

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'Etudes
En Vue de l'Obtention du Diplôme

En Electromécanique

Réalisé par :

TABET MOUNA

Thème

Etude de la protection d'un réseau électrique industriel

Soutenu le mercredi 03/07/2024 devant le jury composé de :

Dr. LARBA.M

Président

Dr. YAHIAOUI.B

Examineur

Dr. ATROUNE.S

Rapporteur

Année Universitaire : 2023/2024

Remerciements

Au terme de notre travail : on remercie ALLAH le Tout-puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et la patience de mener à terme ce présent travail dans des meilleures Conditions.

Nous exprimons nos profonds remerciements et tous nos respects pour nos très chers parents, qui nous ont éduqué, encadré et soutenu par tous les moyens, jours après jours, depuis notre naissance jusqu'à ce jour-là.

Nos sincères remerciements pour notre promoteur Mr. Salah ATROUNE pour avoir dirigé ce mémoire de fin d'étude ET pour ses précieux conseils et ses aides durant toute la période du travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre travail en acceptant d'examiner notre mémoire et de l'enrichir par leurs recommandations.

Enfin, nous remercions vivement, toute personne qui nous a aidées, de près ou de loin, à élaborer et à réaliser ce mémoire.

Dédicace

Je dédie ce travail :

*À mes chères parents «**Abed Rezek, Zakia** » qui m'ont toujours soutenu et orienté vers le bon chemin. Je leurs dois un grand merci et je leurs éprouve un sentiment de gratitude et d'amour.*

Chaque ligne de ce mémoire chaque mot et chaque lettre vous exprime la reconnaissance, le respect, l'estime et le merci d'être mes parents.

Je prie le Dieu de garder le prestige de vivre avec eux une longue vie.

A ma grand-mère et mon grand-père.

*A mon chers frère «**Mohamed Yacine**».*

*Mes deux chères sœurs : «**AHLAM, AMIRA**»*

A tous mes oncles, mes cousins, mes tantes

Ainsi que leurs conjoints et leurs fils,

*Et tous les membres de ma grande famille **TABET**.*

A tous mes profs qui m'ont appris durant toutes mes années d'études,

et tous les enseignants qui m'ont aidés de proche ou de loin.

A tous mes chers amis

A mes collègues de promotion de électromécanique 2024.

A toute personne que j'aime.

TABET MOUNA

Liste des abréviations

BT : Base tension
TBT : Très basse tension
HTA : Haut tension classe A
HTB : Haut tension classe B
BTB : Basse tension classe B
BTA : Basse tension classe A
JB : Jeux de barres
MT : Moyenne tension
TGBT : Tableau générale basse tension
TC : Transformateur de courant
TN : Neutre a la terre et masse au neutre
 I_a : Courant absorber
 I_e : Courant d'emploi (A)
 I_{ad} : Courant admissible (A)
PDC : Pouvoir de coupure
TV : Transformateurs de tension
TT : Neutre à la terre et masse a la terre
SF6: Gaze insolent
 U_n : Tension nominal (V)
 I_n : Courant nominal (A)
 I_{cc} : Courant de court-circuit (A)
 U_{cc} : Tension de court-circuit (V)
C : Condensateur
m : Rapport de transformation
U : Tension (V)
R : Résistance (Ω)
 Z_{cc} : impédance de la boucle de défaut (Ω)
 C_{max} : Courant maximaux (A)
 C_{min} : Courant minimaux (A)

Z_t : Impedance total

K_d : Facture de demande

K_s : Facture de simultanéité

K_u : Facture d'utilisation

K_e : Facteur d'extension

P_a : Puissance absorbée (KW)

P_n : Puissance nominale d'une charge (W)

l : Longueur (m)

I_r : courant de réglage

η : Rendement

Q_n : Puissance réactive nominale (VAR)

S_n : Puissance apparent nominale (VA)

P_{ui} : Puissance utile demandée par une charge (W)

P_{uj} : Puissance utile dans une branche (W)

P_{ut} : Puissance utile totale dans l'installation(W)

R_t : Résistance du transformateur (Ω)

X_t : Réactance du transformateur (Ω)

I_f : courant fictif (A)

T_c : temps de coupure (s)

Q_a : Puissance réactive absorbée (VAR)

Q_c : Puissance réactive de compensation

PVC : Polychlorure de vinyle

PR : Polyéthylène Réticulé

ρ : résistivité des conducteurs ($\text{mm}^2\Omega/\text{m}$)

λ : réactance linéique des conducteurs (Ω/m)

NFC 32-321 : Conducteurs et câble isolés pour installation

NF C 14-100 : Installation de branchement (Basse tensions)

NF C 63-410 : Dispositions applicables aux unités fonctionnelles débloables ou déconnectables des ensembles d'appareillage à basse tension

Liste des Tableaux

Chapitre III : Bilan de puissance de l'installation

Tableaux III.1 : Valeurs du facteur d'utilisation selon l'utilisation.....	26
Tableaux III.2 : Valeurs du facteur de simultanéité en fonction du nombre des récepteurs...	27
Tableaux III.3 : Identification des différents circuits électriques de l'installation.....	28
Tableaux III.4 : Résultats de la puissance installée.....	29
Tableaux III.5 : Bilan de puissance installée.....	30
Tableaux III.6 : Bilan de puissance utilisée.....	31
Tableaux III.7 : Bilan de puissance utile totale de toutes les branches de l'installation BT...	32
Tableaux III.8 : Bilan totale de toutes les branches de l'installation BT multiplié par 1.2....	32

Chapitre IV : dimensionnement des sections des câbles et des protections

Tableau IV.1 : Calculs des sections des câbles.....	41
Tableau IV.2 : valeurs des sections calculées par rapport à la chute de tension.....	43
Tableau IV.3 : Vérification des sections calculées selon la surcharge due au court-circuit....	45
Tableau IV.4 : Disposition d'un réseau de distribution.....	47
Tableau IV.5 : Résultat de calcul de courant de court-circuit.....	49
Tableau IV.6 : Choix du disjoncteur.....	51

Liste des figures

Chapitre I : Généralité sur les réseaux électriques industriels

Figure I-1 : Structure générale d'un réseau privé de distribution.....	3
Figure I-2 : Schéma unifilaire d'un réseau de distribution simple dérivation.....	4
Figure I-3 : Schéma unifilaire d'un réseau de distribution double dérivation.....	4
Figure I-4 : Eléments constitutifs d'un système de protection.....	5
Figure I-5 : Coupe schématique d'un fusible.....	6
Figure I-6 : Courbe de déclenchement d'un disjoncteur.....	7
Figure I-7 : Transformateur de courant type tore.	8
Figure I-8 : Transformateur de tension à double secondaire.....	8
Figure I-9 : relais de protection.....	9
Figure I-10 : Relais numérique.....	9
Figure I-11 : Relais thermique.....	10
Figure I-12 : Association de protection.....	11

Chapitre II : Généralité sur les incidents sur les réseaux industriels

Figure II-1 : Schéma d'un défaut monophasé.....	13
Figure II-2 : Schéma d'un défaut biphasé isolé.....	14
Figure II-3 : Schéma d'un défaut biphasé misse à la terre	14
Figure II-4 : Schéma d'un défaut triphasé.....	14
Figure II-5 : Fonctionnement d'une sélectivité ampère métrique.....	19
Figure II-6 : Principe de la sélectivité chronométrique.....	20
Figure II-7 : Principe de la sélectivité logique.....	21

Chapitre III : Bilan de puissance de l'installation

Figure III.1 : Schéma unifier d'installation.....	24
--	-----------

Chapitre IV : dimensionnement des sections des câbles et des protections

Figure IV.1 : Constitution d'un câble.....	36
---	-----------

Sommaire

Introduction générale.....	1
----------------------------	---

Chapitre I

Généralité sur les réseaux électriques industriels

I.1 Introduction.....	2
I.2 l'architecture des réseaux de distributions électriques.....	2
I.2.1 Structure générale d'un réseau prive de distribution.....	2
I.2.2 Structure générale d'un réseau industriel.....	4
I.3 La protection des réseaux industriels.....	5
I.3.1 l'objectif de la protection et la sécurité.....	5
I.3.2 Schéma synoptique d'un système de protection.....	5
I.3.3 Elimination des défauts.....	6
I.3.3.1 Fusible.....	6
I.3.3.2 Disjoncteur magnétothermique.....	6
I.3.4 Eliment constitutifs d'un système de protection.....	7
I.3.4.1 Réducteurs de mesure.....	7
I.3.4.1.1Transformateur de courant.....	7
I.3.4.1.2 Transformateur de tension.....	8
I.3.4.2 Relais de protection.....	8
I.3.4.2.2 Relais numériques.....	9
I.3.4.2.3 Relais thermique.....	10
I.3.5 Qualité principale d'un système de protection.....	10
I.3.5.1 rapidité.....	10
I.3.5.2 Sélectivité.....	10

I.3.5.3 Sensibilité.....	11
I.3.5.4 Fiabilité.....	11
I.4 Conclusion.....	11

Chapitre II

Généralité sur les incidents sur les réseaux industriels

II.1 Introduction.....	12
II.2 Définition d'un défaut.....	12
II.2.1 Origines des défauts.....	12
II.3 Les anomalies dans un réseau électrique.....	12
II.3.1 Les courts-circuits.....	12
II.3.1.1 Origines d'un défaut de courts- circuits.....	13
II.3.1.2 Caractéristiques.....	13
II.3.1.3 Les Conséquences des courts circuits.....	15
II.3.1.4 Les Cause des courts-circuits.....	15
II.3.2 Les surtensions.....	15
II. 3.2.1 Origines des surtensions.....	16
II. 3.2.2 Classification des surtensions.....	16
II.3.2.3 Les Conséquences des surtensions.....	16
II.3.2.4 Les Cause des surtensions.....	17
II.3.3 Les surcharge.....	17
II.3.3.1 les Origine de surcharge.....	17
II.3.3.2 Les conséquences de surcharge.....	17
II.3.3.3 Les causes de surcharge.....	17
II.3.4 Les déséquilibre.....	18

II.3.4.1 Les Conséquences de déséquilibre.....	18
II.3.4.2 Les causes de déséquilibre.....	18
II.4 Différents types deLa sélectivité.....	18
II.4.1 Sélectivité ampérométrique.....	18
II.4.2 Sélectivité chronométrique.....	19
II.4.3 Sélectivité logique.....	20
II.4.4 Sélectivité directionnelle.....	22
II.4.5 Sélectivité différentielle.....	22
II.5 Conclusion.....	22

Chapitre III

Bilan de puissance de l'installation

III.1 Introduction.....	23
III.2Schéma unifilaire de l'installation.....	24
III.3 Etude Bilan de puissance.....	25
III.4Détermination des puissances.....	25
III.4.1 Puissance installée.....	25
III.4.2 Puissance utilisée.....	25
III.5 Description des facteurs de correction.....	26
III.5.1 Le coefficient d'utilisation K_u	26
III.5.2 Le coefficient de simultanéité K_s	26
III.5.3 Le facteur de demande K_d	27
III.5.4 Le facteur d'extension K_e	27
III.6 Identification des différents circuits électriques de l'installation.....	27
III.6.1 Calcul de la puissance installée.....	28

III.6.2 Calcul de la puissance d'utilisation.....	30
III.6.2.1 Puissance utile d'une charge P_{ui}	30
III.6.2.2 Puissance utile dans une branche P_{uj}	30
III.7 Choix et dimensionnement du transformateur BT.....	32
III.7.1 Calcul du facteur de puissance de l'installation BT.....	32
III.7.2 Choix du transformateur BT.....	32
III.7.3 Calcul du rapport de transformation.....	33
III.7.4 Calcul du courant secondaire.....	33
III.7.5 Calcul du courant primaire.....	33
III.7.6 Détermination de tension de court-circuit U_{cc}	33
III.8 Conclusion.....	34

Chapitre IV

Dimensionnement des sections des câbles et des protections

IV.1 Introduction.....	35
IV.2 Détermination des sections des câbles.....	35
IV.2.1 Conditions générales.....	35
IV.2.2 Caractéristiques des câbles.....	36
IV.2.3 La section des câbles.....	36
IV.3 Détermination des courants influençant sur la section.....	37
IV.3.1 Calcul et choix des sections des câbles.....	38
IV.3.1.1 Section technique.....	38
IV.3.1.1.1 Calcul de la section selon l'échauffement S_j	39
IV.3.1.1.2 Calcul de la section selon la chute de tension S_z	41
IV.3.1.1.3 Vérification des sections calculées selon la surcharge due au court-circuit.....	43

IV.4 Méthode générale de calcul des courants de court-circuit.....	45
IV.4.1 Méthode conventionnelle.....	46
IV.4.2 Méthode des impédances.....	46
IV.5 Protection par disjoncteur.....	50
IV.5.1 Caractéristique d'un disjoncteur basse tension.....	50
IV.6 Dimensionnement des appareils de protection.....	51
IV.7 Conclusion.....	52
Conclusion générale.....	53

Introduction Générale

Introduction Générale

Les réseaux électriques industriels est le prolongement naturel des réseaux du distributeur auquel ils se raccordent, pour assurer l'alimentation en énergie électrique des sites industriels.

Le réseau électrique est composé de trois parties : la production, les lignes de transport haut tension et la distribution à moyenne et basse tension. Dans l'une ou l'autre de ces parties, chaque ouvrage peut être l'objet d'incidents.

