énergie réactive pour chaque TGBT.

L'amélioration du facteur de puissance permet donc de réduire le courant absorbé totale et ainsi diminuer la puissance apparente souscrite (kVA), avoir une diminution au niveau des sections des câbles, des pertes en lignes, une réduction de chute de tension et une augmentation de la puissance du transformateur.

Après avoir étudié les différents modes et systèmes de compensation d'énergie réactive par batterie de condensateurs. Nous avons proposé le type de compensation automatique.

Chapitre V : Vérification des calculs avec logiciel ECODIAL

V.1 Introduction

Lors de la conception d'un réseau électrique d'une installation industrielle, on rencontre souvent une grande difficulté dans le calcul et le dimensionnement des équipements de cette dernière. Aujourd'hui, on utilise le logiciel de Merlin Gerin " ECODIAL" qui est un atout pour le domaine d'électricité, l'opportunité offerte par ce logiciel est de réaliser des calculs délicats avec précision en un temps réduit.

Dans ce chapitre nous allons exploiter ce logiciel afin de vérifier nos résultats concernant le calcul du bilan de puissance, nos choix des sections des câbles et les calibres des disjoncteurs à installer dans les différents départs des trois TGBT.

V.2. Présentation du logiciel

V.2.1. Définition

Ecodial est un logiciel de conception des installations électrique basse tension, c'est le plus connu des bureaux d'études d'installation électrique, il permet de calculer le bilan de puissance et le dimensionnement des divers équipements de l'installation (câbles, jeux de barres, appareillages de protection...), selon la norme NFC 15-100 et le guide de calcul européen CENELEC R 064-003 (UTE C 15-500).

V.2.2. Utilité du logiciel ECODIAL

Il permet de réaliser les opérations suivantes :

- Calcul le bilan de puissance de l'installation.
- Détermination des sections des câbles, des jeux de barre.
- Calcul des courants de court-circuit, ainsi que les chutes de tension.
- Détermination des calibres appropriés des appareils de protection ; (disjoncteurs, fusibles) à installer, en tenant compte de I_n , I_{cc} , la température, la sélectivité et la filiation.

V.2.3. Description de l'interface graphique du logiciel

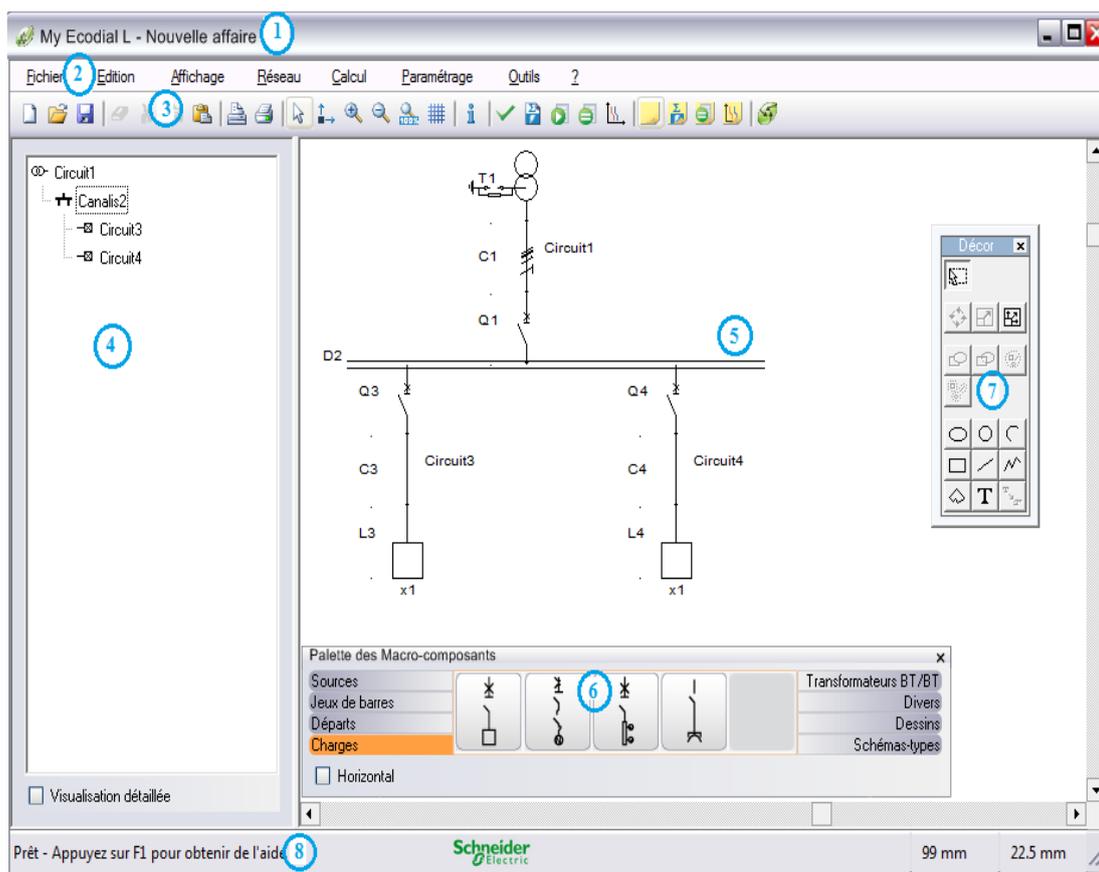


Figure V.1 : Interface graphique d'ECODIAL

1 Barre de titre : elle indique le nom du logiciel et le nom de l'affaire en cours.

2 Barre de menue : présente 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, on peut choisir entre deux niveau de réseau :

- La vue détaillée.
- la sue simplifiée.

5 Espace de dessin : c'est dans cet espace qu'on dessine le schéma du réseau.

6 Palette des Macro-composants : cette palette présente les circuits électriques prédestinés qui nous permettrons de réaliser rapidement le schéma.

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 sélectionné dans la barre de menu ou dans la barre d'outils ainsi que les coordonnées de la position de la pointe de la souris dans l'espace de dessin.

V.3. Méthode de calcul

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

V.3.1. Définition des caractéristiques électriques générales du réseau

Lors du lancement du logiciel la boîte de dialogue « Caractéristiques globales » est automatiquement affichée, Avant de dessiner le schéma, on doit d'abord saisir les caractéristiques générales de l'installation.

Caractéristiques globales	
? Un Ph-Ph (V)	400
Schéma de liaison à la terre	TN-S
Chute de tension maximale (%)	4.00
Section maxi autorisée (mm ²)	300.00
Tolérance section (%)	0.0
Section N / Section Ph	1
Cosphi global à atteindre	0.94
Norme d'appareillage	IEC 947
Fréquence du réseau (Hz)	50

Afficher les caractéristiques globales à chaque nouvelle affaire

Par défaut

OK Annuler Aide

Figure V.2 : Caractéristiques générales de l'installation

V.3.2. Réalisation du schéma unifilaire

Afin de réaliser le schéma électrique sur Ecodial, on doit utiliser la palette des composants électriques qui est affichée automatiquement en bas de l'écran lors du lancement de l'application.

