

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche
Scientifique
Université A. MIRA, BEJAIA



Faculté de Technologie
Département de Génie
Electrique

Mémoire de Fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de MASTER en
électrotechnique
Option : Electrotechnique industrielle.

Thème

ETUDE ET REDIMENSIONNEMENT DES EQUIPEMENTS ELECTRIQUES DE DEPART DE TRANSFORMATEUR T4 AU NIVEAU DE L'ENTREPRISE CEVITAL

Préparé par:

Mr. AZZOUGUER Rabah, option : EI

Mr. HAMADOUCHE Mohamed, option : EI

Encadré par:

DR. F. TAZERART.

MR. M. MEGRI

Année Universitaire : 2024/2025

Populaire et Démocratique Algérienne République
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Déclaration sur l'honneur
Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans
l'élaboration d'un travail de recherche

Arrêté ministériel n° 1082 du 27 décembre 2020 (*)
fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

Je soussigné,

Nom : HAMADOU CHE
Prénom : MoRamed
Matricule : 2020 35 05 66 93
Spécialité et/ou Option : Electrotechnique Industrielle
Département : Génie Electrique
Faculté : de Technologie
Année universitaire : 2024 / 2025

et chargé de préparer un mémoire de (Licence, Master, Autres à préciser) : Master

Intitulé : Etude et redimensionnement des équipements électriques
de départ de transformateur T4 au niveau de l'entreprise Cevital

déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques,
et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans
l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le
02 / 07 / 2025

Signature de l'intéressé

(*) Lu et approuvé

[Signature]

(*) Arrêté ministériel disponible sur le site www.univ-bejaia.dz/formation (rubrique textes réglementaires)

Populaire et Démocratique Algérienne République
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique



Déclaration sur l'honneur
Engagement pour respecter les règles d'authenticité scientifique dans
l'élaboration d'un travail de recherche

Arrêté ministériel n° 1082 du 27 décembre 2020 (*)
fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat

Je soussigné,

Nom : AZZOUGUER

Prénom : Rabah

Matricule : 202033011725

Spécialité et/ou Option : Electrotechnique Industrielle

Département : Genie électrique

Faculté : De Technologie

Année universitaire : 2024/2025

et chargé de préparer un mémoire de (Licence, Master, Autres à préciser) : Master

Intitulé : Etude et redimensionnement des équipements électriques
le départ de transformateur T4 du niveau de
l'entreprise Cavital

déclare sur l'honneur, m'engager à respecter les règles scientifiques, méthodologiques,
et les normes de déontologie professionnelle et de l'authenticité académique requises dans
l'élaboration du projet de fin de cycle cité ci-dessus.

Fait à Béjaïa le
02/07/2025

Signature de l'intéressé

(*) Lu et approuvé

[Signature]

(*) Arrêté ministériel disponible sur le site www.univ-bajaia.dz/formation (rubrique textes réglementaires)

Remerciements

*N*ous remercions DIEU, le tout-puissant de nous avoir donné la foi qui nous a guidée jusqu'à la réalisation et l'aboutissement de ce travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur Mr TAZERART Farid pour son orientation, ses conseils, ses encouragements, son aide précieux, et le temps qu'il nous a accordé tout au long de notre travail, nous exprimons notre profond remerciement et respect.

Nous adressons aussi nos plus sincères remerciements à tout le personnel du complexe CEVITAL et plus particulièrement notre encadrant Mr. MEGRI Mourad d'avoir accordé de leur temps pour l'aide et l'orientation pendant toute la période de stage.

Nos remerciements les plus sincères vont à tous les profs du département d'Electrotechnique de l'université de Béjaia qui n'ont pas hésité un instant pour nous orienter, et d'être à notre disposition à tout moment pour la réussite et la réalisation de notre travail.

Nos chers parents, pour leurs patiences et leurs sacrifices pour voir ce jour. Ils ont tout donné pour notre réussite.

Nos fidèles amis(es), tous nos remerciements pour vous, pour avoir participé soit de près soit de loin à la réalisation de ce travail.

Dédicace

Avec ma profonde gratitude et amour, je dédie ce travail

A ma très chère **mère** : aucune dédicace ne saurait exprimer l'affection et l'amour que j'éprouve pour elle. Que dieu la garde pour moi.

A mon père : pour tous tes nobles sacrifices afin d'assurer notre bien-être et notre éducation.

A mes frères et mes sœurs pour leur encouragement permanents, sans oublier mes petits neveux Idris et Aris et ma nièce Damya.

A mes amis et tous mes collègues du groupe électrotechniques industrielle et tous ceux qui m'ont aidé à réaliser ce travail.

A Mohamed, dont l'amnésie sélective dans les dédicaces n'efface pas les heures passées à travailler ensemble.

A tous ce qui m'a orienté dans la bonne voie pour devenir ce que je suis aujourd'hui.

Mr. AZZOUQUER Rabah

Dédicace

Avec toute ma reconnaissance, je dédie ce travail :

À ma famille, pour leurs prières, leur patience et leur soutien constant tout au long de mon
parcours.

À mes amis, fidèles partenaires de chaque étape de mon parcours, pour leur présence, leur
bonne humeur et leur réconfort dans les moments difficiles.

À mon groupe **EI**, avec qui j'ai partagé de beaux souvenirs, des défis, des réussites et
beaucoup d'apprentissage.

Une dédicace spéciale à mon ami d'enfance **Zoubir Moulelkaf**, pour ses encouragements sans
relâche, sa confiance en moi et ses conseils éclairés qui m'ont souvent guidé dans les bons
choix. Merci d'avoir toujours cru en moi...

Mr. HAMADOUCHE Mohamed

Sommaire

Sommaire.....	i
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	iv
Liste des abréviations.....	vii
Introduction générale.....	01
Présentation de l'entreprise	
1. Présentation générale du complexe CEVITAL	03
2. Présentation de la raffinerie de sucre de CEVITAL : (3500 tonnes/jour)...	07
3. Différentes étapes de raffinage de sucre roux	07
Chapitre I: Généralités sur les installations électriques industrielles	
I.1 Introduction	11
I.2 Installations électriques.....	11
I.3 Domaines de tension	11
I.4 Les critères de choix d'une source électrique	11
I.5. Les équipements électriques	20
I.6 Régimes de neutre	22
Conclusion.....	25
Chapitre II: Généralité sur les jeux de barres	
II. 1 Introduction	26
II. 2 Définition.....	26
II. 3 Utilisations.....	27
II. 4 Dimensionnement	28
II. 5 Conception	29
II. 6 Dispositions de jeux barres BT.....	30
II. 7 Les principaux problèmes des jeux de barres	31
II. 8 Cause de surchauffe de jeu de barre	33
II. 9 Conséquences de surchauffe de jeu de barre	37
II. 10 Détection et diagnostic	39
II.11 Solutions préventives.....	42
II.12 Conclusion	46
Chapitre III : Méthodologie de dimensionnement d'une installation électrique	
III.1 Introduction	47
III.2 Méthodologie de dimensionnement d'une installation électrique.....	47
III.3 Bilan de puissance	47
III.4 Détermination et choix de la section des câbles.....	49
III.5 Déterminations de la Chute de tension.....	52
III.6 Déterminations des courants de court-circuit.....	54
III.7 Jeux de barres.....	58
III.8 Compensation de l'énergie réactive.....	61
III.9 Choix des dispositifs de protection.....	67

III.10 Conclusion.....	68
------------------------	----

Chapitre IV : Bilan de Puissance de l'installation actuelle

IV.1 Introduction.....	70
IV.2 Schéma unifilaire de l'installation.....	70
IV.3 Identification des différents récepteurs d'installation et Calcul de la puissance installée.....	70
IV.4 Calcul de la puissance d'utilisation.....	74
IV.5 Comparaison graphique entre Puissance installée et Puissance utilisée.....	79
IV.6 Détermination du facteur de puissance totale de l'installation.....	81
IV.7 Choix et Dimensionnement du transformateur.....	82
IV.8 Compensation de l'énergie réactive.....	84
IV.9 Calcul et choix de la section des câbles.....	87
IV.10 Chute de tension.....	92
IV.11 Courants de court-circuit.....	97
IV.12 Dimensionnement du jeu de barre.....	101
IV.13 Conclusion.....	104

Chapitre V : Vérification des calculs avec le logiciel ECODIAL

V.1 Introduction.....	106
V.2 Présentation de logiciel.....	106
V.3 Méthode de réalisation de projet.....	109
V.4 Validation des résultats.....	124
V.5 Conclusion.	124

Conclusion générale.....	125
--------------------------	-----

Références bibliographiques	126
-----------------------------------	-----

Annexes.....	128
--------------	-----

Figure 01 : Situation géographique du complexe CEVITAL	05
Figure 02 : Organigramme général du complexe CEVITAL (Document interne de l'entreprise).....	07
Figure I.1: Réseau HTA radial en simple antenne.....	14
Figure I.2: Réseau HTA radial en double antenne sans couplage.....	15
Figure I.3: Réseau HTA en boucle ouverte	16
Figure I.4: Réseau HTA en boucle fermé.	17
Figure I.5: Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation	18
Figure I.6: Alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage	19
Figure I.7: Alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage.....	20
Figure I.8 : Tableau Générale BT (complexe cevital).	21
Figure I.9 : Différents types de transformateurs BT.....	21
Figure I.10 : Armoires électriques industrielle (complexe Cevital)	22
Figure I.11 : Régime de neutre type IT.....	24
Figure II.1 : Exemple de jeux de barres. A gauche: jeux de barre HT et à droite : jeux de barre BT.....	27
Figure II.2 : exemples d'utilisation des jeux de barre de distribution BT	28
Figure II.3 : Image d'un jeu de barre HT aérien de profilé O et en configuration U	29
Figure II.4 : Images de jeux de barres MT préfabriqués faisant la liaison entre alternateurs et transformateurs.	29
Figure II.5 : Images de quelques configurations de jeux de barres BT (TGBT) de profilés I...30	
Figure II.6 : Exemples de jeux de barres sur chant.....	31
Figure II.7 : Exemples de jeux de barres à plat.....	31
Figure II.8 : Dispositions pour renforcer la tenue des barres aux différents efforts	32
Figure III.1 : Différents types de courants de court-circuit.	55
Figure III.2 : Exemple de condensateurs fixes.....	61
Figure III.3 : Exemple de batterie à régulation automatique.....	62

Figure III.4 : Compensation globale.....	63
Figure III.5 : Compensation partielle.....	63
Figure III.6 : Compensation locale.....	64
Figure III.7 : Triangle des puissances.....	65
Figure IV.1 : Schéma unifilaire de l'installation.....	71
Figure IV.1 : Comparaison entre puissances installées et utilisées.....	81
Figure IV.2 : Évolution du courant installé au courant utilisé.....	82
Figure IV.3 : Effet de la compensation sur la puissance réactive et le facteur de puissance.....	87
Figure V.1 : caractéristique globale de l'installation	107
Figure IV.2 : l'interface graphique de l'installation	108
Figure V.3: Fenêtre de description du circuit.....	109
Figure V.4 : la fenêtre du bilan de puissance.....	110
Figure V.5 : bilan de puissance de l'installation calculé par l'ECODIAL.....	111
Figure V.6 : La fenêtre de dimensionnement de l'installation avec la méthode pas à pas...	112

Tableau 01: Fiche signalétique du groupe CEVITAL	03
Tableau I.1 : Domaines de tension.....	11
Tableau III.1 : Facteur d'utilisation pour les défférentes charges	49
Tableau III.2 : Facteur de puissance en fonction du nombre de récepteurs	49
Tableau III.3: Les différents coefficients K	51
Tableau III.4 : Chutes tension admissible dans les réseaux BT.....	52
Tableau III.5 : Formule de calcul de la chute de tension.....	53
Tableau III.6 : Tableau qui détermine les résistances et les réactances de chaque partie de l'installation. ;.....	57
Tableau III.7 : Coefficient K6 en fonction du nombre de barre par phase (n).....	60
Tableau IV.1 : Calcul de la puissance installée.....	72
Tableau IV.2 : Bilan de puissance installée	75
Tableau IV. 3 : Calcul de la puissance d'utilisation.	77
Tableau IV.4 : Bilan de puissance utilisé de l'installation.....	80
Tableau IV.5 : Bilan de puissance totale de toute l'installation	80
Tableau IV.6 : Facteur de puissance totale de l'installation	83
Tableau IV.7 : Caractéristiques du transformateur adéquat pour l'installation.....	85
Tableau IV.8 : Puissances réactives avant et après compensation.....	86
Tableau IV.9 : Type de compensation de l'énergie réactive.	88
Tableau IV.10 : Résultats de calcul et choix des sections des canalisations.	90
Tableau IV.11 : Calcul des chutes de tension pour les différents départs (Méthode des tableaux simplifiés).....	94

Tableau IV.12 : Calcul des chutes de tension pour les différents départs (méthode analytique).....	97
Tableau IV.13 : Les nouveaux résultats de la chute de tension.....	98
Tableau IV.14 L'impédance du réseau amont ramenée au primaire du transformateur.....	99
Tableau IV.15 Calcule de la section de jeu d barre	102
Tableau IV.16 Résulta de vérification de la chute de tension de jeu de barre.....	104

Abréviation	Signification
BTA	Basse Tension A
BT	Basse Tension
C	Condensateur
Cc	Court-circuit
f	Fréquence
<i>f</i>	Facteur de correction (moyenne tension)
HT	Haute Tension
HTA	Haute Tension A
HTB	Haute Tension B
IT	Neutre isolé et masse à la terre
I_a	Courant absorbée
I_B	Courant d'emploi
I_n	Courant nominal
I_{cc}	Courant de court-circuit
I_z	Courant équivalent
I_{ad}	Courant admissible
JB	Jeux de barres
k_u	Facteur d'utilisation
K_s	Facteur de simultanéité
k_e	Facteur d'extension
K	Facteur de correction (basse tension)
L	Longueur
m	Rapport de transformation
MT	Moyenne tension
PEN	Conducteur de protection et conducteur de neutre confondus
PR	Polyéthylène Réticulé
PVC	Polychlorure de vinyle
P_n	Puissance nominale
P_a	Puissance absorbée
P_{dc}	Pouvoir de coupure
P_u	Puissance utilisée
Q_a	Puissance réactive absorbée
Q_c	Puissance réactive de compensation
R	Résistance

R_T	Résistance du transformateur
S	Section
S_u	Puissance apparente utilisée
S_a	Puissance apparente absorbée
S_n	Puissance apparente nominale
TN	Neutre à la terre et masse au neutre
TNS	Neutre à la terre, masse au neutre, conducteur de neutre et de protection séparés
TGBT	Tableau Générale Basse Tension
TT	Neutre à la terre et masse à la terre
TNC	Neutre à la terre, masse au neutre, conducteur de neutre et de protection confondus
T_c	temps de coupure
U_n	Tension nominale
U_{cc}	Tension de court-circuit
X	Réactance
X_T	Réactance du transformateur
Z	Impédance
T	Température
η	Rendement

Introduction générale

Introduction générale

Dans un contexte industriel marqué par une concurrence croissante, la rapidité et l'efficacité des processus de production sont devenues des priorités cruciales. Cependant, ces performances reposent en grande partie sur un élément fondamental souvent sous-estimé : La fiabilité des installations électriques industrielles.

Ces installations constituent un pilier essentiel du fonctionnement de toute entreprise industrielle. Leur conception et leur exploitation requièrent un choix exigeant des équipements électriques tels que les transformateurs, disjoncteurs, câbles, relais, etc. La qualité de ces choix influe non seulement sur la performance, mais la garantie maximale de la sécurité du matériel et surtout des personnes qui manipulent. La réussite d'une installation électrique ne se limite donc pas à sa mise en service ; elle englobe également une étude approfondie de l'implantation des équipements, leur dimensionnement précis ainsi qu'un plan d'entretien régulier et adapté. Le tableau de distribution électrique, véritable cœur du système, centralise l'alimentation, la protection, la commande et le contrôle des circuits. Il doit être conçu avec une approche rigoureuse pour garantir une distribution de l'énergie sûre et performant.

Dans le cadre de notre projet, nous nous intéressons à l'étude et au redimensionnement des équipements de départ du transformateur T4 au sein de l'entreprise « Cevital ». Cette étude se justifie par une problématique concrète d'échauffement anormal du jeu de barres, pouvant compromettre la sécurité de l'installation et sa pérennité. L'objectif est donc d'analyser l'installation existante, d'identifier les causes de cette surchauffe, et de proposer des solutions techniques de redimensionnement appropriées.

Ce travail s'inscrit dans une démarche méthodique visant à présenter les étapes essentielles d'analyse, de calcul et de choix des équipements électriques dans une installation industrielle, avec un accent particulier sur les contraintes thermiques. Ainsi ce travail est façonné selon les démarches suivantes :

- ✓ Le premier chapitre sera consacré aux généralités sur les installations électriques ;
- ✓ Le deuxième chapitre sera consacré aux généralités sur les jeux de barres ;
- ✓ Dans le troisième chapitre nous aborderons la méthodologie de dimensionnement d'une installation industrielle ;
- ✓ Le quatrième chapitre débutera par une brève présentation des différents tronçons figurant sur le schéma unifilaire, suivie du calcul du bilan de puissance et du choix de transformateur adéquat pour l'installation. Ensuite, ce chapitre traitera également du choix des sections des

Introduction générale

câbles, le dimensionnement des jeux de barres et la détermination des courants de court-circuit.

- ✓ Le dernier chapitre sera consacré à la vérification des calculs avec le logiciel « **Ecodial** ».

Présentation de l'entreprise

1. Présentation générale du complexe CEVITAL


Crée en 1998 et implantée à l'extrême du port de Bejaia, CEVITAL agro-industrie, première entreprise privé algérienne et le leader du secteur agro-alimentaire. Elle contribue largement au développement de l'industrie agroalimentaire nationale et vise à satisfaire le marché national et exporter le surplus, en offrant une large gamme de produits de qualité.

C'est une société par action (SPA) dont les actionnaires principaux sont M. ISSAD Rebrab et fils. Un groupe familial qui s'est bâti sur une histoire, un parcours et des valeurs qui ont fait sa réussite et sa renommée.

Porté par 18 000 employés répartis sur 03 continents, il représente le fleuron de l'économie algérienne et œuvre continuellement dans la création d'emplois et de richesses.

CEVITAL agro-industrie dispose de plusieurs unités de production ultramodernes de sucre, corps gras, eau minérale, boissons et sauces. Elle couvre les besoins nationaux et a permis de faire passer l'Algérie du stade d'importateur à celui d'exportateur pour les huiles, les margarines et le sucre. Ses produits se vendent dans plusieurs pays, notamment en Europe, au Maghreb, au Moyen-Orient et en Afrique de l'Ouest. Le tableau 01 ci-dessus représente la fiche signalétique du groupe CEVITAL.

Tableau 01: Fiche signalétique du groupe CEVITAL

Logo	
Dénomination	CEVITAL
Date de création	Mai 1998
Régime	Privé
Statut juridique	SPA
Domaine d'activité	<ul style="list-style-type: none"> - Industrie agroalimentaire - Services et manufactures - Construction - Distribution - Industries primaires

Effectif	18000
Site web	WWW.CEVITAL.COM

1.1 Historique

Le groupe CEVITAL a traversé d'importantes étapes historiques pour atteindre la taille et la notoriété actuelle :

1998 : Création de CEVITAL SPA, entrée en production de la raffinerie d'huile.

2001 : Entrée en production de la margarinerie et lancement de la première marque de margarine de table de haute qualité, 100% tournesol «FLEURIAL».

2002 : Entrée en production de la raffinerie de sucre (sucre blanc cristallisé aux normes de l'Union Européenne), lancement de la margarine de feuilletage, la « Parisienne », pour les boulangeries pâtisseries.

2006 : CEVITAL à commencer la production des eaux fruitées.

2007 : Lancement de trois projets dont deux sur le site de Larbaâ (verre plat, fabrication industrielle de produits manufacturés en béton), et l'acquisition des eaux minérales LALLA KHADIDJA.

2008 - 2010 : Entrée en production de l'énergie électrique et de la vapeur (unité de cogénération).

2009 - 2013 : Entrée en fabrication de chaux.

2010 - 2018 : Entrée en production des sauces.

2011 - 2020 : Projet trituration.

1.2 Situation géographique

CEVITAL agro-industrie est le leader du secteur agro-alimentaire en Algérie, elle est implantée au sein du nouveau quai du port de Béjaia à 3 Km du sud-ouest du centre-ville, à proximité de la route nationale N° 26 (voir la figure 01).

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

Grâce à sa situation géographique et à ses importantes capacités d'accostage, d'entreposage et de transit, le port de Béjaïa est devenu un pôle économique de première importance. Le complexe agro-alimentaire CEVITAL couvre une superficie de 45000 m² (le plus grand complexe en Algérie), avec une capacité de stockage de 182000 tonnes /an (silo portuaire) et un terminal de déchargement portuaire de 200 000 tonnes /heure (réception de matière première), comme elle possède un réseau de distribution de plus de 52 000 points de vente sur tout le territoire national [1].



Figure 01 : Situation géographique du complexe CEVITAL

1.3 Activité de CEVITAL

L'ensemble des activités de CEVITAL repose essentiellement sur la production et la commercialisation des huiles végétales, de sucre, de margarine et graisse végétale, boissons ainsi que la production de l'énergie électrique réparti à travers plusieurs unités de production :

- 02 raffineries de sucre (3000 tonnes/jour----3500 tonnes/jour).

- 01 unité de sucre liquide et une unité de production de sucre roux.
- 02 unités de conditionnement de sucre.
- 01 raffinerie d'huile.
- 01 unité de conditionnement d'huile (1400 tonnes/heure).
- 01 margarinerie (600 tonnes/jour).
- 01 unité d'eau minérale gazéifiée.
- 01 unité de fabrication et de conditionnement de boissons fruitées et de production de conserves et confiture.
- 01 unité de production des sauces.
- 01 unité de fabrication de chaux.
- 01 unité de cogénération (production de l'énergie électrique et de la vapeur).
- Fabrication des emballages (P.E.T) : Poly-Ethylène-Téréphtalate (9600 unité/h).

Silos portuaires ainsi qu'un terminal de déchargement portuaire d'une capacité de 2000 tonnes / jours).

1.4 Structure du complexe agro-alimentaire CEVITAL

Pour présenter le complexe CEVITAL d'une manière générale, le schéma ci-dessous (figure 02) représente la structure hiérarchique du complexe ainsi que les différentes directions et services:

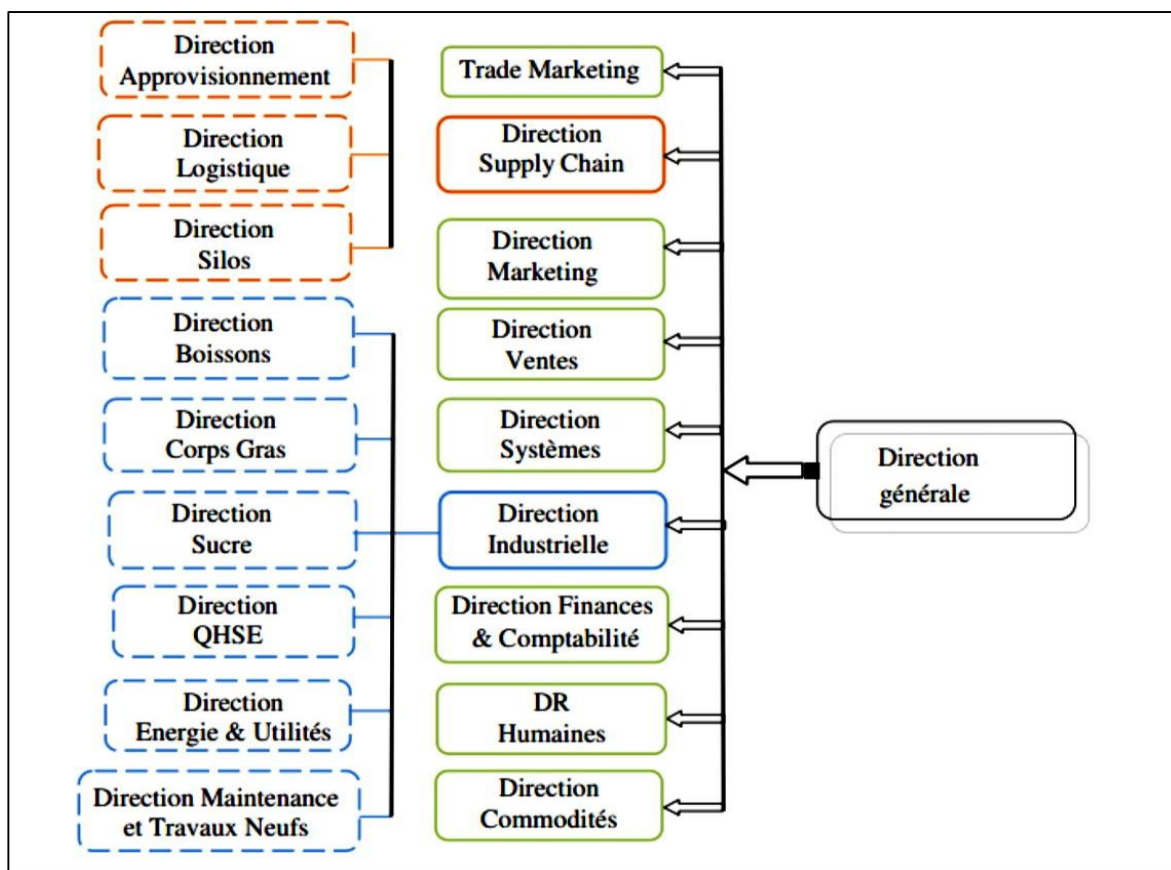


Figure 02 : Organigramme général du complexe CEVITAL (Document interne de l'entreprise)

2. Présentation de la raffinerie de sucre de CEVITAL : (3500 tonnes/jour)

La raffinerie de sucre traite des sucres roux de canne, des sucres bruts de betterave et des sirops de sucrerie. Le but du raffinage est d'éliminer les impuretés telles que les sels minéraux et les matières organiques, les colorants.

Cette unité est mise en production en 2002, elle a une capacité de production de 3500 tonnes/jour, elle est dotée d'équipements très perfectionnés que ce soit sections de raffinage de sucre ou laboratoire pour suivre les différentes analyses nécessaires.

3. Différentes étapes de raffinage de sucre roux[2]

Pour produire du sucre prêt à être commercialisé en commençant par une matière première en arrivant à un produit final, cependant faudra passer par neuf étapes de raffinage de sucre roux.

3.1 Section 1 : Affinage et Refonte

- **Affinage**

Le sucre roux est déversé dans un malaxeur et mélangé par un brassage avec un sirop chaud saturé en sucre. Cette opération constitue “ l’empattage “. La masse cuite ainsi obtenue est essorée avec un clairçage, le sucre obtenue est un “ sucre d’affinage “.

- **Refonte**

Le sucre affiné passe dans des turbines d’affinage pour être débarrasser des impuretés et matières colorantes sur la surface des cristaux, puis il sera refondu dans un fondoir avec de l’eau sucrée et chaude à 85 °C. On obtient ainsi “un sirop de refonte“.

Remarque : Le turbinage du magma d’affinage n’est pas nécessaire quand le sucre roux importé a une couleur relativement basse, pouvant atteindre 800 UI voir parfois 600 à 500 UI.

3.2 Section 2 : Carbonatation

Ce procédé consiste à additionner au sirop de chaux (préparer sous forme de lait de chaux) du CO₂ provenant des chaudières à vapeur et le faire barboter dans ce mélange, la chaux sert à :

- Précipiter les sels de calcium insolubles.
- Déshydrater et flocculer le maximum de substances colloïdales.

3.3 Section 3 : Filtration

Le précipité formé durant la carbonatation est séparé par filtration. Le sirop carbonaté passe à travers des filtres à bougies et ressort du support filtrant sous forme d'un liquide, tandis que les impuretés sont retenues. Le sirop est envoyé vers un bac tampon muni d’agitateurs pour éviter toute décantation puis envoyé vers un autre bac tampon pour subir la décoloration. Les boues (ou écumes) sont évacuées et utilisées pour l’amendement du sol (engrais)

3.4 Section 4 : Décoloration

La décoloration est l’opération permettant d’éliminer la majorité des colorants résiduels, le sirop résultant étant clair.

Les principaux facteurs qui interviennent dans la décoloration d’un sirop de sucre sont :

- L'intensité de la couleur du sucre ;

- Le temps de séjour de la résine ;
- La hauteur totale du lit de résine. La couleur du sirop qui est de l'ordre de 1000 ICUMSA sera ramenée jusqu'à 200 voire 100 ICUMSA après la décoloration.

3.5 Section 5 : Concentration

Avant de se cristalliser, le sirop est concentré dans un évaporateur, et les vapeurs issues de ce dernier sont récupérées pour les besoins de chauffage durant le processus. Le jus est ramené à une température d'ébullition afin d'éliminer l'eau, entraînant ainsi sa concentration sous forme d'un sirop entre 60 et 70% de saccharose. Le sirop est initialement à environ 58% de brix, se retrouve à la sortie du concentrateur à un brix de 72%. A la fin de l'évaporation, le sirop de sucre se caractérise par un taux de pureté de 93%.

3.6 Section 6 : Cristallisation des produits de Haute pureté (HP)

La cristallisation fractionnée est une opération physique qui permet l'extraction et la purification du sucre contenu dans le sirop. La cristallisation du saccharose se fait selon une chronique qui met en jeu deux paramètres : la couleur et la pureté. C'est selon ces deux paramètres que le nombre de jets est déterminé. Le cas le plus répandu est souvent la cristallisation en trois jets. NB : Chaque jet comprend trois étapes principales : la Cuisson, le Malaxage et l'Essorage.

3.7 Section 7 : Séchage

Le sucre blanc, issu du premier jet, est évacué vers un sécheur, le sucre y circule à Co-courant avec de l'air chaud à 91 °C, puis à contre courant avec de l'air froid sec à 6 °C, pour refroidir le sucre et obtenir un équilibre stable en humidité et température avec l'ambiance environnante. Les valeurs communément demandées par les sucriers pour du sucre blanc sont : 0,03 à 0,04% d'humid.

3.8 Section 8 : Cristallisation des produits de Basse Pureté (BP)

L'objectif de cette étape est de cristalliser le sucre contenu dans l'eau mère des masses cuites pour obtenir ses sucres A, B et C recyclés et une eau mère appelée mélasse dans la quel sont concentrés toutes impuretés introduites du processus du raffinage du sucre roux. Le sucre tamisé est dirigé vers l'atelier d'ensachage ou vers les silos de stockage, où il est conservé en vrac. Au niveau de la raffinerie de "CEVITAL", il existe quatre silos de stockage d'une

capacité de 3200 tonnes chacun.

3.9 Section 9 : Maturation et Conditionnement

Le complexe agro-alimentaire de CEVITAL Bejaia est souvent exposé aux perturbations de réseaux électriques, chutes de tension, microcoupures et coupures électriques. Et pour y remédier à ces perturbations, CEVITAL a doté son complexe avec sa propre centrale électrique. Cependant, lors des pannes majeures où programmation des différents travaux (maintenance, modification, extension...) sur cette centrale électrique, les unités de production doivent être aussi équipées de leurs propres groupes de secours, afin d'assurer la continuité de service.

Dans notre cas, la raffinerie de sucre 3500T/j est comme les autres unités de production, équipée d'un groupe de secours qui doit maintenir une partie de la raffinerie pour éviter les cristallisations de sucre indésirables et les pertes de sucre. Ce dernier subit des surcharges fréquentes, ce qui engendre des coupures électriques totales dans cette raffinerie.

Par le biais de ce travail, nous allons essayer de trouver la cause de ces coupures et proposer des solutions pour remédier à ce problème.

Chapitre I

Généralités sur les installations électriques industrielles

I.1 Introduction

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

I.2 Installations électriques

Une installation électrique est un ensemble cohérent de circuits électriques et leurs canalisations, d'appareillages électriques associés réalisée suivant un schéma déterminé. Elle sert à alimenter et à distribuer l'énergie électrique.