La protection des réseaux électriques joue un rôle crucial dans la sécurité et la fiabilité des systèmes électriques complexes utilisés dans les environnements industriels. Elles sont conçues pour détecter et répondre efficacement aux anomalies électriques potentiellement dommageables, telles que les surcharges, les courts circuits et les défauts à la terre.

En intégrant des dispositifs comme des disjoncteurs, des relais de protection, ces protections garantissent la sécurité des équipements, la prévention des interruptions des productions et la protection des personnes travaillant à proximité.

Le but de notre projet est de savoir comment faire l'étude de la protection d'une installation électrique industrielle tout en présentant les étapes à suivre

Notre travail consiste à étudier la protection des réseaux électriques industriels il est organisé en quatre (04) chapitres :

- Le premier chapitre aborde les généralités des réseaux électriques industriels
- Le deuxième chapitre nous avons fait une généralité sur les incidents sur les réseaux industriels.
- Le troisième chapitre présente les bilans de puissance de l'installation,
- Le quatrième chapitre est consacré au dimensionnement des câbles de l'installation et des protections

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

Chapitre I
Généralité sur les réseaux électriques
industriels

I.1 Introduction

Les installations industrielles nécessitent un dimensionnement adéquat de chaque partie de l'installation (transformateurs, câbles, moteurs, organes de protection, disjoncteur, relais...), afin de garantir la continuité de la distribution de l'énergie électrique aux différents récepteurs.

Les protections des réseaux industriels sont un ensemble de dispositif et de stratégies conçu pour sécuriser les réseaux électriques dans un environnement industriel. Est essentielle pour assure la sécurité des équipements et la continuité de service. Elle impliqué la mise en place de dispositif et de stratégies pour prévenir et réagir aux incident tels que les courts circuits, les surcharge, ou les défauts d'isolement. Dans ce chapitre nous allons exposer des généralités sur les réseaux électriques industriels

I.2 Architecture des réseaux de distributions électriques

La nouvelle norme en vigueur en France UTE C 18-510 définit les niveaux de tension alternative comme suit [1] :

- HTB → pour une tension composée supérieure à 50 KV
- HTA → pour une tension composée comprise entre 1 kV et 50 KV
- BTB → pour une tension composée comprise entre 500 V et 1 KV
- BTA→ pour une tension composée comprise entre 50 V et 500 V
- TBT→ pour une tension composée inférieure ou égale à 50 V

I.2.1 Structure générale d'un réseau prive de distribution

L'architecture d'un réseau de distribution électrique industriel est plus ou moins complexe suivant le niveau de tension, la puissance demandée et la sûreté d'alimentation requise [2].

Dans le cas général avec une alimentation en HTB, un réseau industriel de distribution comporte (voir figure I-1) :

- un poste de livraison HTB (60kV ou 220kV) alimenté par une ou plusieurs sources, il est composé d'un ou plusieurs jeux de barres et de disjoncteurs de protection
- Une source de production interne
- Un ou plusieurs transformateurs HTB / HTA (60kV/30kV)

- un tableau principal HTA (30kV) composé d'un ou plusieurs jeux de barres
- un réseau de distribution interne en HTA (30kV) alimentant des tableaux secondaires ou des postes HTA / BTA
- des récepteurs HTA
- des transformateurs HTA / BTA (30kV/380V)
- des tableaux et des réseaux basse tension
- des récepteurs basses tensions.

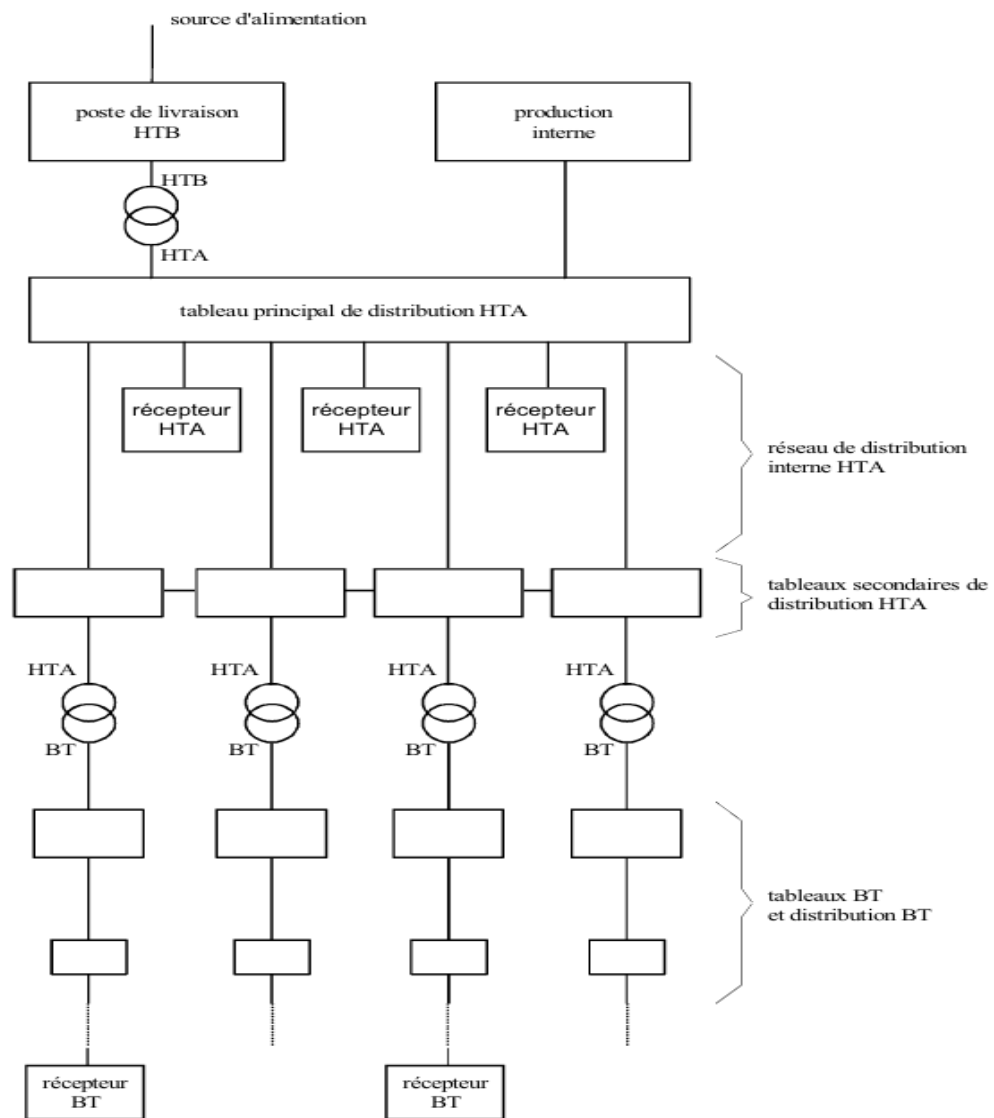


Figure I-1 : Structure générale d'un réseau privé de distribution

I.2.2 Structure générale d'un réseau industriel

▪ Simple dérivation

Ce type de réseaux est utilisé en général pour la distribution publique HTA en lignes aériennes ou souterraine, il comporte une seule source d'alimentation possible par le distributeur [3].

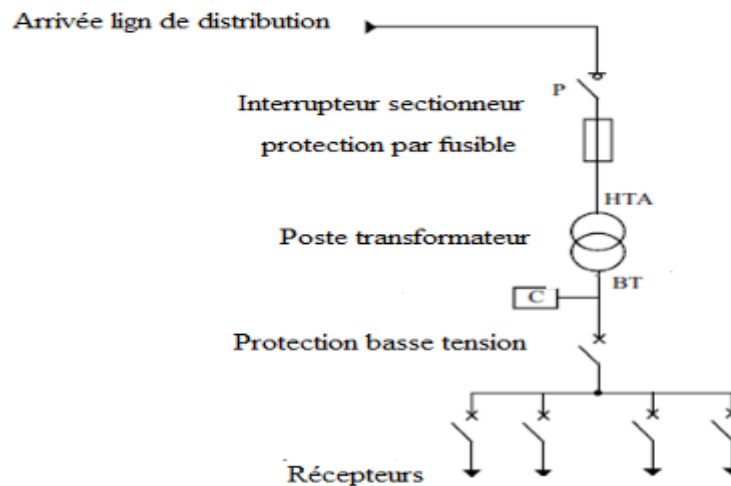


Figure I-2 : Schéma unifilaire d'un réseau de distribution simple dérivation

▪ Double dérivation

Lorsqu'un réseau public HTA comporte deux câbles souterrains indépendants connectés en parallèle, le poste peut être alimenté par l'une ou l'autre de ces deux branches. Lorsque la tension disparaît sur les câbles alimentant la station, un basculement se produit d'une source d'alimentation à une autre. Elle peut être effectuée automatiquement ou manuellement [3].

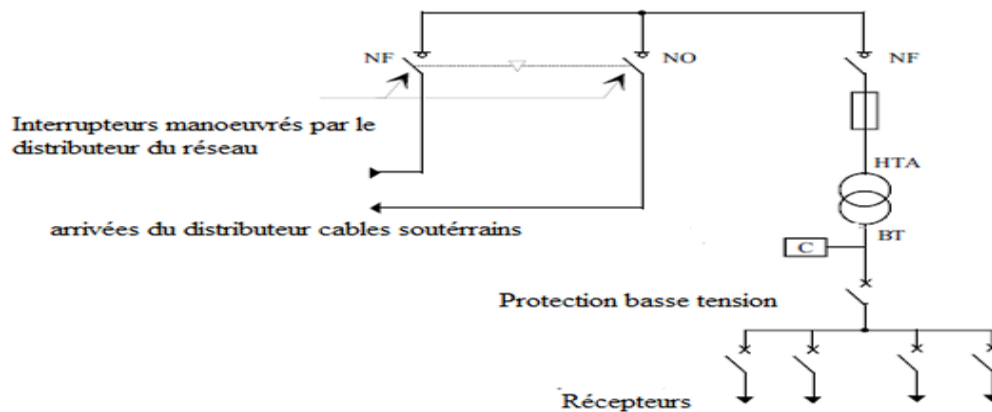


Figure I-3 : Schéma unifilaire d'un réseau de distribution double dérivation

I.3 La protection des réseaux industriels

La protection des réseaux électriques désigne l'ensemble des équipements de surveillance et de protection assurant la stabilité de ces réseaux. Cette protection est nécessaire pour éviter la destruction partielle ou totale d'équipements coûteux, préserver la sécurité des personnes et assurer une alimentation électrique continue. [4]

I.3.1 l'objectif de la protection et la sécurité

Lorsqu'un défaut ou une perturbation se produit sur un réseau électrique, il est indispensable de mettre hors tension la partie en défaut à l'aide d'un système de protection. Ce dernier aura pour rôle de limiter les dégâts qui peuvent être causés par le défaut.

I.3.2 Schéma synoptique d'un système de protection

Le système de protection est composé de trois parties fondamentales :

- ❖ Des capteurs ou réducteurs de mesure qui abaissent les valeurs à surveiller (courant, tension...) à des niveaux utilisables par les protections ;
- ❖ Des relais de protection
- ❖ Un appareillage de coupure (un ou plusieurs disjoncteurs).

Un exemple d'un système de protection pour une ligne HT est montré sur la (FigureI-4) L'autre extrémité de la ligne possède un système de protection similaire. Dans le cas d'un défaut, les deux relais ont besoin de fonctionner, donc les deux disjoncteurs s'ouvrent et la ligne est mise hors service [5]

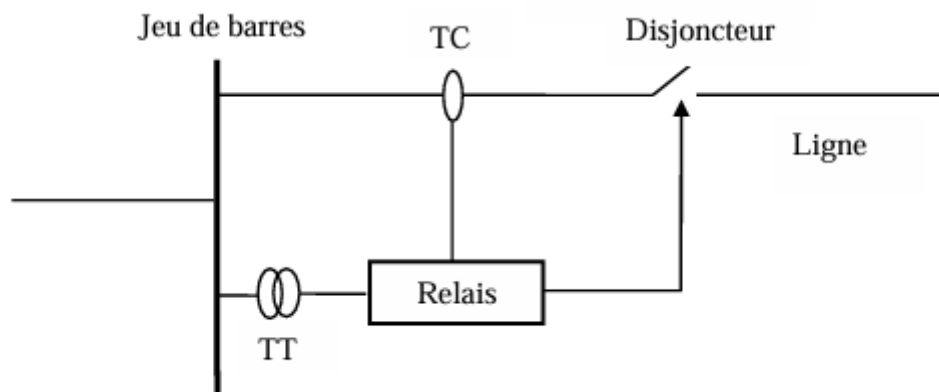


Figure I-4 : Eléments constitutifs d'un système de protection

I.3.3 Elimination des défauts

Il existe plusieurs moyennes pour éliminer le défaut de court-circuit

I.3.3.1 Fusible

Les fusibles (Figure I.5) assurent la protection des équipements de distribution contre les effets dynamiques et thermiques provoqués par des courts-circuits supérieurs au courant de coupure minimum du fusible. De par leur faible coût d'acquisition et leur manque d'entretien, les fusibles constituent une excellente solution pour protéger différents types d'équipements de distribution électrique [6].