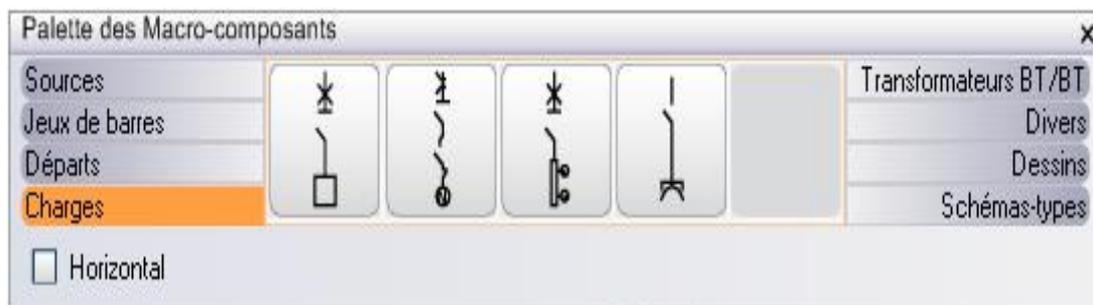


Figure V.3 : Palette des macro-composants

V.3.3. Introduction des caractéristiques des éléments du schéma

Pour faciliter l'exploitation ultérieure du schéma, il est préférable de donner un nom à chaque départ du schéma, et d'introduire les différentes caractéristiques (courant, puissance...), on donne un exemple sur la figure suivante :

Description du circuit		
Nom :	Circuit3	
Constitution		
Protection/Commande	Q3	
Cable	C3	
Moteur	M3	
<input type="checkbox"/> Différentiel <input type="checkbox"/> I élécommande <input type="checkbox"/> Débrochable		
Contraintes		
<input checked="" type="checkbox"/> Filiation <input checked="" type="checkbox"/> Sélectivité		
Caractéristiques		
?	Longueur (m) - C3	40.0
	Nb circuits identiques	3
	Puissance mécanique utile du moteur (kW)	110.00
	Ib du moteur (A)	249.59
	Type de démarrage	Etoile-Triangle
	Type de coordination	Type 2
	Classe de déclenchement	10

Figure V.4 : Caractéristique d'un circuit

V.3.4. Bilan de puissance

Afin de dimensionner correctement la source de l'installation, il faut réaliser le bilan de puissance. On introduit soit le courant, soit la puissance de chaque récepteur, Ecodial nous déduira la puissance de la source et nous proposera un choix.

On illustre sur la figure ci-dessous le calcul du bilan de puissance comme exemple :

The screenshot shows the 'Bilan de puissance' window with the following data:

	Circuit3	Circuit4	Circuit5	Circuit6	Circuit7	Circuit8
Ib (A)	68.01	0.80	17.00	4.80	4.79	8.21
Polarité du circuit	Tn	Tn	Tn	Tn	Tn	Tn
Puissance (kW)	36.75	0.25	7.54	2.99	2.19	3.98
Cos phi	0.78	0.45	0.64	0.90	0.66	0.70
Ku	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Répartition	-	-	-	-	-	-
Nb circuits identiques	9	9	1	1	1	1

Equipment current calculation:

$$I \text{ charge (A)} \times K_s = I \text{ Total (A)}$$

$$1919.52 \times 1.00 = 1919.5$$

Sources (400 V):

Normal		Secours	
Nombre de sources :	1	Nombre de sources :	0
P calculée par source avant compensation:	1396.36 kVA	P calculée par source avant	0 kVA
P calculée par source après compensation:	0 kVA	P calculée après compensation :	0 kVA
P choisie par source :	3200 kVA	P choisie par source :	kVA
Puissance surdimensionnée			
Cosphi avant compensation :	0.75		
Cosphi global à atteindre	0.96		

Figure V.5 : Bilan de puissance du TGBT 2

V.3.5. Dimensionnement

Ecodial offre deux modes de calcul selon les besoins de l'utilisateur :

- Pré-dimensionnement (évaluation rapide de calcul selon les besoins de l'utilisateur)
- Calcul pas à pas (étude détaillée en fonction des contraintes et des caractéristiques).

Dans ce qui suit, nous allons présenter les résultats de calculs obtenus par Ecodial. Nous allons présenter seulement quelques départs.