I.3 Domaines de tension [3]

Selon la norme NF C 15-100, la basse tension couvre la plage de tension allant jusqu'à 1 kV en courant alternatif et 1.5 kV en courant continu.

Tableau I.1 : Domaines de tension

Domaine de tension		Tension nominal	
		Courant alternatif	Courant continu
Très basse tension	TBT	$U \leq 50V$	$U \leq 120V$
Basse tension	BTA	$50V < U \leq 500V$	$120V < U \leq 750V$
	BTB	$500V < U \leq 1000V$	$750V < U \leq 1500V$

I.4 Critères de choix d'une source électrique

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

I.4.1 Source moyenne tension (source de distribution)

I.4.1.a Caractéristiques d'une source moyenne tension

Les caractéristiques du réseau MT déterminent le choix de l'appareillage utilisé dans la sousstation MT ou MT/BT et dépendent des pays. Leur connaissance est indispensable pour déterminer et réaliser le raccordement.

Les répartitions des niveaux de tension sont comme suivies :

- THT 50KV<Un ;
- HT (30 et 10 kV le plus répandu) ;
- BT (50 V <Un <1000V) ;
- Limitation à 300 A pour les réseaux aériens ;
- Limitation à 1000 A pour les réseaux souterrains ;
- Réseaux souterrains en boucle ouverte.

I.4.1.b Structures du réseau MT [3]

Nous allons identifier les principales structures des réseaux HTA permettant d'alimenter les tableaux secondaires et les transformateurs HTA/BT. La complexité de la structure diffère suivant le niveau de sûreté de fonctionnement désiré.

Dans un cas général d'alimentation en haute tension B (HTB), un réseau privé de distribution comprend les éléments suivants :

- Un poste de livraison HTB, alimenté par une ou plusieurs sources, comportant un ou plusieurs jeux de barres et des disjoncteurs de protection ;
- Une source de production interne (génératrice ou groupe électrogène) ;
- Un ou plusieurs transformateurs HTB/HTA ;
- Un tableau principal HTA, constitué d'un ou plusieurs jeux de barres ;
- Un réseau de distribution interne HTA, qui alimente des tableaux secondaires ou des postes HTA/BT ;
- Des récepteurs en HTA (moteurs, équipements spécifiques) ;
- Des transformateurs HTA/BT ;
- Des tableaux et réseaux en basse tension ;
- Et enfin, des récepteurs basse tension.

I.4.1.c Architectures de réseau MT

Les réseaux MT se différencient par rapport à leurs architectures. On distingue deux types, architecture radiale et architecture en boucle

A. Architecture radiale

Les avantages

- Sa gestion est très simple.
- Son système de protection est très facile à réaliser ainsi que la sélectivité.

Les inconvénients

- Il ne répond pas aux exigences de continuité de service.

A.1 Radial en simple antenne

Le schéma ci-dessous représente un exemple typique d'une structure d'un réseau MT, il s'agit d'une architecture radiale en simple antenne

Fonctionnement

- Les tableaux divisionnaires 1 et 2 et les transformateurs sont alimentés par une seule source, il n'y a pas de solution de dépannage.
- Cette structure est préconisée lorsque les exigences de disponibilité sont faibles.

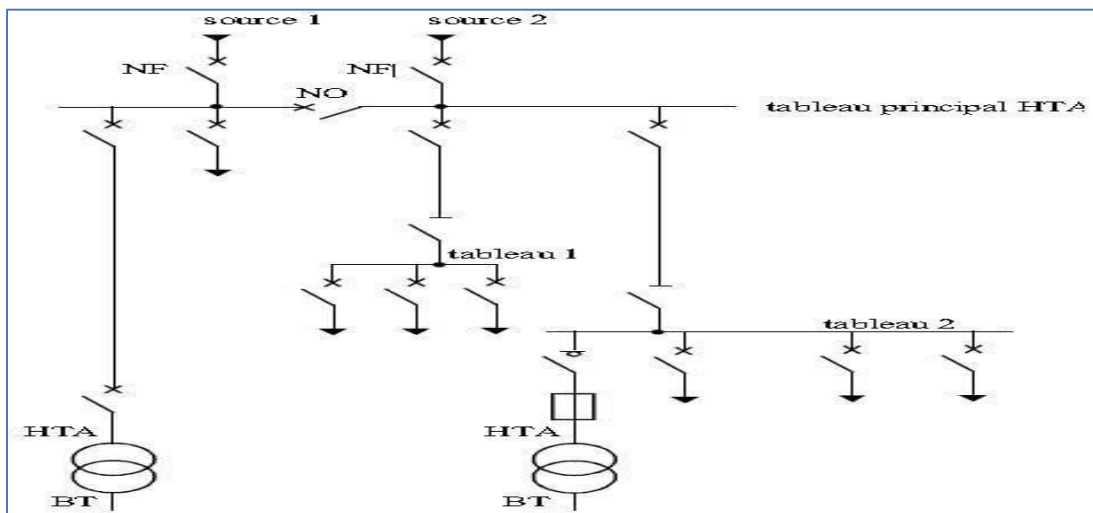


Figure I.1 : Réseau HTA radial en simple antenne [3]

A.2 Radial en double antenne sans couplage

Le schéma ci-dessous représente un autre exemple d'une structure d'un réseau MT, il s'agit d'une architecture radiale en double antenne sans couplage.

Fonctionnement

- Les tableaux divisionnaires 1 et 2 sont alimentés par 2 sources avec couplage. En fonctionnement normal, les disjoncteurs de couplage sont ouverts.
- Chaque demi jeu de barres peut être dépanné et être alimenté par l'une ou l'autre des sources.
- Cette structure est préconisée lorsqu'une bonne disponibilité est demandée.

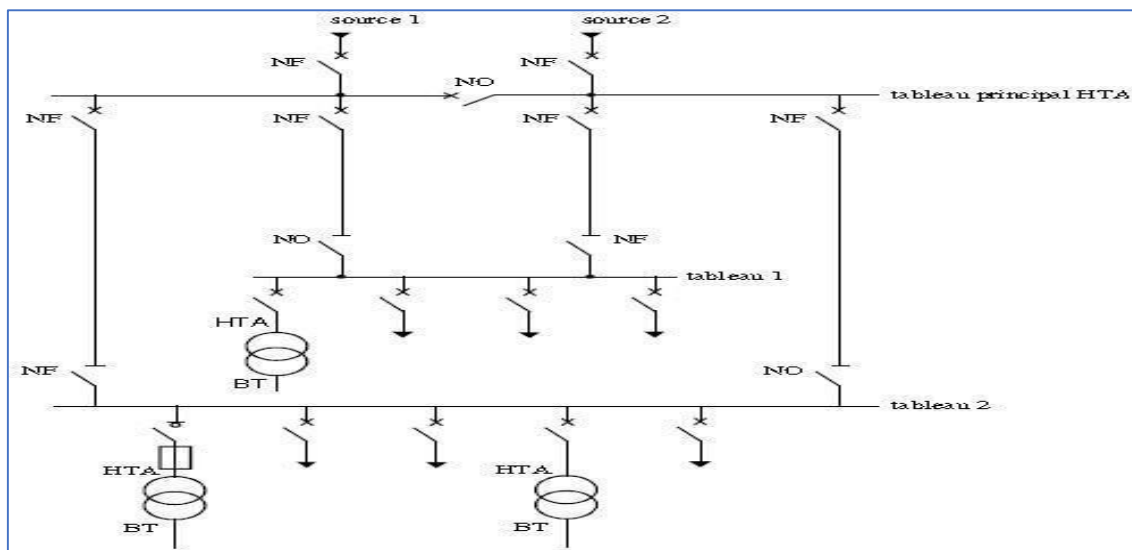


Figure I.2: Réseau HTA radial en double antenne sans couplage [3]

B. Architecture en boucle

- Cette solution est bien adaptée aux réseaux étendus avec des extensions futures importantes.
- Il existe deux possibilités suivant que la boucle est ouverte ou fermée en fonctionnement normal.

B.1 Architecture en boucle ouverte

Le schéma ci-dessous représente l'architecture d'un réseau MT en boucle ouverte

Fonctionnement

- Les têtes de boucle en A et B sont équipées de disjoncteurs,
- Les appareils de coupure des tableaux 1, 2 et 3 sont des interrupteurs,

- En fonctionnement normal, la boucle est ouverte (elle est ouverte au niveau du tableau 2), Les tableaux peuvent être alimentés par l'une ou l'autre des sources,
- Un défaut sur un câble ou la perte d'une source est pallié par une reconfiguration de la boucle.

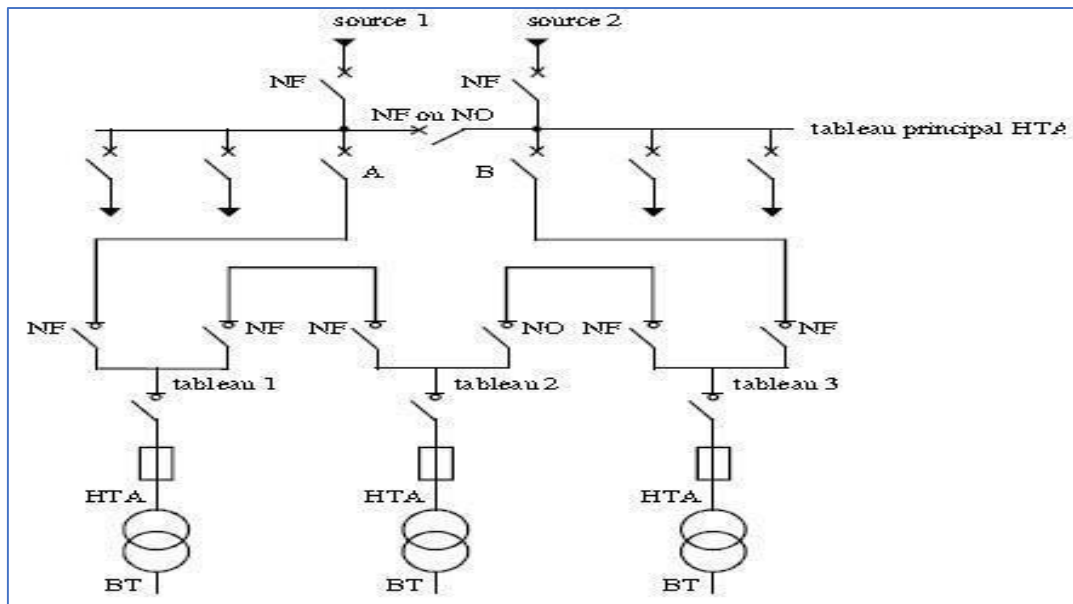


Figure I.3 : Réseau HTA en boucle ouverte

B.2 Architecture en boucle fermée

Le schéma ci-dessous représente l'architecture d'un réseau MT en boucle fermée

Fonctionnement

- Tous les appareils de coupure de la boucle sont des disjoncteurs.
- En fonctionnement normal, la boucle est fermée.
- Le système de protection permet d'éviter les coupures d'alimentation lors d'un défaut.
- Cette solution est plus performante que le cas de la boucle ouverte car elle évite les coupures d'alimentation.
- Par contre, elle est plus onéreuse car elle nécessite des disjoncteurs dans chaque tableau et un système de protection plus élaboré.

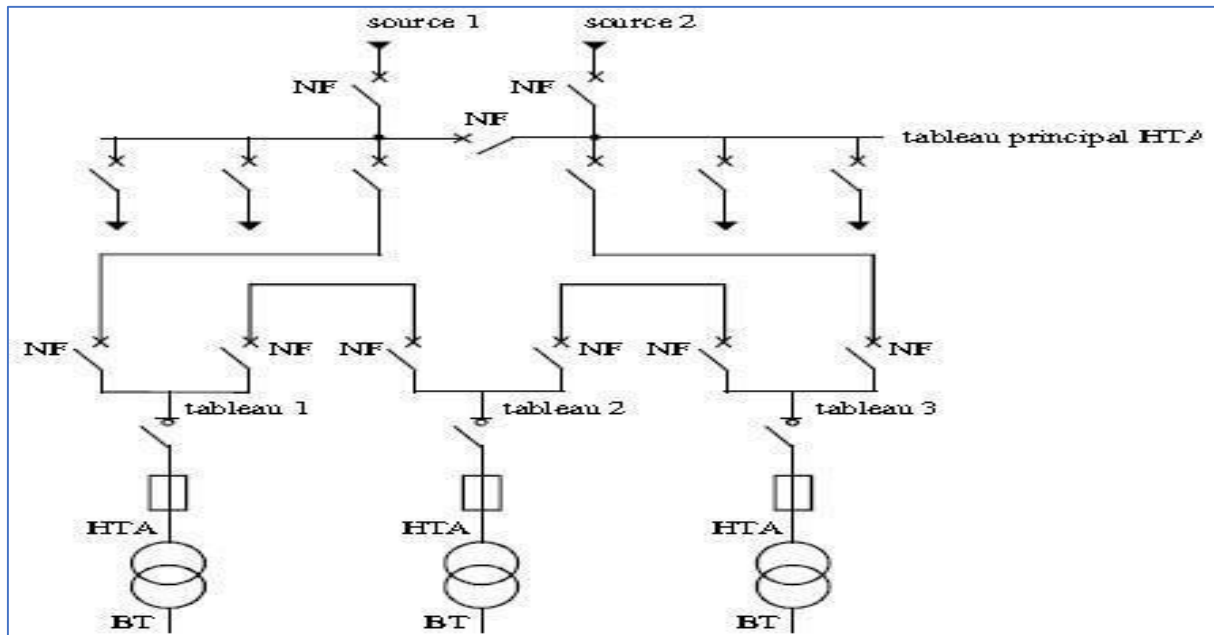


Figure I.4 : Réseau HTA en boucle fermé.

I.4.2. Source basse tension

I.4.2.a. Caractéristiques d'une source BT

Ce type des postes HTA/BT sont caractérisés par :

- Les tensions d'entrées sont : 10 ou 30 kV
- Les tensions de sortie (utilisation) sont : 230/ 400 V
- Un mode d'alimentation

I.4.2.b. Modes d'alimentation des tableaux BT [3]

Nous allons identifier les principales solutions d'alimentation d'un tableau BT, indépendamment de son emplacement dans le réseau. Le nombre de sources d'alimentation possibles et la complexité du tableau diffèrent suivant le niveau de sûreté de fonctionnement désiré.

A. L'alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation

Description du fonctionnement

- Les tableaux T1, T2, T3 bénéficient d'une seule source d'alimentation. Le réseau est dit de type radial arborescent.
- En cas de perte de la source d'alimentation d'un tableau, celui-ci est hors service jusqu'à l'opération de réparation.

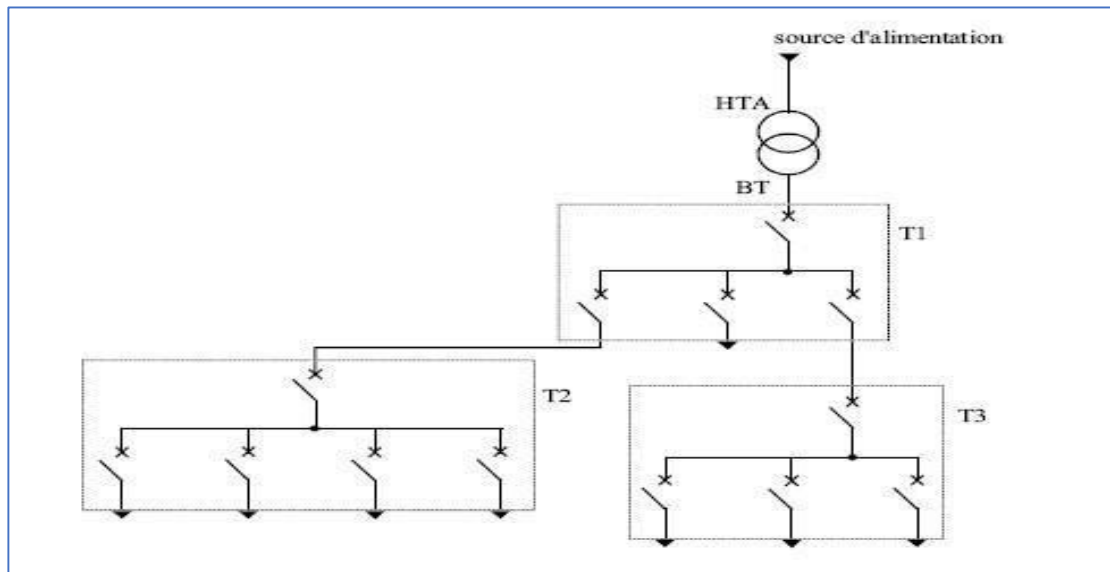


Figure I.5: Alimentation des tableaux BT avec une seule source d'alimentation

B. L'alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage

Description du fonctionnement

Le tableau T1 (Figure I.6) bénéficie d'une double alimentation sans couplage par deux transformateurs HTA/BT.

Fonctionnement de l'alimentation de T1 :

- Les deux sources alimentent T1 en parallèle
- En fonctionnement normal, les deux disjoncteurs sont fermés (D1 et D2).

Le tableau T2 (Figure I.6) bénéficie d'une double alimentation sans couplage par un transformateur HTA/BT et par un départ issu d'un autre tableau BT.

Fonctionnement de l'alimentation de T2 :

- Une source alimente le tableau T2, la seconde assure le secours.
- En fonctionnement normal, un seul disjoncteur est fermé (D3 ou D4).

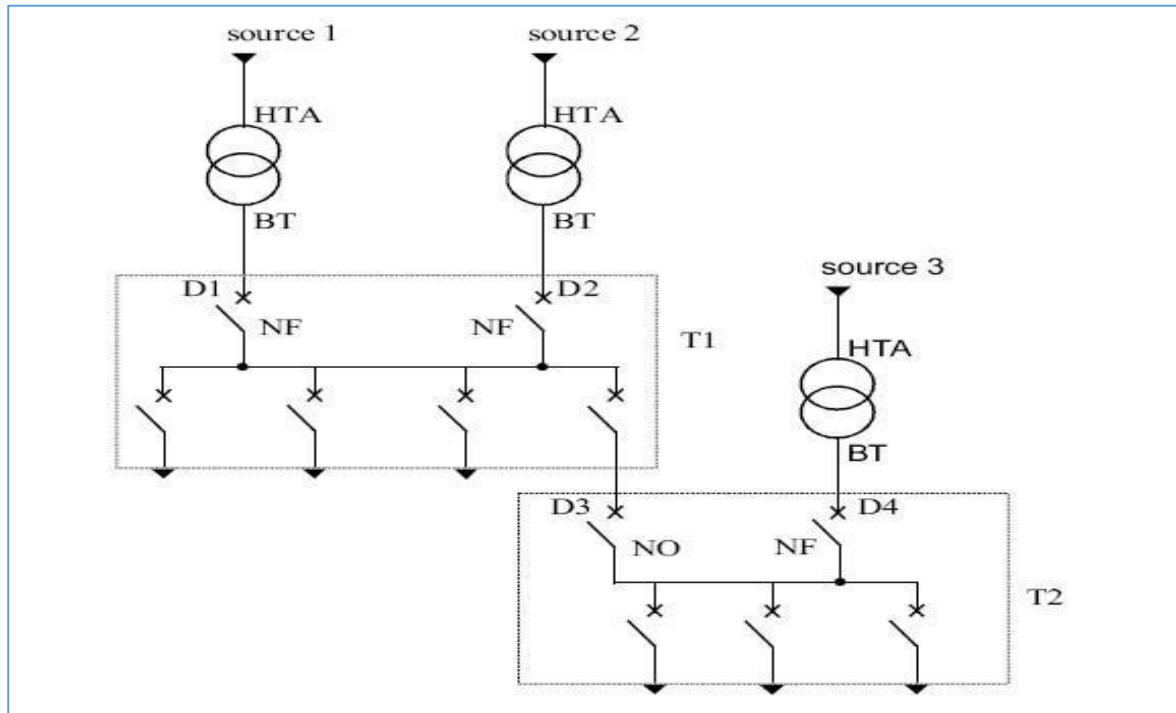


Figure I.6: Alimentation des tableaux BT par une double alimentation sans couplage

C. L'alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage

Description du mode de fonctionnement

Le tableau T1 bénéficie d'une double alimentation avec couplage par deux transformateurs HTA/BT.

Fonctionnement de l'alimentation de T1 : en fonctionnement normal, le disjoncteur de couplage D3 est ouvert. Chaque transformateur alimente une partie de T1. En cas de perte d'une source d'alimentation, le disjoncteur de couplage D3 est fermé et un seul transformateur alimente la totalité de T1.

Le tableau T2 bénéficie d'une double alimentation avec couplage par un transformateur HTA/BT et par un départ issu d'un autre tableau BT.

Fonctionnement de l'alimentation de T2 : en fonctionnement normal, le disjoncteur de couplage D6 est ouvert. Chaque source alimente une partie de T2. En cas de perte d'une source, le disjoncteur de couplage D6 est fermé et l'autre source alimente la totalité de T2.

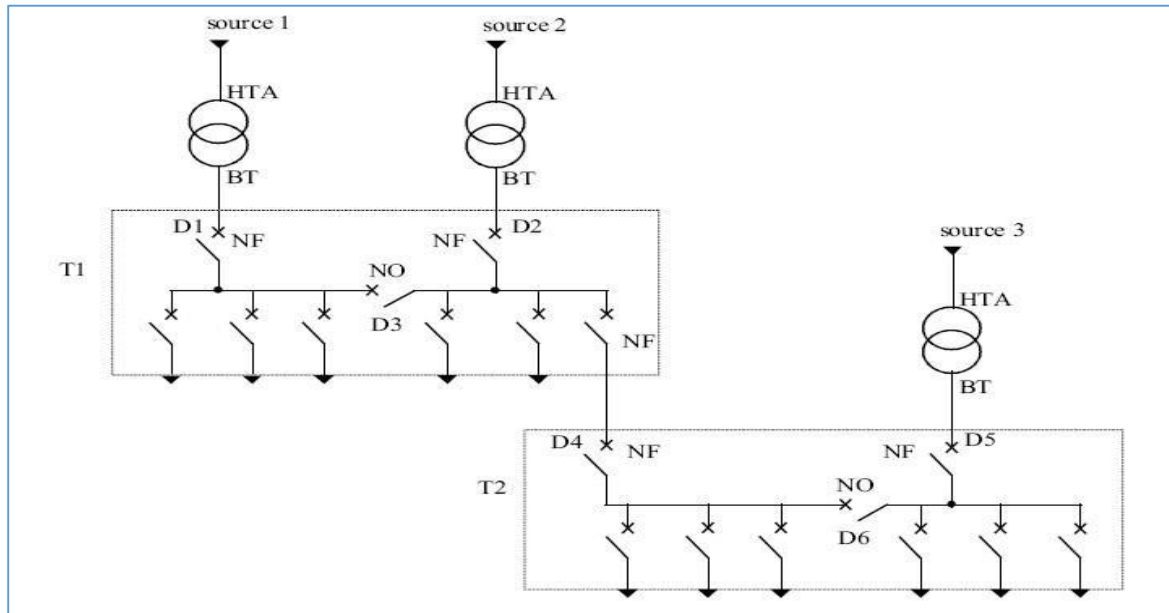


Figure I.7 : Alimentation des tableaux BT par une double alimentation avec couplage

I.5. Les équipements électriques [4]

I.5.1 Tableau général BT

Le TGBT (Tableau Général Basse Tension) est placé juste après le transformateur MT/BT, à proximité de celui-ci. Il distribue l'alimentation électrique vers les coffrets ou armoires des équipements principaux. En cas de panne ou d'incident, des automatismes installés localement permettent de couper automatiquement les départs non prioritaires (qui peuvent être arrêtés quelques minutes ou quelques heures), afin de maintenir l'alimentation des départs essentiels (qui ne doivent pas être interrompus ou seulement pendant quelques secondes).

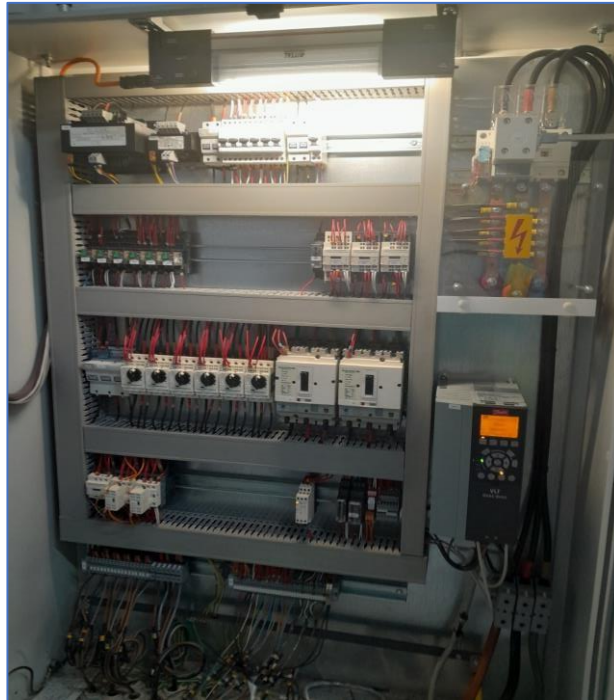


Figure I.8 : Tableau Générale BT (complexe cevital).

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

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

La puissance de dimensionnement de chaque transformateur doit être supérieure à celle réellement consommée au total.



Figure I.9 : Différents types de transformateurs BT

I.5.3. Armoires électriques [5]

Une armoire électrique est une boîte close où sont regroupés tous les équipements nécessaires à la distribution et à la gestion de l'électricité dans une installation. Elle assure la protection des biens et des personnes en centralisant les éléments de commande, de mesure, de protection, et parfois de communication. En termes simples, c'est le cerveau de votre installation électrique. Une armoire électrique comprend plusieurs éléments essentiels, certains assurent la distribution et d'autres la protection, parmi ces composants :

- Le tableau électrique : cœur de l'armoire, il accueille l'ensemble des circuits et appareillages.
- Les disjoncteurs : protègent les circuits contre les surcharges et les courts-circuits.
- Les contacteurs et relais : permettent de contrôler et gérer l'alimentation électrique.
- Les dispositifs de protection : comme les interrupteurs différentiels qui sécurisent les installations contre les défaillances du matériel.



Figure I.10 : Armoires électriques industrielle (complexe Cevital)

I.6 Régimes de neutre

Le régime de neutre correspond au type de liaison effectuée entre le neutre d'un réseau triphasé et la terre.

I.6.1 Différents régimes de neutre [6]

En basse tension, les régimes de neutre et les schémas des liaisons à la terre sont régis par les normes CEI 364 et NFC 15-100. Trois schémas sont pris en considération. Chaque schéma est défini par deux lettres.

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

T : liaison directe du point neutre à la terre

I : point neutre, soit isolé de la terre, soit relié à la terre par une impédance de valeur élevée.

La deuxième lettre définit le mode de raccordement des masses de l'installation électrique :

T : les masses sont interconnectées et reliées directement à la terre, indépendamment de la mise à la terre éventuelle du point neutre.

N : les masses sont reliées directement au conducteur neutre.

I.6.2 Description de régime de neutre utilisé dans l'entreprise

Dans notre projet il faut assurer la continuité de fournir de l'énergie électrique pour alimenter les divers récepteurs même si un défaut d'isolement apparaît dans ces différentes parties, pour cela un régime de neutre IT a été crié pour assurer cette condition.

Ce régime de neutre IT est caractérisé par le neutre de transformateur n'est pas relié à la terre ou relié par une forte impédance, la masse de ce différent récepteur est reliée à la terre (Figure I.21). Pour détecter ce défaut, on équipera le neutre de transformateur par un contrôleur permanent d'isolement pour détecter le premier et le deuxième défaut. Ces défauts sont définis comme suit :

Le premier défaut dans l'installation est généralement non destructif pour les équipements, car les seuils des tensions et les courant vers la terre ne sont pas importante. Dès que ce défaut apparaît, il faut immédiatement intervenir avant qu'un deuxième défaut d'isolement n'apparaisse ;

Le deuxième défaut, c'est un court-circuit phase et neutre ou entre phases généralement ces défauts sont destructifs pour l'installation donc il est impérativement obligatoire de sectionner cette partie.

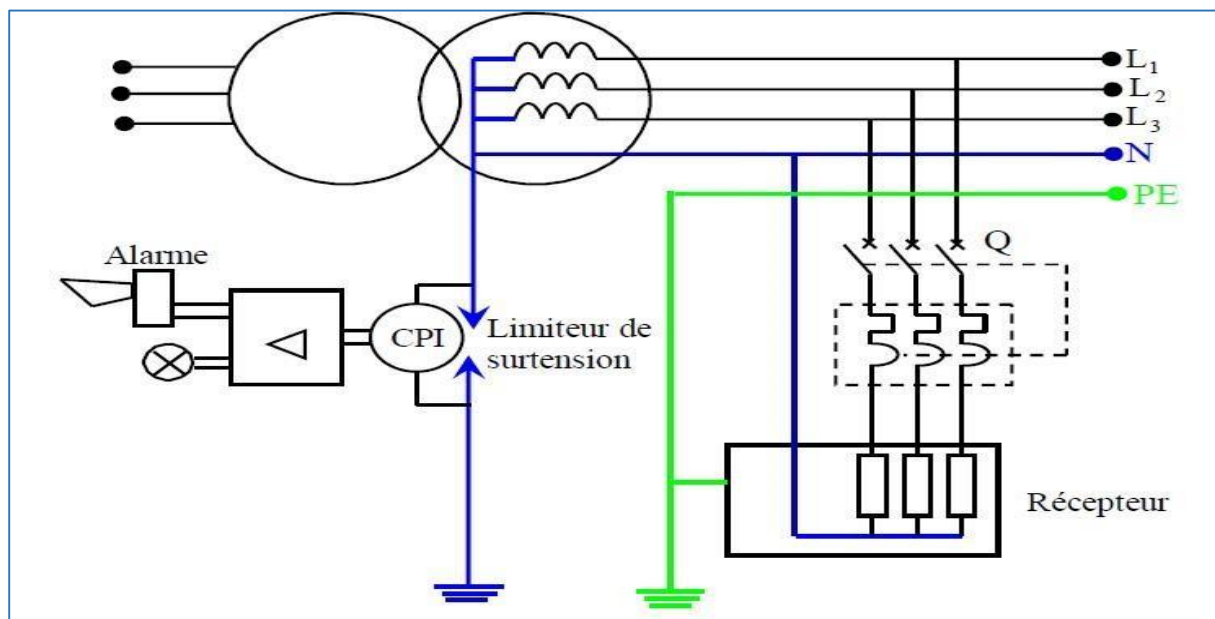


Figure I.11: Régime de neutre type IT

I.6.3.a Avantages et inconvénients du régime de neutre utilisé dans l'entreprise

Les avantages de ce régime sont :

- Les seuils du courant du premier défaut ne sont pas dangereux ;
- Le non-déclenchement au premier défaut qui va Assurer la continuité de fonctionnement de notre installation.

Les inconvénients de ce régime sont :

- Le courant de deuxièmes défauts est important et dangereux pour les équipements ;
- L'intensité de courant du double défaut d'isolement est importante ;
- Il faut réussir la signalisation au premier défaut d'isolement entre neutre et terre ;
- Le contrôleur permanent d'isolement CPI doit assurer le déclenchement des dispositifs de protection contre les surintensités au deuxième défaut ;
- Mettre en œuvre un agent d'entretien pour chercher et éliminer le premier défaut.

I.7 Conclusion

Les installations électriques industrielles sont essentielles au bon fonctionnement des sites de production. Elles permettent d'assurer la distribution, le contrôle, la protection et la sécurisation de l'énergie électrique indispensable aux machines et équipements.

Ce chapitre a permis de présenter les principaux éléments constituant ces installations, notamment les armoires électriques, les tableaux de distribution, les disjoncteurs, ainsi que les différents régimes de neutre.

Une installation bien étudiée garantit non seulement une meilleure efficacité énergétique, mais aussi la sécurité des personnes et la protection du matériel face aux défauts électriques.

Chapitre II

Généralités sur les jeux de barres

II. 1 Introduction

Interconnecter des systèmes électriques veut dire « connecter ces systèmes entre eux ». Une telle interconnexion permet des échanges (d'énergie ou d'information) entre les systèmes ce qui permet d'augmenter leur sûreté.