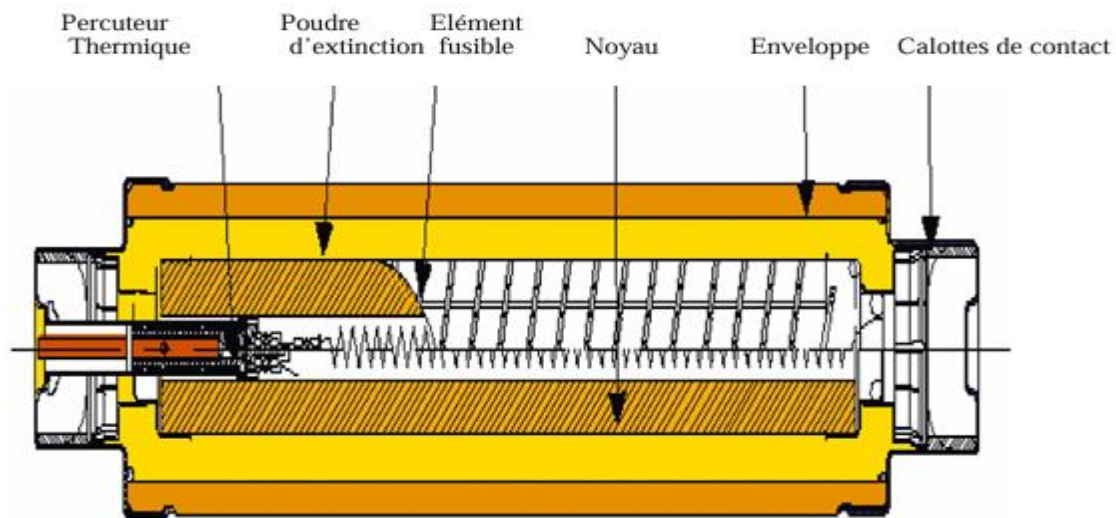


Figure I-5 : Coupe schématique d'un fusible [6]

I.3.3.2 Disjoncteur magnétothermique

Il peut assurer :

- La protection contre les surcharges par déclenchement thermique, ces déclenchements sont caractérisés par leurs intensités nominales (I_a) et leurs courants de réglage thermique I_{th} sa courbe de déclenchement est donnée dans la figure I.6 avec $I_{th} < I_a$
- La protection contre les courants de court-circuit a déclencheurs magnétiques qui sont par leurs courants de réglage magnétique (I_m) et leurs pouvoir de coupures (PDC) avec : $PDC \geq I_{cc}$

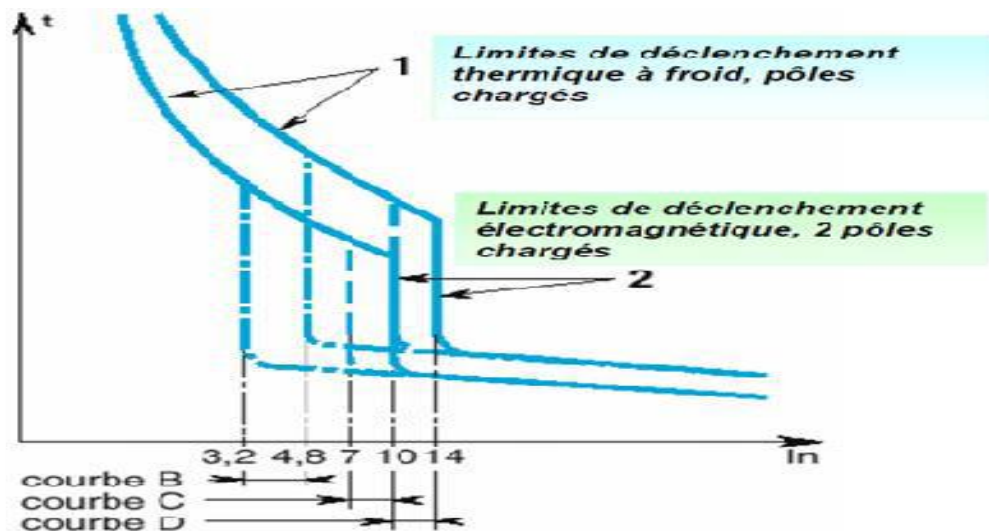


Figure I-6 : Courbe de déclenchement d'un disjoncteur.

Différents types de disjoncteur

- Disjoncteur à soufflage magnétique
- Disjoncteur sous vide
- Disjoncteur à air comprimé
- Disjoncteur à l'huile

I.3.4 Eliment constitutifs d'un système de protection

I.3.4.1 Réducteurs de mesure

Pour des raisons d'encombrement et de coût, les relais de protection sont conçus pour des valeurs réduites de courant et de tension. De plus, afin d'assurer la sécurité des opérateurs, il est nécessaire d'insérer une isolation électrique entre le réseau haute tension surveillé et le circuit de mesure basse tension qui est mis à la terre en un point. A cet effet, des transformateurs de courant (TC) et des transformateurs de tension (TV) sont utilisés. Pour assurer une bonne protection contre les défauts, les caractéristiques de base de la boîte de vitesses La clé de la mesure est sa précision [7].

I.3.4.1.1 Transformateur de courant

Les transformateurs de courant utilisés permettent de réduire le niveau des courant de milliers d'Ampères vers des sorties standards de 5 A ou 1 A. Durant le défaut, le niveau du courant du transformateur augmente qui rend leur choix critique pour un fonctionnement correct du relais.

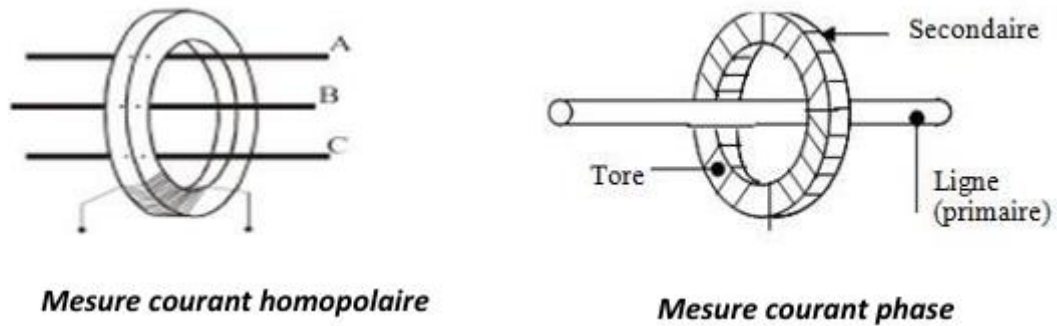


Figure I-7 : Transformateur de courant type tore

Les TC ont plusieurs rôles :

- Assurer l'isolement galvanique entre la ligne et les circuits de mesure et de protection.
- Protéger les circuits de mesure et de protection de toute détérioration lorsqu'un défaut survient sur la ligne.

I.6.4.1.2 Transformateur de tension

Le réducteur de tension TT est un véritable transformateur, dont le primaire reçoit la tension du réseau, et le secondaire restitue une tension (Figure I-8). Puisque les niveaux de tension dans le réseau sont de l'ordre de kilovolts, les transformateurs de tension sont utilisés pour abaisser les tensions à des niveaux acceptables par les relais.

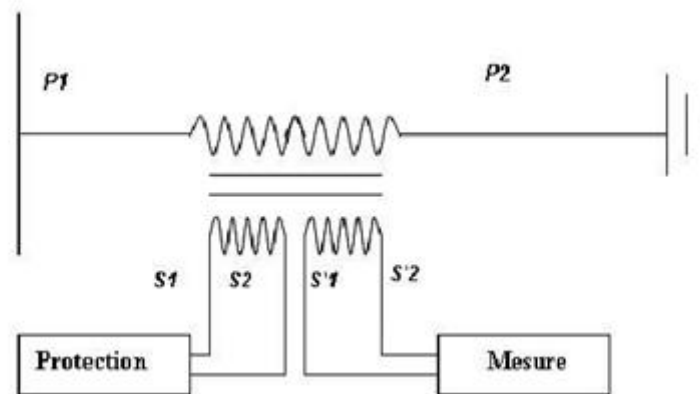


Figure I-8 : Transformateur de tension à double secondaire

I.3.4.2 Relais de protection

Les relais de protection sont des appareils qui reçoivent un ou plusieurs informations à caractère analogique ou numérique (courant, tension, puissance,... etc.) et le transmettent à un ordre de fermeture ou ouverture d'un circuit de commande lorsque ces informations reçues

atteignent des valeurs supérieures ou inférieures à certaines limites qui sont fixées d'avance [7]. Le rôle des relais de protection :

- Consiste à détecter tout phénomène anormal pouvant se produire sur un réseau électrique tel que les défauts de court-circuit.

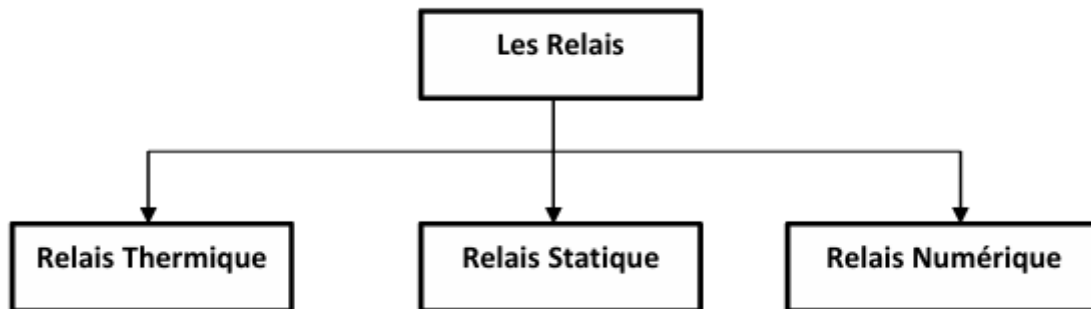


Figure I-9 : relais de protection

I.3.4.2.2 Relais numériques

Les protections numériques, sont basées sur le principe de la transformation de variables électriques du réseau, fournies par des transformateurs de mesure, en signaux numériques de faible voltage.

L'utilisation de techniques numériques de traitement du signal permet de décomposer le signal en vecteurs, ce qui autorise un traitement de données via des algorithmes de protection en fonction de la protection désirée. En outre, ils sont équipés d'un écran d'affichage à cristaux liquides sur la face avant pour le fonctionnement local.



Figure I-10 : Relais numérique

I.3.4.2.3 Relais thermique

Les relais thermiques sont des dispositifs de protection dont les contacts s'ouvrent ou se ferment lorsque la chaleur créée par le passage d'un courant dépasse une limite prédéterminée. Leur fonctionnement est temporisé car la température ne peut pas suivre instantanément les variations du courant [8].



Figure I-11 : Relais thermique [8]

I.3.5 Qualité principale d'un système de protection

I.3.5.1 rapidité

Les défauts sont donc des incidents qu'il faut éliminer le plus vite possible, c'est le rôle des protections dont la rapidité de fonctionnement est des performances prioritaires. Le temps d'élimination des courts-circuits comprend deux composantes principales :

- Le temps de fonctionnement des protections (quelques dizaines de millisecondes).
- Le temps d'ouverture des disjoncteurs, avec les disjoncteurs modernes (SF6 ou à vide), ces derniers sont compris entre 1 et 3 périodes.

I.3.5.2 Sélectivité

Les protections constituent entre elles un ensemble cohérent dépendant de la structure du réseau et de son régime de neutre. Elles doivent donc être envisagées sous l'angle d'un système reposant sur le principe de sélectivité. La sélectivité a pour but d'assurer d'une part la continuité de service d'alimentation en énergie électrique et d'autre part la fonction secours entre les protections. [9]

I.3.5.3 Sensibilité

La protection doit fonctionner dans un domaine très étendu de courants de courts-circuits entre : Le courant maximal qui est fixé par le dimensionnement des installations et est donc parfaitement connu, Un courant minimal dont la valeur est très difficile à apprécier et qui correspond à un court-circuit se produisant dans des conditions souvent exceptionnelles.

La notion de sensibilité d'une protection est fréquemment utilisée en référence au courant de court-circuit le plus faible pour lequel la protection est capable de fonctionner.

I.3.5.4 Fiabilité

La fiabilité d'une protection, qui est la probabilité de ne pas avoir de fonctionnement incorrect c-à-d évité les déclenchements intempestifs, est une combinaison entre sûreté et sécurité. La sûreté est la probabilité de ne pas avoir de défaut de fonctionnement. Tandis que la sécurité est la probabilité de ne pas avoir de fonctionnement intempestif [10]

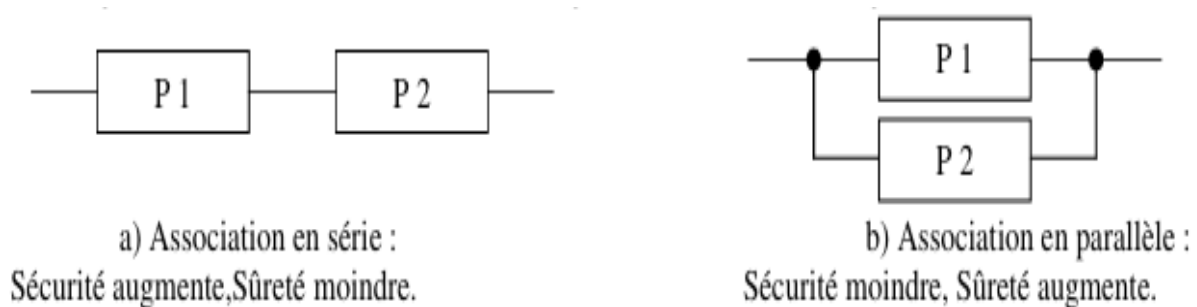


Figure I-12 : Association de protection

I.4 Conclusion

Dans ce premier chapitre nous avons présenté les généralités sur les réseaux électriques industriels, en les définissant et en donnant leurs architectures générales, ensuite nous avons fait des rappels sur les différentes protections.