V.4. Etape pratique

V.4.1. Les schémas unifilaires des trois TGBT

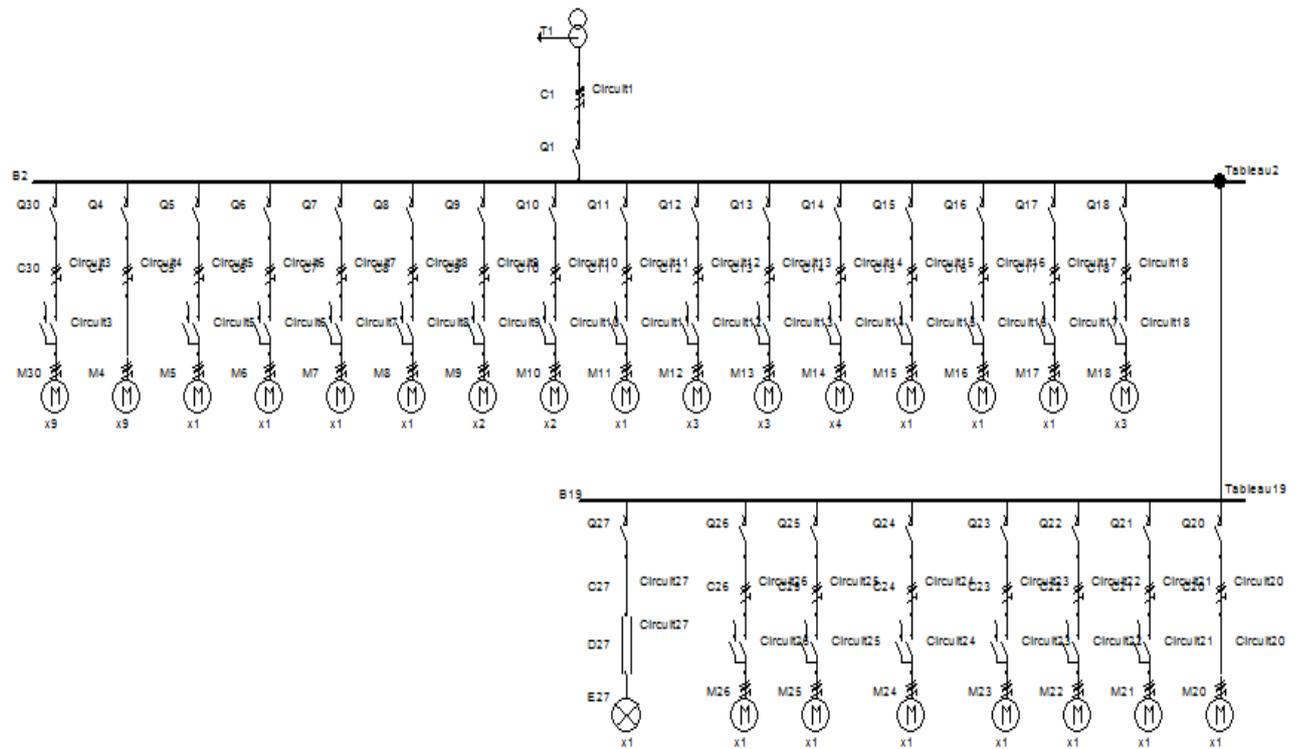


Figure V.6 : Schémas unifilaire du TGBT 2

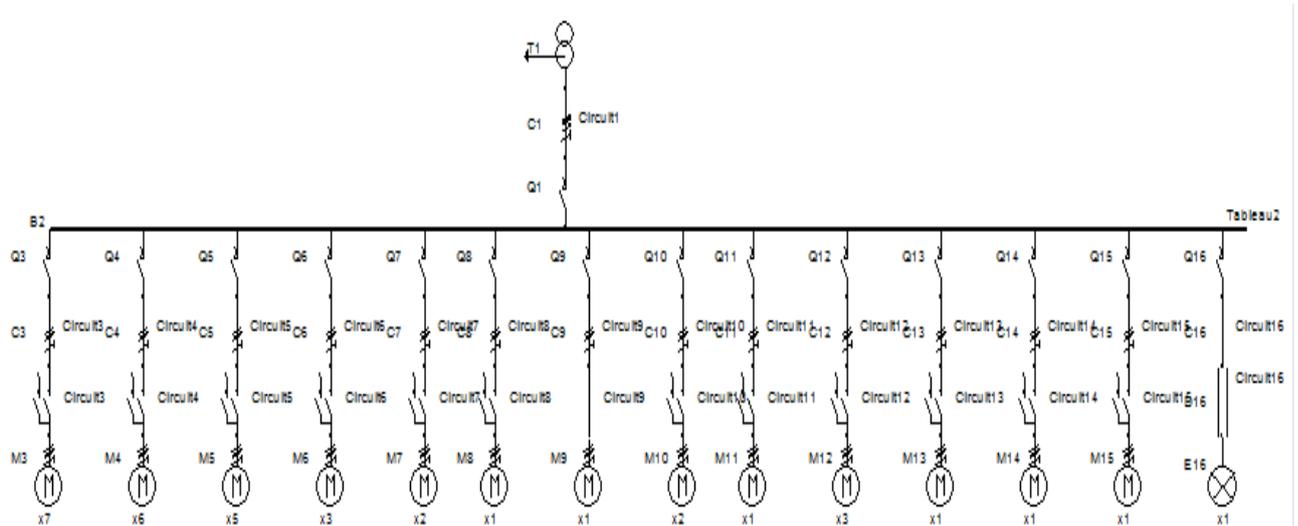


Figure V.7 : Schémas unifilaire du TGBT 3

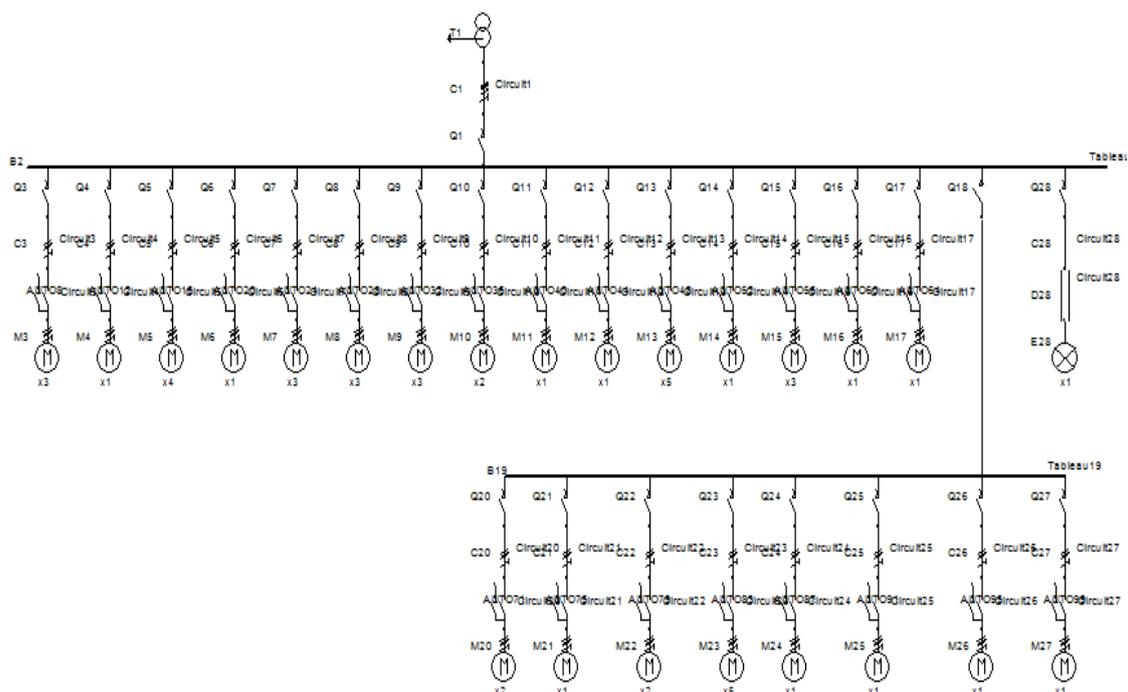


Figure V.8 : Schémas unifilaire du TGBT 4

Carnet des câbles

Description du câble	Type	Nature et isolant	Longueur totale du câble (m)
400.0 mm ²	3P+N	Cuivre - PR	65.0
400.0 mm ²	PE	Cuivre - PR	5.0
95.0 mm ²	3P	Cuivre - PR	360.0
35.0 mm ²	PE	Cuivre - PR	320.0
300.0 mm ²	3P	Cuivre - PR	60.0
120.0 mm ²	PE	Cuivre - PR	30.0
70.0 mm ²	3P	Cuivre - PR	120.0
50.0 mm ²	3P	Cuivre - PR	270.0
25.0 mm ²	PE	Cuivre - PR	30.0
16.0 mm ²	PE	Cuivre - PR	1190.0
10.0 mm ²	3P	Cuivre - PR	380.0
10.0 mm ²	PE	Cuivre - PR	380.0
6.0 mm ²	3P	Cuivre - PR	375.0
6.0 mm ²	PE	Cuivre - PR	375.0
16.0 mm ²	3P	Cuivre - PR	110.0
4.0 mm ²	3P	Cuivre - PR	135.0
4.0 mm ²	PE	Cuivre - PR	135.0
2.5 mm ²	3P	Cuivre - PR	105.0
2.5 mm ²	PE	Cuivre - PR	105.0
35.0 mm ²	3P	Cuivre - PR	500.0
25.0 mm ²	3P	Cuivre - PR	100.0
150.0 mm ²	3P	Cuivre - PR	160.0

V.4.2. Résultats des calculs

Exemple de vérification de résultats (TGBT 4)

a) bilan de puissance

Source normal (400 V)

Nombre de sources :	1	
Puissance calculée par source avant compensation :	2900.98 kVA	
Puissance calculée par source après compensation :	-	
Puissance choisie par source :		3200.0 kVA
Cosφ avant compensation :	0.80	
Cosφ après compensation :	-	
Cosφ cible :	0.96	

b) note de calcul

Affaire

Réseau	Schéma des liaisons à la terre :	TN-S
	Tension :	400 V
	Section maxi autorisée :	630.0 mm ²
	Section N / Section Ph :	1
	Tolérance section :	5.0 %
	Cosφ global à atteindre :	0.96
	Fréquence du réseau :	50 Hz

Circuit : **Circuit1 (T1-C1-Q1) - Calculé**

Amont :	
Aval :	Tableau2
Tension :	400 V

Source :

T1	
Réseau 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 :	TN-S
Puissance globale :	3200 kVA	Puissance unitaire :	3200.0 kVA
Couplage :	Triangle-Etoile	Tension de court-circuit :	6.00 %
Impédances de la source :	Résistance Rt :	0.7000 mOhm	
	Inductance Xt :	2.8000 mOhm	
Ib:	4398.86 A		
CPI:	-		
Pcc HT max.(MVA) :	500		MVA
Pcc HT min.(MVA) :	500		MVA

Câble :

C1			
Longueur :	5.0 m		
Mode de pose :	A1-dans des proies isolantes		
	Conducteurs isolés dans des conduits		
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:	9689.5 A
Iz x facteurs de correction (conditions réelles d'utilisation):	4263.4 A

Contrainte de dimensionnement : surcharges

Facteurs de correction :	Température	: 0.91	(52F + 52K)
	x Résistivité thermique du sol	: 1.00	(52M)
	x Neutre chargé	: 0.84	(§524.2.4)
	x poses jointives	: 0.72	(52N/4)
	x Utilisateur	: 1.00	
	/ Protection)	: 1.00	(§433.1)
			0.44

Sections (mm ²)	théoriques	choisies	désignation	métal
Par phase	13 x 417.6	13 x 400.0		Cuivre
Neutre	13 x 417.6	13 x 400.0		Cuivre
PE	1 x 316.1	1 x 400.0		Cuivre

Chutes de tension	amont	circuit	aval
ΔU (%)	0.00	0.0581	0.06

Résultats de calcul :

	Icc amont	Ik3max	Ik2max	Ik1max	Ik2min	Ik1min	I défaut
(kA)		77.8707	67.4380	77.0679	60.9938	69.6788	71.0799
R (m Ω)		0.7529	1.5058	0.7707	1.5158	0.7807	0.7579
X (m Ω)		3.1818	6.3636	3.2126	6.3636	3.2126	3.1510
Z (m Ω)		3.2697	6.5393	3.3038	6.5416	3.3061	3.2409