Quelle que soit l'échelle de l'interconnexion, l'élément essentiel par lequel toutes les puissances transitent est le « **Jeu de barre** ». Electriquement et idéalement c'est le nœud où les systèmes se connectent entre eux par des branches. Ou en d'autre terme, le jeu de barre est le « *collecteur-répartiteur* » de puissance entre les branches d'arrivées et les branches de départs.

Donc, un jeu de barre est l'élément central d'une interconnexion, son étude et son dimensionnement doivent se faire avec un grand soin afin d'éviter toute défaillance, provenant d'exploitation ou d'environnement, conduisant surement à la perte d'alimentation.

II. 2 Définition

Le jeu de barres constitue véritablement la colonne vertébrale de tout ensemble de distribution électrique. Il assure l'alimentation et la répartition de l'énergie.

Matériellement, il désigne un ou un groupe de conducteurs, en cuivre ou en aluminium qui conduisent l'électricité dans un poste, dans un tableau ou à l'intérieur d'un appareillage électrique. Le terme officiel est *barre omnibus*, mais ce terme n'est pas assez employé [7]. Selon la définition donnée par la Commission électrotechnique internationale, il s'agit d'« un conducteur de *faible impédance* auquel peuvent être reliés plusieurs circuits électriques en des points séparés » [8].

Le jeu de barres est donc destiné à assurer la collecte et la répartition de l'énergie électrique entre éléments d'une installation. En d'autres termes, il s'agit d'un type de jonction électrique dans lequel tout le courant électrique entrant et sortant se rencontre avant répartition [9].

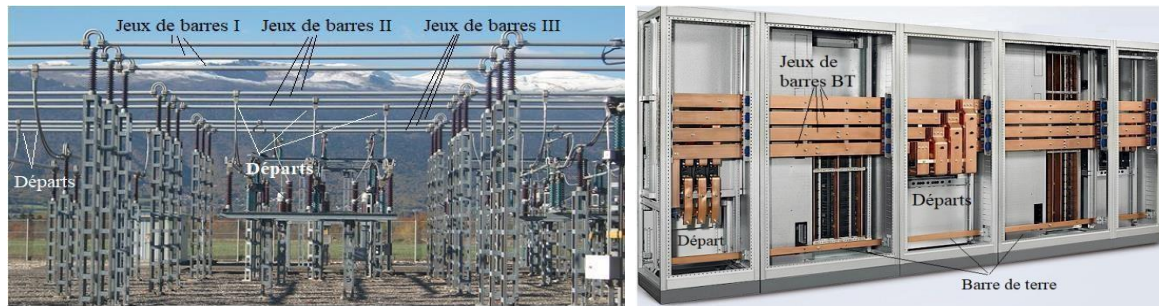


Figure II.1 : Exemple de jeux de barres. A gauche: jeux de barre HT et à droite : jeux de barre BT.

Le jeu de barres électrique est disponible en formes rectangulaires, transversales, rondes et autres. Les barres rondes et creuses sont utilisées en hautes tensions HT, tandis que les barres rectangulaires sont principalement utilisées dans le système à basse tension BT [8].

II. 3 Utilisations

En concurrence avec les câbles isolés, on utilise le jeu de barres dans toutes les applications d'interconnexion, comme, liaison entre les transformateurs et les tableaux généraux basse tension TGBT, comme supports de répartition dans les TGBT et les canalisations de distribution BT. Mais son intérêt principal est avant tout économique car, à puissance transportée égale, le jeu de barre est sensiblement meilleur et moins cher qu'un câble isolé. Cet avantage est essentiellement dû aux meilleures conditions de refroidissement.

En effet, pour un jeu de barre, les températures étant fonctions des seules conditions d'environnement, alors que pour les câbles isolés les températures sont limitées par les tenues de leurs isolants qui constituent un obstacle au transfert de leur chaleur interne vers l'extérieur [9].



Figure II.2 : exemples d'utilisation des jeux de barre de distribution BT

II. 4 Dimensionnement

Le dimensionnement des jeux de barres consiste à la détermination de la section convenable des barres en fonction des courants qui y circulent. Ce dimensionnement doit tenir compte les contraintes d'installation par vérifications des tenues thermiques et des efforts électrodynamiques.

Les contraintes d'emploi des jeux de barres, tant en service normal qu'en cas de défauts, peuvent se regrouper en deux catégories :

- La contrainte thermique : matérialisée par l'équilibre thermique avec l'environnement immédiat, et traduite par un courant, un temps et une température admissibles.
- La contrainte mécanique : traduisant les efforts électrodynamiques susceptibles d'y apparaître en cas de défaut. Elle est matérialisée par un courant de court-circuit et une distribution de forces.

Ces contraintes sont-elles mêmes soumises à l'influence de nombreux facteurs que les calculs doivent prendre en compte :

- L'intensité permanente à véhiculer dans le jeu de barres.
- Le courant maximal de court-circuit, la température ambiante
- Le degré de protection de l'enveloppe, la position des barres... etc.

II. 5 Conception

Il existe différents types de profilés de jeux de barres : en I, en U, en O, en L et en d'autres formes.

Des profilés en U, L ou O, souvent aériennes en tube d'aluminium, sont particulièrement réservés aux applications de haute tension HT/THT. Ils présentent des problèmes, tant d'ordre mécanique qu'électrique (grandes longueurs, dénivelées, pentes, chutes de tension, ...etc.).



Figure II.3 : Image d'un jeu de barre HT aérien de profilé O et en configuration U

Des profilés en U ou en L sont aussi utilisés comme jeux de barres pour fortes intensités (plusieurs kA), en moyenne tension MT (6 à 20 kV), sur des distances importantes (de 10 à 15 m), par exemple pour les liaisons alternateur-transformateur des centrales ; ils sont parfois gainés, réalisant des ensembles préfabriqués [10].



Figure II.4 : Images de jeux de barres MT préfabriqués faisant la liaison entre alternateurs et transformateurs.

En basse tension BT, domaine qui nous intéresse dans ce travail, les plus fréquemment utilisés, sont les barres méplates, laminées ou extrudées, de dimensions qui vont de 50 à 280 mm pour leur épaisseur et de 120 à 800 mm pour leur hauteur. Ils peuvent être associées jusqu'à 6 ou 7 par phase. Leur avantage tient au fait que leur façonnage, (par pliage à plat), ou que leur raccordement (par recouvrement) ne nécessite pas le recours à des accessoires spéciaux, ni à une main d'œuvre particulièrement spécialisée [10].



Figure II.5: Images de quelques configurations de jeux de barres BT (TGBT) de profilés I

II. 6 Dispositions de jeux barres BT

En basse tension on utilise des barres rectangulaires façonnées minutieusement et disposées de telle manière d'avoir un meilleur refroidissement. L'appareillage est soit connecté directement sur les barres, soit raccordé au moyen de liaisons électriques (câbles, fils, feuillards). Pour ce faire, les barres sont munies de points de connexion (trous, bornes, etc.).

Les deux dispositions les plus courantes sont la disposition sur chant et la disposition à plat. Quelle que soit la disposition, il est conseillé de placer la barre du neutre au côté plus accessible (en avant), cela peut :

- Représenter une sécurité supplémentaire
- Faciliter les raccordements des circuits monophasés
- Faciliter l'identification des modes de liaisons à la terre

II.6.1 Barres sur chant

Cette position des barres est très utilisée car elle favorise le refroidissement par convection.

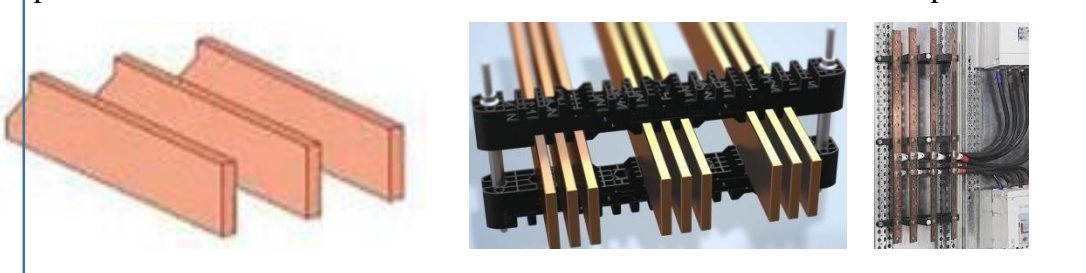


Figure II.6 : Exemples de jeux de barres sur chant [10]

II.6.2 Barres à plat

Dans le cas de barres à plat, l'échauffement est légèrement supérieur à ce des barres sur chant. On utilise le dimensionnement définis pour des barres de chant en appliquant un coefficient de déclassement de 0.8, pour tenir compte de l'écart en échauffement.



Figure II.7 : Exemples de jeux de barres à plat [10]

II. 7 Les principaux problèmes des jeux de barres

Les jeux de barres utilisés dans la distribution BT ont généralement des sections rectangulaires et sont parcourus par des courants variables de valeurs crêtes plus ou moins élevées. Ces jeux de barres sont alors sources de pertes joule variables à savoir :

- Peuvent entraîner l'élévation des températures des barres pouvant devenir critiques pour les dispositifs qui y sont raccordées
- Les barres soumises à des variations de températures, sont sujettes aux dilatations et contractions (variation de longueurs). Ce qui présente un risque d'endommagement, soit pour les barres elles-mêmes, soit pour leurs supports ou soit encore pour les bornes d'appareils auxquels elles sont raccordées.
- A long terme, ces pertes cumulées peuvent représenter un coût de fonctionnement important.
- Ces effets influencent, à long terme, la durée de vie des dispositifs.

La contrainte thermique résultant des pertes joule, n'est pas la seule à devoir être prise en réflexion. Des normes très strictes, concernant l'induction magnétique émise, sont d'ores et déjà en application. Ces normes exigent des seuils d'induction à ne pas franchir, et ne permettent plus de construire des circuits avec n'importe quels trajets pour les courants.

Enfin, les mêmes constatations peuvent être faites lors de passage des courants de défauts supérieurs au courant nominal.

- Les efforts électrodynamiques développés provoquent des vibrations, et avec les conditions de résonance, ces efforts s'amplifient et peuvent être dangereux pour les supports et les isolateurs.

- Lors de court-circuit, les courants sont très supérieurs aux courants nominaux. Les efforts électrodynamiques résultants ajoutés aux effets de dilatation peuvent causer la destruction de la structure par forces ou par chocs.

Malgré tout, toutes ces contraintes sont indésirables. Pour soulager les structures de jeux de barres en limitant, sinon, en réduisant les effets de ces contraintes, des précautions doivent être prise lors des montages.

- Utiliser des joints de dilatation thermiques, des amortisseurs, des supports et des barres en matériaux souples
- Pour l'assemblage, utiliser des joints par contacts boulonnés, serrés ou rivés.

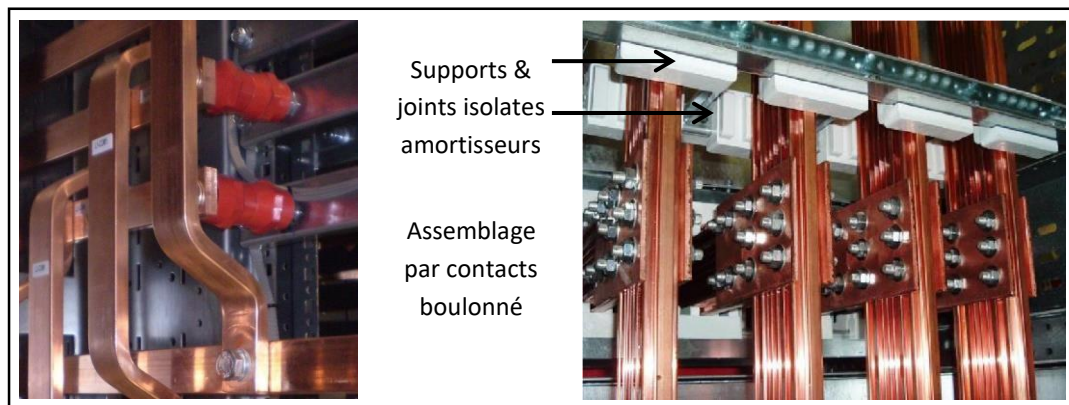


Figure II.8 : Dispositions pour renforcer la tenue des barres aux différents efforts

La solution générique de l'ensemble de ces problèmes est principalement liée à la répartition de courant qui intervient dans l'évaluation toute grandeur de dimensionnement (courants, pertes, échauffements, induction et forces). Par conséquent, la connaissance ou la détermination de cette répartition est nécessaire afin de concevoir judicieusement un jeu de barre.

II. 8 Causes de surchauffe de jeu de barre [11]

Voici les principales causes de surchauffe des jeux de barres dans les installations électriques industrielles :

A. Surcharge de courant

Mécanisme physique : La loi de Joule ($P = R \times I^2$) montre que les pertes par effet Joule augmentent avec le carré du courant. Lorsqu'un jeu de barres transporte un courant supérieur à

sa capacité nominale, l'énergie dissipée sous forme de chaleur augmente exponentiellement. Cette chaleur, si elle ne peut être évacuée efficacement, s'accumule dans le conducteur et élève sa température.

Factures aggravates:

- Durée de la surcharge (les surcharges transitoires sont généralement acceptables) ;
- Conditions ambiantes (température élevée, ventilation insuffisante) ;
- État des connexions (connexions défectueuses amplifient l'échauffement).

Seuils critiques : La plupart des conducteurs en cuivre ou aluminium peuvent supporter temporairement 125% de leur courant nominal, mais au-delà de 150%, les risques de surchauffe deviennent significatifs.

B. Défauts de connexion

Types de défauts :

- Connexions desserrées : Le couple de serrage insuffisant crée une résistance de contact élevée ;
- Corrosion des surfaces : L'oxydation forme une couche isolante qui augmente la résistance ;
- Usure mécanique : Les vibrations et cycles thermiques dégradent progressivement les contacts ;
- Effet d'avalanche thermique : Une connexion défectueuse chauffe → dilatation → desserrage → résistance accrue → plus de chaleur → cercle vicieux jusqu'à la défaillance.

Zones critiques:

- Fonctions entre segments de barres ;
- Connexions aux transformateurs de courant;
- Points de dérivation vers les départs.

C. Défauts de conception

Erreurs de dimensionnement:

- Sous-estimation des courants de pointe ;
- Non prise en compte des facteurs de simultanéité ;
- Calculs basés sur des conditions idéales non représentatives.

Espacement insuffisant:

Un espacement réduit entre phases augmente l'effet de proximité et limite la dissipation thermique. L'espacement optimal dépend du courant transporté selon la relation : $d \geq k \times \sqrt{I}$ (où k est un coefficient dépendant du matériau et de la géométrie).

Forme géométrique : Les barres plates dissipent mieux la chaleur que les barres rondes de même section grâce à leur rapport surface/volume plus favorable.

D. Ventilation insuffisante

Principes de refroidissement:

- Convection naturelle : Mouvement de l'air chaud vers le haut, remplacé par de l'air frais ;
- Convection forcée : Ventilation mécanique pour accélérer les échanges thermiques ;
- Rayonnement : Émission de chaleur par radiation infrarouge.

Facteurs limitants :

- Espacement insuffisant entre barres;
- Obstacles au flux d'air (cloisons, équipements adjacents) ;
- Accumulation de poussière sur les surfaces d'échange ;
- Conception inadéquate des grilles de ventilation.

Impact quantitatif : Une réduction de 50% du débit d'air peut entraîner une augmentation de température de 20-30°C.

E. Déséquilibre de phases

Mécanisme: Un déséquilibre de 5% entre phases peut créer des courants de séquence négative qui circulent dans les barres neutres et génèrent un échauffement supplémentaire. Dans les systèmes triphasés déséquilibrés, certaines phases portent plus de courant que d'autres.

Conséquences thermiques :

- Échauffement non uniforme des trois phases ;
- Contraintes thermiques différentielles ;
- Surchauffe localisée de la phase la plus chargée.

Seuils d'alerte : Un déséquilibre supérieur à 2% nécessite une surveillance accrue, au-delà de 5% des actions correctives sont impératives.

F. Harmoniques

Phénomènes physiques:

- Effet de peau : Les courants harmoniques de fréquence élevée se concentrent à la périphérie du conducteur, augmentant la résistance effective ;
- Effet de proximité : Les harmoniques créent des champs magnétiques qui induisent des courants de Foucault dans les conducteurs adjacents ;

Sources d'harmoniques:

- Variateurs de vitesse électroniques;
- Éclairage fluorescent et LED;
- Alimentations à découpage ;
- Fours à arc électrique .

Calcul des pertes supplémentaires:

Les pertes harmoniques peuvent représenter 1525% des pertes totales dans des installations fortement polluées. La résistance apparente peut augmenter de 20-40% par rapport à la résistance en courant continu.

G. Qualité des matériaux:

L'utilisation de matériaux de qualité inférieure ou non conformes aux spécifications.

H. Vieillesse des installations

Dégradation progressive:

- Relaxation mécanique : Les couples de serrage diminuent avec le temps (typiquement 10-20% par décennie) ;
- Fatigue thermique : Les cycles d'échauffement-refroidissement créent des microfissures ;
- Corrosion galvanique : Réactions électrochimiques entre métaux différents ;
- Cinétique de dégradation : La loi d'Arrhenius montre que la vitesse de vieillissement double environ tous les 10°C. Un fonctionnement à 80°C au lieu de 70°C réduit la durée de vie de moitié.

Indicateurs de vieillissement:

- Augmentation mesurable de la résistance de contact ;
- Décoloration des matériaux isolants ;
- Formation de produits de corrosion visibles .

II. 9 Conséquences de surchauffe de jeu de barre [12]

Voici les principales conséquences de la surchauffe des jeux de barres dans les installations électriques :

A. Impact sur les équipements adjacents

Rayonnement thermique : Un jeu de barres à 150°C rayonne environ 1000 W/m² selon la loi de Stefan-Boltzmann. Cette chaleur affecte les composants électroniques sensibles dans un rayon de 1-2 mètres.

Dégradation des performances: Les semi-conducteurs perdent 2-3% de leurs performances par degré d'élévation de température ambiante. Les condensateurs électrolytiques voient leur durée de vie divisée par 2 tous les 10°C supplémentaires.

B. Risque d'incendie

Température d'auto-inflammation: Les matériaux isolants s'enflamment généralement entre 250-400°C. Les projections de métal en fusion lors d'un arc (température > 1000°C) peuvent enflammer des matériaux à distance.

Propagation: Un incendie électrique se propage rapidement par rayonnement thermique et convection. Dans un local technique, la température peut atteindre 600-800°C en quelques minutes, compromettant l'intégrité structurelle du bâtiment.

C. Déclenchements intempestifs

Seuils de protection: Les relais thermiques sont généralement réglés entre 105-130°C selon l'application. Une surchauffe localisée peut provoquer des déclenchements même si le courant global reste nominal.

Impact opérationnel: Ces arrêts non programmés peuvent coûter 5000 à 50000 €/heure selon le secteur industriel (pétrochimie, sidérurgie). La remise en service nécessite souvent une inspection complète et des tests, prolongeant l'indisponibilité.

D. Augmentation des pertes électriques (effet d'emballlement)

Relation température-résistance : La résistivité du cuivre augmente de 0,393%/°C et celle de l'aluminium de 0,429%/°C. À 100°C (départ 20°C), la résistance augmente de 31% pour le cuivre et 34% pour l'aluminium.

Cercle vicieux thermique: L'augmentation de résistance génère plus de pertes Joule ($P = R \times I^2$), qui élèvent davantage la température, augmentant encore la résistance.

Ce processus peut conduire à un emballlement thermique si la dissipation n'est pas suffisante.

E. Dilatation thermique et contraintes mécaniques

Calculs de dilatation : Le coefficient de dilatation linéaire du cuivre est de $16,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ et celui de l'aluminium de $23 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$. Pour une barre de 3 mètres, une élévation de 50°C provoque une dilatation de 2,5 mm (cuivre) à 3,5 mm (aluminium).

Conséquences mécaniques : Ces dilatations répétées créent des contraintes cycliques qui peuvent provoquer le fluage des matériaux, le desserrage des boulons (perte de couple de 10-15% par cycle thermique), et la fissuration par fatigue des supports et isolateurs.

F. Risque d'arc électrique

Processus de formation : L'élévation de température réduit la distance d'amorçage nécessaire pour un arc électrique. À 200°C, la rigidité diélectrique de l'air diminue de 15-20%. La fusion locale des conducteurs (cuivre : 1085°C, aluminium : 660°C) crée des aspérités qui concentrent le champ électrique, favorisant les décharges.

Énergies mises en jeu : Un arc sur jeu de barres peut libérer des énergies de 10 à 100 MJ selon la tension et le courant de court-circuit disponible. La température de l'arc peut atteindre 20 000°C, vaporisant instantanément le métal et créant une onde de pression de plusieurs bars.

G. Dégradation accélérée de l'isolation

Mécanisme physique: La surchauffe provoque la décomposition moléculaire des polymères isolants (PVC, XLPE, époxy). Les chaînes macromoléculaires se brisent sous l'effet de la température, réduisant progressivement les propriétés diélectriques. Cette dégradation suit généralement la loi d'Arrhenius : pour chaque augmentation de 10°C au-delà de la température nominale, la durée de vie de l'isolant est divisée par deux.

Manifestations pratiques: Fissuration de l'isolant, perte de souplesse, changement de couleur (brunissement), réduction de la rigidité diélectrique de 3-5% par degré au-dessus de 70°C pour les isolants standards.

H. Défaillance catastrophique

Scenario de défaillance en cascade: La surchauffe non maîtrisée peut provoquer : fusion partielle → arc électrique → court-circuit → déclenchement en cascade → perte totale d'alimentation. La reconstruction complète d'un poste peut nécessiter 6-12 mois et coûter plusieurs millions d'euros.

Impact systémique : Dans l'industrie continue (sidérurgie, chimie), l'arrêt brutal peut endommager les procédés en cours, avec des coûts de remise en état dépassant souvent le coût de l'équipement électrique défaillant.

II. 10 Détection et diagnostic [13]

Voici les principales méthodes de détection et de diagnostic de surchauffe des jeux de barres dans les installations électriques industrielles :

A. Thermographie infrarouge

Principe de fonctionnement: La thermographie infrarouge exploite le rayonnement thermique émis par tous les objets ayant une température supérieure au zéro absolu. Les caméras thermiques détectent les radiations infrarouges dans la bande spectrale de 8 à 14 micromètres et les convertissent en images thermiques visibles.

Application aux jeux de barres:

- Détection sans contact : Permet l'inspection des installations sous tension sans risque pour l'opérateur ;
- Cartographie thermique : Visualisation complète de la répartition des températures sur l'ensemble du jeu de barres ;
- Identification des points chauds : Les connexions défectueuses apparaissent comme des zones plus chaudes (généralement 10°C à 50°C au-dessus de la température ambiante) ;
- Analyse comparative : Comparaison des températures entre phases similaires pour identifier les anomalies.

Critères d'interprétation:

- Différence de température $\geq 15^{\circ}\text{C}$ entre connexions similaires : investigation requise ;
- Température absolue $> 90^{\circ}\text{C}$ pour connexions cuivre : action corrective immédiate ;
- Gradients thermiques importants : indicateurs de résistances de contact élevées.

B. Capteurs de température à résistance (RTD)

Principe technique : Les RTD exploitent la variation linéaire de la résistance électrique des métaux purs (platine Pt100/Pt1000) avec la température selon la relation : $R(T) = R_0(1 + \alpha T)$.

Installation sur jeux de barres:

- Positionnement stratégique : Fixation aux points critiques (connexions, coudes, zones de forte densité de courant) ;
- Isolation électrique : Utilisation de supports isolants pour éviter les courants de fuite ;
- Raccordement 3 ou 4 fils : Compensation automatique de la résistance des câbles de liaison ;
- Plage de mesure : Généralement -50°C à $+200^{\circ}\text{C}$ avec précision $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$.

Avantages spécifiques :

- ✓ Surveillance continue : Acquisition de données 24h/24 avec enregistrement historique ;
- ✓ Alarmes configurables : Seuils d'alerte préprogrammés (75°C , 90°C , 105°C) ;
- ✓ Intégration SCADA : Communication via protocoles industriels (Modbus, Profibus) ;

C. Thermocouples

Principe physique : Basé sur l'effet Seebeck : génération d'une force électromotrice (FEM) proportionnelle à la différence de température entre la jonction chaude et la jonction froide de deux métaux différents.

Types adaptés aux jeux de barres :

- Type K (Chromel-Alumel) : Plage -200°C à $+1370^{\circ}\text{C}$, sensibilité $41 \mu\text{V}/^{\circ}\text{C}$;
- Type J (Fer-Constantan) : Plage -210°C à $+760^{\circ}\text{C}$, bonne linéarité □ Type T (Cuivre-Constantan) : Plage -250°C à $+400^{\circ}\text{C}$, excellente précision Installation et mesure ;
- Soudure directe : Fixation par soudage au point de mesure pour contact thermique optimal ;
- Compensation de soudure froide : Correction automatique de la température de référence ;
- Blindage électromagnétique : Protection contre les interférences CEM des courants forts.

Applications spécifiques :

- Mesure différentielle : Comparaison simultanée entre plusieurs points du jeu de barres ;
- Réponse rapide : Détection des variations thermiques transitoires.

D. Fibres optiques distribuées (DTS - Distributed Temperature Sensing)

Principe de fonctionnement : Exploitation des phénomènes de diffusion Raman et Brillouin dans les fibres optiques pour mesurer la température en tout point le long de la fibre.

Technologie DTS:

- Diffusion Raman : Analyse du rapport d'intensité entre les composantes Stokes et anti-Stokes du signal rétrodiffusé ;
 - Résolution spatiale : 0.5 à 2 m selon la technologie ;
 - Résolution thermique : $\pm 1^{\circ}\text{C}$ à $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ □ Portée : Jusqu'à 30 km sur une seule fibre
- Installation sur jeux de barres ;

- Fixation mécanique : Attache de la fibre optique le long des conducteurs ;
- Protection environnementale : Gaine résistante aux UV et aux agents corrosifs ;
- Boucles de mesure : Configuration permettant la surveillance de plusieurs jeux de barres.

Avantages opérationnels:

- Surveillance continue : Cartographie thermique temps réel sur toute la longueur ;
- Détection précoce : Identification des points chauds naissants ;
- Localisation précise : Géolocalisation automatique des anomalies thermiques.

II.11 Solutions préventives [14]

Voici les principales solutions préventives pour éviter la surchauffe des jeux de barres dans les installations électriques industrielles :

A. Dimensionnement adéquat

Le dimensionnement correct des jeux de barres constitue la première ligne de défense contre la surchauffe. Cette approche implique plusieurs considérations techniques :

Calcul de la section transversale: La section doit être calculée en fonction du courant nominal majoré d'un coefficient de sécurité (généralement 1,25 selon les normes). La densité de

courant ne doit pas dépasser 2 A/mm² pour le cuivre en conditions normales de fonctionnement.

Facteur de forme: Les barres plates offrent un meilleur rapport surface/section que les barres rondes, favorisant ainsi la dissipation thermique par convection naturelle. La forme optimale dépend de l'intensité et de l'environnement d'installation.

Espacement entre phases: Un espacement insuffisant entre phases peut créer des effets de proximité augmentant les pertes par courants de Foucault. L'espacement minimal doit respecter les normes diélectriques tout en optimisant la dissipation thermique.

B. Maintenance préventive planifiée

La maintenance préventive constitue un pilier essentiel de la prévention des surchauffes :

Serrage des connexions : Les connexions boulonnées doivent être contrôlées selon un couple de serrage spécifique (généralement entre 40-60 Nm pour les connexions M12). Un sous-serrage crée une résistance de contact excessive, tandis qu'un sur-serrage peut endommager les filetages.

Nettoyage des surfaces : L'accumulation de poussière, d'humidité ou de contaminants chimiques augmente la résistance thermique et électrique. Un nettoyage régulier avec des solvants appropriés (isopropanol, dégraissants non conducteurs) maintient les performances optimales.

Inspection des supports : Les supports et fixations doivent être vérifiés pour détecter tout jeu mécanique qui pourrait créer des micro-mouvements et une usure prématurée des contacts.

C. Contrôle thermographique périodique

La thermographie infrarouge permet une détection précoce des anomalies thermiques :

Fréquence des inspections : Les installations critiques nécessitent des contrôles mensuels, tandis que les installations standard peuvent être inspectées trimestriellement. La fréquence doit être adaptée à l'âge et à la criticité de l'installation.

Critères d'évaluation : Un écart de température supérieur à 10°C par rapport aux phases adjacentes ou à des équipements similaires indique un problème potentiel. Un écart de 40°C ou plus nécessite une intervention immédiate.

Conditions de mesure : Les mesures doivent être effectuées sous charge normale (au moins 40% du courant nominal) pour être représentatives. Les conditions ambiantes et les émissivités des matériaux doivent être prises en compte.

D. Ventilation optimisée

La dissipation thermique par convection peut être significativement améliorée :

Ventilation naturelle : L'effet de cheminée peut être exploité en créant des ouvertures d'admission d'air frais en partie basse et d'évacuation en partie haute. La section des ouvertures doit représenter au moins 1% de la surface au sol du compartiment.

Ventilation forcée : Pour les installations à forte densité de puissance, des ventilateurs extracteurs peuvent être installés. Le débit d'air nécessaire se calcule selon la formule : $Q = P / (1,2 \times C_p \times \Delta T)$, où P est la puissance dissipée, C_p la capacité thermique de l'air et ΔT l'élévation de température admissible.

Conception des enveloppes : Les formes et perforations des enveloppes doivent favoriser la circulation d'air sans créer de zones de stagnation thermique.

E. Filtration des harmoniques

Les harmoniques de courant génèrent des pertes supplémentaires par effet de peau et effet de proximité :

Identification des sources: Les variateurs de vitesse, alimentations à découpage et systèmes d'éclairage à LED sont les principales sources d'harmoniques. Une analyse spectrale permet d'identifier les fréquences problématiques.

Dimensionnement des filtres: Les filtres passifs (combinaisons LC) sont efficaces pour les harmoniques de rang élevé, tandis que les filtres actifs conviennent mieux pour une

compensation large bande. Le taux de distortion harmonique total (THD) doit être maintenu sous 5% pour les courants.

Positionnement optimal: Les filtres doivent être placés au plus près des sources d'harmoniques pour éviter la propagation dans le réseau de distribution.

F. Équilibrage des charges

Le déséquilibre des phases crée des courants de séquence inverse générant des pertes supplémentaires:

Mesure du déséquilibre: Le facteur de déséquilibre se calcule comme le rapport entre les composantes de séquence inverse et directe. Un déséquilibre supérieur à 2% nécessite une correction.

Redistribution des charges : Les charges monophasées doivent être réparties équitablement sur les trois phases. Une rotation périodique des charges peut compenser les déséquilibres temporaires.

Monitoring continu: Des analyseurs de réseau permettent une surveillance permanente de l'équilibrage et des alarmes automatiques en cas de dérive.

G. Surveillance continue : Installation de systèmes de monitoring permanent avec alarmes précoces en cas de dépassement des seuils critiques.

H. Connexions à compression : Utilisation de techniques de raccordement à compression plutôt que boulonnées pour réduire la résistance de contact.

II.12 Conclusion

Ce chapitre a présenté une analyse complète des jeux de barres dans les installations électriques industrielles. Nous avons d'abord exposé les principes de fonctionnement, l'utilisation, les critères de dimensionnement et les règles de disposition de ces composants essentiels des systèmes de distribution électrique.

L'étude s'est ensuite focalisée sur la problématique critique de la surchauffe des jeux de barres, en identifiant les causes, conséquences, méthodes de détection et solutions préventives associées à ce phénomène.

Cette analyse démontre que la maîtrise des phénomènes thermiques dans les jeux de barres nécessite une approche préventive globale combinant conception optimisée, surveillance régulière et maintenance rigoureuse pour garantir la fiabilité et la sécurité des installations électriques industrielles.