Chapitre II
Généralité sur les incidents sur les
réseaux industriels

II.1 Introduction

L'étude des transits des courants est un domaine important de l'ingénieur électrique. Ils facilitent les compréhensions du comportement des systèmes électrique, leur permettent d'optimiser leur performances et assurent leur sécurité.

Pour une introduction sur les anomalies des réseaux industriels, nous pouvons examiner les différents formes de défauts électriques tels que les courts circuits, les surcharge et les surtensions. Ensuite, nous pouvons expliquer les différentes sélectivités dans la protection des réseaux électriques, ainsi que les méthodes de calcul des courts circuits, comme les méthodes des impédances ou la méthode des composant symétriques, sont essentiels pour dimensionner les équipements de protection.

II.2 Définition d'un défaut

Un défaut se manifeste par un phénomène qui ne respecte pas les normes de fonctionnement du réseau et qui peut, dans certains cas, entraîner un effondrement électrique de celui-ci et mettre en péril son environnement [11].

II.2.1 Origines des défauts

Les problèmes rencontrés dans les réseaux de transport et de distribution d'énergie peuvent être causés par des interruptions de service, des pannes électriques. Les origines peuvent être à la fois naturelles (foudre) et involontaires. En règle générale, il n'y a pas de raison qu'ils observent une symétrie spécifique. On les analyse en utilisant la méthode des composantes symétriques [12].

II.3 Anomalies dans un réseau électrique

II.3.1 Court-circuit

Un court-circuit est un phénomène transitoire qui se produit lorsque l'isolation entre deux conducteurs de tensions différentes ou entre un conducteur sous tension et la terre est rompue. Ils génèrent des courants très importants dans les composants qui composent le réseau.

Si les courts-circuits ne sont pas rapidement éliminés par les systèmes de protection, ils peuvent causer des dommages économiques considérables [13].

II.3.1.1 Origines d'un défaut de courts- circuits

Selon la nature du réseau électrique, on cite les origines des défauts de court-circuit comme suit [14] :

a) Origine externe

- **Origine mécanique** : C'est le cas de la rupture d'un support, d'un conducteur ou d'un isolateur sur une ligne aérienne, amorçage dus au contact de branches, de brindilles ou même d'oiseaux avec les conducteurs.
- **Origine atmosphérique** : C'est le cas de la foudre qui frappe les conducteurs d'une ligne, d'un poste ou tombe dans leur voisinage immédiat, on peut aussi inclure les amorçages qui résultent des dépôts conducteurs accumulés sur les isolateurs.

- #### b) Origine interne
- Ils caractérisent les différentes avaries liées aux matériels du réseau telles que la dégradation de l'isolement liée à la chaleur, à l'humidité ou à une ambiance corrosive, ainsi que les fausses manœuvres dans le réseau.

II.3.1.2 Caractéristiques

Les courts-circuits sont caractérisés par leur forme, leur durée et l'intensité du courant. Les ingénieurs en réseaux électriques utilisent souvent le terme « défaut »

✚ Type

Un court-circuit dans les réseaux électriques peut être :

- **Monophasé** : entre une phase et la terre ou une masse.

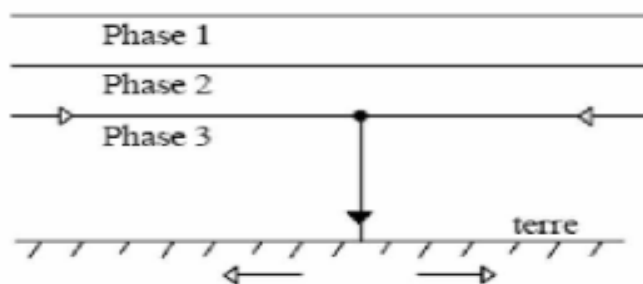


Figure II-1 : Schéma d'un défaut monophasé

- **biphasé isolé** : Il correspond à un défaut entre deux phases sous tension composées et le courant résultant est plus faible que le cas du défaut triphasé sauf lorsqu'il se situe à proximité d'un générateur

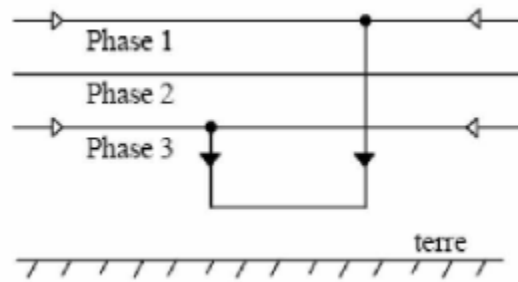


Figure II-2 : Schéma d'un défaut biphasé isolé

- **Court-circuit biphasé misse à la terre :** Il correspond à un défaut entre deux phases et la terre

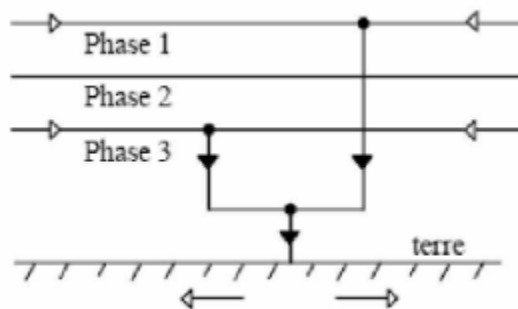


Figure II-3 : Schéma d'un défaut biphasé misse à la terre

- **Triphasés :** entre trois phases de la ligne ou les trois phases et la terre.

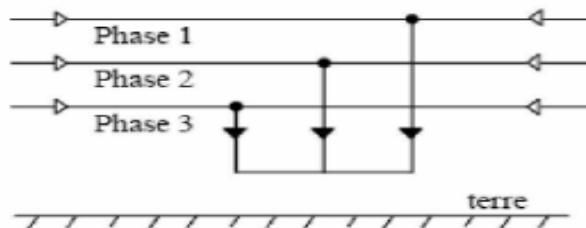


Figure II-4 : Schéma d'un défaut triphasé

Les courts-circuits peuvent être [15] :

Monophasés : 80 % des cas,

Biphasés : 15 % des cas. Ces défauts dégénèrent souvent en défauts triphasés,

Triphasés : 5 % seulement dès l'origine.

✚ Nature

Court- circuits fugitifs : Les courts-circuits fugitifs exigent une coupure très courte du réseau d'alimentation (environ quelques dixièmes de seconde).

Courts-circuits permanents : Les courts-circuits entraînent un déclenchement définitif qui demande l'intervention du personnel d'exploitation afin de repérer le problème et de rétablir le fonctionnement de la partie saine.

Courts-circuits auto-extincteurs : Ceux-ci sont ceux qui disparaissent spontanément en un laps de temps très court sans causer de perturbations dans la distribution d'électricité.

Court -circuit semi permanents : La disparition de ces courts-circuits nécessite une ou plusieurs interruptions relativement longues du réseau d'alimentation (environ quelques dizaines de secondes) sans avoir besoin de l'intervention du personnel d'exploitation [16].

II.3.1.3 Conséquences des courts circuits

Parmi les effets des courts-circuits, on peut citer [17] :

- Apparition d'une surintensité.
- Apparition d'efforts électrodynamiques avec déformation des jeux de barres et arrachement des câbles.
- Chute de tension qui provoque le décrochage des machines.
- Déséquilibre du réseau.
- Pertes de synchronisme.
- Influence sur les lignes de télécommunication.

II.3.1.4 Causes des courts-circuits

- Contact entre conducteurs.
- Claquage des isolants solides.
- L'amorçage par arc dans l'air ou un liquide isolant.

II.3.2 surtensions

Les éléments qui composent le réseau, notamment les transformateurs de puissance, sont soumis à des limitations de tension, qui peuvent être permanentes en raison de la tension de fonctionnement d'une part et de courte durée en raison des surtensions provenant de diverses sources d'autre part.

Pouvons appeler une surtension toute augmentation de tension dans un transformateur au-dessus de la tension de fonctionnement maximale, mais d'une manière générale, la surtension fait référence à un phénomène à court terme qui se produit sous la forme d'impulsions courtes, individuelles, périodiques ou non périodiques[18].

II.3.2.1 Origines des surtensions

Quatre types de surtensions existent [19]:

- d'origine atmosphérique.
- par décharge électrostatique.
- de manœuvre.
- à fréquence industrielle.

II.3.2.2 Classification des surtensions

Il existe trois (03) types de surtensions :

- a) Les surtensions temporaires :** Elles ont la même fréquence que celles du réseau, elles ont plusieurs origines comme :

Un défaut d'isolement, la surcompensation de l'énergie réactive, les défauts de régulateurs d'un alternateur.

- b) Les surtensions de manœuvre :** Elles sont provoquées par des modifications rapides de la structure du réseau (ouverture d'appareils de protection.....) on distingue :

- Les surtensions de commutation en charge normale.
- Les surtensions provoquées par la manœuvre de circuit capacitif (ligne ou câble à vide)

- c) Les surtensions atmosphériques :** Les surtensions atmosphériques sont causées par des phénomènes naturels comme la foudre qui apparaît en cas d'orage.

II.3.2.3 Conséquences des surtensions

Une surtension élevée peut provoquer un claquage des isolants de l'installation, ce qui engendre des courts-circuits.

II.3.2.4 Cause des surtensions

- Déclenchement ou extinction des courants inductifs ou capacitifs.
- Arrachage d'un arc électrique.
- Commutation de l'électronique de puissance.
- Apparition ou disparition d'un défaut.
- Pertes de charge.

II.3.3 surcharge

La surcharge se caractérise par une augmentation de la valeur de puissance requise et une augmentation du courant requis sur la ligne d'alimentation au-dessus de la valeur nominale [20].

II.3.3.1 Origine de surcharge

La surcharge d'un appareil est caractérisée par un courant supérieur au courant admissible, les origines de surcharges sont :

- Les courts-circuits.
- Les reports de charge.
- Les pointes de consommation.
- L'enclenchement des grandes charges.

Les surcharges provoquent des chutes de tension importantes dans le réseau et accélère le vieillissement des équipements [13]

II.3.3.2 Conséquences de surcharge [21]

- Surcharges violentes mais brèves.
- Surcharges faibles mais durables.

II.3.3.3 Causes de surcharge [21]

- Court-circuit.
- Couplages difficiles (fermeture de longues boucles d'interconnexion).

- Pointes de consommation ou de transit d'énergie.
- Report de charge suite à la coupure d'une liaison en parallèle.

II.3.4 Déséquilibre

On appelle déséquilibre sur une ligne ou dans une installation triphasée la différence entre les trois courants des phases. Généralement, il est limité au réseau BT à cause des clients alimentés en deux fils. Le taux de déséquilibre ne doit pas dépasser 15% [21]

II.3.4.1 Conséquences de déséquilibre

Les conséquences de déséquilibre sont :

- échauffement des conducteurs.
- Vibration des moteurs

II.3.4.2 Causes de déséquilibre

Le déséquilibre est causé par :

- Le courant de court-circuit.
- La rupture de phase.
- Le mauvais fonctionnement du disjoncteur.

II.4 Différents types de La sélectivité

Selon la sélectivité, un ensemble de protections a la capacité de distinguer les conditions nécessaires pour qu'une protection puisse fonctionner de celles où elle ne doit pas fonctionner. Les différents moyens qui peuvent être mis en œuvre pour assurer une bonne sélectivité dans la protection d'un réseau électrique, les plus importants sont les trois types suivants [22] [23] [24] [25]:

- Sélectivité ampérométrique par les courants.
- Sélectivité chronométrique par le temps.
- Sélectivité par échange d'informations, dite sélectivité logique.

II.4.1 Sélectivité ampère métrique

Selon cette théorie, le courant de défaut dans un réseau est d'autant plus faible que le défaut est plus éloigné de la source.

Chaque section a une protection ampère métrique. Son seuil est fixé à une valeur inférieure à la valeur minimale de court-circuit provoquée par un défaut sur la section surveillée et supérieure à la valeur maximale de courant provoqué par un défaut situé en aval (au-delà de la zone surveillée).

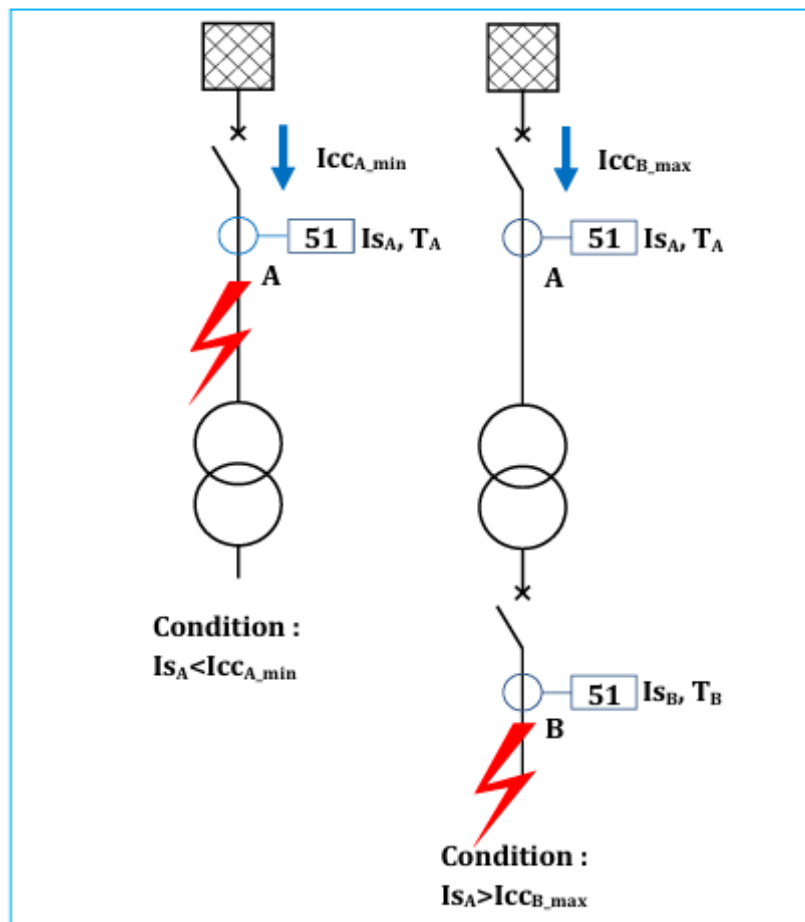


Figure II-5 : Fonctionnement d'une sélectivité ampère métrique

II.4.2 Sélectivité chronométrique

Sélectivité dans laquelle les protections sollicitées sont organisées pour fonctionner de manière décalée dans le temps. La protection la plus proche de la source a la temporisation la plus longue.