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 : $I_m(I_{sd}) = 10.0 \times I_r = 45000.00$ A
 $t_m = 50$ ms

Circuit :**Tableau2 (B2) - Calculé**

Amont : Circuit1
 Aval : Circuit3
 Tension : 400 V

Jeu de barres :**B2**

Référence : OKKEN Dimensions : 0.0 m-6// 10.0 mmx40 mm
 Type : Okken Métal : Cuivre
 Température ambiante : 40 °C I disponible : 4350 A
 Température sur court-circuit : 145 °C Icc max : 77.87 kA
 Ks : 1.00 Icc crête (kA) : 171.32 kA
 Chute de tension : 0.0000 %

Circuit :**Circuit3 (Q3-C3-AUTO8-M3) - Calculé**

Amont : Tableau2
 Aval :
 Tension : 400 V

Disjoncteur :**Q3**

Nom : NSX400S-100.0 kA Calibre nominal : 320 A
 Calibre de la protection (In) : 320.00 A Déclencheur : Micrologic 2.3 M
 Nombre de pôles : 3P3d
 Sélectivité : T
 Pdc renforcé par filiation : Non
 Protection différentielle : Non
 Désignation de la protection différentielle : -
 Sensibilité : -
 Cran de temporisation : -
 Sélectivité différentielle : -

Réglages :

Surcharge : $I_r = 0.81 I_n = 259.20$ A
 Magnétique : $I_m(I_{sd}) = 13.0 \times I_r = 3369.60$ A

Contacteur :

LC3F225

Coordination :

Type 2

Relais thermique :**Démarrreur électronique :**

Câble :	C3		
Longueur :	40.0 m		
Mode de pose :	A1-dans des parois isolantes		
	Conducteurs isolés dans des conduits		
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:	-

Courant admissible par le câble (Iz):

Iz dans les conditions normales d'utilisation:	298.3 A
Iz x facteurs de correction (conditions réelles d'utilisation):	271.5 A

Contrainte de dimensionnement : surcharges

Facteurs de correction :	Température	: 0.91	(52F + 52K)
	x Résistivité thermique du sol	: 1.00	(52M)
	x Neutre chargé	: 1.00	(§524.2.4)
	x poses jointives	: 1.00	
	x Utilisateur	: 1.00	
	/ Protection)	: 1.00	(§433.1)
			0.91

Sections (mm ²)	théoriques	choisies	désignation	métal
Par phase	1 x 88.3	1 x 95.0		Cuivre
Neutre	-	-	-	-
PE	1 x 25.8	1 x 35.0		Cuivre

Chutes de tension	amont	circuit	aval
ΔU (%)	0.06	2.1972	2.26

Chute de tension au démarrage du moteur : 3.43

Vérification de la contrainte thermique:

Energie reçue par le conducteur de phase : 102400000 A²s

Contrainte admissible : 184552225 A²s

Résultats de calcul :

	Icc amont	Ik3max	Ik2max	Ik1max	Ik2min	Ik1min	I défaut
(kA)	77.8707	23.8705	20.6724		15.9758		5.9058
R(m Ω)	0.7529	8.5466	17.0932		21.4676		37.8113
X(m Ω)	3.1818	6.3818	12.7636		12.7636		9.5818
Z(m Ω)	3.2697	10.6664	21.3328		24.9753		39.0065

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 :	249.59 A	Polarité du circuit :	Tri
	P :	146.98 kW	Schéma des liaisons à la terre :	TN-S
	cos ϕ :	0.85	Répartition:	-
			Ku :	1.0
	Nombre de circuit identiques			3

Circuit : **Circuit4 (Q4-C4-AUTO12-M4) - Calculé**

Amont :	Tableau2
Aval :	
Tension :	400 V

Disjoncteur :

	Q4		
Nom :	NS800L-150.0 kA	Calibre nominal :	800 A
Calibre de la protection (In) :	800.00 A	Déclencheur :	Micrologic 5.0
Nombre de pôles :	3P3d		
Sélectivité :	T		
Pdc renforcé par filiation :	Non		
Protection différentielle :	Non		
	Désignation de la protection différentielle :		-
	Sensibilité :		-
	Cran de temporisation :		-
	Sélectivité différentielle :		-

Réglages :

Surcharge :	Ir = 0.98 In = 784.00 A
-------------	-------------------------

Magnétique : $I_m(I_{sd}) = 10.0 \times I_r = 7840.00 \text{ A}$

Contacteur : 3xLC1F630 Coordination : Type 2
Relais thermique :
Démarrateur électronique :

Câble : C4
 Longueur : 30.0 m
 Mode de pose : A1-dans des parois isolantes
 conducteurs isolés dans des conduits
 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: -

Courant admissible par le câble (Iz):

Iz dans les conditions normales d'utilisation: 1241.1 A
 Iz x facteurs de correction (conditions réelles d'utilisation): 794.3 A

Contrainte de dimensionnement : surcharges

Facteurs de correction :
 Température : 0.91 (52F + 52K)
 x Résistivité thermique du sol : 1.00 (52M)
 x Neutre chargé : 1.00 (§524.2.4)
 x poses jointives : 0.88 (52N/4)
 x Utilisateur : 1.00
 / Protection) : 1.00 (§433.1)

0.64

Sections (mm ²)	théoriques	choisies	désignation	métal
Par phase	2 x 289.7	2 x 300.0		Cuivre
Neutre	-	-	-	-
PE	1 x 103.0	1 x 120.0		Cuivre

Chutes de tension	amont	Circuit	aval
ΔU (%)	0.06	1.1298	1.19

Chute de tension au démarrage du moteur : 2.57

Vérification de la contrainte thermique:

Energie reçue par le conducteur de phase : 640000000 A²s
 Contrainte admissible : 1840410000 A²s

Résultats de calcul :

	Icc amont	Ik3max	Ik2max	Ik1max	Ik2min	Ik1min	I défaut
(kA)	77.8707	54.2621	46.9923		41.6225		22.1808
R(mΩ)	0.7529	1.6784	3.3568		3.8851		7.8657
X(mΩ)	3.1818	4.3818	8.7636		8.7636		6.7818
Z (mΩ)	3.2697	4.6922	9.3845		9.5862		10.3857

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 : 778.85 A Polarité du circuit : Tri
 P : 420.88 kW Schéma des liaisons à la terre : TN-S
 cosφ : 0.78 Répartition: -
 Ku : 1.0
 Nombre de circuit identiques 1

Circuit : **Circuit5 (Q5-C5-AUTO16-M5) - Calculé**
 Amont : Tableau2
 Aval :
 Tension : 400 V

Disjoncteur : **Q5**
 Nom : NSX250S-100.0 kA Calibre nominal : 220 A
 Calibre de la protection (In) : 220.00 A Déclencheur : Micrologic 2.2 M
 Nombre de pôles : 3P3d
 Sélectivité : T
 Pdc renforcé par filiation : Non
 Protection différentielle : Non
 Désignation de la protection différentielle : -
 Sensibilité : -
 Cran de temporisation : -
 Sélectivité différentielle : -

Réglages :

Surcharge : $I_r = 0.91 I_n = 200.20 \text{ A}$
Magnétique : $I_m(I_{sd}) = 13.0 \times I_r = 2602.60 \text{ A}$

Contacteur : LC3F185 Coordination : Type 2
Relais thermique :
Démarreur électronique :

Câble : C5
Longueur : 30.0 m
Mode de pose : A1-dans des parois isolantes
Conducteurs isolés dans des conduits
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: -

Courant admissible par le câble (Iz):

Iz dans les conditions normales d'utilisation: 245.6 A
Iz x facteurs de correction (conditions réelles d'utilisation): 223.5 A

Contrainte de dimensionnement : surcharges

Facteurs de correction :

Température	: 0.91	(52F + 52K)
x Résistivité thermique du sol	: 1.00	(52M)
x Neutre chargé	: 1.00	(§524.2.4)
x poses jointives	: 1.00	
x Utilisateur	: 1.00	
/ Protection)	: 1.00	(§433.1)
	<u>0.91</u>	