Chapitre III

Méthodologie de dimensionnement d'une installation industrielle

III.1 Introduction

Dans ce travail, nous présentons les différentes étapes nécessaires au dimensionnement d'une installation électrique basse tension. Cela implique une détermination rigoureuse des canalisations ainsi que de leurs dispositifs de protection. Par ailleurs, l'installation doit garantir la sécurité des biens et des personnes tout en assurant un fonctionnement optimal.

III.2 Méthodologie de dimensionnement d'une installation électrique [15]

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

- Réalisation d'un bilan de puissance de toute l'installation ;
- Détermination des sections de câble ;
- Détermination de la chute de tension ;
- Détermination des courants de court-circuit ;
- Choix des dispositifs de protection ;
- Détermination des calibres In des déclencheurs des disjoncteurs ;
- Vérification de la protection des personnes.

III.3 Bilan de puissance [16]

C'est la première étape essentielle de l'étude et de la conception d'un réseau. Elle doit cerner et localiser géographiquement les valeurs des puissances. Il faut:

- ❖ Réaliser un schéma de l'installation électrique en mettant en évidence les circuits, tableaux et récepteurs ;
- ❖ Notez sur le schéma la puissance des récepteurs.
- ❖ Calculer la puissance de ces derniers en appliquant le coefficient K_u adapté.
- ❖ Ajoutez toutes les puissances des circuits d'un tableau pour obtenir leur somme.
- ❖ Appliquez à ce résultat le coefficient K_s du nombre de départ. Ceci permettra de connaître la puissance du tableau.
- ❖ Suivez ces mêmes étapes jusqu'au tableau basse tension.

III.3.1 Puissance installée P_n (KW)

La puissance active installée par l'entreprise et la somme de la puissance nominale de tous les charges. Cette puissance sera ensuite utilisée pour calculer la puissance réelle consommée en utilisant les facteurs d'utilisation et de simultanéité correspondant à chaque niveau d'installation [10].

III.3.2 Puissance absorbée P_a (KW)

La puissance absorbée (P_a) par une charge (un récepteur) dépend de sa puissance nominale (P_n), de son rendement η et de son facteur de puissance $\cos\varphi$. Elle se calcule avec la formule suivante :

$$P_a = \frac{P_n}{\eta \times \cos\varphi} \quad (\text{III.1})$$

III.3.3 Puissance utilisée P_u (KW)

Elles représentent la puissance réellement nécessaire aux différents circuits de l'installation électrique à la source. Elle est inférieure à la puissance installée car les récepteurs n'absorbent pas tous leur puissance nominale en même temps [10]. Nécessite de la détermination des trois facteurs suivants :

- **Facteurs d'utilisation (K_u) ;**
- **Facteurs de simultanéité (K_s) ;**
- **Facteurs de d'extension (K_e) .**

La puissance d'utilisation P_u est égale à la somme des puissances absorbées et valorisées par le facteur suivant :

$$P_u = K_u \times P_a \quad (\text{III.2})$$

III.3.3.a Facteurs d'utilisation (K_u) [17]

Facteur d'utilisation ou facteur de charge (K_u) indique le taux d'emploi d'un récepteur par rapport à la durée d'usage, il s'applique individuellement à chaque récepteur. Une installation industrielle, ce facteur peut être estimé en moyenne à 0,75 pour les moteurs. Pour l'éclairage et le chauffage, il sera toujours égal à 1. Pour les prises de courant, tout dépend de leur destination, ce facteur on peut l'estimer selon le tableau suivant :

Tableau III.1 Facteur d'utilisation pour les différentes charges

Utilisation	Facteur d'utilisation K_u
Éclairage conditionnement d'air	1
Chauffage électrique, chauffage d'eau	1
Prise de courant (n : nombre de prise alimentées par le même circuit)	Si : $n > 6 \rightarrow 0.6$ Si : $n < 6 \rightarrow 0.1 + (0.9/n)$
Moteur électrique	0.75

III.3.3.b Facteurs de simultanéité (K_s) [17]

Facteurs de simultanéité (K_s). Tous les récepteurs ne fonctionnent pas en même temps, c'est pourquoi on peut leur appliquer des facteurs de simultanéité. Ce dernier s'applique à chaque regroupement de récepteurs, ce facteur on peut l'estimer selon le tableau suivant :

Tableau III.2 Facteur de puissance en fonction du nombre de récepteurs

Nombre de récepteur	Facteurs de simultanéité K_s
1 à 3	0.9
4 à 6	0.8
6 à 9	0.7
10 et plus	0.6

III.3.3.c Facteur d'extension (K_e) [17]

Une installation peut subir des modifications ou des extensions. Le coefficient [K_e ou K_r] est un facteur de réserve utilisé lors des extensions pour anticiper les évolutions prévisibles de l'installation. Ce coefficient est généralement appliqué au niveau des distributions principales et ne modifie pas l'ensemble de l'installation. Sa valeur est généralement établie à au moins 1 ; en l'absence de précision, la valeur courante utilisée est de 1,2.

III.4 Détermination et choix de la section des câbles [18]

Conformément aux exigences de la norme NF C 15-100, le dimensionnement des canalisations électriques, ainsi que le choix des dispositifs de protection associés, doit garantir

la sécurité et le bon fonctionnement de l'installation. Pour cela, la canalisation doit répondre aux critères suivants :

- Être capable de transporter le courant d'emploi maximal, y compris ses pointes transitoires normales sans surchauffe.
- Limiter les chutes de tension à des valeurs inférieures aux seuils admissibles, afin de ne pas perturber le fonctionnement des équipements alimentés.

Pour déterminer correctement la section des conducteurs, la méthode de calcul repose sur les étapes suivantes :

1. Déterminer le courant d'emploi maximal I_b ainsi que le courant admissible normalisé I_z du câble, en fonction des conditions d'installation.
2. Appliquer les facteurs de correction liés à l'environnement (température, mode de pose, regroupement de câbles, etc.), afin d'obtenir le courant corrigé I_z' .
3. Dédurre la section du conducteur permettant de satisfaire la condition $I_b \leq I_z'$.
4. Vérifier la chute de tension pour la section choisie, et s'assurer qu'elle reste dans les limites fixées par la réglementation ou les besoins spécifiques de l'installation.

III.4.1 Courant d'emploi I_b

Le courant d'emploi correspond au courant associé à la puissance maximale transportée par le circuit en fonctionnement normal. Il dépend directement de la puissance des appareils alimentés par ce circuit.

- En courant continu :

$$I_b = \frac{P}{V} \quad (\text{III.3})$$

- En courant monophasé (alternative) :

$$I_b = \frac{S}{U} \quad (\text{III.4})$$

- En courant triphasé:

$$I_b = \frac{S}{U \times \sqrt{3}} \quad (\text{III.5})$$

Avec :

V : tension simple

U : tension composée (entre deux conducteurs)

P : puissance absorbée

S : puissance apparente absorbée

III.4.2 Courant admissible I_z'

Le courant admissible représente la valeur maximale du courant pouvant circuler en permanence dans un conducteur, dans des conditions données, sans que sa température en régime permanent ne dépasse une limite spécifique. L'intensité admissible par l'âme conductrice d'un câble est déterminée par l'expression suivante :

$$I_z' = \frac{I_z}{K} \quad (\text{III.6})$$

- **K** : facteur de correction (tableau II.3) global qui caractérise l'influence des différentes conditions d'installation qui égale au produit des facteurs de correction :

$$K = K_0 \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4 \times K_5 \times K_6 \quad (\text{III.7})$$

- **I_z** : la valeur normalisée du courant nominal I_n que le conducteur peut véhiculer, (Choisir $I_z \geq I_n$), pour notre cas on prend ($I_n = I_b$)

- **I_n** : courant nominal de dispositif de protection :

$$I_n = \frac{S_n}{U_n \times \sqrt{3}} \quad (\text{III.8})$$

III.4.3 Section des câbles

Pour choisir les sections des câbles, on se base sur les normes et le courant admissible.

Le tableau II.3 donne les coefficients de correction à appliquer selon les conditions d'installation.

Tableau III.3 Différents coefficients K

Paramètre	Indication
K_0	Prennent en compte le mode de pose
K_1	Des températures différentes de 30°C (câble posée à l'aire libre)
K_2	Pour des températures du sol différentes de 20°C (câble enterrés)
K_3	Pour des résistivités thermiques du sol différent 1 Km/W

K_4	Pour groupement de plusieurs canalisations
$K_5 \times K_6$	Pour groupement de plusieurs circuits ou de plusieurs câbles

III.5 Déterminations de la Chute de tension

Un câble présente une impédance faible mais non nulle. Lors du passage du courant, une chute de tension apparaît entre son origine et son extrémité. Cette chute doit être maîtrisée pour garantir la bonne alimentation des récepteurs.

III.5.1 Méthodes des tableaux simplifiés

La chute de tension dans un circuit s'écrit alors :

$$\Delta U = L \times I_b \times B \quad (\text{III.9})$$

Avec :

- L : la longueur de câble en (km) ;
- B : coefficient a déterminé d'après le tableau 08 annexe, selon le type de circuit (monophasé, triphasé, force motrice ou éclairage), le facteur de puissance $\cos(\varphi)$, et la section de câble de départ ;
- I_b : Courant d'emploi en (A) ;

Selon la norme C15-100, la chute de tension admissible entre l'origine de l'installation BT et tout point d'utilisation est limité à des pourcentages précis, indiqués dans le tableau ci-dessous:

Tableau III.4 Chutes tension admissible dans les réseaux BT [19]

Type d'alimentation	Eclairage	Autre usage (force motrice)
Alimentation par le réseau BT de distribution publique	3 %	5 %
Alimentation par poste prive HT / BT	6 %	8 %

III.5.2 Calcul par les formules

Le tableau ci-dessous regroupe les formules standards utilisées pour le calcul de la chute de tension dans un circuit :

Tableau III.5 Formule de calcul de la chute de tension [20]

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

Avec :

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

➤ Le cuivre :
$$r = \frac{22.5 \times L}{S} \quad (\text{III.10})$$

➤ L'aluminium :
$$r = \frac{22.5 \times L}{S} \quad (\text{III.11})$$

- x : Réactance linéique par unité de longueur des câbles (Ω/km) ;
- L : Longueur du conducteur en (km) ;
- V_n : Tension simple (entre phase et neutre) ;
- U_n : Tension composée (entre phases) ;
- I_b : Courant d'emploi en ampère ;

Remarque

- La résistance R du conducteur est négligeable pour des sections supérieures à 500 mm^2 .
- La réactance X linéique (en Ω/km) est négligeable pour des sections inférieures à 50 mm^2 .
- En l'absence de données précises, on peut utiliser une valeur approximative de $X=0,08 \text{ } \Omega/\text{km}$
- Le facteur de puissance ($\cos \varphi$) dépend du type de charge : ❖ Éclairage : $\cos \varphi = 1$ ❖ Force motrice :
 - Au démarrage : $\cos \varphi = 0,35$
 - En fonctionnement normal : $\cos \varphi = 0,8$
- Pour les canalisations préfabriquées, les valeurs de R et X sont fournies par le fabricant

III.6 Déterminations des courants de court-circuit [21]

Toute installation électrique doit être équipée d'une protection contre les courants de court-circuit.

III.6.1 Définition du courant de court-circuit

Un court-circuit est un phénomène électrique qui survient lorsque deux conducteurs entrent en contact direct, généralement à cause d'un défaut d'isolation. Ce contact entraîne une augmentation soudaine et très importante de l'intensité du courant, pouvant aller jusqu'à provoquer un incendie.

La valeur du courant de court-circuit peut varier entre 2 et 20 fois l'intensité nominale ($2I_n$ à $20I_n$).

On distingue deux (2) type des courants en court -circuit :

III.6.1.a Le courant maximal de court-circuit

- ✓ Le pouvoir de coupure (PDC) des disjoncteurs ;
- ✓ Le pouvoir de fermeture des appareils ;
- ✓ La tenue électrodynamique des canalisations et de l'appareillage ;

III.6.1.b Le courant minimal de court-circuit

- ✓ La vérification des conditions de coupure en cas de défaut lorsque le dispositif de protection est disjoncteur,
- ✓ La vérification des contraintes thermique des conducteurs lorsque le dispositif de protection est un fusible ;

III.6.2 Principaux défauts de court-circuit

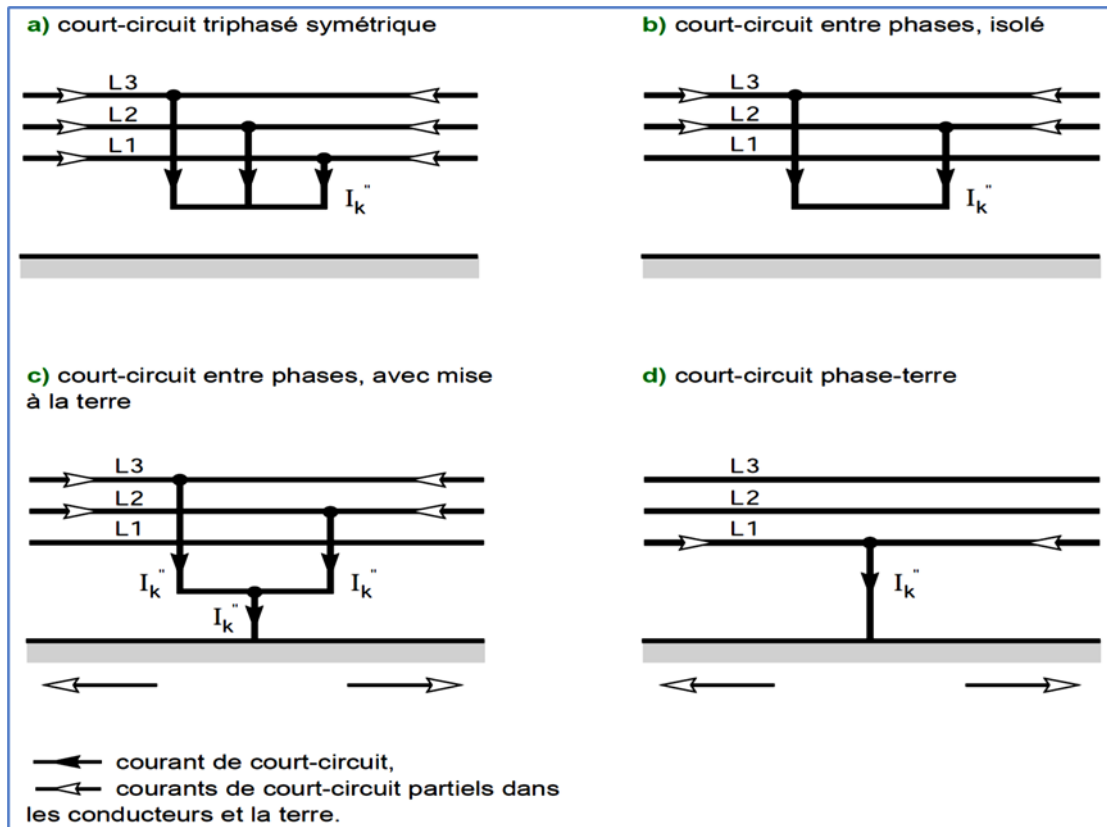


Figure III.1 Différents types de courants de court-circuit.

III.6.2.a Court-circuit triphasé

Un court-circuit triphasé est un contact direct entre les trois phases, provoquant un courant très élevé qui peut endommager gravement, est donnée par la relation suivante :

$$I_{CC} = \frac{U\sqrt{3}}{Z_{cc}} \quad (\text{III.12})$$

- U : tension entre phases en volt (v)
- Z_{cc} : impédance équivalente du circuit en ohm (Ω)

III.6.2.b Court-circuit biphasé isolé

Ce défaut correspond au contact entre deux phases. L'intensité du court-circuit est alors donnée par :

$$I_{CC} = \frac{U}{2 \times Z_{cc}} \quad (\text{III.13})$$

III.6.2.c Court-circuit biphasé – terre

C'est un défaut entre une phase et la terre, lié à l'impédance homopolaire Z_h

L'intensité du court-circuit est alors :

$$I_{CC} = \frac{\frac{U}{\sqrt{3}}}{Z_{CC} + Z_h} \quad (\text{III.14})$$

- **Z_h** : impédance homopolaire en ohm (Ω)

III.6.2.d Court-circuit monophasé

Un contact entre une phase et le neutre provoque un défaut appelé court-circuit monophasé.

L'intensité du courant résultant de ce court-circuit est déterminée par :

$$I_{CC} = \frac{\frac{U}{\sqrt{3}}}{Z_{CC} + Z_n} \quad (\text{III.15})$$

Avec :

- **Z_n** : impédance de neutre en ohm(Ω)

III.6.3 Méthodes de calcul des courants de court-circuit

Pour chaque circuit, il est important de connaître le courant de court-circuit maximal à l'origine et le courant minimal à l'extrémité.

La norme C15-105, qui vient en complément de la norme C15-100, propose plusieurs méthodes pour les déterminer, parmi lesquelles on peut citer :

III.6.3.a Méthode d'impédance

La méthode des impédances permet de calculer les courants de défaut avec une bonne précision. Elle consiste à additionner toutes les résistances R et toutes les réactances X du circuit en amont du point de court-circuit, puis à déterminer l'impédance Z . Le courant de court-circuit I_{cc} est ensuite calculé en appliquant la loi d'Ohm.

$$I_{cc} = \frac{m \times c \times U_n}{\sqrt{3} \times Z_{CC}} \quad (\text{III.16})$$

Avec :

$$Z_{cc} = \sqrt{R_t^2 + X_t^2} \quad ; \quad R_t = \sum R \quad ; \quad X_t = \sum X$$

I_{cc} : courant maximal du court-circuit ;

U_n : Tension nominal ;

Z_{cc} : Impédance parcourues par I_{cc} du générateur jusqu' au point de défaut ;

R_t : la somme des résistances situe en amont de ce point ;

X_t : la somme des réactances situe en amont de ce point

; C : facteur de charge à vide :

➤ $C_{max} = 1.05$ (Pour les courants maximaux)

➤ $C_{min} = 0.95$ (Pour les courants minimaux) m : facteur de tension = 1,05 selon la norme NF C 15-500

Tableau III.6 Tableau qui détermine les résistances et les réactances de chaque partie de l'installation.

Partie de l'installation	Valeur des résistances	Valeur des réactances	Valeur des impédances
Réseau amont	$R_a = 0.1 * X_a$	$X_a = 0.995 * Z_A$	$Z_A = \frac{(m \times U_n)^2}{S_{cc}}$
Transformateur	$R_{tr} = \frac{P_{cu}}{3 \times I_n^2}$	$X_{tr} = \sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2}$	$Z_A = \frac{U_{cc}}{100} \times \frac{U_{20}^2}{S_n}$
Les câbles	$R = \rho * \frac{L}{S}$	$X = 0.08 \text{ m}\Omega$	$Z_A = \sqrt{R^2 + X^2}$
Jeu de barre	$R = \rho * \frac{L}{S}$	$X = 0.15 \text{ m}\Omega$	$Z_A = \sqrt{R^2 + X^2}$
Disjoncteur	Négligeable	$X = 0.15 \text{ m}\Omega$	$Z_A = 0.15 \text{ m}\Omega$

- U_{20} : Tension entre phases à vide au secondaire du transformateur MT/BT (en volts).
- S_{cc} : puissance de court-circuit triphasée aux bornes MT du transformateur (en kVA),
- P_{cu} : Pertes triphasées totales du transformateur MT / BT (en watt),

- S_n : Puissance nominale du transformateur MT / BT (en kVA),
- U_{cc} : Tension de court-circuit en %.
- R_T : Résistance totale, X_T : réactance totale.
- ρ : Résistivité des conducteurs à la température normale de fonctionnement :
 - $22,5 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ pour le cuivre,
 - $36 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ pour l'aluminium.

III.7 Jeux de barres [22]

Un jeu de barres est un composant essentiel des systèmes de distribution électrique, servant principalement de conducteur pour collecter et distribuer l'énergie électrique, est formé d'un jeu de barres principal et de jeux de barres secondaires, assurant l'acheminement et la répartition de l'énergie électrique.

La section des barres est déterminée en fonction du courant d'utilisation, du degré de protection de l'enveloppe, et après vérification de leur capacité à supporter les contraintes thermiques en cas de court-circuit.

III.7.1 Dimensionnement du jeu de barre

La procédure à suivre pour dimensionner des jeux de barres est la suivante :

1. Calcul du courant nominal I_n parcouru dans un jeu de barre ;
2. Le courant admissible maximal I_z' ;
3. Vérification aux contraintes thermiques :
 - Au passage de courant assigné (I) ;
 - Au passage d'un courant de court-circuit I_{cc} .

III.7.1.a Courant nominal

C'est le courant qui parcourt les conducteurs de jeu de barre, il est donné par l'expression suivant :

$$I_n = \frac{S_n}{U_n \sqrt{3}} \quad (\text{III.17})$$

Avec :

S_n : Puissance apparent de l'installation.

U_n : Tension nominal composée.

III.7.1.b Courant admissible

Le courant admissible est estimé à 1.2 fois le courant nominal qui traverse le jeu de barre :

$$I'_z = 1.2 \times I_n \quad (\text{III.18})$$

Connaissant le courant admissible qui y circule, on peut tirer la section de jeu de barre à partir du tableau 10 de l'annexe.

III.7.2 Vérification de la chute de tension du jeu de barre [17]

La section doit être vérifiée par rapport à plusieurs contraintes telles que :

- Les contraintes thermiques
- Les contraintes électrodynamiques
- La fréquence propre de résonance

Dans notre étude nous vérifions la contrainte thermique par rapport :

- Au passage de courant assigné
- Au passage de courant de court-circuit

III.7.2.a Au passage de courant assigné

La formule de MELSON et BOTH permet de définir l'intensité admissible maximale dans un jeu de barre :

$$I = K' \times \frac{24.9 \times (\theta - \theta_n)^{0.61} \times S^{0.5} \times P^{0.89}}{\sqrt{\rho_{20} \times [1 + \alpha \times (\theta - 20)]}} \quad (\text{III.19})$$

$$K' = \prod_{i=1}^6 K_i \quad (\text{III.20})$$

Avec

- I : intensité admissible ;
- θ_n : température ambiante ($\theta_n \leq 40^\circ\text{C}$) $^\circ\text{C}$;
- $(\theta - \theta_n)$: échauffement admissible $^\circ\text{C}$;
- S : section d'une barre cm^2 ;
- P : périmètre d'une barre cm
- ρ_{20} : résistivité du conducteur à 20°C :
 - Cuivre : $1,83 \mu\Omega \text{ cm}$
 - Aluminium : $2,90 \mu\Omega \text{ cm}$

- α : coefficient de température de la résistivité : 0,004
- K : coefficient de conditions produit de 6 coefficients (k1, k2, k3, k4, k5, k6)
- **Le coefficient k1** est en fonction du nombre de barres méplates par phase pour :
 - 1 barre ($k1 = 1$)
 - 2 ou 3 barres, (**voir le tableau 12 annexe**) :
- **Le coefficient k2** est fonction de l'état de surface des barres :
 - Nues : $k2 = 1$
 - Peintes : $k2 = 1,15$
- **Le coefficient k3** est fonction de la position des barres :
 - Barres sur chant : $k3 = 1$ - 1 barre à plat : $k3 = 0,95$
 - plusieurs barres à plat : $k3 = 0,75$
- **Le coefficient k4** est fonction de l'endroit où sont installées les barres :
 - Atmosphère calme à l'intérieur : $k4 = 1$
 - Atmosphère calme à l'extérieur : $k4 = 1,2$
 - Barres dans une gaine non ventilée : $k4 = 0,80$
- **Le coefficient k5** est fonction de la ventilation artificielle :
 - Sans ventilation artificielle : $k5 = 1$
 - Le cas avec ventilation devra être traité au cas par cas et ensuite validé par des essais.
- **Le coefficient k6** est fonction de la nature du courant :

Pour un courant alternatif de fréquence ≤ 60 Hz, k6 est fonction du nombre de barres n par phase et de leur écartement.

Valeur de k6 pour un écartement égal à l'épaisseur des barres.

Tableau III.7 Coefficient K6 en fonction du nombre de barre par phase (n)

N	1	2	3
K6	1	1	0.98

Note

Pour que la section soit vérifiée il faut que le courant I soit supérieur au courant admissible (I_z')

III.8 Compensation de l'énergie réactive

La compensation de l'énergie réactive est un élément important pour réduire la facture d'énergie et améliorer la qualité du réseau électrique.

III.8.1 Principes de 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 MT.

III.8.2 Matériel de compensation de l'énergie réactive

En basse tension, la compensation de l'énergie réactive s'effectue au choix avec deux systèmes d'équipements :

- ($Q_c / S_n < 15 \%$) : Système à compensation fixe utilisant des condensateurs de valeur fixe délivrant une puissance réactive constante. [24]



Figure III.2 Exemple de condensateurs fixes [23]

- ($Q_c / S_n > 15 \%$) : Système à compensation automatique mettant en jeu une batterie de condensateurs divisée en gradins et commandée par un régulateur. Ce dernier adapte la puissance réactive fournie aux besoins de l'installation en fonction du $\cos \varphi$.

Ce type d'équipement permet l'adaptation automatique de la puissance réactive fournie par les batteries de condensateurs en fonction d'un $\cos \varphi$ désiré et imposé en permanence. Il est utilisé dans le cas où la puissance active varie dans des proportions importantes, c'est-à-dire essentiellement aux bornes des tableaux généraux BT et pour les gros départs [24].



Figure III.3 Exemple de batterie à régulation automatique [23]

III.8.3 Mode de compensation d'énergie réactive

La compensation d'une installation peut être réalisée de différentes façons [24] :

- **Globale**

La batterie est raccordée en tête d'installation et assure une compensation pour l'ensemble de l'installation, elle reste en service de façon permanente pendant la marche normale de l'usine (Figure III.3). Lorsque la charge est stable et continue, une compensation globale convient.

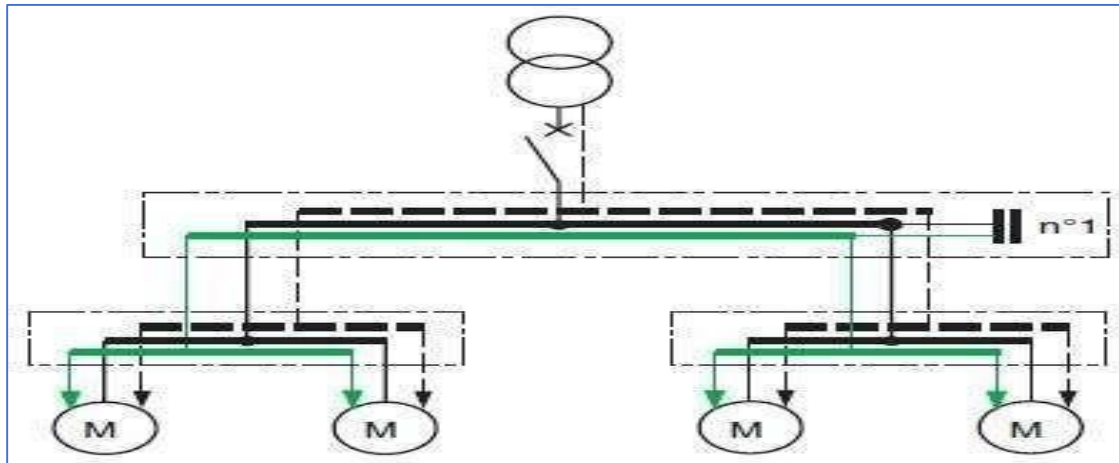


Figure III.4 Compensation globale [24]

- **Partielle**

La batterie est raccordée au tableau de distribution et fournit l'énergie réactive par atelier à un groupe de récepteurs. Une grande partie de l'installation est soulagée, en particulier les câbles d'alimentation de chaque atelier (Figure III.5).

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

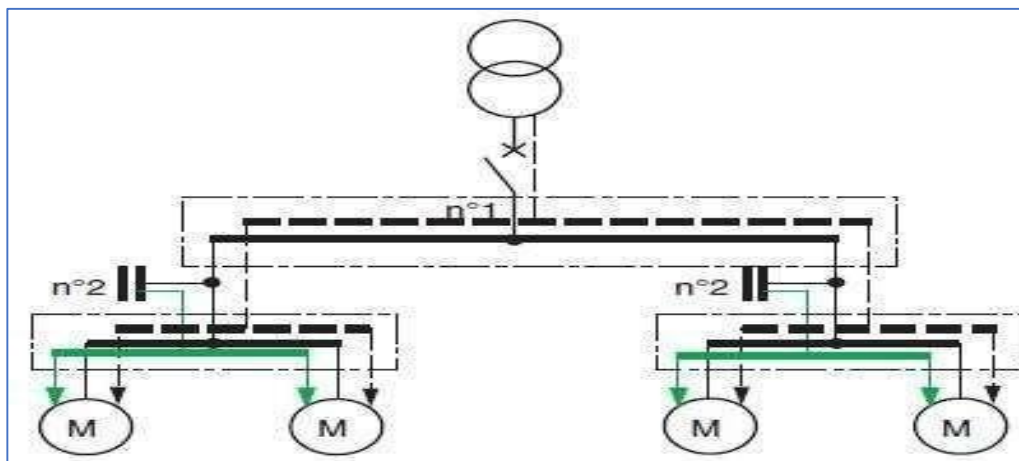


Figure III.5 Compensation partielle [24]

- **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 est consommée et en quantité ajustée aux besoins (Figure III.6).

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

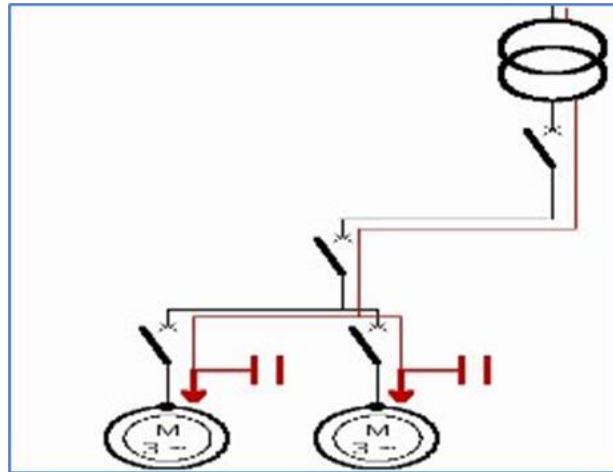


Figure III.6 Compensation locale

III.8.4 Installation de batteries de compensation

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

Cette position permet en particulier, de tenir compte du facteur de simultanéité des récepteurs, d'où une puissance installée mieux utilisée, qui limite les intensités en ligne au niveau de la répartition de l'énergie [25].

III.8.5 Techniques de détermination de la puissance réactive

III.8.5.a Méthode graphique

On trace le triangle des puissances à l'échelle, On détermine ainsi la puissance réactive actuelle. On trace le nouvel angle φ ce qui permet de connaître la nouvelle puissance réactive de l'installation, la puissance réactive de compensation est obtenue par différence. La méthode se poursuit par le calcul de la capacité de chacun des trois condensateurs.

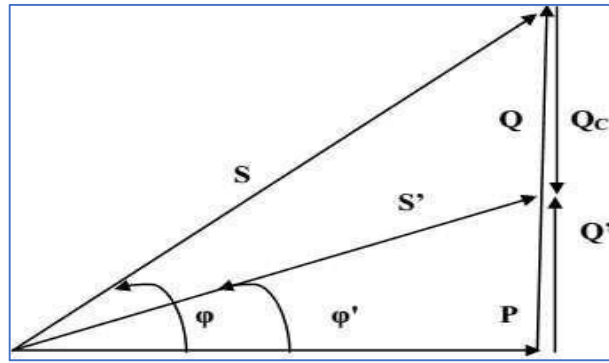


Figure III.7 Triangle des puissances [25]

▪ **Avant compensation**

Puissance active P (KW) ;

Puissance réactive Q (KVA) ;

Puissance apparente S (KVA) ;

Facteur de puissance $\cos \varphi$.

▪ **Après compensation**

Puissance réactive de compensation Q_c (kVAR) ;

Puissance active P (kW) ;

Puissance réactive Q' (kVAR) ;

Puissance apparente S' (kVA) ;

Facteur de puissance $\cos \varphi'$.