Ainsi, sur le schéma (Figure II-6), le court-circuit représenté est vu par toutes les protections (en A, B, C, et D). La protection temporisée D ferme ses contacts plus rapidement que celle installée en C, elle-même plus rapide que celle installée en B.

Après l'ouverture du disjoncteur D et la disparition du courant de court-circuit, les protections A, B, C qui ne sont plus sollicitées, reviennent à leur position de veille. La différence des temps de fonctionnement T entre deux protections successives est l'intervalle de sélectivité.

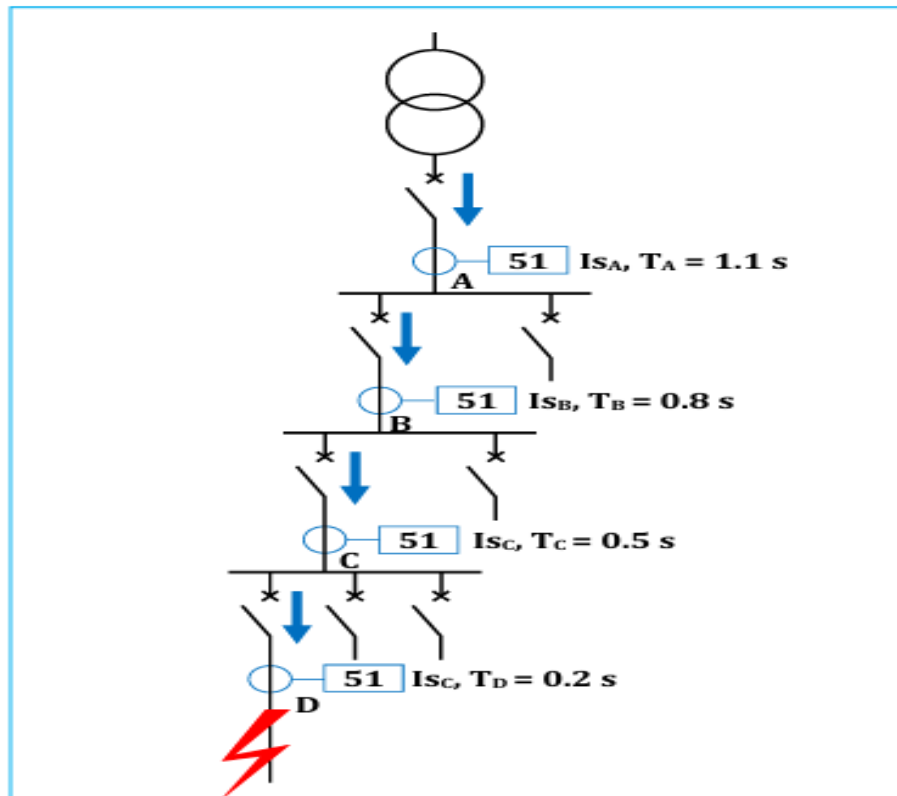


Figure II-6 : Principe de la sélectivité chronométrique.

II.4.3 Sélectivité logique

Ce système a été développé pour remédier aux inconvénients de la sélectivité chronométrique. Ce principe est utilisé lorsque l'on souhaite obtenir un temps court d'élimination de défaut (Figure II-7).

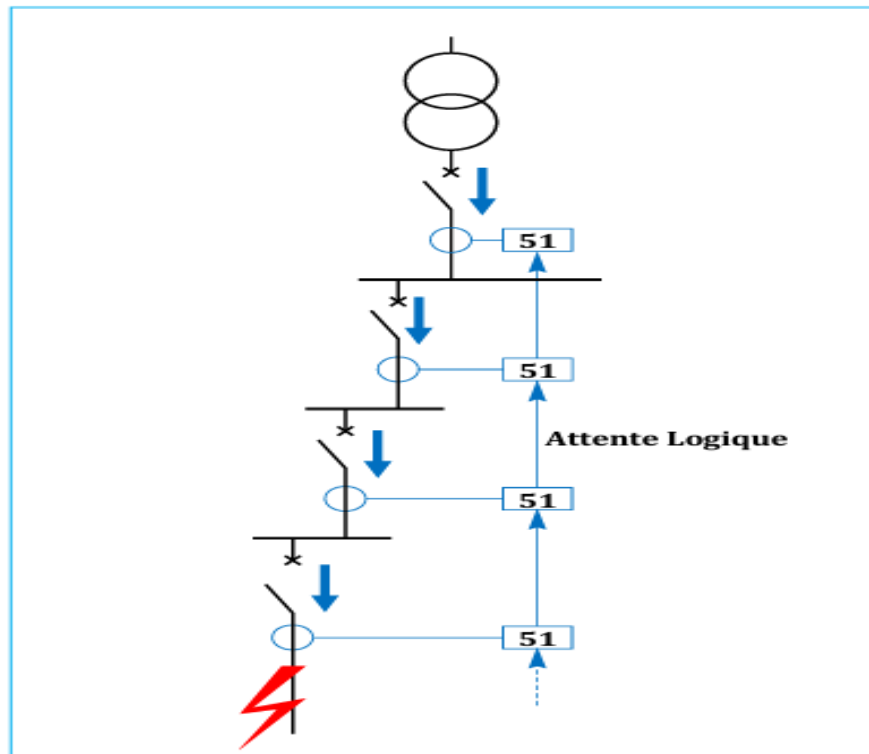


Figure II-7 : Principe de la sélectivité logique

Cette méthode est utilisée dans les cas où le nombre de relais en cascade est trop élevé pour une simple sélectivité par le temps. Dans ce cas, des relais max de I avec blocage logique sont utilisés.

La suppression des intervalles de sélectivité est possible grâce à l'échange d'informations logiques entre les différentes protections.

Dans un réseau avec une antenne, les protections en amont du point de défaut sont sollicitées tandis que les protections en aval ne le sont pas. Cela permet de trouver facilement le point de défaut et le disjoncteur à commander.

Chaque relais sollicité par un défaut envoie :

- un ordre d'attente logique à l'étage amont (ordre d'augmentation de la temporisation propre au relais) d'attente logique de l'étage aval. Un déclenchement temporisé est prévu en secours.
- un ordre de déclenchement au disjoncteur associé sauf s'il a lui-même reçu un ordre.

II.4.4 Sélectivité directionnelle

Ce genre de protection opère en utilisant le courant, la tension et la direction de l'énergie. Il intervient lorsque le courant ou la puissance dépasse un seuil en même temps et que l'énergie se déplace dans une direction inhabituelle. Il peut être utilisé dans les situations suivantes : arrivées ou sources simultanées, réseau en boucle fermée, protection de la terre dans certains cas.

II.4.5 Sélectivité différentielle

Ces protections autorisent des déclenchements rapides sans nécessité de coordination avec d'autres protections. Elles comparent les courants aux extrémités du tronçon de réseau surveillé. Toute différence d'amplitude ou de phase entre ces courants signale la présence d'un défaut. Il s'agit donc d'une protection auto-sélective car elle ne réagit qu'aux défauts internes à la zone couverte et est insensible à tout défaut externe.

- **Avantages**

- Protection sensible à des valeurs de courants de défaut inférieures au courant nominal de l'élément protégé.
- Protection de zone qui peut déclencher instantanément.

- **Inconvénients**

- Le coût de l'installation est important.
- La mise en œuvre du dispositif est délicate.
- Il faut prévoir une fonction de secours à maximum de courant.

II.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté les anomalies dans les réseaux industriels qui peuvent être dangereuses et coûteuses. Pour lutter contre cela, la sélectivité des dispositifs de protection est cruciale pour isoler rapidement les zones affectées et minimiser la perturbation.

Chapitre III

Bilan de puissance de l'installation

III.1 Introduction

Dans ce chapitre nous présentons un schéma unifilaire de l'installation, c'est la première étape essentielle d'une étude de conception d'un réseau électrique.

Tout d'abord, nous avons calculé le bilan de puissance, qui est une étape importante qui permet d'étudier une installation et concevoir le transformateur, ensuite nous avons calculé la puissance installée et la puissance utilisée pour choisir et dimensionner le transformateur adéquat,

Enfin, nous allons déterminer le facteur de puissance globale, La détermination de ce facteur de puissance nous guidera pour entamer son amélioration en compensant l'énergie réactive par des batteries de condensateurs, nous avons aussi calculé le courant secondaire et le primaire à la fin nous avons déterminé la tension de court-circuit U_{cc}

III.2 Schéma unifilaire de l'installation

C'est une représentation schématique d'une installation électrique fixe, qui ne tient pas compte de la position du matériel électrique mais qui donne, grâce aux symboles, la composition de chaque circuit élémentaire et l'interconnexion des circuits élémentaires entre eux pour former l'installation électrique [26].

Le schéma unifilaire de l'installation de notre projet est représenté dans la figure ci-dessous :

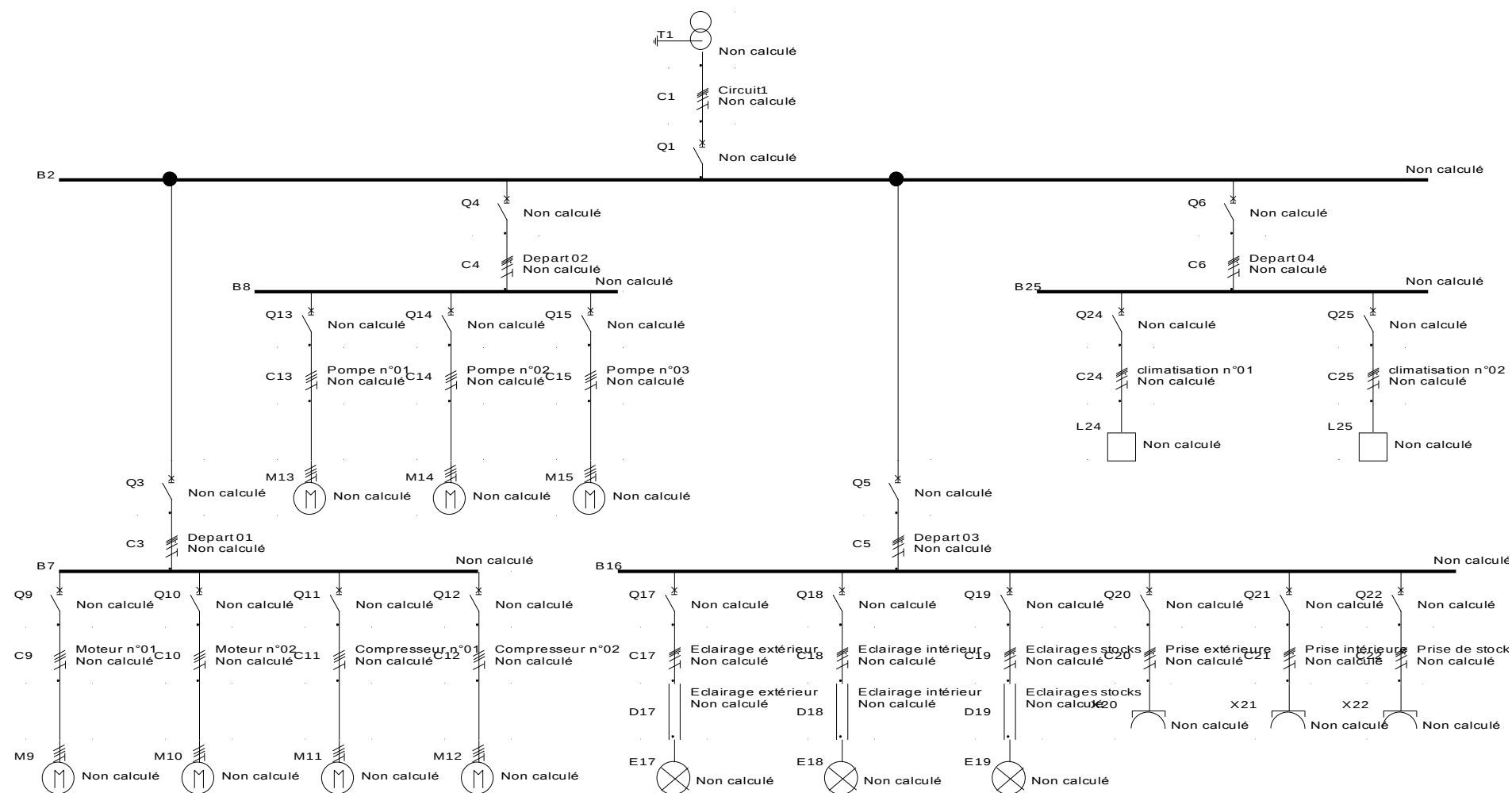


Figure III.1 : Schéma unifiler d'installation.