Sections (mm ²)	théoriques	choisies	désignation	métal
Par phase	1 x 58.5	1 x 70.0		Cuivre
Neutre	-	-	-	-
PE	1 x 25.7	1 x 35.0		Cuivre

Chutes de tension	amont	Circuit	aval
ΔU (%)	0.06	1.5131	1.57

Chute de tension au démarrage du moteur : 2.30

Vérification de la contrainte thermique:

Energie reçue par le conducteur de phase : 48400000 A²s
Contrainte admissible : 100200100 A²s

Résultats de calcul :

	Icc amont	Ik3max	Ik2max	Ik1max	Ik2min	Ik1min	I défaut
(kA)	77.8707	24.6605	21.3566		16.2768		7.1487
R(mΩ)	0.7529	8.6858	17.3715		21.8239		31.2201
X(mΩ)	3.1818	5.5818	11.1636		11.1636		7.9818
Z(mΩ)	3.2697	10.3247	20.6493		24.5134		32.2243

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 :	185.44 A	Polarité du circuit :	Tri
	P :	100.21 kW	Schéma des liaisons à la terre :	TN-S
	cosφ :	0.78	Répartition:	-
			Ku :	1.0
	Nombre de circuit identiques			4

V.5. Interprétation des résultats :

Après l'analyse des résultats trouvés à l'aide de logiciel Ecodial, et ceux trouvés analytiquement. Nous avons constaté que les résultats sont pratiquement pareilles exceptés quelques résultats qui se différencient.

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 normaliser (3200kVA).

V.6. Conclusion

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

Après avoir analysé les résultats trouvés à l'aide du logiciel et ceux calculés analytiquement, nous avons constaté une bonne concordance des résultats.

Nous avons aussi constaté l'importance d'utilisation des logiciels informatiques lors du dimensionnement des installations électriques.

Conclusion générale

Notre études dans ce projet de fin d'étude basé sur le dimensionnement des tableaux général basse tension de la raffinerie de sucre liquide 3500 t/j au sein de l'entreprise prive CEVITAL.

Nous avons commencé par une présentation de l'entreprise et de son installation électrique, ou nous avons recueilli les données de l'installation, qui nous ont permis d'élaborer un bilan de puissance afin de déterminer la puissance totale et le facteur de puissance de chaque TGBT (tableau générale basse tension) de l'installation.

Après avoir étudié le dimensionnement des sections des câbles le choix des éléments d'installations en fonction de l'échauffement et des chutes de tension, comme on a calculé les courants de courts circuits éventuels pour les divers départs de chaque TGBT.

Les pouvoirs de coupures des disjoncteurs supérieurs aux valeurs de courant de court-circuit présumé dans chaque point de l'installation pour assurer la protection des personnes et du matériel dans le cas d'un court-circuit éventuel.

L'étude des différents régimes du neutre en basse tension (TT, TN et IT), nous a permis de mettre une évidence les conditions minimales à respect et pour assurer une meilleure protection des personnes et du matériels.

D'après les résultats obtenus, nous constatons que l'installation électrique de la raffinerie de sucre présente un facteur de puissance moyen et de 0,81 entrainement des pertes importantes non exploités, une compensation de l'énergie réactive a été proposé.

L'amélioration du facteur de puissance a 0,94 permet une diminution au niveau des sections des câbles, une réduction de la chute de tension et une augmentation de la puissance disponible du transformateur.

Ensuite, nous avons étudié les différents modes et systèmes de compensation d'énergie réactive par batteries de condensateurs, pour cela nous avons opté une compensation globale avec des batteries automatiques, qui serait capable de résoudre par nature tous les problèmes.

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

Bibliographie

- [1] site officiel cevital- www.cevital.com(le 03/05/2018)
- [2] **B.AZZOUG**, « Etude et redimensionnement des systèmes de protection des personnes et des matériels de L'unité CEVITAL' », Projet de fin d'études Master université de Bejaia 2003.
- [3] **J.L.Lilien**, « Effets indirects des champs électromagnétiques », Thèse doctorat Institut Montefiore, Université de Liège, 2005.
- [4] **Groupe Schneider Electric**, «Guide de l'installation électrique installation», Edition 2010.
- [5] **A.Ouadi**, «Etude et calcul de l'installation électrique au niveau de la raffinerie sucre Cevital », Projet de fin d'études Master université de Bejaia 2015.
- [6] **Scheider Electric**, « Guide de la distribution basse et moyenne tension », édition 2002.
- [7] **A.HICHAM et A.SAMIR**, «Etude et dimensionnement électrique de la raffinerie sucre liquide Cevital», Projet de fin d'études Master université de Bejaia 2016.
- [8] **Scheider Electric**, « Guide de conception des réseaux électriques industriels », édition 1997.
- [9] **H. PEROZ, J. CLAUDE LEMOINE, P. SAPET, G. SANTUCCI**, « La planification des réseaux électriques », éditions EYROLLES, 1984.
- [10] **Schneider Electric**, « Guide l'installation électrique 2010 ».
- [11] **M.SOFIAN et C.FARID**, «Etude et dimensionnement des équipements électriques de la station de pompage mélasse de l'unité CEVITAL», Projet de fin d'études, université de Bejaia 2013.
- [12] **K.KOCEILA et M.LAZHAR**, «Dimensionnement du système de compensation DE L'énergie réactive et des éléments de protection de la SARL ramdy», Projet de fin d'études, Master université de Bejaia 2014.
- [13] **Schneider Electric**, «Guide de conception moyenne tension»,2000.
- [14] **Schneider Electric**, «guide de la distribution électrique basse tension et HTA»,2009.
- [15] **B.TAREK et M.OMAR**, «Redimensionnement du TGBT de conditionnement d'huile de CEVITAL», Projet de fin d'études, Master université de Bejaia 2011.
- [16] **S.HOCINE et B.DJAMEL**, « Etude de l'extension de l'installation électrique de chaufferie-Raffinerie CEVITAL» Projet de fin d'études Master université de Bejaia 2006.
- [17] **Schneider Electric**, Intersections - novembre 2006.

ANNEXE 1

Paramètres normalisés des installations

Tableau N°1 : Le mode pose

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°2: Le mode pose

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°3 : L'influence mutuelle**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°4 : Température ambiante et la nature de l'isolant**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°5 : Le nombre de barres méplates (Le facteur K1)

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

Tableau N°6 : Le courant admissible

lettre de sélection	isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)									
	caoutchouc ou PVC				butyle ou PR ou éthylène PR					
B	PVC3	PVC2			PR3		PR2			
C		PVC3			PVC2	PR3		PR2		
E			PVC3		PVC2	PR3			PR2	
F					PVC3		PVC2	PR3		PR2
section cuivre (mm ²)	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	

Annexe 2

Résultats de calcul

Circuit : **Circuit6 (Q6-C6-AUTO20-M6) - Calculé**
 Amont : Tableau2
 Aval :
 Tension : 400 V

Disjoncteur : **Q6**
 Nom : NSX250S-100.0 kA Calibre nominal : 220 A
 Calibre de la protection (In) : 220.00 A Déclencheur : Micrologic 2.2 M
 Nombre de pôles : 3P3d
 Sélectivité : T
 Pdc renforcé par filiation : Non
 Protection différentielle : Non
 Désignation de la protection différentielle : -
 Sensibilité : -
 Cran de temporisation : -
 Sélectivité différentielle : -

Réglages :
 Surcharge : $I_r = 0.84 I_n = 184.80 \text{ A}$
 Magnétique : $I_m(I_{sd}) = 13.0 \times I_r = 2402.40 \text{ A}$

Contacteur : LC3F185 Coordination : Type 2
Relais thermique :
Démarrateur électronique :

Cable : **C6**
 Longueur : 30.0 m
 Mode de pose : A1-dans des parois isolantes conducteurs isolés dans des conduits
 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: -