III.8.5.b Par calcul :

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (\text{III.21})$$

$$\cos \varphi = \frac{Q}{P} \rightarrow Q = P \times \tan \varphi \quad (\text{III.22})$$

$$\tan \varphi' = \frac{Q'}{P} \rightarrow Q' = P \times \tan \varphi' \quad (\text{III.23})$$

$$Q = Q' + Q_c \rightarrow Q_c = Q - Q' \quad (\text{III.24})$$

$$Q_c = P \times (\tan \varphi - \tan \varphi') \quad (\text{III.25})$$

III.8.6 Calcul des valeurs de capacités des condensateurs :**➤ En monophasé :**

La valeur de la capacité en monophasé se calcule à l'aide de la relation suivante :

$$Q_C = C_{\text{eq}} \times W \times V^2 \quad (\text{III.26})$$

➤ En triphasé :

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

A) Couplage triangle :

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

$$Q(\Delta) = 3 \times C_{\text{eq}} \times W \times U^2 \quad (\text{III.27})$$

$$C_{\text{eq}} = \frac{m}{n} \times C \quad (\text{III.28})$$

Avec :

U : Tension composée (V) ;

W : Pulsation des tensions du réseau (rd/s) ; C :

Capacité du condensateur (F) ; n : nombre de condensateurs connectés en série ; m : nombre de condensateurs connectés en parallèle.

B) Couplage étoile :

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

$$(Y) = 3 \times C_{\text{eq}} \times W \times V^2 \quad (\text{III.29})$$

➤ Relation entre $C_{\text{eq}}(\Delta)$ et $C_{\text{eq}}(Y)$:

A partir de (III.27) on obtient :

$$3 \times C_{\text{eq}} = \frac{Q_C(\Delta)}{W \times U^2} \quad (\text{III.30})$$

On sait que :

$$V = \frac{U}{\sqrt{3}} \quad (\text{III.31})$$

En remplaçant (III.31) dans (III.29), on obtient :

$$C_{\text{eq}} = \frac{Q_C(Y)}{W \times U^2} \quad (\text{III.32})$$

De (III.30) et (III.32) :

$$C_{\text{éq}}(Y) = 3 \times C_{\text{éq}}(\Delta) \quad (\text{III.33})$$

III.8.7 Protection des batteries de condensateurs :

Le calibre de l'appareil de protection doit être déterminé sur la base d'un courant d'emploi réel (I_b) majoré par le coefficient K :

$K = 2$ pour $Q < 25$ kVA ;

$K = 1,8$ pour $Q < 50$ kVA ;

$K = 1,7$ pour $Q < 100$ kVA ;

$K = 1,5$ pour $Q > 100$ kVA.

$$I_b = \frac{Q_C \times 10^3}{U\sqrt{3}} \times K \quad (\text{III.34})$$

Avec :

Q : puissance réactive de la batterie de condensateurs (en kVA) ;

U : tension nominale du réseau triphasé (en KV).

III.9 Choix des dispositifs de protection [26]

Les dispositifs de protection, tels que les fusibles, disjoncteurs et relais thermiques, assurent la sécurité des installations ou des machines en interrompant automatiquement le circuit lorsque l'intensité dépasse le courant de réglage ou le calibre de protection.

Un dispositif de protection assure correctement sa fonction si :

- Son courant nominal ou de réglage I_n est situé entre le courant d'emploi et le courant admissible de la canalisation, soit :

$$I_b \leq I_n \leq I_z$$

- Son courant conventionnel de déclenchement I_2 est inférieure à $1.45 \times I_z$;
- Son pouvoir coupure (PDC) est supérieur à l'intensité de court-circuit maximale triphasé

(I_{cc}) en son point d'installation, soit : $pdc \geq I_{cc}$.

III.9.1 Protection par disjoncteur

Le disjoncteur fait partie des organes de protection de l'installation électrique,

- ✓ Il assure la protection des répéteurs branchés en bout des circuits électriques.
- ✓ Il protège les équipements et les canalisations (conducteurs et câbles).
- ✓ Il coupe le circuit en cas de surintensité ou de température excessive.

- ✓ Il offre une protection contre deux types de défauts : les surcharges et les courts-circuits.

III.9.2 Protection par fusible

Le fusible est un élément de faiblesse dans un circuit électrique. S'il y a surintensité c'est là que le circuit doit se couper. Actuellement les fusibles sont en cartouche. La fonction du fusible est d'assurer la protection des circuits électriques contre les courts circuits et les surcharges par la fusion d'un élément calibré lorsque le courant qui traverse dépasse la valeur de son calibre.

III.9.3 Association de dispositifs de protection

L'utilisation d'un appareil de protection ayant un pouvoir de coupure inférieur au courant de courtcircuit à son point d'installation est autorisée par les normes CEI 60364 et NF C 15-100 sous les conditions suivantes :

- Il existe en amont un autre dispositif ayant au moins le pouvoir de coupure nécessaire,
- L'énergie que laisse passer le dispositif placé en amont est inférieure à celle que peut supporter sans dommage l'appareil aval et les canalisations protégées par ces dispositifs.
- Cette possibilité est mise en œuvre :
- Dans les associations disjoncteurs / fusibles,
- Dans la technique de filiation, qui utilise le fort pouvoir de limitation de certains disjoncteurs.

III.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit en détail les différentes étapes de la méthodologie à suivre pour le dimensionnement des installations électriques, tout en veillant à assurer leur fonctionnement fiable. Cela passe par un choix judicieux des composants de l'installation et la mise en œuvre de mesures de protection adaptées pour garantir la sécurité des personnes et la protection des équipements.

Chapitre IV

Bilan de Puissance de l'installation actuelle

IV.1 Introduction

Ce chapitre présente le bilan de puissance nécessaire à l'analyse thermique du jeu de barres d'une installation électrique industrielle. Le point de départ de l'étude est le transformateur T4, qui alimente le réseau. L'objectif est de déterminer les puissances actives, réactives et apparentes afin de calculer les courants circulant dans le jeu de barres. Ces données permettent ensuite d'estimer les pertes par effet Joule et l'échauffement associé. Cette analyse est essentielle pour assurer la sécurité, le bon dimensionnement et la fiabilité de l'installation.

IV.2 Schéma unifilaire de l'installation

Toute exploitation d'une installation électrique a besoin d'avoir un plan de passage des conducteurs et de distribution.

A cet effet, il est utile de prendre un schéma unifilaire de l'installation, dans lequel on distingue :

- Les plans de cheminement des câbles.
- Les plans d'implantation des équipements.
- Les plans de câblage des armoires et coffrets.

Le schéma unifilaire de l'installation de notre projet est représenté dans la figure IV.1.

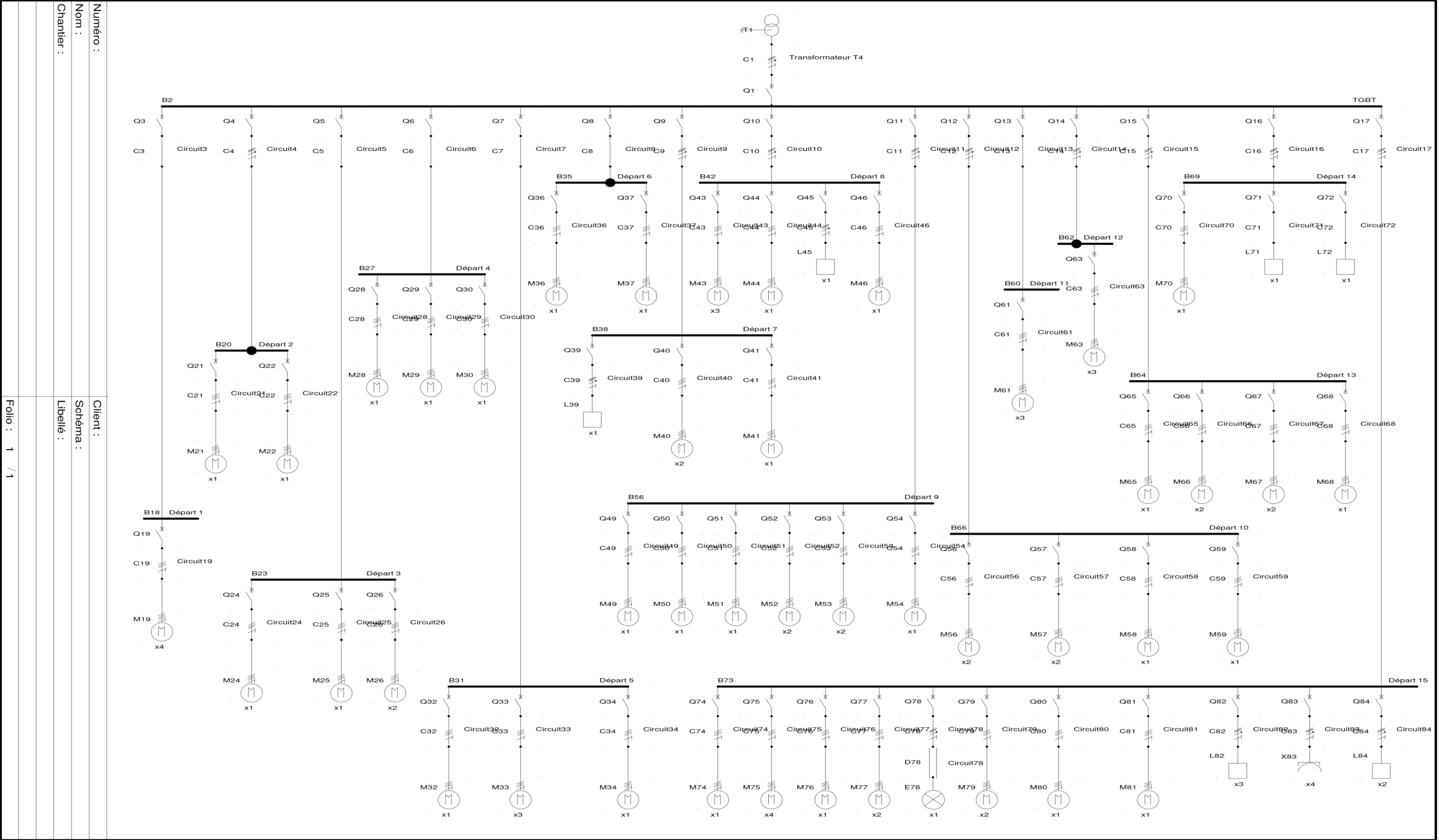


Figure IV.1 : Schéma unifilaire de l'installation

IV.3 Identification des différents récepteurs d'installation et Calcul de la puissance installée

Le tableau ci-dessous présente la liste des récepteurs électrique constituant notre installation, avec le calcul de la puissance absorbé, voire le (tableau III.1).

La puissance installée représente la capacité maximale de l'installation à fournir de l'énergie, tandis que la puissance réellement consommée dépend de l'utilisation réelle des appareils et peut être inférieure à la puissance installée.

Le tableau suivant donne les résultats de calcul de la puissance installée de notre installation, et elle donnée par les relations suivantes :

$$\eta = \frac{P_n}{P_a} \quad (\text{IV.1})$$

$$P_a = \frac{P_n}{\eta} \quad (\text{IV.2})$$

$$I_b = \frac{P_a}{U \times \sqrt{3} \times \cos \varphi} = \frac{S}{U \times \sqrt{3}} \quad (\text{IV.3})$$

$$S_n = \sqrt{P_a^2 + Q_n^2} = \sqrt{3} \times U \times I_b \quad (\text{IV.4})$$

$$Q_n = P_a \times \tan \varphi \quad (\text{IV.5})$$

Tableau IV.1 Calcul de la puissance installée

Repère	Récepteur	U(A)	P _n (KW)	η	Cos φ	Tan φ	P _a (KW)	Q _n (KVAR)	I _b (A)
Départ N° 01									
P898 3N	Pompe	400	250	0.96	0.87	0.56	260.4166	145.8332	432.0448
P960 2N	Pompe	400	250	0.96	0.87	0.56	260.4166	145.8332	432.0448
P898 1N	Pompe	400	250	0.96	0.87	0.56	260.4166	145.8332	432.0448
P898 2N	Pompe	400	250	0.96	0.87	0.56	260.4166	145.8332	432.0448
Départ N° 02									
P698 1N	Pompe	400	250	0.96	0.87	0.56	260.4166	145.8332	432.0448
P698 2N	Pompe	400	200	0.77	0.87	0.56	259.7402	145.4545	430.9226
Départ N° 03									
P981 N	Pompe	400	30	0.87	0.86	0.59	34.4827	20.3447	57.8738
P985 N	Pompe	400	15	0.84	0.89	0.51	17.8571	9.1071	28.9601
P990 N	Pompe	400	7.5	0.87	0.82	0.69	8.6206	5.9482	15.1741
P991 N	Pompe	400	7.5	0.87	0.82	0.69	8.6206	5.9482	15.1741

Départ N° 04									
P966 N	Pompe	400	11	0.87	0.87	0.56	12.6436	7.0804	20.9763
P975 N	Pompe	400	3	0.87	0.86	0.59	3.4482	2.0344	5.7872
P978 N	Pompe	400	15	0.84	0.89	0.51	17.8571	9.1071	28.9601
Départ N° 05									
P916 1N	Pompe	400	11	0.87	0.87	0.56	12.6436	7.0804	20.9763
P917 1N	Pompe	400	30	0.87	0.86	0.59	34.4827	20.3447	57.8738
P918 1N	Pompe	400	18.5	0.93	0.85	0.62	19.8924	12.3333	33.7790
P940 1N	Pompe	400	30	0.87	0.86	0.59	34.4827	20.3447	57.8738
P940 2N	Pompe	400	30	0.87	0.86	0.59	34.4827	20.3447	57.8738
Départ N° 06									
P886 N	Pompe	400	7.5	0.87	0.82	0.69	8.6206	5.9482	15.1741
P888 N	Pompe	400	5.5	0.9	0.83	0.67	6.1111	4.0944	10.6272
Départ N° 07									
M875 N	Empâteur	400	22	0.92	0.82	0.69	23.9130	16.4999	42.0920
P876 N	Pompe	400	11	0.87	0.87	0.56	12.6436	7.0804	20.9763
P881 N	Pompe	400	7.5	0.87	0.82	0.69	8.6206	5.9482	15.1741
P883 N	Pompe	400	11	0.87	0.87	0.56	12.6436	7.0804	20.9763
Départ N° 08									
A865 1N	Agitateur	400	7.5	0.88	0.82	0.69	8.5227	5.8806	15.0017
A865 2N	Agitateur	400	7.5	0.88	0.82	0.69	8.5227	5.8806	15.0017
A865 3N	Agitateur	400	7.5	0.88	0.82	0.69	8.5227	5.8806	15.0017
P866 N	Pompe	400	11	0.87	0.87	0.56	12.6436	7.0804	20.9763
M870 N	Empâteur	400	22	0.92	0.82	0.69	23.9130	16.4999	42.0920
P871 N	Pompe	400	15	0.84	0.89	0.51	17.8571	9.1071	28.9601
Départ N° 09									
M833 N	Malaxeur	400	11	0.89	0.81	0.72	12.3595	8.8988	22.0239
P838 N	Pompe	400	11	0.87	0.87	0.56	12.6436	7.0804	20.9763
M841 N	Centrifugeuses	400	9.2	0.84	0.85	0.62	10.9523	6.7904	18.5979
M842 N	Centrifugeuses	400	5.5	0.83	0.83	0.67	6.6265	4.4397	11.5235
M843 N	Centrifugeuses	400	5.5	0.83	0.83	0.67	6.6265	4.4397	11.5235
M850 N	Malaxeur	400	7.5	0.85	0.83	0.67	8.8235	5.9117	15.3441
A860 N	Vis de reprise	400	15	0.89	0.82	0.69	16.8539	11.6291	29.6664
Départ N° 10									
M813 N	Malaxeur	400	11	0.89	0.81	0.72	12.3595	8.8988	22.0239
M814 N	Malaxeur	400	7.5	0.85	0.83	0.67	8.8235	5.9117	15.3441
P818 N	Pompe	400	30	0.87	0.86	0.59	34.4827	20.3447	57.8738
M823 N	Malaxeur	400	11	0.89	0.81	0.72	12.3595	8.8988	22.0239
M824 N	Malaxeur	400	7.5	0.85	0.83	0.67	8.8235	5.9117	15.3441
P828 N	Pompe	400	18.5	0.93	0.85	0.62	19.8924	12.3332	33.7790
Départ N° 11									
A812 N	Agitateur	400	54	0.91	0.88	0.53	59.3406	31.4505	97.3304
A822 N	Agitateur	400	54	0.91	0.88	0.53	59.3406	31.4505	97.3304

A832 N	Agitateur	400	54	0.91	0.88	0.53	59.3406	31.4505	97.3304
Départ N° 12									
A812 N	Agitateur	400	80	0.91	0.9	0.48	87.9120	42.1977	140.9889
A822 N	Agitateur	400	80	0.91	0.9	0.48	87.9120	42.1977	140.9889
A832 N	Agitateur	400	80	0.91	0.9	0.48	87.9120	42.1977	140.9889
Départ N° 13									
P888 N	Pompe	400	5.5	0.9	0.83	0.67	6.1111	4.0944	10.6272
P881 N	Pompe	400	7.5	0.87	0.82	0.69	8.6206	5.9482	15.1741
P886 N	Pompe	400	7.5	0.87	0.82	0.69	8.6206	5.9482	15.1741
P876 N	Pompe	400	11	0.87	0.87	0.56	12.6436	7.0804	20.9763
P871 N	Pompe	400	15	0.84	0.89	0.51	17.8571	9.1071	28.9601
P883 N	Pompe	400	11	0.87	0.87	0.56	12.6436	7.0804	20.9763
Départ N° 14									
A983 1N	Compresseur Air	400	110	0.93	0.84	0.64	118.2795	75.6988	203.2401
A984 1N	Sécheur Air	400	7.5	0.94	0.82	0.69	7.9787	5.5053	14.0442
A984 2N	Sécheur Air	400	7.5	0.94	0.82	0.69	7.9787	5.5053	14.0442
A AC TN	Air Conditionne	400	4	0.85	0.8	0.75	4.7058	3.5293	8.4902
A AC 6N	Air Conditionne	400	4	0.85	0.8	0.75	4.7058	3.5293	8.4902
A AC 7N	Air Conditionne	400	4	0.85	0.8	0.75	4.7058	3.5293	8.4902
Départ N° 15									
S851 N	Centrifugeuses discontinue	400	315	0.92	0.81	0.72	342.3913	246.5217	610.1225
S852 N	Centrifugeuses continue	400	75	0.94	0.83	0.67	79.7872	53.4574	138.7504
S853 N	Centrifugeuses continue	400	75	0.94	0.83	0.67	79.7872	53.4574	138.7504
S854 N	Centrifugeuses continue	400	75	0.94	0.83	0.67	79.7872	53.4574	138.7504
S855 N	Centrifugeuses continue	400	75	0.94	0.83	0.67	79.7872	53.4574	138.7504
S856 N	Centrifugeuses continue	400	90	0.93	0.86	0.59	96.7741	57.0967	162.4202
A983 3N	Compresseur Air	400	110	0.93	0.84	0.64	118.2795	75.6988	203.2401
ECL RAN	Eclairage	400	120	1	1	0	120	0	173.2050
A987 1N	Compresseur Air	400	37	0.97	0.86	0.59	38.1443	22.5051	64.0192
A987 2N	Compresseur Air	400	37	0.97	0.86	0.59	38.1443	22.5051	64.0192
A998 N	Pont roulant	400	22	0.91	0.82	0.69	24.1758	16.6813	42.5545
A999 N	Ascenseur	400	12.5	0.96	0.82	0.69	13.0208	8.9843	22.9193

AAC 1N	Air Conditionne	400	30	0.91	0.86	0.59	32.9670	19.4505	55.3299
A AC 2N	Air Conditionne	400	30	0.91	0.86	0.59	32.9670	19.4505	55.3299
A983 N	Compresseur Air	400	110	0.93	0.84	0.64	118.2795	75.6988	203.2401
A AC 3N	Air Conditionne	400	30	0.91	0.86	0.59	32.9670	19.4505	55.3299
OND RA N	Onduleur	400	36	0.92	0.8	0.75	39.1304	29.3478	70.5998
PC RA 1N	Alimentation Prise de courant	400	40	1	0.9	0.48	40	19.2	64.1500
PC RA N	Alimentation Prise de courant	400	40	1	0.9	0.48	40	19.2	64.1500
OND RA N	Onduleur	400	36	0.92	0.8	0.75	39.1304	29.3478	70.5998
PC RA 1N	Alimentation Prise de courant	400	40	1	0.9	0.48	40	19.2	64.1500
PC RA N	Alimentation Prise de courant	400	40	1	0.9	0.48	40	19.2	64.1500
TOTALE			4015.7				4347.6273	2513.9769	7298.703

Nous avons donc le bilan des puissances installées de l'installation résumé dans le tableau suivant :

Tableau IV 2 Bilan de puissance installée

	Pa [kW]	Qn [kVAR]	Sa [kVA]	Ib [A]
Total	4347.6273	2513.9769	5022.1452	7298.703

IV.4 Calcul de la puissance d'utilisation

IV.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 apport à sa puissance nominale. Ainsi, la

Détermination de cette puissance nécessite une bonne connaissance du facteur d'utilisation.

Elle est donnée par la relation suivante :

$$P_{ui} = K_u \times P_a \quad (IV.6)$$

$$Q_{ui} = K_u \times Q_n \quad (IV.7)$$

$$S_{ui} = K_u \times S_n \quad (IV.8)$$

Avec :

- ✓ **P_{ui}** : Puissance active demandé d'une branche.
- ✓ **Q_{ui}** : Puissance réactive demandé d'une branche.
- ✓ **S_{ui}** : Puissance apparente demandé d'une branche.
- ✓ **K_u** : Facteur d'utilisation.

IV.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 :

$$P_{uj} = K_s \times \sum_{i=1}^n P_{ui} \quad (IV.9)$$

$$Q_{uj} = K_s \times \sum_{i=1}^n Q_{ui} \quad (IV.10)$$

$$S_{uj} = K_s \times \sum_{i=1}^n S_{ui} \quad (IV.11)$$

Avec :

- ✓ **P_{uj}** : Puissance active demandé d'une branche.
- ✓ **Q_{uj}** : Puissance réactive demandé d'une branche.
- ✓ **S_{uj}** : Puissance apparente demandé d'une branche.
- ✓ **K_s** : Facteur de simultanéité d'une branche.

Tableau IV.3 Calcul de la puissance d'utilisation.

Repère	Récepteur	Pa (KW)	Ku	Pui (KW)	Qui (KVAR)	Ib (A)
Départ N° 01						
P898 3N	Pompe	260.4166	0.75	195.3124	109.3749	324.0336
P960 2N	Pompe	260.4166	0.75	195.3124	109.3749	324.0336
P898 1N	Pompe	260.4166	0.75	195.3124	109.3749	324.0336
P898 2N	Pompe	260.4166	0.75	195.3124	109.3749	324.0336
TOTALE			Ks=0,8	624.9996	349.9996	1094.5075
Départ N° 02						
P698 1N	Pompe	260.4166	0.75	195.3124	109.3749	324.0336
P698 2N	Pompe	259.7402	0.75	194.8051	109.0908	323.1919
TOTALE			Ks=0,9	351.1057	196.6191	582.5029
Départ N° 03						
P981 N	Pompe	34.4827	0.75	25.8620	15.2585	43.4053
P985 N	Pompe	17.8571	0.75	13.3928	6.8303	21.7200
P990 N	Pompe	8.6206	0.75	6.4654	4.4611	11.3805
P991 N	Pompe	8.6206	0.75	6.4654	4.4611	11.3805
TOTALE			Ks=0,8	41.7484	24.8088	87.8863
Départ N° 04						
P966 N	Pompe	12.6436	0.75	9.4827	5.3103	15.7322
P975 N	Pompe	3.4482	0.75	2.5861	1.5258	4.3404
P978 N	Pompe	17.8571	0.75	13.3928	6.8303	21.7200
TOTALE			Ks=0,9	22.9154	12.2997	37.6133
Départ N° 05						
P916 1N	Pompe	12.6436	0.75	9.4827	5.3103	15.7200
P917 1N	Pompe	34.4827	0.75	25.8620	15.2585	43.4053
P918 1N	Pompe	19.8924	0.75	14.9193	9.2499	25.3342
P940 1N	Pompe	34.4827	0.75	25.8620	15.2585	43.4053
P940 2N	Pompe	34.4827	0.75	25.8620	15.2585	43.4053
TOTALE			Ks=0,8	81.5904	48.2685	137.0160
Départ N° 06						
P886 N	Pompe	8.6206	0.75	6.4654	4.4611	11.3805
P888 N	Pompe	6.1111	0.75	4.5833	3.0708	7.9704
TOTALE			Ks=0,9	9.9433	6.7787	17.4158
Départ N° 07						
M875 N	Empâteur	23.9130	0.75	17.9347	12.3749	31.569
P876 N	Pompe	12.6436	0.75	9.4827	5.3103	15.7322
P881 N	Pompe	8.6206	0.75	6.4654	4.4611	11.3805
P883 N	Pompe	12.6436	0.75	9.4827	5.3103	15.7322
TOTALE			Ks=0,8	34.6924	21.9652	74.4139
Départ N° 08						
A865 1N	Agitateur	8.5227	0.75	6.3920	4.4104	11.2512
A865 2N	Agitateur	8.5227	0.75	6.3920	4.4104	11.2512

A865 3N	Agitateur	8.5227	0.75	6.3920	4.4104	11.2512
P866 N	Pompe	12.6436	0.75	9.4827	5.3103	15.7322
M870 N	Empâteur	23.9130	0.75	17.9347	12.3749	31.569
P871 N	Pompe	17.8571	0.75	13.3928	6.8303	21.7200
TOTALE			Ks=0,7	41.9903	26.4226	71.9423
Départ N° 09						
M833 N	Malaxeur	12.3595	0.75	9.2696	6.6741	16.5179
P838 N	Pompe	12.6436	0.75	9.4827	5.3103	15.7322
M841 N	Centrifugeus es	10.9523	0.75	8.2142	5.0928	13.9484
M842 N	Centrifugeus es	6.6265	0.75	4.9698	3.3297	8.6426
M843 N	Centrifugeus es	6.6265	0.75	4.9698	3.3297	8.6426
M850 N	Malaxeur	8.8235	0.75	6.6176	4.4337	11.5080
A860 N	Vis de reprise	16.8539	0.75	12.6404	8.7218	22.2498
TOTALE			Ks=0,7	39.3148	25.8244	62.0192
Départ N° 10						
M813 N	Malaxeur	12.3595	0.75	9.2696	6.6741	16.5179
M814 N	Malaxeur	8.8235	0.75	6.6176	4.4337	11.5080
P818 N	Pompe	34.4827	0.75	25.8620	15.2585	43.4053
M823 N	Malaxeur	12.3595	0.75	9.2696	6.6741	16.5179
M824 N	Malaxeur	8.8235	0.75	6.6176	4.4337	11.5080
P828 N	Pompe	19.8924	0.75	14.9193	9.2499	25.3342
TOTALE			Ks=0,7	50.7889	37.7068	87.3539
Départ N° 11						
A812 N	Agitateur	59.3406	0.75	44.5054	23.5878	72.9978
A822 N	Agitateur	59.3406	0.75	44.5054	23.5878	72.9978
A832 N	Agitateur	59.3406	0.75	44.5054	23.5878	72.9978
			Ks=0,9	120.1645	63.6870	197.0940
Départ N° 12						
A812 N	Agitateur	87.9120	0.75	65.9340	31.6482	105.7416
A822 N	Agitateur	87.9120	0.75	65.9340	31.6482	105.7416
A832 N	Agitateur	87.9120	0.75	65.9340	31.6482	105.7416
TOTALE			Ks=0,9	178.0218	85.4501	285.5023
Départ N° 13						
P888 N	Pompe	6.1111	0.75	4.5833	3.0708	7.9704
P881 N	Pompe	8.6206	0.75	6.4654	4.4611	11.3805
P886 N	Pompe	8.6206	0.75	6.4654	4.4611	11.3805
P876 N	Pompe	12.6436	0.75	9.4827	5.3103	15.7322
P871 N	Pompe	17.8571	0.75	13.3928	6.8303	21.7200
P883 N	Pompe	12.6436	0.75	9.4827	5.3103	15.7322
TOTALE			Ks=0,7	34.9106	20.6107	84.6280
Départ N° 14						

A983 1N	Compresseur Air	118.2795	0.75	88.7096	56.6988	152.4300
A984 1N	Sécheur Air	7.9787	0.75	5.9840	4.5053	10.5331
A984 2N	Sécheur Air	7.9787	0.75	5.9840	4.5053	10.5331
A AC TN	Air Conditionne	4.7058	1	4.7058	3.5293	8.4902
A AC 6N	Air Conditionne	4.7058	1	4.7058	3.5293	8.4902
A AC 7N	Air Conditionne	4.7058	1	4.7058	3.5293	8.4902
TOTALE			Ks=0,7	80.3565	53.4081	139.2767
Départ N° 15						
S851 N	Centrifugeus es discontinue	342.3913	0.75	256.7934	184.8912	457.5918
S852 N	Centrifugeus es continue	79.7872	0.75	59.8404	40.0930	104.0628
S853 N	Centrifugeus es continue	79.7872	0.75	59.8404	40.0930	104.0628
S854 N	Centrifugeus es continue	79.7872	0.75	59.8404	40.0930	104.0628
S855 N	Centrifugeus es continue	79.7872	0.75	59.8404	40.0930	104.0628
S856 N	Centrifugeus es continue	96.7741	0.75	72.5904	42.8225	121.4202
A983 3N	Compresseur Air	118.2795	0.75	88.7096	56.7741	152.4300
ECL RAN	Eclairage	120	1	120	0	173.2050
A987 1N	Compresseur Air	38.1443	0.75	28.6082	16.8788	48.0144
A987 2N	Compresseur Air	38.1443	0.75	28.6082	16.8788	48.0144
A998 N	Pont roulant	24.1758	0.75	18.1318	12.5109	31.9158
A999 N	Ascenseur	13.0208	0.75	9.7656	6.7382	17.1894
AAC 1N	Air Conditionne	32.9670	0.75	24.7252	14.4505	41.4974
A AC 2N	Air Conditionne	32.9670	0.75	24.7252	14.4505	41.4974
A983 N	Compresseur Air	118.2795	0.75	88.7096	56.6988	152.4300
A AC 3N	Air Conditionne	32.9670	0.75	24.7252	14.4505	41.4974
OND RA N	Onduleur	39.1304	0.75	29.3478	22.0108	53.1748

PC RA 1N	Alimentation Prise de courant	40	1	40	19.2	64.1500
PC RA N	Alimentation Prise de courant	40	1	40	19.2	64.1500
OND RA N	Onduleur	39.1304	0.75	29.3478	22.0108	52.9498
PC RA 1N	Alimentation Prise de courant	40	1	40	19.2	64.1500
PC RA N	Alimentation Prise de courant	40	1	40	19.2	64.1500
TOTALE			Ks=0,6	746.4897	431.2430	1263.4074
TOTALE dans le TGBT			Ks=0,6	1475.4193	843.0554	2533.5477

Nous avons donc le Bilan de puissance utilisé de l'installation résumé dans le tableau suivant :

Tableau IV.4 Bilan de puissance utilisé de l'installation

	Pui (KW)	Qui (KVAR)	Sui [kVA]	Ib (A)
TOTALE dans le TGBT	1475.4193	843.0554	1699.2953	2533.5477

Pour notre installation, en introduisant un facteur d'extension qui est égal à **1,2**, on obtient :

Tableau IV.5 Bilan de puissance totale de toute l'installation

Pui (KW)	Qui (KVAR)	Sui (KVA)	Ib (A)
1770.5031	1011.6665	2039.1544	3040.2572

IV.5 Comparaison graphique entre Puissance installée et Puissance utilisée

Pour évaluer l'efficacité du dimensionnement de l'installation électrique, il est important de comparer les capacités installées avec les valeurs réellement utilisées. Cette analyse permet de déterminer le taux d'utilisation des équipements et d'identifier les capacités disponibles.