III.3 Etude Bilan de puissance

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

Des informations concernant la structure tarifaire sont aussi nécessaires pour faire le meilleur choix du raccordement de l'installation au réseau au niveau de la moyenne tension ou de la basse tension [27].

III.4 Détermination des puissances

La puissance d'une installation n'est pas la somme arithmétique de celle des récepteurs. Sa détermination nécessite de connaître la puissance et la localisation des récepteurs pour accéder à la puissance d'utilisation et à la détermination de la puissance du transformateur nécessaire [28].

III.4.1 Puissance installée

La puissance active installée, dans une entreprise représente la somme des puissances actives nominales de tous les récepteurs. Cette puissance servira ensuite, au calcul des puissances réellement consommées et ce, en utilisant des facteurs d'utilisation et de simultanéité correspondant à chaque niveau de l'installation et dont les définitions sont données ci-après [29].

III.4.2 Puissance utilisée

Elle représente la puissance réellement demandée au point source par les divers circuits d'une installation électrique. Elle est plus faible que la puissance installée vu que les récepteurs n'absorbent pas tous simultanément leurs puissances nominales.

Son estimation permet d'évaluer la puissance réellement utilisée. Néanmoins sa détermination nécessite la connaissance des trois facteurs suivants : d'utilisation (K_u), de simultanéité (K_s) et d'extension (K_e) [30]

III.5 Description des facteurs de correction

III.5.1 Le coefficient d'utilisation K_u

Le régime de fonctionnement normal d'un récepteur peut être tel que sa puissance utilisée soit inférieure à sa puissance nominale installée, d'où la notion de facteur d'utilisation [31].

Le facteur d'utilisation s'applique individuellement à chaque récepteur. Ceci se vérifie pour des équipements comportant des moteurs susceptibles de fonctionner en dessous de leur pleine charge.

Dans 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 [31].

Tableaux III.1 : Valeurs du facteur d'utilisation selon l'utilisation

Utilisation	Facteur d'utilisation
Eclairage	1
Chauffage et conditionnement d'air	1
Prises de courant	0.6 si $n < 6$ 0.1 + (0.9/n) si $n > 6$
Moteurs	0.75

III.5.2 Le coefficient de simultanéité K_s

Les récepteurs d'une installation ne fonctionnent pas simultanément. C'est pourquoi il est permis d'appliquer aux différents ensembles de récepteurs (ou de circuit) des facteurs de simultanéité. La détermination des facteurs de simultanéité nécessite la connaissance détaillée de l'installation considérée et l'expérience des conditions d'exploitation, notamment pour les moteurs et les prises de courant. On ne peut donc pas donner des valeurs précises applicables à tous les cas.

Les normes NF C 14-100, NF C 63-410 et le guide UTEC 15-105 donnent cependant des indications sur ce facteur selon l'utilisation (Tableaux III.1) et selon le nombre de récepteurs (Tableaux III.2) et [32].

Tableaux III.2 : Valeurs du facteur de simultanéité en fonction du nombre des récepteurs

Nombre de récepteurs	Facteur de simultanéité K_s
1 à 3	0.9
4 à 5	0.8
5 à 9	0.7
10 et plus	0.6

III.5.3 Le facteur de demande K_d

Vu que les informations exactes sur les types de récepteurs installés dans les différents blocs ne sont pas disponibles donc les K_u et K_s ne peuvent pas être donnés, on utilise le coefficient de demande par bloc pour ne pas sous-estimer la puissance souscrite.

III.5.4 Le facteur d'extension K_e

La valeur du facteur K_e doit être estimée suivant conditions prévisibles d'évolution de l'installation ; il est au moins égale à 1. A défaut de précision, la valeur 1,2 est souvent utilisée pour une installation industrielle [33].

III.6 Identification des différents circuits électriques de l'installation

Le tableau suivant représente l'ensemble de toutes les charges de l'installation, ainsi que leurs puissances nominales et les longueurs des câbles par rapport à leurs jeux de barres associés.

Tableaux III.3 : Identification des différents circuits électriques de l'installation

Récepteurs	Quantité	P _n [W]	Longueur [m]
Alimentation force motrice			
Départ n°01			
Moteur n°01	1	90000	40
Moteur n°02	1	90000	40
Compresseur n°01	1	39000	30
Compresseur n°02	1	44000	30
Station de pompage			
Départ n°02			
Pompe n°01	1	35000	32
Pompe n°02	1	20000	31
Pompe n°03	1	40000	35
Eclairages et prises de courant			
Départ n°03			
Eclairage extérieur	16	3500	130
Eclairage intérieur	23	3550	110
Eclairages stocks	12	2800	25
Prise extérieure	7	3200	60
Prise intérieure	8	3200	70
Prise de stock	5	3250	15
Système de climatisation			
Départ n°04			
climatisation n°01	1	5100	10
climatisation n°02	1	5100	10

III.6.1 Calcul de la puissance installée

La puissance installée est beaucoup plus élevée que celle qui est réellement consommée car on suppose que tous les récepteurs fonctionnent simultanément et à leur puissance nominale.

$$P_a = P_n / \eta \quad (\text{III.1})$$

$$Q_n = P_a * \tan\varphi \quad (\text{III.2})$$

$$I_n = \frac{P_n}{\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi} \quad (\text{III.3})$$

$$S_n = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (\text{III.4})$$

Le tableau suivant illustre les calculs effectués afin de savoir quel est la puissance installée de notre installation :

Tableaux III.4 : Résultats de la puissance installée

récepteurs	Cosφ	P _n (W)	U _n (V)	I _n (A)	Tanφ	η	P _a [W]	Q _n (VAR)	S _n (VA)
Alimentation force motrice									
Départ n°01									
moteur n°01	0,8	90000	400	162,37976	0,75	0,8	112500	84375	140625
moteur n°02	0,8	90000	400	162,37976	0,75	0,8	112500	84375	140625
Compresseur n°01	0,8	39000	400	70,364564	0,75	0,8	48750	36562,5	60937,5
Compresseur n°02	0,8	44000	400	79,385662	0,75	0,8	55000	41250	68750
Station de pompage									
Départ n°02									
Pompe n°01	0,8	35000	400	63,147686	0,75	0,8	43750	32812,5	54687,5
Pompe n°02	0,8	20000	400	36,084392	0,75	0,8	25000	18750	31250
Pompe n°03	0,8	40000	400	72,168784	0,75	0,8	50000	37500	62500
Eclairages et prises de courant									
Départ n°03									
Eclairage extérieur	0,8	3500	400	6,3147686	0,75	0,8	4375	3281,25	5468,75
Eclairage intérieur	0,8	3550	400	6,4049795	0,75	0,8	4437,5	3328,125	5546,875
Eclairage stocks	0,8	2800	400	5,0518149	0,75	0,8	3500	2625	4375
Prise n°01	0,8	3200	400	5,7735027	0,75	0,8	4000	3000	5000
Prise n°02	0,8	3200	400	5,7735027	0,75	0,8	4000	3000	5000
Prise n°03	0,8	3250	400	5,8637137	0,75	0,8	4062,5	3046,875	5078,125
Système de climatisation									
Départ n°04									
climatisation n°01	0,8	5100	400	9,2015199	0,75	0,8	6375	4781,25	7968,75
climatisation n°02	0,8	5100	400	9,2015199	0,75	0,8	6375	4781,25	7968,75

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

Tableaux III.5 : Bilan de puissance installée

	$P_a(KW)$	$Q_n(KVAR)$	$S_n(KVA)$
Totale	387,700	363,46875	605,78125

III.6.2 Calcul de la puissance d'utilisation

III.6.2.1 Puissance utile d'une charge P_{ui}

L'estimation de la puissance réellement absorbée par une charge électrique tient compte du taux de charge du récepteur par rapport à sa puissance nominale. Ainsi, la détermination de cette puissance nécessite une bonne connaissance du facteur d'utilisation [30].

Elle est donnée par la relation suivante :

$$P_{ui} = K_u * P_n \quad (III.5)$$

$$Q_{ui} = K_u * Q_n \quad (III.6)$$

Avec :

P_{ui} : Puissance utile demandée par une charge.

P_n : Puissance nominale d'une charge.

K_u : Facteur d'utilisation.

III.6.2.2 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 [33].

Elle est donnée par la relation suivante :

$$P_{uj} = K_s * \sum_{i=1}^n P_{ui} \quad (III.7)$$

$$Q_{uj} = K_s * \sum_{i=1}^n Q_{ui} \quad (III.8)$$

Avec :

P_{uj} : Puissance utile dans une branche.

K_s : Facteur de simultanéité.

n : Nombre de récepteurs (charge).

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

$$P_{ut} = K_s * K_e * \sum_{i=1}^n P_{ui} \quad (III.9)$$

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

K_e : Facteur d'extension.

Le tableau suivant illustre les calculs effectués afin de savoir quel est la puissance d'utilisation de notre installation :

Tableaux III.6 : Bilan de puissance utilisée

récepteurs	P_a [W]	Q_a [VAR]	K_u	P_{ui} [W]	Q_{ui} [VAR]	S_{ui} [VA]	I_e [A]	P_{uj} [W]	Q_{uj} [VAR]	S_{uj} (VA)
Alimentation force motrice										
Départ n°01										
moteur n°01	112500	84375	0,75	84375	63281,25	105468,8	152,23	/	/	/
moteur n°02	112500	84375	0,75	84375	63281,25	105468,8	152,23	/	/	/
Compresseur n°01	48750	36562,5	0,75	36562,5	27421,875	45703,13	65,967	/	/	/
Compresseur n°02	55000	41250	0,75	41250	30937,5	51562,5	74,424	/	/	/
TOTAL	$K_s=0,8$			246563	184921,875	308203,1	444,85	197250	147938	246563
Station de pompage										
Départ n°02										
Pompe n°01	43750	32812,5	0,75	32812,5	24609,375	41015,63	59,201	/	/	/
Pompe n°02	25000	18750	0,75	18750	14062,5	23437,5	33,829	/	/	/
Pompe n°03	50000	37500	0,75	37500	28125	46875	67,658	/	/	/
TOTAL	$K_s=0,9$			89062,5	66796,8	111328,13	160,68	80156,25	60117,18	100195
Eclairages et prises de courant										
Départ n°03										
Eclairage extérieur	4375	3281,25	1	4375	3281,25	5468,9	7,8935	/	/	/
Eclairage intérieur	4437,5	3328,125	1	4437,5	3328,125	5546,875	8,0062	/	/	/
Eclairage stocks	3500	2625	1	3500	2625	4375	6,3148	/	/	/
Prise n°01	4000	3000	1	4000	3000	5000	7,2169	/	/	/
Prise n°02	4000	3000	1	4000	3000	5000	7,2169	/	/	/
Prise n°03	4062,5	3046,875	1	4062,5	3046,875	5078,125	7,3296	/	/	/
TOTAL	$K_s=0,7$			24375	18281,25	30468,9	43,977	17063	12797,8	21328,2
Système de climatisation										
Départ n°04										
climatisation n°01	6375	4781,25	0,75	4781,25	3585,9375	5976,563	8,6264	/	/	/
climatisation n°02	6375	4781,25	0,75	4781,25	3585,9375	5976,563	8,6264	/	/	/
TOTAL	$K_s=0,9$			9562,5	7171,8	11953,126	17,252	8606,25	6454,687	10757,81

III.7 Choix et dimensionnement du transformateur BT

Dans le tableau suivant les valeurs des puissances utiles de toutes les branches BT :

Tableaux III.7 : Bilan de puissance utile totale de toutes les branches de l'installation BT

CHARGE	$P_{uj}(KW)$	$Q_{uj}(KVAR)$	$S_{uj}(KVA)$
Totale	303,075	227,307	378,844

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

Tableaux III.8 : Bilan totale de toutes les branches de l'installation BT multiplié par 1.2

CHARGE	$P_{uj}(KW)$	$Q_{uj}(KVAR)$	$S_{uj}(KVA)$
Totale	363,69	272,768	454,612

III.7.1 Calcul du facteur de puissance de l'installation BT

Le facteur de puissance est un indicateur de la qualité de la conception et de la gestion d'une installation électrique. Il repose sur deux notions très basiques : les puissances active et apparente.

Le facteur de puissance est le quotient de la puissance active totale consommée sur la puissance apparente totale fournie, c'est-à-dire :

$$\cos\varphi = (P_{uj}/S_{uj})$$

$$\cos\varphi = (363,69/454,612)=0,8$$

$$\cos\varphi = 0,8$$

III.7.2 Choix du transformateur BT

Pour choisir le transformateur qui va y assurer la puissance totale de l'installation BT, on s'intéresse au bilan de puissance utile, donc d'après le bilan de puissance utilisé, la puissance apparente et de (tableau N° 7 de l'annexe).

- $S_{ui}=461,953 \text{ KVA}$

La puissance apparente normalisée du transformateur à choisir sera prise selon les caractéristiques du fabricant de transformateur AZAZGA (tableau N°8 de l'annexe).