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): 180.4 A

Contrainte de dimensionnement : surcharges
 Facteurs de correction :
 Température : 0.91 (52F + 52K)
 x Résistivité thermique du sol : 1.00 (52M)
 x Neutre chargé : 1.00 (§524.2.4)
 x poses jointives : 1.00
 x Utilisateur : 1.00
 / Protection : 1.00 (§433.1)
 0.91

Sections (mm ²)	théoriques	choisies	désignation	métal
Par phase	1 x 51.8	1 x 50.0		Cuivre
Neutre	-	-	-	-
PE	1 x 18.8	1 x 25.0		Cuivre

Chutes de tension	amont	circuit	aval
ΔU (%)	0.06	2.2677	2.33

Chute de tension au démarrage du moteur : 2.83

Vérification de la contrainte thermique:
 Energie reçue par le conducteur de phase : 48400000 A²s
 Contrainte admissible : 51122500 A²s

Résultats de calcul :

	Icc amont	Ik3max	Ik2max	Ik1max	Ik2min	Ik1min	I défaut
(kA)	77.8707	19.4258	16.8232		12.4843		5.2198
R (mΩ)	0.7529	11.8589	23.7178		29.9471		43.4049
X (mΩ)	3.1818	5.5818	11.1636		11.1636		7.9818
Z (mΩ)	3.2697	13.1069	26.2137		31.9602		44.1327

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 :	184.64 A	Polarité du circuit :	Tri
	P :	120.25 kW	Schéma des liaisons à la terre :	TN-S
	cosφ :	0.94	Répartition:	-
			Ku :	1.0
	Nombre de circuit identiques		1	

Circuit : **Circuit7 (Q7-C7-AUTO24-M7) - Calculé**

Amont : Tableau2
 Aval :
 Tension : 400 V

Disjoncteur : **Q7**

Nom : NSX250S-100.0 kA Calibre nominal : 220 A
 Calibre de la protection (In) : 220.00 A Déclencheur : Micrologic 2.2 M
 Nombre de pôles : 3P3d
 Sélectivité : T
 Pdc renforcé par filiation : Non
 Protection différentielle : Non
 Désignation de la protection différentielle : -
 Sensibilité : -
 Cran de temporisation : -
 Sélectivité différentielle : -

Réglages :
 Surcharge : Ir = 0.91 In = 200.20 A
 Magnétique : Im(Isd) = 6.6 x Ir = 1321.32 A

Contacteur : LC3F185 Coordination : Type 2

Relais thermique :
Démarrateur électronique :

Câble : **C7**

Longueur : 80.0 m
 Mode de pose : A1-dans des parois isolantes
 Conducteurs isolés dans des conduits
 Type de câble : Multiconducteur Nb de couches : 1
 Isolant : PR Nb de circuits jointifs supplémentaires: 0
 Arrangement des conducteurs : Tréfle
 Température ambiante : 40 °C Niveau de THDI: -

Courant admissible par le câble (Iz):

Iz dans les conditions normales d'utilisation: 298.3 A
 Iz x facteurs de correction (conditions réelles d'utilisation): 271.5 A

Contrainte de dimensionnement : chute de tension

Facteurs de correction :	Température	: 0.91	(52F + 52K)
	x Résistivité thermique du sol	: 1.00	(52M)
	x Neutre chargé	: 1.00	(§524.2.4)
	x poses jointives	: 1.00	
	x Utilisateur	: 1.00	
	/ Protection)	: 1.00	(§433.1)
			0.91

Sections (mm²)	théoriques	choisies	désignation	métal
Par phase	1 x 58.5	1 x 95.0		Cuivre
Neutre	-	-	-	-
PE	1 x 9.9	1 x 16.0		Cuivre

Chutes de tension	amont	circuit	aval
ΔU (%)	0.06	3.2627	3.32

Chute de tension au démarrage du moteur : 5.14

Vérification de la contrainte thermique:

Energie reçue par le conducteur de phase : 48400000 A²s
 Contrainte admissible : 184552225 A²s

Résultats de calcul :

	Icc amont	Ik3max	Ik2max	Ik1max	Ik2min	Ik1min	I défaut
(kA)	77.8707	13.4413	11.6405		8.7427		1.6444
R (mΩ)	0.7529	16.3403	32.6805		41.4194		139.1737
X (mΩ)	3.1818	9.5818	19.1636		19.1636		15.9818
Z (mΩ)	3.2697	18.9424	37.8848		45.6378		140.0883

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 :	188.15 A	Polarité du circuit :	Tri
	P :	106.89 kW	Schéma des liaisons à la terre :	TN-S
	cosφ :	0.82	Répartition :	-
			Ku :	1.0
	Nombre de circuit identiques			3

Circuit : **Circuit8 (Q8-C8-AUTO28-M8) - Calculé**

Amont : Tableau2
Aval :
Tension : 400 V

Disjoncteur :

Q8

Nom : NSX160S-100.0 kA Calibre nominal : 150 A
Calibre de la protection (In) : 150.00 A Déclencheur : Micrologic 2.2 M
Nombre de pôles : 3P3d
Sélectivité : T
Pdc renforcé par filiation : Non
Protection différentielle : Non

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

Réglages :

Surcharge : Ir = 0.93 In = 139.50 A
Magnétique : Im(Isd) = 8.3 x Ir = 1157.85 A

Contacteur : LC3F115 Coordination : Type 2

Relais thermique :

Démarrateur électronique :

Câble :

C8

Longueur : 80.0 m
Mode de pose : A1-dans des parois isolantes
Conducteurs isolés dans des conduits
Type de câble : Multiconducteur Nb de couches : 1
Isolant : PR Nb de circuits jointifs supplémentaires: 0
Arrangement des conducteurs : Tréfle
Température ambiante : 40 °C Niveau de THDI: -

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): 180.4 A

Contrainte de dimensionnement : chute de tension

Facteurs de correction :	Température	: 0.91	(52F + 52K)
	x Résistivité thermique du sol	: 1.00	(52M)
	x Neutre chargé	: 1.00	(§524.2.4)
	x poses jointives	: 1.00	
	x Utilisateur	: 1.00	
	/ Protection)	: 1.00	(§433.1)
		<hr/>	0.91

Sections (mm²)	théoriques	choisies	désignation	métal
Par phase	1 x 33.4	1 x 50.0		Cuivre
Neutre	-	-	-	-
PE	1 x 4.8	1 x 16.0		Cuivre

Chutes de tension	amont	circuit	aval
ΔU (%)	0.06	3.8518	3.91

Chute de tension au démarrage du moteur : 5.27

Vérification de la contrainte thermique:

Energie reçue par le conducteur de phase : 22500000 A²s

Contrainte admissible : 51122500 A²s

Résultats de calcul :

	Icc amont	Ik3max	Ik2max	Ik1max	Ik2min	Ik1min	I défaut
(kA)	77.8707	7.9954	6.9242		5.0080		1.4585
R (mΩ)	0.7529	30.3689	60.7378		77.3327		157.1304
X (mΩ)	3.1818	9.5818	19.1636		19.1636		15.9818
Z (mΩ)	3.2697	31.8446	63.6893		79.6718		157.9411

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 :	130.17 A	Polarité du circuit :	Tri
	P :	72.15 kW	Schéma des liaisons à la terre :	TN-S
	cosφ :	0.80	Répartition:	-
			Ku :	1.0
	Nombre de circuit identiques			3

Circuit : **Circuit9 (Q9-C9-AUTO32-M9) - Calculé**

Amont : Tableau2
Aval :
Tension : 400 V

Disjoncteur :

Q9

Nom : NSX100S-100.0 kA Calibre nominal : 100 A
Calibre de la protection (In) : 50.00 A Déclencheur : Micrologic 2.2 M
Nombre de pôles : 3P3d
Sélectivité : T
Pdc renforcé par filiation : Non
Protection différentielle : Non
Désignation de la protection différentielle : -
Sensibilité : -
Cran de temporisation : -
Sélectivité différentielle : -

Réglages :