A) Comparaison des puissances installées et utilisées

Le graphique ci-dessous présente cette comparaison pour les trois types de puissance : active, réactive et apparente.

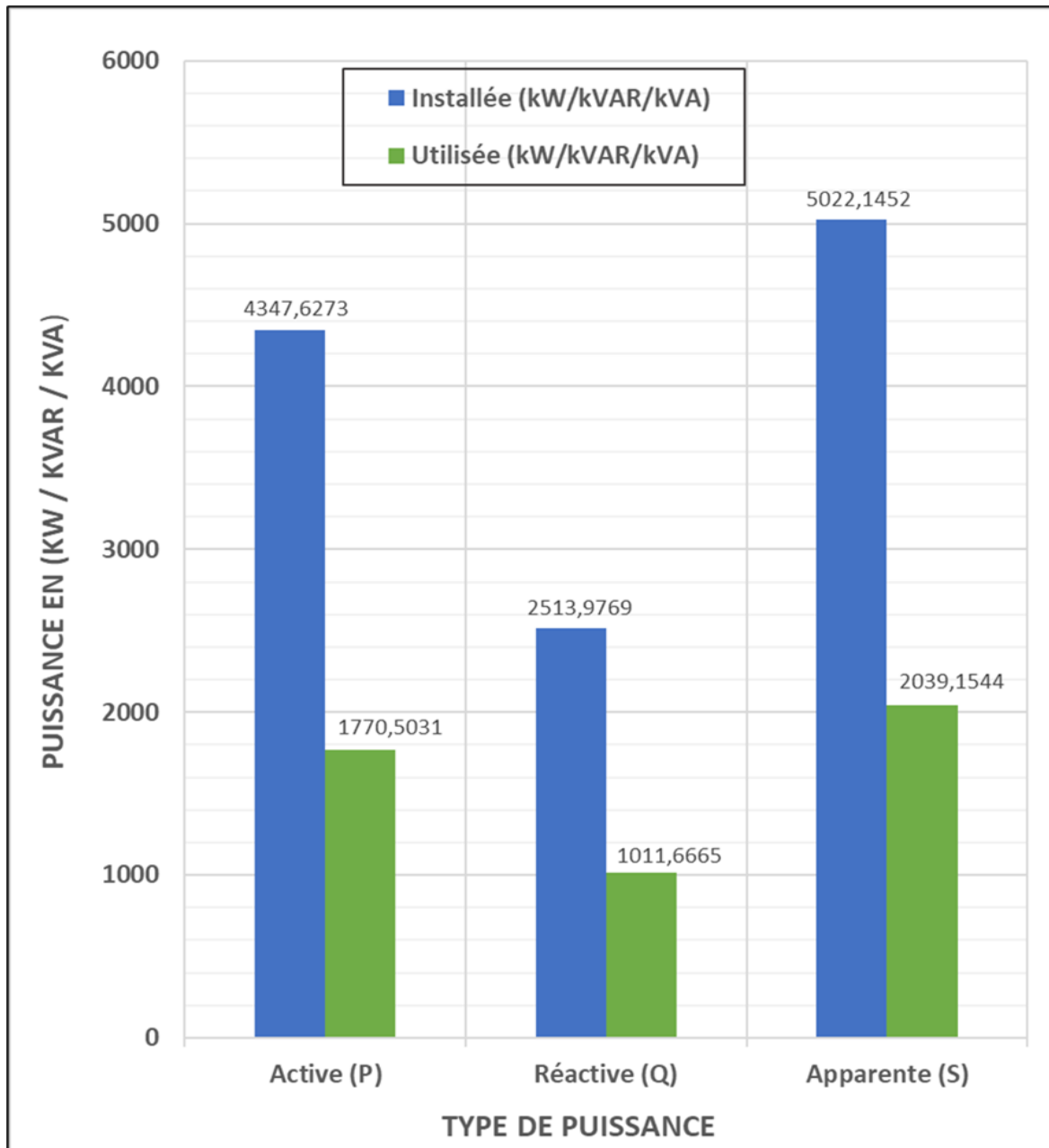


Figure IV.2 Comparaison entre puissances installées et utilisées

Ce graphique du bilan de puissance montre que l'installation électrique dispose d'une capacité largement supérieure aux besoins actuels. Avec un taux d'utilisation d'environ 40% pour tous les types de puissance (active, réactive et apparente), l'installation est surdimensionnée.

B) Comparaison des courants installés et utilisés

Le graphique ci-dessous illustre la comparaison entre la capacité installée et la capacité réellement utilisée pour les différents types de courant.

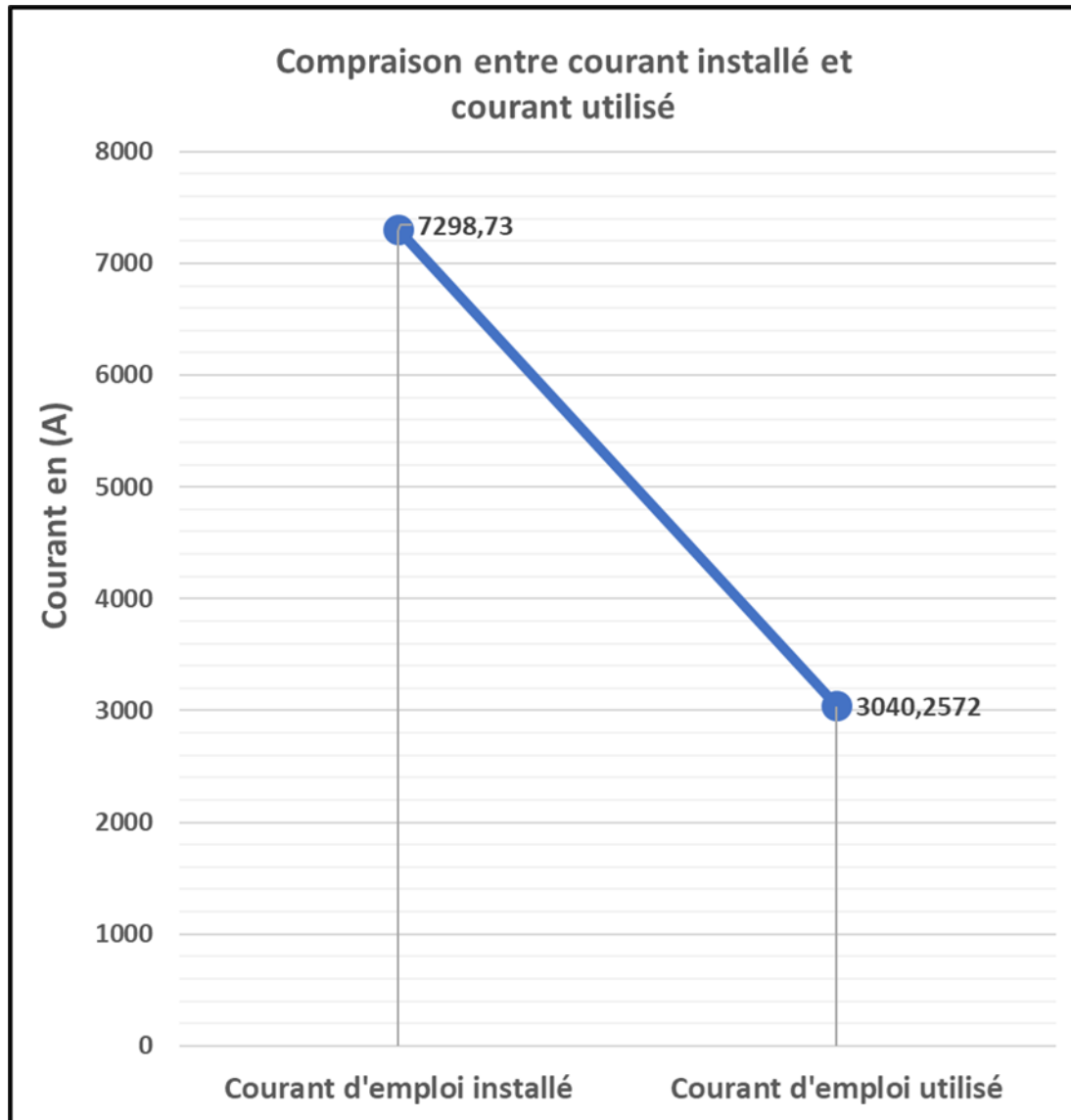


Figure IV.3 Évolution du courant installé au courant utilisé

La comparaison montre une forte différence entre le courant installé (7298,73 A) et le courant utilisé (3040,26 A). Avec un taux d'utilisation de seulement 42%, l'installation dispose d'une réserve de 58% de sa capacité électrique. Cette situation confirme le surdimensionnement

observé avec les puissances, garantissant une exploitation sécurisée et une capacité d'évolution adaptée aux besoins futurs.

IV.6 Détermination du facteur de puissance totale de l'installation

Le facteur de puissance est le rapport entre la puissance active (en kW) et la puissance apparente (en kVA).

Le facteur de puissance d'une charge qui peut être un seul récepteur, ou un ensemble de récepteurs (par exemple, une installation électrique complète), est donnée par le rapport P/S soit

des kW divisés par des kVA à un instant donné. [27]

$$FP = \frac{P}{S} = \cos \varphi \quad (\text{IV.12})$$

La plage des valeurs du facteur de puissance est [0, 1].

Tableau IV.6 Facteur de puissance totale de l'installation

Charge	Pui (KW)	Sui (KVA)	$\cos \varphi$
TGBT	1770.5031	2039.1544	0.86

IV.7 Choix et Dimensionnement du transformateur

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

Après avoir effectué le bilan de puissance utilisé on est arrivé à déterminer la puissance totale utilisée par l'installation qui va nous permettre d'après (le tableau) de déterminer le transformateur de puissance normalisée adéquat à notre installation.

Tableau 1 (dans l'annexe) : Puissances apparentes normalisées des transformateurs MT/BT triphasés et intensités nominales correspondantes.

- Le choix du transformateur se portera sur le transformateur **2500 KVA**.

IV.7.1 Calcul du rapport de transformation

On détermine le rapport de transformation tout en supposant que le primaire et le secondaire ont le même couplage, pour cela, on va appliquer la formule suivante pour le calculer :

$$m = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{U_2}{U_1} \quad (\text{IV.13})$$

Avec:

- I_1, I_2 : Courant primaire et secondaire du transformateur ;
- N_1, N_2 : Nombre de spires au primaire et au secondaire du transformateur ;
- U_1, U_2 : Tension primaire et secondaire du transformateur.

A.N : $m = \frac{U_2}{U_1} = \frac{400}{30 \times 10^3} = 0.0133$

➤ Le rapport de transformation est égal à : **$m = 0,0133$**

IV.7.2 Calcul du courant secondaire

Le courant assigné au secondaire du transformateur, côté BT, est déterminé par l'expression :

$$I_n = \frac{S_n}{U_{20} \times \sqrt{3}} \quad (\text{IV.14})$$

Avec:

- I_n : Courant assigné du transformateur, côté BT (valeur efficace) (A).
- S_n : puissance assignée du transformateur (kVA).
- U_{20} : Tension assignée secondaire (à vide) du transformateur (V).

A.N : $I_n = \frac{2500 \times 10}{400 \sqrt{3}} = 3608 \text{ A}$

➤ Le courant secondaire du transformateur est : **$I_2 = 3608 \text{ A}$** .

IV.7.3 Calcul du courant primaire :

Pour calculer le courant primaire du transformateur, on applique la formule suivante :

$$m = \frac{I_1}{I_2} \quad (\text{IV.15})$$

$$I_1 = m \times I_2 \quad (\text{IV.16})$$

A.N:

$$I_1 = 0,0133 \times 3608 = 47.9864 \text{ A}$$

➤ Donc, le courant primaire du transformateur est égal à : **$I_1 = 47.9864 \text{ A}$** .

IV.7.4 Détermination de tension de court-circuit du transformateur U_{cct}

Pour le transformateur de distribution (norme NBN - HD 428 1 S1), U_{cc} a des valeurs normalisées. (Tableau 2 dans l'annexe).

La tension de court-circuit $U_{cct} = 6\%U$, pour notre transformateur ce qui nous donne une tension de court-circuit en volt de : **$U_{cct} = 0.06 \times 400 = 24 \text{ V}$** .

Après avoir effectué le bilan de puissance, les caractéristiques du transformateur nécessaire Pour notre installation doit être caractérisé comme suit :

- ✓ Puissance apparente **$S = 2500 \text{ kVA}$**
- ✓ Tension primaire **$U_1 = 30000 \text{ V}$**
- ✓ Tension secondaire **$U_2 = 400 \text{ V}$**
- ✓ Courant primaire **$I_1 = 47.9864 \text{ A}$**
- ✓ Courant secondaire **$I_2 = 3608 \text{ A}$**
- ✓ Rapport de transformation **$m = 0.0133$**
- ✓ Tension de court-circuit **$U_{cct} = 6\% U = 24 \text{ V}$**

Tableau IV.7 Caractéristiques du transformateur adéquat pour l'installation

Puissance apparente [KVA]	Tension Primaire [KV]	Tension secondaire [V]	Courant primaire [A]	Courant Secondaire [A]	m	$U_{cc} = 6\% U_{20}$
2500	30	400	47.9864	3608	0,0133	24 V

IV.8 Compensation de l'énergie réactive

IV.8.1 Calcul de la puissance de compensation :

On a choisi le mode de compensation individuelle, car elle réduit les pénalités tarifaires dues à une consommation excessive d'énergie réactive, en plus elle réduit aussi la puissance apparente consommée (en kVA) et la section des câbles et les pertes en ligne. Les courants réactifs de l'installation sont significativement réduits ou éliminés.

Au niveau du TGBT on a :

$\cos \varphi = 0,86$ ce qui donne $\tan \varphi = 0,5933$;

$Q_u = 1011.6665$ KVAR et $P_u = 1770.5031$ kW ;

$\cos \varphi'$ désiré 0,93 ainsi $\tan \varphi' = 0,395$;

$Q_c = P \times (\tan \varphi - \tan \varphi') = 1770.5031 \times (0,5933 - 0,395) = 351.0907$ KVAR ;

$Q = Q' + Q_c \rightarrow Q' = Q - Q_c = 1011.6665 - 351.0907 = 660.5758$ KVAR ;

$$C_{eq}(\Delta) = \frac{Q_c(\Delta)}{3 \cdot \omega U^2} = \frac{351.0907 \times 10^3}{3 \times (2\pi \cdot 50) \times 400^2} = 2328.2425 \mu_F$$

$$C(\Delta) = 2328.2425 \mu_F$$

$$C(Y) = 3 \times C_{eq}(\Delta) = 6984.7275 \mu_F$$

Les puissances réactives avant et après compensation et les valeurs des capacités des condensateurs pour le TGBT sont données dans le tableau IV.8:

Tableau IV.8 Puissances réactives avant et après compensation.

	Avant compensation		Après compensation				
	Q_u (KVAR)	$\cos \varphi$	Q_c (KVAR)	Q' (KVAR)	$\cos \varphi'$	$C_{eq}(\Delta)$ (μF)	$C_{eq}(Y)$ (μF)
TGBT	1011.6665	0.86	351.0907	660.5758	0.93	2328.2425	6984.7

➤ Analyse graphique des résultats

Les graphiques ci-dessous permettent de visualiser l'effet de la compensation sur la puissance réactive et le facteur de puissance :

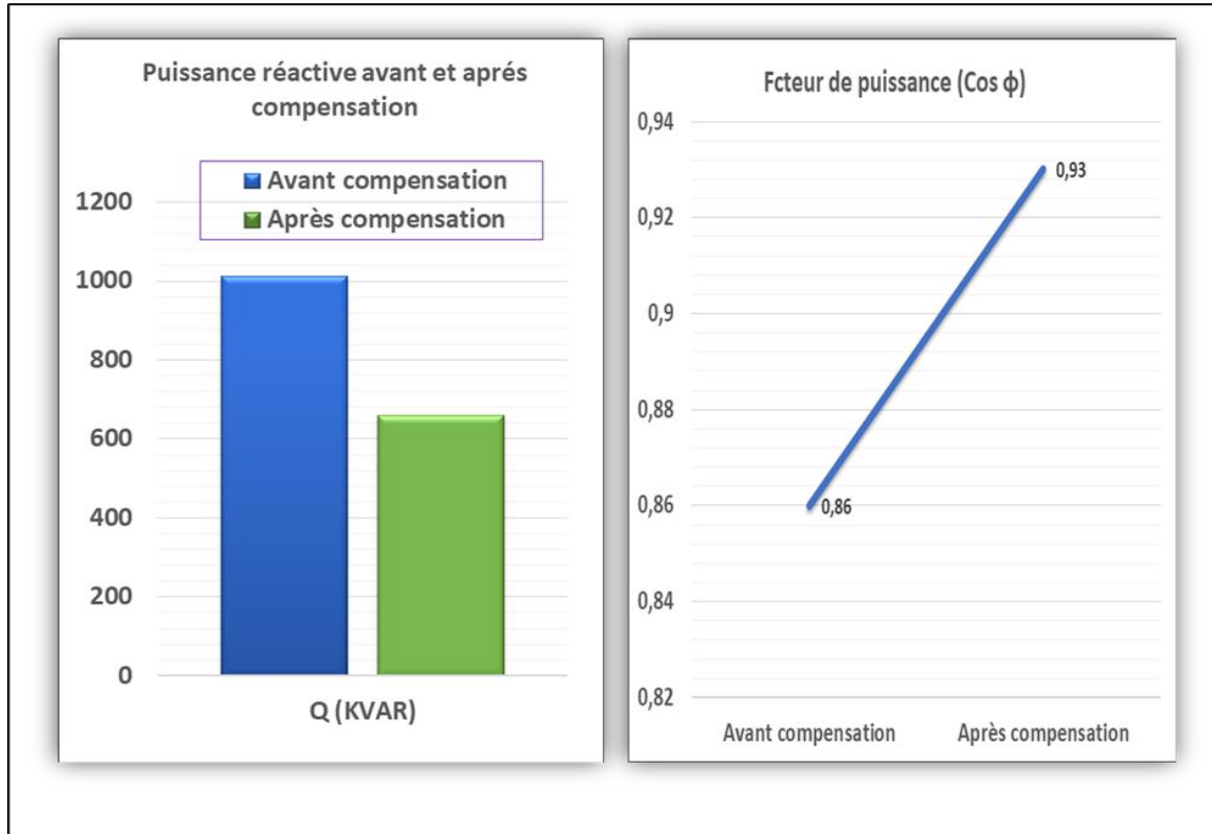


Figure IV.4 Effet de la compensation sur la puissance réactive et le facteur de puissance

Cette représentation graphique met clairement en évidence :

- La puissance réactive a été réduite de 1011 à 660 KVAR, soit -35 %.
- Le facteur de puissance est passé de 0,86 à 0,93, au-dessus du seuil réglementaire de 0,9.
- Cela permet d'éviter les pénalités sur la facture d'électricité.
- Les pertes électriques sont aussi réduites.
- La solution choisie est donc efficace et bien dimensionnée.
- Elle permet de faire des économies importantes.
- La qualité de l'énergie est également améliorée

IV.8.2 Protection des batteries de condensateurs :

Le calibre de l'appareil de protection doit être déterminé sur la base d'un courant d'emploi réel (I_b) majoré par le coefficient K :

$K = 2$ pour $Q < 25$ kVA ;

$K = 1,8$ pour $Q < 50$ kVA ;

$K = 1,7$ pour $Q < 100$ kVA ;

$K = 1,5$ pour $Q > 100$ kVA.

$$I_b = \frac{Q_c \times 10^3}{U\sqrt{3}} \times K \quad (\text{IV.17})$$

Avec :

Q : puissance réactive de la batterie de condensateurs (en kVA) ;

U : tension nominale du réseau triphasé.

A.N.:

$$I_b = \frac{351.0907 \times 10^3}{400 \times \sqrt{3}} \times 1.5 = 760.1336 \text{ A}$$

IV.8.3 Vérification du type de compensation

Tableau IV.9 Type de compensation de l'énergie réactive.

Qc [kVAR]	Sn [kVA]	Qc / Sn (%)	Type de compensation
351.0907	2500	14.04	Fixe

D'après nos résultats, la compensation de l'installation s'effectue avec une compensation fixe.

IV.9 Calcul et choix de la section des câbles

Pour arriver à calculer ou à dimensionner nos câbles il faut tout d'abord déterminer les caractéristiques des câbles et les coefficients de correction K1, K2, K3.

IV.9.1 Caractéristique des câbles et détermination des coefficients de correction (K1, K2 et K3)

A) Pompe A vide**□ Type de câbles utilisés : U 1000 R2V**

- **Nature des conducteurs :** la nature de l'âme des conducteurs est en cuivre (Cu)
- **Type d'élément conducteur :** multiconducteurs (trois conducteurs).
- **Température ambiante :** la température ambiante de l'installation est de 40°C
- **Mode de pose des conducteurs :** les modes posent possible pour ce type de câble sont : - sous conduit, profilé ou goulotte, apparent ou encastré -donc d'après le tableau 03 annexe la lettre de sélection (B).
- **Détermination des facteurs de correction (K1, K2, K3) ➤ Le facteur K1 :**

-Selon la lettre de sélection et le cas de notre installation (vide de construction et caniveau) et d'après le tableau 04 annexe : **K1=0.95**

➤ Le facteur K2:

-la lettre de sélection (**B**)

- dispositif des câbles jointifs (encastré et noyés dans les parois)

-nombre de conducteur 03

Selon le tableau 05 annexes :

K2=0.70

➤ Le facteur K3:

-nature de l'isolant : PRC (polyéthylène réticulé)

-température ambiante : 40°C

Selon le tableau 06 annexe : **K3=0.91**

B) Eclairages

- **Mode de pose des conducteurs :** en apparent contre mur, un chemin de câbles (ou tablette) peut être perforé ou non perforé, selon le tableau 03 annexes la lettre de sélection est **C**.

- **Détermination des facteurs de correction (K1, K2, K3) :**

- Le facteur K1 = 0.95 (tableau 04 annexes)
- Le facteur K2 = 1 (tableau 05 annexes)
- Le facteur K3 = 0.91 (tableau 06 annexes)

C) VENTILLATION

□ **Mode de pose des conducteurs :** les modes posent possible pour ce type de câble sont :

- Sous conduit, profilé ou goulotte, apparent ou encastré ;
- Le tableau 03 annexe la lettre de sélection (B) ;

□ **Détermination des facteurs de correction (K1, K2, K3) :**

- Le facteur K1 : K1 = 0.95 (tableau 04 annexe).
- Le facteur K2 : K2 = 0.70 (tableau 05 annexe).
- Le facteur K3 : K3 = 0.91 (tableau 06 annexe).

D) Alimentation de prise de courants

□ **Mode de pose des conducteurs :** En apparent ou dans des cheminements protégés (goulotte, chemin de câble), selon le tableau 03 annexes la lettre de sélection est **C**.

□ **Détermination des facteurs de correction**

- Le facteur K1 = 0.95 (tableau 04 annexes)
- Le facteur K2 = 0.79 (tableau 05 annexes)
- Le facteur K3 = 0.91 (tableau 06 annexes)

IV.9.2 Résultat de calcul des canalisations

Connaissant le courant admissible $I'z$, le coefficient global de correction K et le nombre de conducteurs nous allons directement déduire la section des câbles (S) d'après le tableau 07 des annexes.

Tableau IV.10 Résultats de calcul et choix des sections des canalisations.

Equipement	Courant d'emploi Ib (A)	Courant normalisée Iz (A)	Facteur de correction K K=K1×K2×K3				Courant admissible I'z (A)	Section choisie S (mm²)
			K1	K2	K3	K		
Départ 1								
P898 3N	324.0336	300	0.95	0.7	0.91	0.6	500	240

P960 2N	324.0336	300	0.95	0.7	0.91	0.6	500	240
P898 1N	324.0336	300	0.95	0.7	0.91	0.6	500	240
P898 2N	324.0336	300	0.95	0.7	0.91	0.6	500	240
Départ 2								
P698 1N	324.0336	300	0.95	0.7	0.91	0.6	500	240
P698 2N	323.1919	300	0.95	0.7	0.91	0.6	500	240
Départ 3								
P981 N	43.4053	40	0.95	0.7	0.91	0.6	24	1.5
P985 N	21.7200	20	0.95	0.7	0.91	0.6	12	1.5
P990 N	11.3805	10	0.95	0.7	0.91	0.6	6	1.5
P991 N	11.3805	10	0.95	0.7	0.91	0.6	6	1.5
Départ 4								
P966 N	15.7322	10	0.95	0.7	0.91	0.6	6	1.5
P975 N	4.3404	4	0.95	0.7	0.91	0.6	2.4	1.5
P978 N	21.7200	20	0.95	0.7	0.91	0.6	12	1.5
Départ 5								
P916 1N	15.7200	15	0.95	0.7	0.91	0.6	9	1.5
P917 1N	43.4053	40	0.95	0.7	0.91	0.6	25	1.5
P918 1N	25.3342	25	0.95	0.7	0.91	0.6	15	1.5
P940 1N	43.4053	40	0.95	0.7	0.91	0.6	25	1.5
P940 2N	43.4053	40	0.95	0.7	0.91	0.6	25	1.5
Départ 6								
P886 N	11.3805	10	0.95	0.7	0.91	0.6	6	1.5
P888 N	7.9704	5	0.95	0.7	0.91	0.6	3	1.5
Départ 7								
M875 N	31.569	30	0.95	0.7	0.91	0.6	18	1.5
P876 N	15.7322	15	0.95	0.7	0.91	0.6	9	1.5
P881 N	11.3805	10	0.95	0.7	0.91	0.6	6	1.5
P883 N	15.7322	15	0.95	0.7	0.91	0.6	9	1.5
Départ 8								
A865 1N	11.2512	10	0.95	0.7	0.91	0.6	6	1.5
A865 2N	11.2512	10	0.95	0.7	0.91	0.6	6	1.5
A865 3N	11.2512	10	0.95	0.7	0.91	0.6	6	1.5
P866 N	15.7322	15	0.95	0.7	0.91	0.6	9	1.5
M870 N	31.569	30	0.95	0.7	0.91	0.6	18	1.5
P871 N	21.7200	20	0.95	0.7	0.91	0.6	12	1.5
Départ 9								
M833 N	16.5179	15	0.95	0.7	0.91	0.6	9	1.5
P838 N	15.7322	15	0.95	0.7	0.91	0.6	9	1.5

M841 N	13.9484	10	0.95	0.7	0.91	0.6	6	1.5
M842 N	8.6426	5	0.95	0.7	0.91	0.6	3	1.5
M843 N	8.6426	5	0.95	0.7	0.91	0.6	3	1.5
M850 N	11.5080	10	0.95	0.7	0.91	0.6	6	1.5
A860 N	22.2498	20	0.95	0.7	0.91	0.6	12	1.5
Départ 10								
M813 N	16.5179	15	0.95	0.7	0.91	0.6	9	1.5
M814 N	11.5080	10	0.95	0.7	0.91	0.6	6	1.5
P818 N	43.4053	40	0.95	0.7	0.91	0.6	24	1.5
M823 N	16.5179	15	0.95	0.7	0.91	0.6	9	1.5
M824 N	11.5080	10	0.95	0.7	0.91	0.6	6	1.5
P828 N	25.3342	25	0.95	0.7	0.91	0.6	15	1.5
Départ 11								
A812 N	72.9978	70	0.95	0.7	0.91	0.6	42	4
A822 N	72.9978	70	0.95	0.7	0.91	0.6	42	4
A832 N	72.9978	70	0.95	0.7	0.91	0.6	42	4
Départ 12								
A812 N	105.7416	100	0.95	0.7	0.91	0.6	60	6
A822 N	105.7416	100	0.95	0.7	0.91	0.6	60	6
A832 N	105.7416	100	0.95	0.7	0.91	0.6	60	6
Départ 13								
P888 N	7.9704	5	0.95	0.7	0.91	0.6	3	1.5
P881 N	11.3805	10	0.95	0.7	0.91	0.6	6	1.5
P886 N	11.3805	10	0.95	0.7	0.91	0.6	6	1.5
P876 N	15.7322	15	0.95	0.7	0.91	0.6	69	1.5
P871 N	21.7200	20	0.95	0.7	0.91	0.6	12	1.5
P883 N	15.7322	15	0.95	0.7	0.91	0.6	9	1.5
Départ 14								
A983 1N	152.4300	150	0.95	0.7	0.91	0.6	90	16
A984 1N	10.5331	10	0.95	0.7	0.91	0.6	6	1.5
A984 2N	10.5331	10	0.95	0.7	0.91	0.6	6	1.5
A AC TN	6.3676	5	0.95	0.7	0.91	0.6	3	1.5
A AC 6N	6.3676	5	0.95	0.7	0.91	0.6	3	1.5
A AC 7N	6.3676	5	0.95	0.7	0.91	0.6	3	1.5
Départ 15								
S851 N	457.5918	400	0.95	0.7	0.91	0.6	240	70
S852 N	104.0628	100	0.95	0.7	0.91	0.6	60	6
S853 N	104.0628	100	0.95	0.7	0.91	0.6	60	6
S854 N	104.0628	100	0.95	0.7	0.91	0.6	60	6
S855 N	104.0628	100	0.95	0.7	0.91	0.6	60	6

S856 N	121.4202	100	0.95	0.7	0.91	0.6	60	6
A983 3N	152.4300	150	0.95	0.7	0.91	0.6	90	16
ECL RAN	173.2050	150	0.95	1	0.91	0.86	129	25
A987 1N	48.0144	40	0.95	0.7	0.91	0.6	24	1.5
A987 2N	48.0144	40	0.95	0.7	0.91	0.6	24	1.5
A998 N	31.9158	30	0.95	0.7	0.91	0.6	18	1.5
A999 N	17.1894	15	0.95	0.7	0.91	0.6	9	1.5
A AC 1N	41.4974	40	0.95	0.79	0.91	0.68	27.2	1.5
A AC 2N	41.4974	40	0.95	0.79	0.91	0.68	27.2	1.5
A983 N	152.4300	150	0.95	0.79	0.91	0.68	102	16
A AC 3N	41.4974	40	0.95	0.79	0.91	0.68	27.2	1.5
OND RA N	53.1748	50	0.95	0.7	0.91	0.6	30	2.5
PC RA 1N	64.1500	50	0.95	0.79	0.91	0.68	34	2.5
PC RA N	64.1500	50	0.95	0.79	0.91	0.68	34	2.5
OND RA N	52.9498	50	0.95	0.7	0.91	0.6	30	2.5
PC RA 1N	64.1500	50	0.95	0.79	0.91	0.68	34	2.5
PC RA N	64.1500	50	0.95	0.79	0.91	0.68	34	2.5

IV.10 Chute de tension

IV.10.1 Vérification de la chute de tension avec la méthode des tableaux simplifiés

Exemple : (calcul de la chute de tension de câble de départ P898 3N)

$$\Delta U = L \times I_b \times B \quad (\text{IV.18})$$

Avec :

- L : la longueur de câble en (km) ;
- B : coefficient a déterminé d'après le tableau 08 annexe, selon le type de circuit (monophasé, triphasé, force motrice ou éclairage), le facteur de puissance $\cos(\varphi)$, et la section de câble de départ ;
- I_b : Courant d'emploi en (A) ;

AN:

B = 0.21 (tableau 08 annexes)

$I_b = 324.0336 \text{ A}$

$L = 0.05 \text{ Km}$

$$\Delta U = 0.21 \times 324.0336 \times 0.05 = 3.4023 \text{ V}$$

$$\Delta U(\%) = \frac{\Delta U}{U_n} \times 100 = 0.8505 \%$$

Tableau IV.11 Calcul des chutes de tension pour les différents départs
(Méthode des tableaux simplifiés).