III.7.3 Calcul du rapport de transformation

Pour le calcul du rapport de transformation, on utilise la formule suivante

$$m = (U_2/U_1) = (N_2/N_1)$$

$$m = U_2/U_1 = 400/30000 = 0.01333$$

Avec :

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

Donc, le rapport de transformation égal à $m=0.01333$

III.7.4 Calcul du courant secondaire [51]

Le courant assignée au secondaire du transformateur, coté BT, est déterminé par l'expression :

$$I_e = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U} = \frac{630 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} = 909,326A$$

- S_n : Puissance assignée du transformateur(KVA)
- U : Tension assignée secondaire (à vide) du transformateur (V)
- I_e : Courant assignée du transformateur, cote BT (valeur efficace) (A)

Donc, le courant secondaire du transformateur égal à : $I_2=909,326A$

III.7.5 Calcul du courant primaire

$$m = \frac{I_1}{I_2} \Rightarrow I_1 = m \cdot I_2 \Rightarrow I_1 = 0.01333 \cdot 909,326A = 12,121A$$

Donc, le courant primaire du transformateur égal à : $I_1=12,121A$

III.7.6 Détermination de tension de court-circuit U_{cc}

Pour le transformateur de distribution (norme NBN-HD 428 1 S1), U_{cc} a des valeurs normalisées. (Tableau N°7 de l'annexe).

La tension de court-circuit $U_{cc}=4\%U$, pour notre transformateur ce qui ne donne une tension de court-circuit en volt de $U_{cc}=16V$.

Après avoir effectué le bilan de puissance, les caractéristiques du transformateur nécessaire pour l'installation de la station de pompage d'eau doit être caractérisé comme suit (voir tableau N°7 de l'annexe) :

- Puissance apparente $S=630$ KVA
- Tension primaire $U=30000$ V

- Tension secondaire $U=400V$
- Courant primaire $I_1= 12,121A$
- Courant secondaire $I_2=909,326A$
- Rapport de transformation $m=0.0133$
- Tension de courant de court- circuit $U_{cc}=4\%U=16V$
- Résistance du transformateur $R_T=3,5\ m\Omega$
- Réactance du transformateur $X_T=10,6\ m\Omega$

III.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté un schéma unifilaire, et conclu que pour une installation électrique il faut un bilan de puissance donc nous avons aussi déterminés les différents types de puissances : installée et la puissance d'utilisation.

D'après les résultats obtenus, nous constatons que l'installation électrique présente un facteur de puissance moyen. L'amélioration du facteur permet un dimensionnement réduit des transformateurs, des appareillages, des conducteurs, etc. ainsi qu'une diminution des pertes en ligne et des chutes de tension dans l'installation.

Chapitre IV

Dimensionnement des sections des Câbles et des protections

IV.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous avons étudié les caractéristiques de chaque partie qui compose notre installation, au premier lieu nous allons déterminer les sections des câbles de chaque récepteur, Pour cela, on a calculé les courants d'emplois, les chutes de tensions afin de déterminer la section adéquate pour chaque partie qui compose notre installation.

Le dimensionnement d'une installation électrique implique le choix optimal des éléments de l'appareillage, les câbles et les récepteurs.

IV.2 Détermination des sections des câbles

IV.2.1 Conditions générales

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

- Un échauffement normal de la lame conductrice n'entraîne pas la détérioration des propriétés isolantes des constituants de l'enveloppe et de la gaine lorsqu'elle fait transiter l'intensité admissible en régime permanent, cette condition doit prendre en compte :
 - La constitution du câble.
 - La température du milieu ambiant (air ou terre).
- Une chute de tension au plus égale :
 - Aux limites réglementaires.
 - Ou à l'écart accepté entre la tension disponible au départ et la tension souhaitée à l'arrivée.
- Une bonne tenue à une surintensité de courte durée due à un courant de court-circuit et qui se traduit :
 - Par les courants intenses dans les écrans métalliques des câbles d'où une augmentation de l'échauffement un risque de détérioration accrue.A ces conditions s'ajoutent :
 - Des conditions de sécurité, protection contre les contacts indirects.
 - Une condition économique, cette condition, consiste à rechercher la section qui, en régime permanent, rend minimale la somme du coût d'investissement et du coût d'exploitation. [35]

IV.2.2 Caractéristiques des câbles

Les câbles utilisés sont du type U1000R2V multipolaire, suivant la norme NFC 32-321 on a les données suivantes :

U : câble normalisé ;

1000 : tension nominale (V) ;

R : conducteur isolé au polyéthylène réticulé chimiquement (PRC) ;

2 : gain épaisse de protection et **V** : polychlorure de vinyle.

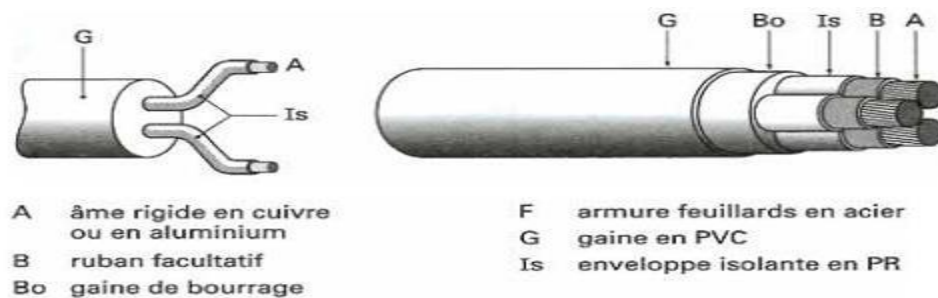


Figure IV.1 : Constitution d'un câble.

Température maximale à lame :

85°C en permanence.

250°C en court-circuit.

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

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

IV.2.3 La section des câbles

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

IV.3 Détermination des courants influençant sur la section

a) Courant d'emploi I_e

Le courant d'emploi I_e est le courant correspondant à la plus grande puissance transportée par le circuit en service normal.

- En monophasé :

$$I_e = \frac{P}{V \cdot \cos \varphi} \quad (\text{IV.1})$$

- En triphasé :

$$I_e = \frac{P_n}{U \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi} \quad (\text{IV.2})$$

Avec :

U : tension composée en triphasée (V).

V : tension simple en monophasée (V).

P : Puissance absorbée (W).

$\cos \varphi$: Facteur de puissance du récepteur.

b) Courant admissible I_{ad}

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

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

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

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

$$I_{ad} = \frac{I_e}{K} \quad (\text{IV.3})$$

c) Courant fictif

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

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

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

IV.3.1 Calcul et choix des sections des câbles

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

- Calcule de la section technique
- Calcule de la section économique

IV.3.1.1 Section technique

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

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



Echauffement normal

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



Chute de tension

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



Surcharge due au court-circuit

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

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

IV.3.1.1.1 Calcul de la section selon l'échauffement S_j

Le calcul de la section d'un conducteur, d'une ligne électrique est en fonction des différents paramètres de l'installation [36] :

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

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

Le facteur de correction K_1 prend en compte le mode de pose comme le montre le tableau N° 2 de l'annexe.

Le facteur de correction K_2 prend en compte l'influence mutuelle des circuits placés cote à cote donné dans le tableau N° 3 de l'annexe.

Le facteur de correction K_3 prend en compte la température ambiante et la nature de l'isolant donné dans le tableau N° 4 de l'annexe

Le facteur de correction du neutre chargé K_n

- Selon la norme (NF C15-100 § 523.5.2) : $K_n=0.84$

Le facteur de correction dit de symétrie K_s

- Selon la norme (NF C15-105 § B.5.2) : $K_s=1$

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

$K_s= 0.8$ pour 2, 3 et 4 câbles par phase si non-respect de la symétrie.

Calcul effectuée pour notre installation

On à :

$$K_0 = 1$$

$$K_1 = 1$$

$$K_2 = 1$$

$$K_3 = 0,93 \text{ PVC } 35^\circ\text{C}$$

$$K_{\text{totale}} = 1 * 1 * 1 * 0,93 = 0,93$$

Calcule de la section de câble C1 (moteur) du TGBT

$$\text{On à : } I_e = \frac{S_n}{\sqrt{3} * U} = \frac{630 * 10^3}{\sqrt{3} * 400} = 909,326 \text{ A} \quad (\text{IV.5})$$

$$I_e = 909,326 \text{ A}$$

$$I_f = \frac{I_e}{K_t}, \quad K_t = K_0 * K_1 * K_2 * K_3$$

$$K_t = 0,93 \text{ donc } I_f = \frac{909,326}{0,93} = 977,76 \text{ A}$$

Le courant admissible choisi directement supérieur au courant fictif est de 977,76A ce qui correspond à une section de 630 mm²

Le courant admissible correspond au courant fictif I_f et la section S_j sont choisie à partir du tableau N° 5 de l'annexe 1.

Tableau IV.1 : Calculs des sections des câbles

récepteurs	I_e(A)	K_t	I_f(A)	I_{ad}(A)	S_j(mm²)
Câble 01	909,326	0,93	977,77	1005	630
moteur n°02	152,23	0,93	163,688	196	70
moteur n°02	152,23	0,93	163,688	196	70
Compresseur n°01	65,967	0,93	70,9323	80	16
Compresseur n°02	74,424	0,93	80,0258	101	25
Totale départ N°1	444,851	0,93	478,334	599	240
Pompe n°01	59,201	0,93	63,657	80	16
pompe n°02	33,829	0,93	36,3753	43	6
pompe n°03	67,658	0,93	72,7505	80	16
Totale départ N°2	160,688	0,93	172,783	70	196
Eclairage extérieur	7,8935	0,93	8,48763	18,5	1,5
Eclairage intérieur	8,0062	0,93	8,60882	18,5	1,5
Eclairage de stocks	6,3148	0,93	6,79011	18,5	1,5
Prise n°01	7,2169	0,93	7,76011	18,5	1,5
Prise n°02	7,2169	0,93	7,76011	18,5	1,5
Prise n°03	7,3296	0,93	7,88129	18,5	1,5
Totale départ N°3	43,9779	0,93	47,2881	60	10
climatisation n°01	8,6264	0,93	9,2757	18,5	1,5
climatisation n°02	8,6264	0,93	9,2757	18,5	1,5
Totale départ N°4	17,2528	0,93	18,5514	25	2,5

III.3.1.1.2 Calcul de la section selon la chute de tension S_z

La chute de tension, provoquée par le passage du courant dans les conducteurs, doit être compatible avec les tensions existantes au départ et celle souhaitées à l'arrivée. Cette condition détermine ce que nous appelons S_z . Elle est donnée pour une charge triphasée sous la forme :

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_e \cdot (R \cos \varphi + X \sin \varphi) \cdot \frac{100}{U_n} \quad (\text{IV.6})$$

Avec:

- I_e : Courant d'emplois dans le circuit (A)
- $R = \frac{\rho \cdot l}{s}$: Résistance du conducteur (Ω)
- $X = \lambda \cdot l$: Réactance du conducteur (Ω)
- U : tension nominal entre phase (V)
- λ : réactance linéique des conducteurs :
 - Pour les câbles multi ou mono-conducteurs en trèfle égale 0.08 Ω/km .
 - Pour les câbles mono-conducteurs jointifs en nappe égale à 0.09 Ω/km .
 - Pour les mono-conducteurs séparés égale à 0.13 Ω/km .

- l : longueur du câble en (km),
- $\cos \varphi$: facteur de puissance,
- ρ : Résistivité du câble, (cuivre $22.5 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$, Aluminium $36 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$)

Pour notre cas, les câbles sont en cuivre, sachant que la chute de tension admissible dans notre cas égale à 5%. (Voir le tableau 6 de l'annexe).

Calcul effectué sur le TGBT pour Câble C1

$$\begin{aligned}
 U &= 400 \text{ V}, \quad l = 40 \text{ m}, \quad \cos \varphi = 0.80, \quad S_j = 70 \text{ mm}^2 \\
 R &= \frac{\rho \cdot l}{S} \\
 R &= \frac{22.5 \cdot 0.04}{70} = 0.00129 \Omega
 \end{aligned} \tag{IV.7}$$

$$X = 0.08 \cdot 0.04 = 0.0032 \Omega$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_e \cdot (R \cos \varphi + X \sin \varphi)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 152.23 \cdot (0.00129 \cdot 0.80 + 0.0032 \cdot 0.6)$$

$$\Delta U = 3.2183 \text{ V}$$

$$\text{Soit en } \% \frac{3.2183}{400} \cdot 100 = 0.80\% < 8\%.$$

La section choisie selon le critère de l'échauffement vérifie la condition de chute de tension donc la section sera retenue est de 70 mm^2 par phase.