Surcharge : Ir = 0.60 In = 30.00 A
Magnétique : Im(Isd) = 13.0 x Ir = 390.00 A

Contacteur : LC3D80 Coordination : Type 2

Relais thermique :

Démarrateur électronique :

Câble :

C9

Longueur : 60.0 m
Mode de pose : A1-dans des parois isolantes
Conducteurs isolés dans des conduits
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: -

Courant admissible par le câble (Iz):

Iz dans les conditions normales d'utilisation: 74.7 A
Iz x facteurs de correction (conditions réelles d'utilisation): 68.0 A

Contrainte de dimensionnement : chute de tension

Facteurs de correction :	Température	: 0.91	(52F + 52K)
	x Résistivité thermique du sol	: 1.00	(52M)
	x Neutre chargé	: 1.00	(§524.2.4)
	x poses jointives	: 1.00	
	x Utilisateur	: 1.00	
	/ Protection)	: 1.00	(§433.1)
		0.91	

Sections (mm ²)	théoriques	choisies	désignation	métal
Par phase	1 x 2.7	1 x 10.0		Cuivre
Neutre	-	-	-	-
PE	1 x 1.0	1 x 10.0		Cuivre

Chutes de tension	amont	circuit	aval
ΔU (%)	0.06	2.6971	2.76

Chute de tension au démarrage du moteur : 4.24

Vérification de la contrainte thermique:

Energie reçue par le conducteur de phase : 613935 A²s

Contrainte admissible : 2044900 A²s

Résultats de calcul :

	Icc amont	Ik3max	Ik2max	Ik1max	Ik2min	Ik1min	I défaut
(kA)	77.8707	2.2713	1.9670		1.3938		0.8073
R (mΩ)	0.7529	111.8129	223.6258		285.8294		285.0715
X (mΩ)	3.1818	7.9818	15.9636		15.9636		12.7818
Z (mΩ)	3.2697	112.0974	224.1949		286.2748		285.3579

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 :	29.47 A	Polarité du circuit :	Tri
	P :	14.70 kW	Schéma des liaisons à la terre :	TN-S
	cosφ :	0.72	Répartition:	-
			Ku :	1.0
		Nombre de circuit identiques		3

Circuit :

Amont :

Aval :

Tension :

Circuit10 (Q10-C10-AUTO36-M10) - Calculé

Tableau2

400 V

Disjoncteur :

Q10

Nom :

Calibre de la protection (In) :

Nombre de pôles :

Sélectivité :

Pdc renforcé par filiation :

Protection différentielle :

Désignation de la protection différentielle :

Sensibilité :

Cran de temporisation :

Sélectivité différentielle :

Réglages :

Surcharge : Ir = 0.88 In = 22.00 A

Magnétique : Im(Isd) = 13.0 x Ir = 286.00 A

Calibre nominal : 100 A

Déclencheur : Micrologic 2.2 M

3P3d

T

Non

Non

-

-

-

-

Contacteur :

Relais thermique :

Démarréur électronique :

LC3D80

Coordination :

Type 2

Câble :

Longueur :

Mode de pose :

Type de câble :

Isolant :

Arrangement des conducteurs :

Température ambiante :

C10

60.0 m

A1-dans des parois isolantes

Conducteurs isolés dans des conduits

Multiconducteur

PR

Trèfle

40 °C

Nb de couches :

Nb de circuits jointifs supplémentaires :

Niveau de THDI:

1

0

-

Courant admissible par le câble (Iz):

Iz dans les conditions normales d'utilisation:

Iz x facteurs de correction (conditions réelles d'utilisation):

54.4 A

49.5 A

Contrainte de dimensionnement : chute de tension

Facteurs de correction :

Température

x Résistivité thermique du sol

x Neutre chargé

x poses jointives

x Utilisateur

/ Protection)

: 0.91

: 1.00

: 1.00

: 1.00

: 1.00

: 1.00

(52F + 52K)

(52M)

(§524.2.4)

(§433.1)

0.91

Sections (mm²)	théoriques	choisies	désignation	métal
Par phase	1 x 1.6	1 x 6.0		Cuivre

Neutre	-	-	-	-
PE	1 x 1.0	1 x 6.0		Cuivre

Chutes de tension	amont	circuit	aval
ΔU (%)	0.06	3.0272	3.09

Chute de tension au démarrage du moteur : 4.75

Vérification de la contrainte thermique:

Energie reçue par le conducteur de phase : 625000 A²s

Contrainte admissible : 736164 A²s

Résultats de calcul :

	Icc amont	Ik3max	Ik2max	Ik1max	Ik2min	Ik1min	I défaut
(kA)	77.8707	1.3687	1.1853		0.8389		0.4852
R (mΩ)	0.7529	185.8529	371.7058		475.3718		474.6139
X (mΩ)	3.1818	7.9818	15.9636		15.9636		12.7818
Z (mΩ)	3.2697	186.0242	372.0484		475.6398		474.7860

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 :	20.37 A	Polarité du circuit :	Tri
	P :	10.02 kW	Schéma des liaisons à la terre :	TN-S
	cosφ :	0.71	Répartition:	-
			Ku :	1.0
	Nombre de circuit identiques	2		

Circuit : **Circuit11 (Q11-C11-AUTO40-M11) - Calculé**

Amont : Tableau2

Aval :

Tension : 400 V

Disjoncteur : **Q11**

Nom :	NSX100S-100.0 kA	Calibre nominal :	100 A
Calibre de la protection (In) :	100.00 A	Déclencheur :	Micrologic 2.2 M
Nombre de pôles :	3P3d		
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 I _n = 80.00 A
Magnétique :	I _m (I _{sd}) = 13.0 x I _r = 1040.00 A

Contacteur : LC3D80 Coordination : Type 2

Relais thermique :

Démarrateur électronique :

Câble : **C11**

Longueur :	40.0 m
Mode de pose :	A1-dans des parois isolantes
	Conducteurs isolés dans des conduits
Type de câble :	Multiconducteur
Isolant :	PR
Arrangement des conducteurs :	Trèfle
Température ambiante :	40 °C
	Niveau de THDI: -
	Nb de couches : 1
	Nb de circuits jointifs supplémentaires: 0

Courant admissible par le câble (Iz):

Iz dans les conditions normales d'utilisation:	100.1 A
Iz x facteurs de correction (conditions réelles d'utilisation):	91.1 A

Contrainte de dimensionnement : surcharges

Facteurs de correction :	Température	: 0.91	(52F + 52K)
	x Résistivité thermique du sol	: 1.00	(52M)
	x Neutre chargé	: 1.00	(§524.2.4)
	x poses jointives	: 1.00	
	x Utilisateur	: 1.00	
	/ Protection)	: 1.00	(§433.1)

Sections (mm ²)	théoriques	choisies	désignation	métal
Par phase	1 x 12.9	1 x 16.0		Cuivre
Neutre	-	-	-	-
PE	1 x 1.0	1 x 16.0		Cuivre

Chutes de tension	amont	circuit	aval
ΔU (%)	0.06	3.1046	3.16

Chute de tension au démarrage du moteur : 4.73

Vérification de la contrainte thermique:

Energie reçue par le conducteur de phase : 613935 A²s

Contrainte admissible : 5234944 A²s

Résultats de calcul :

	Icc amont	Ik3max	Ik2max	Ik1max	Ik2min	Ik1min	I défaut
(kA)	77.8707	5.3649	4.6461		3.3069		1.9260
R (m Ω)	0.7529	47.0279	94.0558		119.9798		119.2219
X (m Ω)	3.1818	6.3818	12.7636		12.7636		9.5818
Z (m Ω)	3.2697	47.4589	94.9179		120.6568		119.6063

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 :	76.12 A	Polarité du circuit :	Tri
	P :	40.08 kW	Schéma des liaisons à la terre :	TN-S
	cos ϕ :	0.76	Répartition:	-
			Ku :	1.0
	Nombre de circuit identiques	1		