Equipement	Courant d'emploi Ib (A)	Longueur (m)	Section choisie S (mm ²)	B	ΔU (V)	ΔU (%)
Départ 1						
P898 3N	324.0336	50	240	0.21	3.4023	0.85
P960 2N	324.0336	50	240	0.21	3.4023	0.85
P898 1N	324.0336	50	240	0.21	3.4023	0.85
P898 2N	324.0336	50	240	0.21	3.4023	0.85
Départ 2						
P698 1N	324.0336	50	240	0.21	3.4023	0.85
P698 2N	323.1919	50	240	0.21	3.4040	0.851
Départ 3						
P981 N	43.4053	40	1.5	20	34.7242	8.681
P985 N	21.7200	40	1.5	20	17.376	4.344
P990 N	11.3805	40	1.5	20	9.1044	2.276
P991 N	11.3805	40	1.5	20	9.1044	2.276
Départ 4						
P966 N	15.7322	40	1.5	20	12.5857	3.1460
P975 N	4.3404	40	1.5	20	3.4723	0.868
P978 N	21.7200	40	1.5	20	17.376	4.344
Départ 5						
P916 1N	15.7200	40	1.5	20	12.576	3.144
P917 1N	43.4053	40	1.5	20	34.7242	8.681
P918 1N	25.3342	40	1.5	20	20.2673	5.181
P940 1N	43.4053	40	1.5	20	34.7242	8.681
P940 2N	43.4053	40	1.5	20	34.7242	8.681
Départ 6						
P886 N	11.3805	32	1.5	20	7.2835	1.821

P888 N	7.9704	32	1.5	20	5.1010	1.275
Départ 7						
M875 N	31.569	25	1.5	20	15.7845	3.946
P876 N	15.7322	25	1.5	20	7.8661	1.966
P881 N	11.3805	25	1.5	20	5.6902	1.423
P883 N	15.7322	25	1.5	20	7.8661	1.966
Départ 8						
A865 1N	11.2512	28	1.5	20	6.3006	1.575
A865 2N	11.2512	28	1.5	20	6.3006	1.575
A865 3N	11.2512	28	1.5	20	6.3006	1.575
P866 N	15.7322	20	1.5	20	6.2928	1.573
M870 N	31.569	20	1.5	20	12.6276	3.156
P871 N	21.7200	20	1.5	20	8.688	2.172
Départ 9						
M833 N	16.5179	40	1.5	20	13.2143	3.304
P838 N	15.7322	25	1.5	20	7.8661	1.966
M841 N	13.9484	40	1.5	20	11.1587	2.7896
M842 N	8.6426	40	1.5	20	6.9168	1.729
M843 N	8.6426	40	1.5	20	6.9168	1.729
M850 N	11.5080	40	1.5	20	9.2064	2.302
A860 N	22.2498	26	1.5	20	11.5698	2.892
Départ 10						
M813 N	16.5179	40	1.5	20	13.5179	3.379
M814 N	11.5080	40	1.5	20	9.2064	2.303
P818 N	43.4053	30	1.5	20	26.0431	6.511
M823 N	16.5179	40	1.5	20	13.5179	3.379
M824 N	11.5080	40	1.5	20	9.2064	2.303
P828 N	25.3342	30	1.5	20	15.2005	3.8
Départ 11						
A812 N	72.9978	35	4	8	20.4393	5.109
A822 N	72.9978	35	4	8	20.4393	5.109
A832 N	72.9978	35	4	8	20.4393	5.109
Départ 12						
A812 N	105.7416	35	6	5.3	19.6150	4.904
A822 N	105.7416	35	6	5.3	19.6150	4.904
A832 N	105.7416	35	6	5.3	19.6150	4.904
Départ 13						
P888 N	7.9704	32	1.5	20	5.1010	1.275
P881 N	11.3805	25	1.5	20	5.6902	1.423
P886 N	11.3805	25	1.5	20	5.6902	1.423

P876 N	15.7322	25	1.5	20	7.8661	1.967
P871 N	21.7200	25	1.5	20	10.86	2.715
P883 N	15.7322	25	1.5	20	7.8661	1.967
Départ 14						
A983 1N	152.4300	20	16	2.05	6.2496	1.562
A984 1N	10.5331	25	1.5	20	5.2665	1.316
A984 2N	10.5331	25	1.5	20	5.2665	1.316
A AC TN	6.3676	15	1.5	20	1.9102	0.477
A AC 6N	6.3676	15	1.5	20	1.9102	0.477
A AC 7N	6.3676	15	1.5	20	1.9102	0.477
Départ 15						
S851 N	457.5918	34	70	0.56	8.7125	2.178
S852 N	104.0628	36	6	5.3	87.3085	21.827
S853 N	104.0628	36	6	5.3	19.8551	4.964
S854 N	104.0628	36	6	5.3	19.8551	4.964
S855 N	104.0628	36	6	5.3	19.8551	4.964
S856 N	121.4202	38	6	5.3	24.4540	6.114
A983 3N	152.4300	38	16	2.05	11.8742	2.968
ECL RAN	173.2050	80	25	1.3	4.9934	1.248
A987 1N	48.0144	35	1.5	20	33.6100	8.403
A987 2N	48.0144	35	1.5	20	33.6100	8.403
A998 N	31.9158	30	1.5	20	19.1494	4.787
A999 N	17.1894	15	1.5	20	5.1568	1.289
A AC 1N	41.4974	20	1.5	20	16.5989	4.149
A AC 2N	41.4974	20	1.5	20	16.5989	4.149
A983 N	152.4300	15	16	2.05	4.6872	1.172
A AC 3N	41.4974	20	1.5	20	16.5989	4.149
OND RA N	53.1748	8	2.5	12	5.1047	1.276
PC RA 1N	64.1500	22	2.5	12	16.9356	4.234
PC RA N	64.1500	22	2.5	12	16.9356	4.234
OND RA N	52.9498	8	2.5	12	5.1047	1.276
PC RA 1N	64.1500	22	2.5	12	16.9356	4.234
PC RA N	64.1500	22	2.5	12	16.9356	4.234

IV.10.2 Détermination de la chute de tension avec la méthode analytique

Exemple : calcule de la chute de tension pour le câble de départ P898 3N

Les formules de calcul :

$$\Delta U = \sqrt{3} (R \times \cos\varphi + X \times \sin\varphi) \quad (\text{IV.19})$$

$$\Delta U(\%) = 100 \times \frac{\Delta U}{U_n} \quad (\text{IV.20})$$

A.N:

$$R = \frac{22.5 \times L}{S} = \frac{22.5 \times 0.05}{240} = 0.0047 \, \Omega$$

$$X = 0.09 \times L = 0.09 \times 0.05 = 0.0045 \, \Omega$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \times 324.0336 \times [(0.0047 \times 0.87) + (0.0045 \times 0.5)] = 3.5577 \, \text{V}$$

$$\Delta U(\%) = 100 \times \frac{3.5577}{400} = 0.88 \, \% \text{ (inférieure a } \mathbf{8 \, \%})$$

Tableau IV.12 Calcul des chutes de tension pour les différents départs (méthode analytique).

Equipement	Courant d'emploi Ib (A)	Longueur (m)	Section choisie S (mm ²)	Résistance (R)	Réactance (X)	Impédance (Z)	ΔU (V)	ΔU (%)
Départ 1								
P898 3N	324.0336	50	240	0.0047	0.0045	0.0065	3.5577	0.88
P960 2N	324.0336	50	240	0.0047	0.0045	0.0065	3.5577	0.88
P898 1N	324.0336	50	240	0.0047	0.0045	0.0065	3.5577	0.88
P898 2N	324.0336	50	240	0.0047	0.0045	0.0065	3.5577	0.88

Remarque 1:

Les deux méthodes donnent des résultats globalement similaires, avec seulement de légères différences liées aux approximations propres à chacune. Pour éviter les répétitions, seuls les tableaux d'une des deux méthodes sont présentés dans ce mémoire.

Remarque 2:

D'après les résultats obtenus, on remarque que la chute de tension de quelques équipements est importante, dépasse celle tolérée par les normes, et pour cela on doit chercher une solution.

La solution pour diminuer la chute de tension de ces équipements, c'est d'augmenter la section de ces départs jusqu'à atteindre les chutes de tensions inférieures à 8 %.

Les nouveaux résultats sont présentés dans le tableau suivant (Tableau IV.13).

Tableau IV.13 Les nouveaux résultats de la chute de tension.

Equipement	Ib (A)	Longueur (m)	Section (mm ²)	ΔU (V)	ΔU (%)
P981 N	43.4053	40	2.5	20.8345	5.2086
P917 1N	43.4053	40	2.5	20.8345	5.2086
P940 1N	43.4053	40	2.5	20.8345	5.2086
P940 2N	43.4053	40	2.5	20.8345	5.2086
S852 N	104.0628	36	10	11.9880	2.997
A987 1N	48.0144	35	2.5	20.1660	5.0415
A987 2N	48.0144	35	2.5	20.1660	5.0415

IV.11 Courants de court-circuit

IV.10.1 Méthode générale de Calcul du courant des courts-circuits

Dans notre cas nous allons adopter 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 de notre réseau de distribution basse tension est comme suite :

- Réseau amont (réseau MT) qui va alimenter notre installation
- Transformateur MT/BT
- Disjoncteurs
- Câbles, jeux de barres, canalisations préfabriquées

La méthode consiste à décomposer le réseau de notre installation en tronçons et à calculer, pour chacun des tronçons R, X, puis les additionner arithmétiquement :

A) Réseau amont

La puissance de court-circuit du réseau MT (P_{cc} : puissance de court-circuit) est donnée par le distributeur d'énergie, l'impédance du réseau amont ramenée au secondaire du transformateur est donnée par la relation :

$$Z_A = \frac{(m \times U_n)^2}{S_{cc}} \quad (IV.21)$$

Avec :

U_n : Tension primaire du transformateur, elle est égale à : 30

KV m : rapport de transformateur qui est égal à : $m = 0.0133$

Z_a : Impédance amont du transformateur ramenée au

secondaire S_{cc} : puissance apparente de court-circuit.

$$X_a = 0.995 \cdot Z_a$$

$$R_a = \sqrt{(Z_a)^2 - (X_a)^2} \quad (IV.22)$$

Tableau IV.14 L'impédance du réseau amont ramenée au primaire du transformateur.

Scc (MVA)	m	Un (KV)	Za (mΩ)	Ra (mΩ)	Xa (mΩ)
500	0.0133	30	0.32	0.036	0.318

La résistance R_a peut être considérée comme négligeable devant la réactance X_a qui peut être confondue avec Z_a .

B) Transformateur

L'impédance Z_{tr} d'un transformateur vue du secondaire est donnée par la relation

$$Z_{tr} = \frac{U_{cc}}{100} \times \frac{U_{20}^2}{S_n} \quad (IV.23)$$

Avec :

U_{20} : Tension entre phases au secondaire à vide (400 V) ;

S_n : Puissance apparent du transformateur ;

U_{cc} : Tension de court-circuit en % ;

On a :

$S_n = 2500$ KVA, donc ; $U_{cc} = 6$ % (Tableau 2 de l'annexe) ;

La résistance se calcul à partir des pertes cuivre (P_{cu}) dans le transformateur (essaye en courtcircuit)

$$R_{tr} = \frac{P_{cu}}{3 \times I_n^2} \quad (IV.24)$$

Avec :

$P_{cu} = 28$ KW (voir en annexe tableau 09).

$$I_n = \frac{P_n}{U\sqrt{3}} = 3608.34 \text{ A}$$

$$R_{tr} = 0.72 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{tr} = 3.84 \text{ m}\Omega$$

La réactance se déduit de la relation suivante :

$$X_{tr} = \sqrt{Z_{tr}^2 - R_{tr}^2} \quad (IV.25)$$

Avec :

X_{tr} : Réactance du transformateur

R_{tr} : Résistance du transformateur

Z_{tr} : Impédance du transformateur

$$X_{tr} = 3.77 \text{ m}\Omega$$

C) Disjoncteur

La résistance est négligeable, la réactance est prise égale à $0.15 \text{ m}\Omega$

D) Jeux de barres

La résistance d'un jeu de barres est généralement négligeable, de ce fait l'impédance est pratiquement égale à la réactance, notre jeu de barre a une longueur de $L = 5\text{m}$, et la valeur linéique typique d'un jeu de barres est approximativement $0.15 \text{ m}\Omega$ mètre.

$$R = \rho * \frac{L}{S} \quad (IV.26)$$

A.N :

$$R_{jdb} = 0.225 \text{ m}\Omega$$

$$X_{jdb} = 0.15 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{jdb} = 0.27 \text{ m}\Omega$$

E) Câble

□ La résistance se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$R = \rho * \frac{L}{S} \quad (\text{IV.27})$$

Avec :

ρ : Résistivité des conducteurs à la température normale de fonctionnement :

- 22,5 mΩ.mm²/m pour le cuivre,
- 36 mΩ.mm²/m pour l'aluminium.

L : Longueur Du câble en (m).

S : Section du câble en (mm²).

- La réactance des câbles sont données par les constructeurs, sachant qu'elle est négligeable pour des sections inférieures à 25 mm²
- Les valeurs des réactances X en BT sont généralement comme suite :
 - 0,08 mΩ/m pour les câbles tripolaires
 - 0,09 mΩ/m pour les câbles unipolaires serrés en nappe ou en triangle
 - 0,15 mΩ/m pour les câbles unipolaires espacés
 - 0,30 mΩ/m pour les lignes aériennes

IV.12 Dimensionnement du jeu de barre

Le dimensionnement de jeu de barre principale consiste à choisir une section convenable, soit en fonction du courant qui y circule, soit en fonction des contraintes thermiques et électrodynamiques du régime d'avarie.

Le jeu de barre à basse tension sont destinés à assurer le transport d'énergie électrique entre les sources et les éléments d'une installation, et comme ils assurent la répartition TGBT.

IV.12.1 Courant nominal

C'est le courant qui parcourt les conducteurs de jeu de barre, il est donné par l'expression suivant :

$$I_n = \frac{S_n}{U_n \sqrt{3}} = \frac{2500 \times 10}{400 \sqrt{3}} = 3.6084 \text{ KA}^3$$

Avec :

S_n : Puissance apparent de l'installation.

U_n : Tension nominal composée.

IV.12.2 Courant admissible

Le courant admissible a estimé à 1.2 fois le courant nominal qui traverse le jeu de barre :

$$I_z' = 1.2 \times I_n = 1.2 \times 3.6084 = 4.33 \text{ KA}$$

Connaissant le courant admissible qui y circule, on peut tirer la section de jeu d barre à partir du tableau 10 de l'annexe.

IV.12.3 Calcul de la section de jeu de barre

Tableau IV.15 Calcule de la section de jeu d barre

Paramètre	I_n (KA)	I_z' (KA)	I_z' -nor (KA)	Epaisseur (mm)	Section (mm ²)
Jdb_{TGBT}	3.6084	4.33	4.824	10	3200

IV.12.4 Vérification de la chute de tension du jeu de barre

A) Au passage de courant assigné

La formule de MELSON et BOTH permet de définir l'intensité admissible maximale dans un jeu de barre :

$$I = K' \times \frac{24.9 \times (\theta - \theta_n)^{0.61} \times S^{0.5} \times P^{0.89}}{\sqrt{\rho_{20} \times [1 + \alpha \times (\theta - 20)]}} \quad (\text{IV.28})$$

Avec :

$$K' = \prod_1^6 K_i \quad (\text{IV.29})$$

- **I** : Intensité de courant admissible en A ;
- **θ_n** : Température ambiante en °C (dans notre cas la température ambiante égale à (40°C) ;
- **$(\theta - \theta_n)$** : Echauffement admissible en °C (Voir le tableau n°14 de l'annexe) ;
- **S** : Section d'une barre en cm² ;
- **P** : Périmètre d'une barre en cm ;
- **ρ_{20}** : Résistivité du conducteur à 20°C (Cuivre 1.83μΩ/cm, Aluminium : 2.90μΩ/cm)
- **α** : Coefficient de température de la résistivité, $\alpha = 0,004$;

➤ **Le coefficient k1** est en fonction du nombre de barres méplates par phase :

D'après le tableau 4 annexe : $K1 = 3.05$

➤ **Le coefficient k2** est fonction de l'état de surface des barres :

D'après le tableau 5 annexe : $K2 = 1$

➤ **Le coefficient k3** est fonction de la position des barres :

Plusieurs barres à plat : $K3 = 0,75$

➤ **Le coefficient k4** est fonction de l'endroit où sont installées les barres :

Atmosphère calme à l'intérieur : $k4 = 1$

➤ **Le coefficient k5** est fonction de la ventilation artificielle : $K5 = 1$

➤ **Le coefficient k6** est fonction de la nature du courant :

Pour un courant alternatif de fréquence ≤ 60 Hz,

K_6 est fonction du nombre de barres n par phase et de leur écartement.

Valeur de k_6 pour un écartement égal à l'épaisseur des barres.

$$K_6 = 0.98$$

$$K' = \prod_1^6 K_i = 2.24$$

Note

Pour que la section soit vérifiée il faut que le courant I soit supérieur au courant admissible ($I_{z'}$).

B) Résultat de vérification

Tableau IV.16 Résulta de vérification de la chute de tension de jeu de barre

	K'	θ (C°)	θn (C°)	S (cm²)	P (cm)	ρ_{20}	I (kA)	Etat
JdB TGBT	2.24	80	40	32	66	1.83	10.1851	$I \geq I_{z'}$

Donc, la section choisie de **4** barres de **e = 10 mm**, et **a = 80 mm**, et qui admet un courant admissible de valeur de **10.1851 KA** > **$I_{z'} = 4.33$ KA** convient parfaitement.

IV.13 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté de manière détaillée les différentes méthodes de calcul nécessaires à l'étude et au redimensionnement des équipements électriques en aval du transformateur T4. Le bilan de puissance a permis d'évaluer les charges réelles raccordées au TGBT, tandis que l'étude de la compensation de l'énergie réactive a contribué à l'optimisation du facteur de puissance du réseau.

Nous avons ensuite procédé à l'analyse des chutes de tension admissibles, au dimensionnement des sections de câbles ainsi qu'à celui du jeu de barres du TGBT, en tenant compte des critères thermiques, mécaniques et normatifs. Une vérification thermique approfondie a été effectuée afin d'évaluer la capacité des conducteurs à dissiper la chaleur générée par le courant nominal.

L'ensemble de ces analyses a permis de rapprocher les causes probables de l'échauffement constaté au niveau du jeu de barres, en mettant en évidence des éventuelles insuffisances de section, des problèmes de ventilation, ou encore des défauts de serrage ou de répartition du courant.

Ces résultats serviront de base technique à la proposition de solutions correctives et à l'amélioration de la fiabilité de l'installation électrique.

Chapitre V

Vérification des calculs avec le logiciel

ECODIAL

V.1 Introduction

Lors de dimensionnement des installations électriques industrielles avec la méthode analytique, on rencontre souvent des difficultés et des obstacles dans les calculs et le dimensionnement de ces équipements.

Aujourd'hui, grâce au logiciel ECODIAL de Merlin Gerin, qui est un outil très efficace dans les domaines industriels, pour assurer et faciliter le dimensionnement.

Ce chapitre est consacré à la vérification des calculs, et pour cela nous avons adopté la méthodologie suivante :

- Description de l'interface graphique.
- Réalisation du schéma électrique unifilaire du réseau.
- Bilan de puissance.
- Calcul de réseau.

V.2 Présentation de logiciel

ECODIAL est un logiciel de conception assistée par ordinateur (CAO) développé par Schneider Electric et destiné aux installations électriques en basse tension et il nous permet de dimensionner des réseaux électriques en basse tension (BT), et vous aide à choisir le bon équipement et optimiser votre installation électrique, selon la norme NF C 15-100 et le guide européen CENELEC R 064-003 (UTE C 15-500).

V.2.1 Fonctions d'ECODIAL

ECODIAL est un logiciel d'aide à la conception de réseau électrique basse tension, il permet de : □ Dessiner le schéma unifilaire d'un réseau électrique ;

- Définir les différents éléments constituant ce réseau, c'est-à-dire :
- Calculer les sections des conducteurs pour les câbles ;
- Déterminer les disjoncteurs à installer, en prenant en compte I_n , I_{cc} , la température, la sélectivité et la filiation ;

- Vérifier la protection des personnes ;
- Calculer, en tous points du réseau, les valeurs de R, X, Icc, ΔU .

V.2.2 Définition des caractéristiques générales de réseau

Avant de commencer la réalisation du schéma unifilaire, il faut saisir les caractéristiques générales de l'installation la boîte de dialogue caractéristique globales est automatiquement affichée lors du lancement, des valeurs par défaut sont proposées.

Pour modifier les valeurs il suffit de :

- Cliquer à droite de la cellule du champ à modifier.
- Cliquer sur la flèche et sélectionner la nouvelle valeur.
- Après avoir modifié les valeurs conformément aux indications.
- Cliquer sur OK pour enregistrer les informations saisies.

Caractéristiques globales	
Un Ph-Ph (V)	400
Schéma de liaison à la terre	TN-S
Chute de tension maximale (%)	4.00
Section maxi autorisée (mm²)	300.00
Tolérance section (%)	0.0
Section N / Section Ph	1
Cosphi global à atteindre	0.96
Norme d'appareillage	IEC 947
Fréquence du réseau (Hz)	50

☒ Afficher les caractéristiques globales à chaque nouvelle affaire

Par défaut

OK Annuler Aide

Figure V.1 Caractéristiques globales de l'installation

V.2.3 Description de l'interface graphique du logiciel

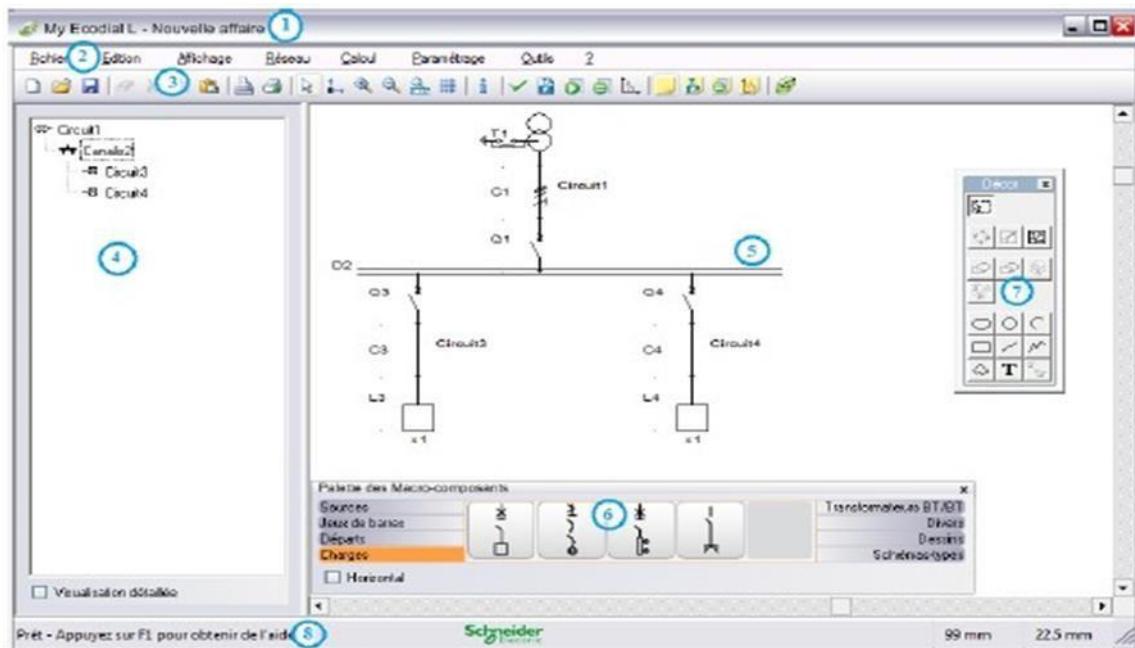


Figure V.2 L'interface graphique du logiciel

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

2 : Barre d'outils : les boutons de la barre d'outils offrent un accès rapide aux commandes les plus fréquemment utilisées.

3 : Arborescence du réseau : il est possible de choisir entre deux niveaux de vue

- La vue simplifiée : case visualisation détaillée non cochée
- La vue détaillée : case visualisation détaillée cochée

4 : Espace de dessin : c'est dans cette espace que vous dessinez le schéma de réseau

5 : Palette des macro-composantes : cette palette présente les circuits électriques prédessinés qui permettront de réaliser rapidement les schémas.

6 : Palette décor : cette palette regroupe les outils permettant de dessiner les formes géométriques et de manipuler les graphismes.

7 : Barre d'état : elle indique la description de la commande sélectionnée dans la barre de menu ou dans la barre d'outils ainsi que les coordonnées de la position.

V.3 Méthode de réalisation de projet

La méthodologie à suivre pour la réalisation de projet avec le logiciel ECODIAL, est la suivante:

V.3.1 Réalisation de schéma unifilaire

Pour réaliser le schéma unifilaire il faut utiliser la palette des symboles électrique qui est affichée automatiquement en bas de l'écran lors du lancement de l'application, par défaut.

Note : pour faciliter l'exploitation du schéma, il est préférable de donner un nom à chaque départ de schéma.

V.3.2 Saisie des caractéristiques des récepteurs

Pour les récepteurs qui sont caractérisés par leur puissance utile (par exemple le moteur asynchrone), il faut saisir la valeur normalisée de la puissance utile. A partir de cette valeur et d'autres caractéristiques (rendement, $\cos \varphi$, K_u), le logiciel calculera la puissance absorbée par le moteur qui sera la valeur utilisée pour déterminer la puissance de la source.

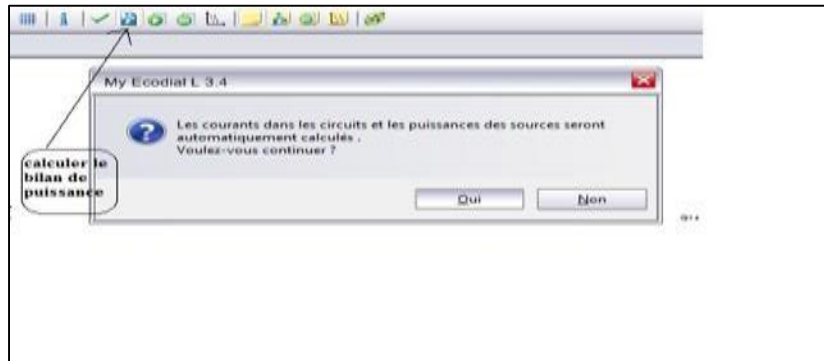
Description du circuit	
Nom : PR-AC1	
Constitution	
Protection/Commande	Q2
Cable	C2
Moteur	M2
<input type="checkbox"/> Différentiel <input type="checkbox"/> Télécommande <input type="checkbox"/> Débranchable	
Contraintes	
<input checked="" type="checkbox"/> Filaire	<input checked="" type="checkbox"/> Sélectivité
Caractéristiques	
Longueur (m) - C2	250.0
Nb circuits identiques	1
Puissance mécanique utile du moteur (kW)	200.00
Ib du moteur (A)	349.89
Type de démarrage	Direct
Type de coordination	Type 2
Classe de déclenchement	10

Figure V.3 Fenêtre de description du circuit

V.3.3 Bilan de puissance

Afin de dimensionner correctement l'installation, il faut réaliser le bilan et pour effectuer ce calcul il faut suivre ces étapes :

- Cliquer sur le bouton (bilan de puissance) dans la barre d'outils, le message ci-dessous apparaît.



- Cliquer « Oui » la fenêtre (bilan de puissance) apparaît, comme elle le montre dans la figure (Figure V.4).

Bilan de puissance

Réseau
 00- transformateur
 1- feu de barre

Charges de l'équipement courant						
	PR -AC1	PR -JOCAC1	PR -NV 1	PR -JOCNV1	PR -JOCNV2	L-Zone 1.
Ib (A)	349.89	6.50	949.77	34.99	34.99	43.30
Polarité du circuit	Ta	Ta	Ta	Ta	Ta	Ta + N
Puissance (kW)	213.32	3.87	579.06	20.85	20.85	30.00
Cos phi	0.88	0.86	0.88	0.86	0.86	1.00
Ku	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Répartition	-	-	-	-	-	-
Nb circuits identiques	1	1	1	1	1	1

Equipement courant
 I charge (A) x Is = I Total (A)
 3988.64 x 1.00 = 3988.6

Sources (400 V)

Normal		Secours	
Nombre de sources :	1	Nombre de sources :	0
P calculée par source avant compensation :	2901.55 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

Cosphi avant compensation : 0.88
 Cosphi global à atteindre : 0.96

OK Annuler Aide

Figure V.4 : La fenêtre du bilan de puissance

- Après, on règle tous les paramètres de l'ensemble des circuits sur la fenêtre de bilan de puissance (le cos φ , Ku, la puissance, nombre de circuit ...).
- Lorsqu'on termine tous ces réglages, cliquer « OK » pour valider le bilan de puissance, un message d'alerte apparaît, cliquer « OK ».

- La fenêtre « bilan de puissance » se ferme et les valeurs de bilan de puissance s'affichent automatiquement sur le schéma unifilaire. (Figure IV.5).

V.3.3.a Résultat du bilan de puissance

Source normal (400 V)	
Nombre de sources :	1
Puissance calculée par source avant compensation :	1802.94 kVA
Puissance calculée par source après compensation :	-
Puissance choisie par source :	2500.0 kVA
Cosphi avant compensation :	0.86
Cosphi après compensation	-
Cosphi cible	0.93

Figure V.5 Bilan de puissance de l'installation calculé par ECODIAL

V.3.4 Dimensionnement de l'installation

Le logiciel ECODIAL offre deux méthodes de calcul selon le choix de l'utilisateur :

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

Nous allons utiliser la méthode pas à pas, et pour cela on doit suivre les étapes suivantes :

- Cliquer sur le bouton **lancer le calcul pas à pas** de la barre.
- La fenêtre suivante s'ouvre comme la **figure IV.7** le montre.
- Après avoir régler tous les paramètres, cliquer sur le bouton **calculer**.

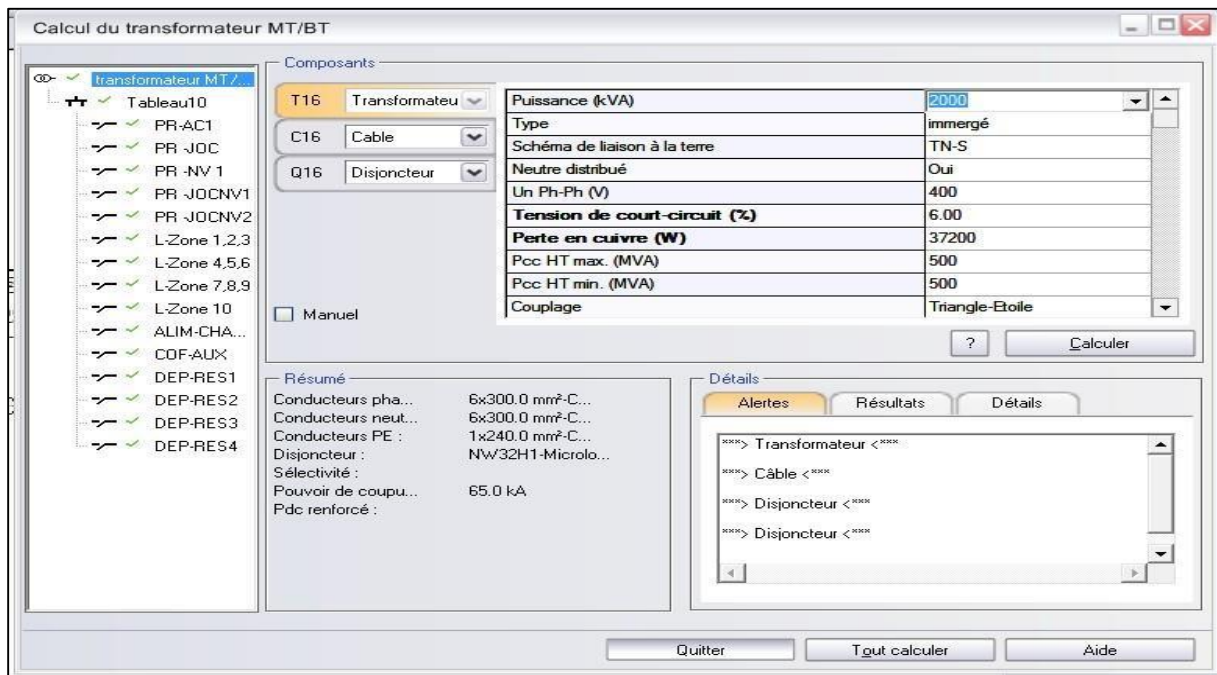


Figure V.6 La fenêtre de dimensionnement de l'installation avec la méthode pas à pas

À la fin des calculs les résultats apparaissent à l'écran, et un résumé des valeurs calculées est affiché dans le cadre résumé sur le schéma unifilaire.

V.3.4.a Affichage des résultats de dimensionnement obtenus avec ECODIAL

Affaire

Réseau	Schéma des liaisons à la terre :	IT
	Tension :	400 V
	Section maxi autorisée :	300.0 mm ²
	Section N / Section Ph :	1
	Tolérance section :	0.0 %
	Cos phi global à atteindre :	0.93
	Fréquence du réseau :	50 Hz

A) Transformateur**Circuit :** Transformateur (T1-C1-Q1) - Calculé

Amont :

Aval : TGBT

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 : IT

Puissance globale : 2500 kVA Puissance unitaire : 2500.0 kVA

Couplage : Triangle-Etoile Tension de court-circuit : 6.00 %

Impédances de la source : Résistance Rt : 1.3124 mOhm

Inductance Xt: 4.0250 mOhm

Ib: 3436.61 A

CPI: TR22A

Pcc HT max. (MVA): 500 MVA

Pcc HT min. (MVA): 500 MVA

Cable : C1
Longueur : 5.0 m
Mode de pose : F-jointifs en nappe
 Câbles monticonducteurs sur tablettes verticales perforées
Type de câble : Monoconducteur Nb de couches : 1
Isolant : PVC Nb de circuits jointifs supplémentaires : 0
Arrangement des conducteurs : A plat jointifs
Température ambiante : 30 °C Niveau de THDI : 0 %

Courant admissible par le câble (Iz) :

Iz dans les conditions normales d'utilisation : 4107.7 A

Iz x facteurs de correction (conditions réelles d'utilisation): 3532.6 A

Contrainte de dimensionnement : surcharges

Facteurs de correction : Température : 1.00 (52-D1)
 X Résistivité thermique du sol : 1.00 (A.52-16)
 X Neutre chargé : 1.00 (D.52-1)
 X pose jointive : 0.86 (52-E5)
 X Utilisateur : 1.00
 / Protection) : 1.00 (§433.1)

0.86

Sections (mm ²)	Théoriques	Choisies	Désignation	Métal
Par phase	7 x 287.7	7 x 300.0		Cuivre
Neutre	7 x 287.7	7 x 300.0		Cuivre

PE	1 x 275.0	1 x 300.0		Cuivre
----	-----------	-----------	--	--------

Chutes de tension	Amont	Circuit	Aval
U (%)	0.00	0.1165	0.12

Résultats de calcul:

	Icc amont	Ik3max	Ik2max	Ik1max	Ik2min	Ik1min	I défaut
(KA)		54.7162	47.3856	44.0027	42.8483	39.7748	20.3750
R (m)		1.3916	2.7832	1.7638	2.8008	1.7814	1.7285
X (m)		4.4404	8.8807	5.5109	8.8807	5.5109	5.3823
Z (m)		4.6534	9.3066	5.7863	9.3119	5.7917	5.6530

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 : NW40H1-65.0 kA

Calibre nominal : 4000 A

Calibre de la protection (In) : 4000.00 A

Déclencheur : Micrologic 7.0 A

Nombre de pôles : 4P4d

Sélectivité :

Pdc renforcé par filiation :

Protection différentielle : Oui

Désignation de la protection différentielle : Micrologic 7.0 A
 Sensibilité : 30000.00 mA
 Cran de temporisation : 800 ms
 Sélectivité différentielle : Non
 Réglages :

Surcharge: $I_r = 0.90 I_n = 3600.00 \text{ A}$

Magnétique : $I_m (I_{sd}) = 10.0 \times I_r = 36000.00 \text{ A}$

$T_m = 50 \text{ ms}$

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

B) TGBT

Circuit :	TGBT (B2) - Calculé		
Amont :	Transformateur		
Aval :	Circuit3		
Tension :	400 V		
Jeu de barres :	B2		
Référence :	OKKEN	Dimensions :	5.0 m-8// 10.0 mmx40 mm
Type :	Okken	Métal :	Cuivre
Température ambiante :	40 °C		
I disponible :	5580 A		
Température sur court-circuit:	80 °C		
Icc max :	54.72 kA		
Ks :	0.60		
Icc crête (kA) :	120.38 kA		
Chute de tension:	0.1488 %		

Circuit :	Circuit3 (Q3-C3) - Calculé
Amont :	TGBT
Aval :	Départ1
Tension :	400 V

Disjoncteur :**Q3**

Nom : NS1250H-70.0 kA

Calibre nominal: 1250 A

Calibre de la protection (In) : 1250.00 A

Déclencheur : Micrologic 2.0

Nombre de pôles : 4P4d

Sélectivité : T

Pdc renforcé par filiation : Non

Protection différentielle : Non

Désignation de la protection différentielle : -

Sensibilité : -

Cran de temporisation : -

Sélectivité différentielle : -

Réglages :

Surcharge : $I_r = 0.90 I_n = 1125.00 \text{ A}$ Magnétique : $I_m (I_{sd}) = 10.0 \times I_r = 11250.00 \text{ A}$ $T_m = 80 \text{ ms}$

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

Cable :**C3**

Longueur : 2.0 m

Mode de pose : F-jointifs en nappe

Câbles monoconducteurs sur tablettes verticales perforées

Type de câble : Monoconducteur

Nb de couches : 1

Isolant : PVC

Nb de circuits jointifs supplémentaires : 0

Arrangement des conducteurs : Trèfle

Température ambiante : 40 °C

Niveau de THDI : 0 %

Courant admissible par le câble (Iz) :

Iz dans les conditions normales d'utilisation : 1454.4 A

Iz x facteurs de correction (conditions réelles d'utilisation) : 1221.7 A

Contrainte de dimensionnement : surcharges

Facteurs de correction : 0.87 (52-D1)

Température

X Résistivité thermique du sol : 1.00 (A.52-16)

X Neutre chargé : 1.00 (D.52-1)

X pose jointive : 0.96 (52-E5)

X Utilisateur : 1.00

/ Protection : 1.00 (§433.1)

0.84

Sections (mm ²)	Théoriques	Choisies	Désignation	Métal
Par phase	3 x 213.5	3 x 240.0		Cuivre
Neutre	3 x 213.5	3 x 240.0		Cuivre
PE	1 x 295.4	1 x 300.0		Cuivre

Chutes de tension	Amont	Circuit	Aval
U (‰)	0.27	0.0381	0.31

Vérification de la contrainte thermique :

Energie reçue par le conducteur de phase: 390625000 A²s

Contrainte admissible: 761760000 A²s

Résultats de calcul :

	I _{cc} amont	I _{k3m ax}	I _{k2m ax}	I _{k1m ax}	I _{k2mi n}	I _{k1mi n}	I défaut
(KA)	54.71 62	52.85 29	45.77 20	40.45 88	41.34 78	37.57 67	18.63 36
R (m)	1.419 1	1.470 5	2.940 9	1.921 5	2.990 1	1.970 7	2.004 2
X (m)	4.534 1	4.587 4	9.174 9	5.992 6	9.174 9	5.805 1	5.847 5
Z (m)	4.751 0	4.817 3	9.634 7	6.293 1	9.649 8	6.130 5	6.181 4

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 : 1100.62 A

Polarité du circuit: Tri + N

P : 663.38 kW

Schéma des liaisons à la terre :	IT
Cos :	0.87
Répartition :	-
Ku :	1.0
Nombre de circuit identiques	1

C) Départ 1

Circuit :	Départ1 (B23) - Calculé
Amont :	Circuit3
Aval :	Circuit26
Tension :	400 V
Jeu de barres :	B23
Référence :	STANDARD
Dimensions :	3.0 m-3// 5.0 mmx40 mm
Type :	Standardisé à plat
Métal :	Cuivre
Température ambiante :	40 °C
I disponible :	1300 A
Température sur court-circuit :	85 °C
Icc max :	52.85 kA
Ks :	0.80
Icc crête (kÂ) :	116.28 kA
Chute de tension :	0.0837 %

D) Charge (Circuit26)**Circuit :** Circuit26 (Q24-C24-AUTO74-M24) - Calculé

Amont : Départ1

Aval :

Tension : 400 V

Disjoncteur : Q24

Nom : NSX630H-70.0 kA

Calibre nominal: 500 A

Calibre de la protection (In) : 500.00 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 : $I_r = 0.88 I_n = 440.00 \text{ A}$ Magnétique : $I_m (I_{sd}) = 13.0 \times I_r = 5720.00 \text{ A}$ **Contacteur :** LC3F500

Coordination : Type 2

Relais thermique:**Démarrateur électronique:**

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

Cable :	C24
Longueur :	50.0 m
Mode de pose :	F-jointifs en nappe
Câbles monoconducteurs sur tablettes verticales perforées	
Type de câble :	Monoconducteur
Nb de couches :	1
Isolant :	PVC
Nb de circuits jointifs supplémentaires :	0
Arrangement des conducteurs :	A plat jointifs
Température ambiante :	40 °C
Niveau de THDI :	-

Courant admissible par le câble (Iz) :

Iz dans les conditions normales d'utilisation : 853.8 A

Iz x facteurs de correction (conditions réelles d'utilisation) : 478.1 A

Contrainte de dimensionnement : surcharges

Facteurs de correction :	Température	: 0.87	(52-D1)
X Résistivité thermique du sol		: 1.00	(A.52-16)
X Neutre chargé		: 1.00	(D.52-1)
X pose jointive		: 0.86	(52-E5)
X Utilisateur		: 0.75	
/ Protection)		: 1.00	(§433.1)

0.56

Sections (mm ²)	Théoriques	Choisies	Désignation	Métal
Par phase	2 x 162.6	2 x 185.0		Cuivre
Neutre	-	-	-	-
PE	1 x 29.8	1 x 35.0		Cuivre

Chutes de tension	Amont	Circuit	Aval
U (‰)	0.39	1.3852	1.78

Chute de tension au démarrage du moteur : 3.33

Vérification de la contrainte thermique :

Energie reçue par le conducteur de phase: 250000000 A²s

Contrainte admissible: 452625625 A²s

Résultats de calcul :

	Icc amont	Ik3m ax	Ik2m ax	Ik1m ax	Ik2mi n	Ik1mi n	I défaut
(KA)	52.85 29	31.50 67	27.28 56		23.84 41		2.943 2
R (m)	1.558 4	4.059 7	8.119 4		9.204 3		36.94 82
X (m)	4.737 4	6.987 4	13.97 49		13.97 49		12.89 75
Z (m)	4.987 1	8.081 1	16.16 24		16.73 37		39.13 46

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 :	429.88 A
Polarité du circuit:	Tri
P :	259.11 kW
Schéma des liaisons à la terre :	IT
Cos:	0.87
Répartition :	-
Ku :	0.8
Nombre de circuit identiques	4

V.4 Validation des résultats

Après avoir redimensionné notre installation avec le logiciel ECODIAL nous avons constaté que les résultats sont valables, par rapport à celles trouvées avec la méthode analytique avec une légère différence, et cette légère différence peuvent être justifiées par :

- La majoration du deuxième chiffre après la virgule imposée par ECODIAL.
- Des paramètres pris par défaut comme le cas du facteur d'utilisation (Ku), comme le cas des pompes, leur facteur d'utilisation égale à 0.75 mais le logiciel ECODIAL l'impose par défaut 0,8.
- Le choix automatique de quelques résultats, comme par exemple le choix des sections des câbles, il augmente au maximum la section du câble pour avoir une chute de tension très petite.
- Le facteur d'extension Ke, l'ECODIAL ne prend pas l'extension en considération.

V.5 Conclusion

Ce chapitre est consacré à la vérification des résultats de calcul de l'installation en utilisant le logiciel ECODIAL, et pour cela nous avons commencé ce chapitre avec une petite présentation, et présenter une méthodologie à suivre pour arriver à faire un dimensionnement juste et fiable.

Les résultats de calculs concordent avec quelques légères différences.

Conclusion générale

Conclusion générale

Le travail effectué dans ce mémoire nous a permis d'approfondir nos acquisitions et la compréhension et l'analyse des installations électriques, notamment sur les jeux de barres, composants essentiels de l'alimentation et de la répartition de l'énergie. Ce travail a commencé par une représentation générale de l'entreprise CEVITAL, puis nous avons décrit les généralités sur les installations électriques et consacré un chapitre aux jeux de barres, en éclairant leur rôle stratégique dans la distribution d'énergie, leur typologie, leurs conditions d'exploitation et les contraintes thermiques auxquelles ils sont soumis. La méthodologie de dimensionnement détaillée dans le troisième chapitre a permis de définir un cadre rigoureux pour le choix des jeux de barres en tenant compte des paramètres essentiels tels que le courant nominal et l'échauffement admissible. Cette approche a été ensuite appliquée à travers le bilan de puissance, étape indispensable pour évaluer les besoins énergétiques et déterminer le facteur de puissance global de l'installation afin de sélectionner le transformateur adéquat. Enfin, une vérification par simulation à l'aide du logiciel ECODIAL a été réalisée pour vérifier la conformité de l'installation aux normes en vigueur ; elle a révélé une légère différence entre les résultats théoriques et simulés, principalement due aux écarts de précision et aux normes utilisées.

Cependant, malgré cette validation théorique, un échauffement anormal du jeu de barres principal a été constaté lors des relevés réels, dépassant parfois les 100 °C alors que la limite recommandée est de 80 °C. Après avoir écarté les causes classiques telles qu'une surcharge électrique ou un défaut mécanique, l'analyse a mis en évidence que ce problème est principalement lié à la présence de courants harmoniques générés par les équipements électroniques de puissance (variateurs, redresseurs, onduleurs) qui augmentent les pertes par effet de peau et la résistance équivalente du jeu de barres, provoquant ainsi une élévation thermique anormale. De plus, la dissipation thermique insuffisante dans l'armoire électrique, causée par une ventilation limitée, aggrave l'accumulation de chaleur.

Pour résoudre ce problème, plusieurs mesures correctives ont été proposées : installer un analyseur de réseau pour identifier et quantifier les harmoniques, mettre en place des filtres actifs ou passifs pour réduire leur impact, et améliorer la ventilation du tableau électrique afin de favoriser une meilleure évacuation de la chaleur.

Ainsi, ce travail met en évidence l'importance d'intégrer dès la conception des installations électriques industrielles des dispositifs permettant de contrôler la qualité de l'énergie électrique

Conclusion générale

et d'assurer une gestion thermique efficace, afin de garantir la fiabilité et la sécurité de l'alimentation électrique.

Références bibliographiques

- [1] MOUZAIA, Lamine et AMOURAT, Riadh. Analyse et amélioration de stockage des produits agro-alimentaire du groupe CEVITAL. 2020, Mémoire de master, univ-béjaia, 2020.
- [2] Bourihane Abdelhafid, Memeri Rafik, " Etude du circuit d'alimentation électrique de secours de la raffinerie sucre de l'entreprise CEVITAL", mémoire de master, univ-béjaia, 2019
- [3] BROUST, Jacques Marie. Appareillages et installations électriques industriels. Dunod, 2019.
- [4] André Bianciotto, Pierre Boye, "La construction normalisée en électrotechnique Tome 1: Installations, appareillage, matériaux", Paris [France] : Librairie delagrave, 1985
- [5] Schneider Electric « Guide de l'installation électrique » (2010).
- [6] PRÉVÉ, Christophe et JEANNOT, Robert. Guide de conception des réseaux électriques industriels. Rapport technique, 1997, vol. 6, no 883, p. 427.
- [7] <https://www.techniques-ingenieur.fr/search.html?query=definition+des+jeux+de+barres+>
- [8] <https://circuitglobe.com/electrical-bus-bar-and-its-types.html>
- [9] <https://www.techniques-ingenieur.fr/search.html?query=Jeux+de+barres+%C3%A0+basse+tension>
- [10] AUBER, Roland, « Jeux de barres à basse tension. Ed. Techniques Ingénieur », 1998.
- [11] SCHLABBACH, Jürgen et ROFALSKI, Karl-Heinz. Power system engineering: planning, design, and operation of power systems and equipment. John Wiley & Sons, 2014.
- [12] GILL, Paul. Electrical power equipment maintenance and testing. CRC press, 2016.
- [13] FLIR Systems AB. Thermal Imaging Guidebook for Industrial Applications. FLIR Systems AB, 2011
- [14] KHEBITI, Omar et REDDAH, Hadji. La maintenance préventive du réseau électrique HTA à SADEG Sonelgaz Ghardaïa. 2022. Thèse de doctorat. université Ghardaia.
- [15] Schneider Electric - catalogue distribution électrique, compléments techniques du catalogue 2016 /2017.
- [16] Technique d'ingénieur, « protection des réseaux moyenne tension de distribution publique », d4018.

- [17] Schneider Electric « Guide de l'installation électrique » (2010).
- [18] PRÉVÉ, Christophe et JEANNOT, Robert. Guide de conception des réseaux électriques industriels. Rapport technique, 1997, vol. 6, no 883, p. 427.
- [19] Etienne TISON, Schneider électrique, « guide de l'installation électrique 2010 » N° dépôt légal : 2008.
- [20] Schneider électrique, « Guide de conception des réseaux électrique industriels ».

- [21] Schneider Electric, « calcul des courants de court-circuit » Cahier technique n°158
- [22] Roland AUBER (jeu de barre basse tension), technique d'ingénieur, N°d 5165
- [23] SCHNEIDER ELECTRIC, « Guide de l'installation électrique », (2010).
- [24] H. ABBAS, S. AIT MOKHTAR, « Etude et dimensionnement électrique de la raffinerie Sucre liquide Cevital », mémoire de master, université de Béjaia (2015/2016).

- [25] Chanoun houssem, "Etude et dimensionnement technique d'une installation électrique industrielle, memoire du master, univ-Béjaia, 2021

- [26] Schneider Electric, « choix des dispositifs de protection », Guide de l'installation électrique, Edition 2010
- [27] <https://www.start-engineer.com/>

Annexes

Tableau 01 : Puissances apparentes normalisées des transformateurs MT/BT triphasés et intensités nominales correspondantes

Puissance apparente kVA	In (A)	
	230 V	400 V
100	244	141
160	390	225
250	609	352
315	767	444
400	974	563
500	1218	704
630	1535	887
800	1949	1127
1000	2436	1408
1250	3045	1760
1600	3898	2253
2000	4872	2816
2500	6090	3520
3150	7673	4436

Tableau 02 : caractéristiques électriques des Transformateurs immergés dans un diélectrique liquide

Puissance (kVA)	Pv (W)	Pc (W)	Ucc (%)	Courant assigné secondaire	Courant de court-circuit triphasé BT*	Chute de tension à pleine charge		Rendement (%)				Puissance acoustique dB (A)
				A (version 420 V)	kA (version 420 V)	cos φ = 0,8	cos φ = 1	Charge = 75%		Charge = 100%		
								cos φ = 0,8	cos φ = 1	cos φ = 0,8	cos φ = 1	
50	90 (A0)	1100 (Ck)	4	69	1,7	3,77	2,25	97,69	98,15	97,11	97,68	39
100	145 (A0)	1750 (Ck)	4	137	3,4	3,57	1,81	98,15	98,52	97,69	98,14	41
160	210 (A0)	2350 (Ck)	4	220	5,5	3,43	1,54	98,43	98,74	98,04	98,43	44
250	300 (A0)	3250 (Ck)	4	344	8,5	3,33	1,37	98,60	98,88	98,26	98,60	47
315	360 (A0)	3900 (Ck)	4	433	10,7	3,30	1,31	98,67	98,93	98,34	98,67	49
400	430 (A0)	4600 (Ck)	4	550	13,5	3,25	1,22	98,76	99,00	98,45	98,76	50
500	510 (A0)	5500 (Ck)	4	687	16,8	3,22	1,17	98,81	99,05	98,52	98,81	51
630	600 (A0)	6500 (Ck)	4	866	21,0	3,17	1,11	98,89	99,11	98,61	98,89	52
800	650 (A0)	8400 (Ck)	6	1100	17,9	4,46	1,22	98,89	99,11	98,61	98,88	53
1000	770 (A0)	10500 (Ck)	6	1375	22,2	4,46	1,22	98,90	99,12	98,61	98,89	55
1250	950 (A0)	11000 (Bk)	6	1718	27,5	4,35	1,05	99,06	99,24	98,82	99,05	56
1600	1200 (A0)	14000 (Bk)	6	2199	34,8	4,35	1,05	99,06	99,25	98,83	99,06	58
2000	1450 (A0)	18000 (Bk)	6	2749	43,0	4,36	1,07	99,04	99,23	98,80	99,04	60
2500	1750 (A0)	22000 (Bk)	6	3437	52,9	4,35	1,05	99,07	99,25	98,83	99,06	63

Tableau 03 : Le tableau indique, pour chaque mode de pose, la lettre de la 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 04 : ce tableau sert à déterminer le coefficient K1 selon la lettre de sélection et le cas d'installation.

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 05 : ce tableau sert à déterminer le coefficient K2 selon le nombre de circuit de câble multiconducteurs et la disposition de câble.

lettre de sélection	disposition des câbles jointifs	facteur de correction K2											
		nombre de circuits ou de câbles multiconducteurs											
B, C, F	encastrés ou noyés dans les parois	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,55	0,55	0,50	0,50	0,45	0,40	0,40
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	Pas de facteur de réduction supplémentaire pour plus de 9 câbles.		
	simple couche au plafond	1,00	0,85	0,76	0,72	0,69	0,67	0,66	0,65	0,64			
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			
	simple couche sur des échelles à câbles, corbeaux, etc.	1,00	0,88	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78			

Tableau 06 : détermination de coefficient de correction K3 selon la température ambiante et le type d'isolation.

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	1,06	1,04
30	1,00	1,00	1,00
35	0,93	0,94	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 07 : tableau indique la détermination de la section minimale Connaissant $I'z$ et K ($I'z$ est le courant équivalent au courant véhiculé par la canalisation : $I'z = Iz/K$, le tableau ci-après indique la section à retenir.

		isolant et nombre de conducteurs chargés (3 ou 2)								
		caoutchouc ou PVC			butyle ou PR ou éthylène PR					
lettre de sélection	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
section aluminium (mm ²)	2,5	16,5	18,5	19,5	21	23	25	26	28	
	4	22	25	26	28	31	33	35	38	
	6	28	32	33	36	39	43	45	49	
	10	39	44	46	49	54	58	62	67	
	16	53	59	61	66	73	77	84	91	
	25	70	73	78	83	90	97	101	108	121
	35	86	90	96	103	112	120	126	135	150
	50	104	110	117	125	136	146	154	164	184
	70	133	140	150	160	174	187	198	211	237
	95	161	170	183	195	211	227	241	257	289
	120	186	197	212	226	245	263	280	300	337
	150		227	245	261	283	304	324	346	389
	185		259	280	298	323	347	371	397	447
	240		305	330	352	382	409	439	470	530
	300		351	381	406	440	471	508	543	613
	400					526	600	663		740
	500					610	694	770		856
	630					711	808	899		996

Tableau 08 : ce tableau indique la méthode simplifiée pour déterminer le coefficient B afin de calculer la chute de tension selon la relation $\Delta U = B \times I_b \times L$

Section en mm ²		Circuit monophasé			Circuit triphasé équilibré		
		Force motrice		Eclairage	Force motrice		Eclairage
		Service normal	Démarrage		Service normal	Démarrage	
Cu	Al	$\cos \varphi = 0,8$	$\cos \varphi = 0,35$	$\cos \varphi = 1$	$\cos \varphi = 0,8$	$\cos \varphi = 0,35$	$\cos \varphi = 1$
1,5		24	10,6	30	20	9,4	25
2,5		14,4	6,4	18	12	5,7	15
4		9,1	4,1	11,2	8	3,6	9,5
6	10	6,1	2,9	7,5	5,3	2,5	6,2
10	16	3,7	1,7	4,5	3,2	1,5	3,6
16	25	2,36	1,15	2,8	2,05	1	2,4
25	35	1,5	0,75	1,8	1,3	0,65	1,5
35	50	1,15	0,6	1,29	1	0,52	1,1
50	70	0,86	0,47	0,95	0,75	0,41	0,77
70	120	0,64	0,37	0,64	0,56	0,32	0,55
95	150	0,48	0,30	0,47	0,42	0,26	0,4
120	185	0,39	0,26	0,37	0,34	0,23	0,31
150	240	0,33	0,24	0,30	0,29	0,21	0,27
185	300	0,29	0,22	0,24	0,25	0,19	0,2
240	400	0,24	0,2	0,19	0,21	0,17	0,16
300	500	0,21	0,19	0,15	0,18	0,16	0,13

Tableau 09 : détermination de la puissance P_{cu}

Puissance (KVA)	800		1000		1250		1600		2000	2500	3150
U_0 (V)	231	400	231	400	231	400	231	400	400	400	400
Pertes à vide (KW)	1.95	1.95	2.3	2.3	2.7	2.7	3.3	3.3	3.9	4.5	5.4
Pertes cuivre (KW)	12	10.5	13.9	12.1	17.5	15	21.3	18.1	22.5	28	33
U_{cc} à 75°C	5.5	4.5	6	5	5.5	5.5	6	6	7	7	8

Tableau 10 : Intensités admissibles en Ampères des jeux de barres (cuivre).

CUIVRE	T Ambiante : 30 °C					Echauffement : 40 °C					K = 7,13
Dimensions des barres en mm	Epaisseur des barres : e = 2 mm					Epaisseur des barres : e = 3,15 mm					
	Nombre de barres en // et par phases					Nombre de barres en // et par phases					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
10	110	210	292	360	427						
12,5	133	248	345	424	506						
16	163	299	417	515	612						
20	197	355	493	611	724						
25	239	420	585	716	857						
31,5	292	504	700	863	1026						
40	359	606	843	1041	1238	252		656	807	963	
50	436	724	1007	1243	1487	305	469 560	781	964	1145	
63						371	667	927	1149	1361	
						455	801	1115	1365	1634	
						552	955	1325	1634	1943	
						675	1140	1586	1957	2328	
Dimensions des barres en mm	Epaisseur des barres : e = 4 mm					Epaisseur des barres : e = 5 mm					
	Nombre de barres en // et par phases					Nombre de barres en // et par phases					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
20	288	551	765	943	1119	328	642	885	1088	1288	
25	347	649	903	1111	1327	393	751	1043	1286	1526	
31,5	422	776 930	1082	1335	1586	477	891	1239	1525	1821	
40	517	1101	1292	1602	1897	583	1070	1491	1841	2186	
50	626	1322	1533	1878	2247	705	1269	1762	2185	2586	
63	764	1589	1834	2262	2690	859	1512	2105	2578	3085	
80	940		2210	2727	3245	1056	1828	2546	3127	3718	
100						1283	2167	3014	3719	4425	
125						1558	2587	3600	4442	5314	
160						1935	3115	4354	4663	5834	
Dimensions des barres en mm	Epaisseur des barres : e = 6,3 mm					Epaisseur des barres : e = 8 mm					
	Nombre de barres en // et par phases					Nombre de barres en // et par phases					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
25	662	1236	1718	2115	2524	516	1057	1439	1759	2074	
31,5	798	1469	2048	2527	3002	622	1219	1679	2065	2377	
40	972	1749	2429	3012	3566	756	1444	2004	2472	2934	
50	1193	2099	2922	3578	4282	910	1702	2366	2912	3477	
63	1447	2503	3472	4282	5092	1105	2034	2835	3499	4156	
80						1354	2438	3386	4199	4971	
100						1640	2887	4018	4921	5888	
125						1989	3441	4773	5897	7001	
160						2465	4166	5792	7148	8504	
200						2995	4972	6919	8536	10213	
Dimensions des barres en mm	Epaisseur des barres : e = 10 mm					Epaisseur des barres : e = 12,5 mm					
	Nombre de barres en // et par phases					Nombre de barres en // et par phases					
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	

25	591	1247	1684	2050	2411					
31,5	709	1450	1975	2414	2846					
40	859	1683	2319	2852	3375					
50	1031	1969	2732	3372	4000					
63	1249	2336	3248	3998	4772	811	1711	2311		3308
80	1528	2803	3908	4824	5729	979	1995	2719	2813	3923
100	1847	3325	4617	5726	6778	1171	2296	3162	3326	4603
125	2237	3937	5480	6710	8030	1415	2703	3750	3889	5491
160	2769	4790	6644	8195	9745	1726	3228	4488	4628	6594
200	3361	5680	7899	9747	11596	2083	3823	5329	5524	7812
						2519	4534	6297	6579	9243
						3113	5479	7627	7808 9339	11176
						3775	6531	9099	11175	13289

Résumé

Dans un contexte industriel où la fiabilité de l'alimentation électrique est essentielle, ce mémoire porte sur l'analyse et le redimensionnement des équipements électriques situés en aval du transformateur T4 de la raffinerie de sucre Cevital à Béjaïa, suite à une surchauffe anormale constatée au niveau du jeu de barres. L'objectif principal est d'identifier les causes de cette surchauffe et de proposer des solutions techniques adéquates pour garantir la continuité et la sécurité de l'alimentation. Pour ce faire, une étude approfondie des installations électriques a été réalisée, incluant le bilan de puissance, la chute de tension, l'étude du courant de court-circuit, la compensation de l'énergie réactive, ainsi que le choix des câbles et des dispositifs de protection. Un schéma unifilaire de l'installation existante a été établi afin d'appuyer l'analyse. La validation des résultats a été effectuée à l'aide du logiciel ECODIAL, permettant ainsi de confirmer les choix techniques retenus. Les solutions proposées visent à optimiser le système de refroidissement, à réduire les pertes énergétiques et à renforcer la fiabilité de l'alimentation électrique de la raffinerie.

Mots clés: Equipement électriques, transformateur T4, redimensionnement, jeu de barres, ECODIAL

Abstract

In an industrial context where the reliability of power supply is critical, this thesis focuses on the analysis and redesign of the electrical equipment downstream of transformer T4 at the Cevital sugar refinery in Béjaïa, following the occurrence of abnormal overheating in the busbar system. The main objective is to identify the causes of this overheating and to propose appropriate technical solutions to ensure the continuity and safety of the electrical supply. To achieve this, a comprehensive study of the electrical installations was conducted, covering load flow analysis, voltage drop calculations, short-circuit current analysis, reactive power compensation, and the selection of cables and protection devices. A single-line diagram of the existing installation was developed to support the analysis. The validation of the proposed solutions was carried out using ECODIAL software, which confirmed the technical choices made. The recommended solutions aim to optimize the cooling system, minimize energy losses, and enhance the reliability of the refinery's electrical supply.

Keywords: Electrical equipment, transformer T4, resizing, busbar, ECODIAL.

ملخص

في سياق صناعي تُعدّ فيه موثوقية إمدادات الطاقة أمراً بالغ الأهمية، تُركّز هذه الأطروحة على تحليل وإعادة تقييم حجم المعدات الكهربائية الواقعة في مصفاة السكر سيفيتال بمدينة بجاية، وذلك عقب تسجيل ارتفاع غير طبيعي في درجة حرارة قضبان التوصيل. ويتمثل الهدف الرئيسي في تحديد أسباب هذا الارتفاع الحراري واقتراح حلول تقنية مناسبة لضمان استمرارية وسلامة إمدادات الطاقة. ولتحقيق ذلك، تم إجراء دراسة معمّقة للمنشآت الكهربائية، شملت توازن القدرة، انخفاض الجهد، دراسة تيارات القصر، تعويض الطاقة التفاعلية، بالإضافة إلى اختيار الكابلات وأجهزة الحماية. كما تم إعداد مخطط أحادي الخط للمنشآت القائمة لدعم التحليل الفني، وتم التحقق من صحة النتائج باستخدام برنامج ECODIAL، مما أكّد صحة الخيارات التقنية المعتمدة. وتهدف الحلول المقترحة إلى تحسين نظام التبريد، تقليل خسائر الطاقة، وتعزيز موثوقية إمدادات الطاقة بالمصفاة.

الكلمات المفتاحية: المعدات الكهربائية، المحول T4، إعادة التهيئة، قضبان التوصيل، ECODIAL