Circuit : **Circuit13 (Q13-C13-AUTO48-M13) - Calculé**

Amont : Tableau2
Aval :
Tension : 400 V

Disjoncteur : **Q13**

Nom : NSX100S-100.0 kA Calibre nominal : 100 A
Calibre de la protection (In) : 50.00 A Déclencheur : Micrologic 2.2 M
Nombre de pôles : 3P3d
Sélectivité : T
Pdc renforcé par filiation : Non
Protection différentielle : Non

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

Réglages :

Surcharge : Ir = 0.60 In = 30.00 A
Magnétique : Im(Isd) = 13.0 x Ir = 390.00 A

Contacteur : LC3D80 Coordination : Type 2

Relais thermique :

Démarrateur électronique :

Câble : **C13**

Longueur : 35.0 m
Mode de pose : A1-dans des parois isolantes
Conducteurs isolés dans des conduits
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: -

Courant admissible par le câble (Iz):

Iz dans les conditions normales d'utilisation: 54.4 A
Iz x facteurs de correction (conditions réelles d'utilisation): 49.5 A

Contrainte de dimensionnement : surcharges

Facteurs de correction :	Température	: 0.91	(52F + 52K)
	x Résistivité thermique du sol	: 1.00	(52M)
	x Neutre chargé	: 1.00	(§524.2.4)
	x poses jointives	: 1.00	

x Utilisateur	: 1.00	
/ Protection)	: 1.00	(§433.1)
		0.91

Sections (mm ²)	théoriques	choisies	désignation	métal
Par phase	1 x 2.7	1 x 6.0		Cuivre
Neutre	-	-	-	-
PE	1 x 1.0	1 x 6.0		Cuivre

Chutes de tension	amont	circuit	aval
ΔU (%)	0.06	2.5863	2.65

Chute de tension au démarrage du moteur : 3.91

Vérification de la contrainte thermique:

Energie reçue par le conducteur de phase : 613935 A²s

Contrainte admissible : 736164 A²s

Résultats de calcul :

	Icc amont	Ik3max	Ik2max	Ik1max	Ik2min	Ik1min	I défaut
(kA)	77.8707	2.3382	2.0249		1.4343		0.8307
R (mΩ)	0.7529	108.7279	217.4558		277.9318		277.1739
X (mΩ)	3.1818	5.9818	11.9636		11.9636		8.7818
Z (mΩ)	3.2697	108.8923	217.7847		278.1892		277.3130

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 :	28.67 A	Polarité du circuit :	Tri
	P :	14.70 kW	Schéma des liaisons à la terre :	TN-S
	cosφ :	0.74	Répartition:	-
			Ku :	1.0
	Nombre de circuit identiques		5	

Circuit :

Amont :

Aval :

Tension :

Circuit20 (Q20-C20-AUTO71-M20) - Calculé

Tableau19

400 V

Disjoncteur :

Nom :

Calibre de la protection (In) :

Nombre de pôles :

Sélectivité :

Pdc renforcé par filiation :

Protection différentielle :

Désignation de la protection différentielle :

Sensibilité :

Cran de temporisation :

Sélectivité différentielle :

Réglages :

Surcharge : Ir = 0.60 In = 60.00 A

Magnétique : Im(Isd) = 13.0 x Ir = 780.00 A

Contacteur :

Relais thermique :

Démarréur électronique :

LC3D80

Coordination :

Type 2

Câble :

Longueur :

Mode de pose :

Type de câble :

Isolant :

Arrangement des conducteurs :

Température ambiante :

C20

40.0 m

A1-dans des parois isolantes

conducteurs isolés dans des conduits

Multiconducteur

PR

Trèfle

40 °C

Nb de couches :

Nb de circuits jointifs supplémentaires :

Niveau de THDI:

Courant admissible par le câble (Iz):

Iz dans les conditions normales d'utilisation:

Iz x facteurs de correction (conditions réelles d'utilisation):

74.7 A

68.0 A

Contrainte de dimensionnement : surcharges

Facteurs de correction :	Température	: 0.91	(52F + 52K)
	x Résistivité thermique du sol	: 1.00	(52M)
	x Neutre chargé	: 1.00	(§524.2.4)
	x poses jointives	: 1.00	
	x Utilisateur	: 1.00	
	/ Protection)	: 1.00	(§433.1)
			0.91

Sections (mm²)	théoriques	choisies	désignation	métal
Par phase	1 x 8.1	1 x 10.0		Cuivre
Neutre	-	-	-	-
PE	1 x 1.0	1 x 10.0		Cuivre

Chutes de tension	amont	circuit	aval
ΔU (%)	0.06	3.5834	3.64

Chute de tension au démarrage du moteur : 5.34

Vérification de la contrainte thermique:

Energie reçue par le conducteur de phase : 613935 A²s

Contrainte admissible : 2044900 A²s

Résultats de calcul :

	Icc amont	Ik3max	Ik2max	Ik1max	Ik2min	Ik1min	I défaut
(kA)	77.8707	3.3919	2.9375		2.0837		1.2090
R (mΩ)	0.7529	74.7929	149.5858		191.0582		190.3003
X (mΩ)	3.1818	6.3818	12.7636		12.7636		9.5818
Z (mΩ)	3.2697	75.0647	150.1293		191.4841		190.5414

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 :	55.84 A	Polarité du circuit :	Tri
	P :	29.40 kW	Schéma des liaisons à la terre :	TN-S
	cosφ :	0.76	Répartition:	-
			Ku :	1.0
		Nombre de circuit identiques	2	

Circuit : **Circuit26 (Q26-C26-AUTO95-M26) - Calculé**

Amont : Tableau19
Aval :
Tension : 400 V

Disjoncteur :

Q26

Nom : NSX100S-100.0 kA Calibre nominal : 100 A
Calibre de la protection (In) : 100.00 A Déclencheur : Micrologic 2.2 M
Nombre de pôles : 3P3d
Sélectivité : T
Pdc renforcé par filiation : Non
Protection différentielle : Non

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

Réglages :

Surcharge : Ir = 0.80 In = 80.00 A
Magnétique : Im(Isd) = 11.0 x Ir = 880.00 A

Contacteur : LC3D80 Coordination : Type 2

Relais thermique :

Démarréur électronique :

Câble :

C26

Longueur : 70.0 m
Mode de pose : A1-dans des parois isolantes conducteurs isolés dans des conduits
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: -

Courant admissible par le câble (Iz):

Iz dans les conditions normales d'utilisation: 100.1 A
 Iz x facteurs de correction (conditions réelles d'utilisation): 91.1 A

Contrainte de dimensionnement : surcharges

Facteurs de correction :	Température	: 0.91	(52F + 52K)
	x Résistivité thermique du sol	: 1.00	(52M)
	x Neutre chargé	: 1.00	(§524.2.4)
	x poses jointives	: 1.00	
	x Utilisateur	: 1.00	
	/ Protection)	: 1.00	(§433.1)
		0.91	

Sections (mm²)	théoriques	choisies	désignation	métal
Par phase	1 x 12.9	1 x 16.0		Cuivre
Neutre	-	-	-	-
PE	1 x 1.0	1 x 16.0		Cuivre

Chutes de tension	amont	circuit	aval
ΔU (%)	0.06	2.9488	3.01

Chute de tension au démarrage du moteur : 8.45

Vérification de la contrainte thermique:

Energie reçue par le conducteur de phase : 613935 A²s

Contrainte admissible : 5234944 A²s

Résultats de calcul :

	Icc amont	Ik3max	Ik2max	Ik1max	Ik2min	Ik1min	I défaut
(kA)	77.8707	3.0973	2.6823		1.9039		1.1045
R (mΩ)	0.7529	81.7342	163.4683		208.8278		208.0699
X (mΩ)	3.1818	8.7818	17.5636		17.5636		14.3818
Z (mΩ)	3.2697	82.2046	164.4091		209.5651		208.5663

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 :	78.18 A	Polarité du circuit :	Tri
	P :	20.04 kW	Schéma des liaisons à la terre :	TN-S
	cosφ :	0.37	Répartition:	-
			Ku :	1.0
	Nombre de circuit identiques		1	