Les résultats sont inscrits dans le tableau N°2

Tableau IV.2 : valeurs des sections calculées par rapport à la chute de tension

	Ie (A)	ρ	l (km)	Sj (mm ²)	R (Ω)	λ	X (Ω)	Cos φ	sin φ	ΔU (V)	ΔU%
moteur n°01	152,23	22,5	0,04	70	0,0129	0,08	0,0032	0,8	0,6	3,2183	0,80457
moteur n°02	152,23	22,5	0,04	70	0,0129	0,08	0,0032	0,8	0,6	3,2183	0,80457
Compresseur n°01	65,967	22,5	0,03	16	0,0422	0,08	0,0024	0,8	0,6	4,0207	1,00519
Compresseur n°02	74,424	22,5	0,03	25	0,027	0,08	0,0024	0,8	0,6	2,97	0,7425
Câble 02	444,85	22,5	0,01	240	0,0009	0,08	0,0008	0,8	0,6	0,9477	0,23693
Pompe n°01	59,201	22,5	0,032	16	0,045	0,08	0,0026	0,8	0,6	3,8489	0,96223
Pompe n°02	33,829	22,5	0,031	6	0,1163	0,08	0,0025	0,8	0,6	5,5364	1,3841
Pompe n°03	67,658	22,5	0,035	16	0,0492	0,08	0,0028	0,8	0,6	4,8111	1,20278
Câble 03	160,69	22,5	0,01	196	0,0011	0,08	0,0008	0,8	0,6	0,3892	0,0973
Eclairage extérieur	7,8935	22,5	0,13	1,5	1,95	0,08	0,0104	0,8	0,6	21,414	5,35339
Eclairage intérieur	8,0062	22,5	0,11	1,5	1,65	0,08	0,0088	0,8	0,6	18,378	4,59446
Eclairage de stocks	6,3148	22,5	0,025	1,5	0,375	0,08	0,002	0,8	0,6	3,2944	0,8236
Prise n°01	7,2169	22,5	0,06	1,5	0,9	0,08	0,0048	0,8	0,6	9,036	2,25901
Prise n°02	7,2169	22,5	0,07	1,5	1,05	0,08	0,0056	0,8	0,6	10,542	2,63551
Prise n°03	7,3296	22,5	0,015	1,5	0,225	0,08	0,0012	0,8	0,6	2,2943	0,57357
Câble 04	43,978	22,5	0,02	10	0,045	0,08	0,0016	0,8	0,6	2,8153	0,70383
climatisation n°01	8,6264	22,5	0,01	1,5	0,15	0,08	0,0008	0,8	0,6	1,8001	0,45003
climatisation n°02	8,6264	22,5	0,01	1,5	0,15	0,08	0,0008	0,8	0,6	1,8001	0,45003
Câble 05	17,253	22,5	0,02	2,5	0,18	0,08	0,0016	0,8	0,6	4,3318	1,08295

III.3.1.1.3 Vérification des sections calculées selon la surcharge due au court-circuit

Pendant le temps de réponse du dispositif de protection, l'énergie dissipée par le câble ne doit pas endommager celui-ci. La contrainte thermique, notion importante, ne doit pas être dépassée. Lors du passage d'un courant de court-circuit dans les conducteurs d'une canalisation pendant un temps très court (jusqu'à cinq secondes), l'échauffement est considéré adiabatique ; cela signifie que l'énergie emmagasinée reste au niveau du métal de l'âme et n'est pas transmise à l'isolant. Il faut donc vérifier que la contrainte thermique du court-circuit est inférieure à la contrainte thermique admissible du conducteur

$$\text{Contrainte thermique} > I_{cc}^2 \times t_c$$

Avec :

I_{cc} : courant de court-circuit en A ;

t_c : temps de coupure du dispositif de protection en seconde, pour notre étude $t_c=0,2s$;

Contrainte thermique : donnée par la formule $S^2 \times K^2$

S : section des conducteurs en mm² ;

Afin de faciliter le calcul d'I_{cc} dans les différents points de l'installation, nous allons utiliser une méthode plus courte et utile qui est la méthode de composition, cette dernière est une approche simplifiée.

Connaissant le courant du court-circuit triphasé à l'origine de l'installation, elle permet d'estimer le courant de court-circuit présumé I_{k3} à l'extrémité d'une canalisation de longueur et section données. Cette méthode s'applique à des installations dont la puissance n'excède pas 630kVA qui est le cas de notre étude. Le courant de court-circuit maximal en un point quelconque de l'installation est déterminé à l'aide du tableau n°11 de l'annexe à partir de :

- I_{k3} "Amont" (kA).
- La longueur du câble (m).
- La section des conducteurs de phases (mm²).
- La nature des conducteurs, dans notre cas c'est le cuivre

$$I_{cc} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} \times \frac{1}{U_{cc}}$$

$$I_{cc} = \frac{630 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 400} \times \frac{100}{4}$$

$$I_{cc} = 22,733 \text{ KA}$$

$$\text{On a: } S > \frac{\sqrt{t_c} \cdot I_{cc}}{K} \quad (\text{IV.8})$$

La vérification des sections des conducteurs se résume dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.3 : Vérification des sections calculées selon la surcharge due au court-circuit

récepteurs	Kt	Icc[KA]	$(\sqrt{t_c} \cdot I_{cc})/K$	S[mm ²]	Sc[mm ²]
moteur n°02	115	11,9	46,2768851	70	70
moteur n°02	115	11,9	46,2768851	70	70
Compresseur n°01	115	4,6	17,88854382	16	25
Compresseur n°02	115	7,8	30,33274822	25	35
Câble N°2	115	22,8	88,66495633	240	240
Pompe n°01	115	4,6	17,88854382	16	25
pompe n°02	115	1,9	7,38874636	6	10
pompe n°03	115	4,6	17,88854382	16	25
Câble N°3	115	22,8	88,66495633	196	196
Eclairage extérieur	115	1,9	7,38874636	1,5	2,5
Eclairage intérieur	115	1,9	7,38874636	1,5	2,5
Eclairage de stocks	115	1	3,888813874	1,5	2,5
Prise n°01	115	1	3,888813874	1,5	2,5
Prise n°02	115	1	3,888813874	1,5	2,5
Prise n°03	115	1	3,888813874	1,5	2,5
Câble N°4	115	4,6	17,88854382	10	16
climatisation n°01	115	1	3,888813874	1,5	2,5
climatisation n°02	115	1	3,888813874	1,5	2,5
Câble N°5	115	1,3	5,055458036	2,5	4

IV.4 Méthode générale de calcul des courants de court-circuit

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

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

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

IV.4.1 Méthode conventionnelle

Elle donne la valeur d' I_C minimal à l'extrémité d'une installation qui n'est pas alimenté par un alternateur.

$$I_{cc} = A * \frac{0.8 * U_0 * S}{2 * \rho * l} \quad (IV.9)$$

U_0 : Tension entre phase (V) ;

l : Longueur en (m) de la canalisation ;

S : Section des conducteurs (mm^2) ;

$\rho = 0.028 \text{ m}\Omega.\text{m}$ pour le Cuivre en protection fusible ;

0.044 $\text{m}\Omega.\text{m}$ pour l'Aluminium en protection fusible ;

0.023 $\text{m}\Omega.\text{m}$ pour le Cuivre en protection disjoncteur ;

0.037 $\text{m}\Omega.\text{m}$ pour l'Aluminium en protection disjoncteur ;

$A=1$ Pour les circuits avec neutre (section neutre=section de phase) ;

1.73 Pour les circuits sans neutre ;

0.67 Pour les circuits avec neutre (section=0.5 section phase).

IV.4.2 Méthode des impédances

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

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

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

$$U = \sqrt{3} * Z * I \quad (IV.10)$$

$$I_{cc} = \frac{U_0}{\sqrt{3} * Z_T} \quad (IV.11)$$

Ou :

$$I_{cc} = \frac{m * C * U_0}{\sqrt{3} * Z_T} \quad (IV.12)$$

C : Facteur de tension (0.95 pour les I_{cc} min et 1.5 pour les I_{cc} max) ;

m : Facteur de charge prise égal à 1.05 ;

U_0 : Tension de l'installation entre phase et neutre ;

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

D'où :

$$Z_T = \sqrt{(\sum_{i=1}^n R_i)^2 + (\sum_{i=1}^n X_i)^2} \quad (\text{IV.13})$$

Pour notre cas, on va utiliser la méthode des impédances, on calculera la plus forte intensité de court-circuit, qui est celle engendrée par un court-circuit triphasé, noté I_{cc} . La disposition d'un réseau de distribution de moyenne tension ou basse tension peut être généralisée selon le tableau IV.4, dans lequel on trouve les éléments suivants :

- ✓ Le réseau amont ;
- ✓ Le transformateur ;
- ✓ Le/les disjoncteurs ;
- ✓ Les câbles, les jeux de barres, les canalisations préfabriquées ;

Tableau IV.3 : Vérification des sections calculées selon la surcharge due au court-circuit

Réseau amont		<i>R_a</i> : Résistance amont <i>X_a</i> : Réactance amont <i>S_{cc}</i> : En générale 500MVA
Transformateur		<i>R_{Tr}</i> : Résistance transformateur <i>X_{Tr}</i> : Réactance transformateur <i>U_{cc}</i> (%) entre 4 et 7 %
Câble		<i>R_{cb}</i> : Résistance câble <i>X_{cb}</i> : Réactance du câble
Disjoncteur		<i>R_{Dsj}</i> : Résistance négligeable <i>X_{Dsj}</i> : Réactance disjoncteur
Jeu de barre		<i>R_{Jb}</i> : Résistance négligeable <i>X_{Jb}</i> : Réactance du jeu de barres
Câble		<i>R_{cb}</i> : Résistance des câbles <i>X_{cb}</i> : Réactance des câbles
$R = \sum (Ra + RTr + Rcb + RDSj + RJb +)$ $X = \sum (Xa + XTr + Xcb + XDSj + XJb + \dots)$		

• Transformateur

Le transformateur est caractérisé essentiellement par son couplage, ses tensions (primaire et secondaire), sa puissance apparente, sa tension de court-circuit et ses pertes cuivre.

L'impédance se calcule à partir de la tension de court-circuit U_{cc} :

$$Z_{tr} = \frac{U_n^2}{S_n} * \frac{U_{cc}}{100} \quad (IV.14)$$

$$Z_{tr} = \frac{400^2}{605,781 * 10^3} * \frac{4}{100}$$

$$Z_{tr} = 0,0105$$

$$R_{tr} = 0,31 * 0,0105 = 0,0032$$

$$X_{tr} = 0,96 * 0,0105 = 0,01008$$

S_n : Puissance assignée du transformateur en kVA ;

U_{cc} : tension de court-circuit du transformateur, en V.

▪ L'impédance du disjoncteur

Pour un disjoncteur, la résistance et la réactance sont négligeables. L'impédance d'un disjoncteur ne doit être prise en compte que pour les appareils en amont de celui qui doit ouvrir sur le court-circuit envisagé. Sa réactance est prise égale à 0,15 mΩ et sa résistance négligée, Donc :

$$Z_{dj} = 0,15 \text{ m}\Omega$$

$$R_{dj} = 0 \text{ m}\Omega$$

▪ L'impédance du jeu de barre.

La résistance d'un jeu de barres est généralement négligeable, de ce fait l'impédance est pratiquement égale à la réactance, la valeur linéique typique d'un jeu de barres est approximativement 0,15 mΩ

$$Z_{JB} = \sqrt{R_{JB}^2 + X_{JB}^2} \quad (IV.15)$$

$$Z_{jb} = 0,75 \text{ m}\Omega$$

▪ L'impédance des conducteurs

Le câble est caractérisé par la nature du conducteur, sa résistivité et ses démentions géométriques.

$$R_c = \rho * \frac{l}{S} \quad (IV.16)$$

$$X_c = 0,08 * l \quad (IV.17)$$

Résistivité en (mΩ.mm²/m) ;

Cuivre : $\rho = 22,5 \text{ m}\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$;

Aluminium : $\rho=36\text{m}\Omega.\text{mm}^2/\text{m}$;

I : longueur en (m) de la canalisation ;

S : section en (mm^2)

Les résultats de calcul des courants de court-circuit dans les différents points de site

Tableau IV.5 : Résultat de calcul de courant de court-circuit

	R(Ω)	X(Ω)	Z(Ω)	Z_{tot}(Ω)	I_{cc}(A)
transformateur	0,0032	0,0108	0,0105	0,0105	21994,296
Câble 1	0,0027	0,05	0,05007	0,0605728	3812,6012
Jeu de barre TGBT	0	0,000225	0,00023	0,0607978	3798,4915
Câble 02	0,0009	0,0008	0,0012	0,062002	3724,7199
JB 01	0	0,00015	0,00015	0,062152	3715,7305
moteur n°01	0,0129	0,0032	0,01329	0,075443	3061,1212
moteur n°02	0,0129	0,0032	0,01329	0,075443	3061,1212
Compresseur n°01	0,042	0,0024	0,04207	0,1042205	2215,8794
Compresseur n°02	0,027	0,0024	0,02711	0,0892585	2587,3189
Câble 03	0,0011	0,0008	0,00136	0,062158	3715,3726
JB 02	0	0,00015	0,00015	0,062308	3706,4282
Pompe n°01	0,045	0,0026	0,04508	0,107383	2150,6199
Pompe n°02	0,116	0,0025	0,11603	0,1783349	1294,9797
Pompe n°03	0,049	0,0028	0,04908	0,1113879	2073,2956
Câble 04	0,045	0,0016	0,04503	0,10582628	2182,2566
JB 03	0	0,00015	0,00015	0,10597628	2179,1679
Eclairage extérieur	1,95	0,0104	1,95003	2,056004	112,32474
Eclairage intérieur	1,65	0,0088	1,65002	1,7559997	131,51489
Eclairage de stocks	0,375	0,002	0,37501	0,4809816	480,14332
Prise n°01	0,9	0,0048	0,90001	1,0059891	229,56522
Prise n°02	1,05	0,0056	1,05001	1,1559912	199,7767
Prise n°03	0,225	0,0012	0,225	0,3309795	697,7475
Câble 05	0,18	0,0016	0,18001	0,240805	959,03386
JB 04	0	0,00015	0,00015	0,0609478	3789,143
climatisation n°01	0,15	0,0008	0,15	0,21095	1094,7624
climatisation n°02	0,15	0,0008	0,15	0,21095	1094,7624

IV.5 Protection par disjoncteur

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

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

- **Courant nominal I_n**

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

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

- **Courant de réglage I_r**

C'est le courant maximal que peut supporter le disjoncteur, sans déclenchement. Il peut être réglable de $0.7 I_n$ à I_n pour les déclencheurs thermiques, de $0.4 I_n$ à I_n pour les déclencheurs électriques.

- **Pouvoir de coupure PDC**

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

$$PDC \geq I_{cc}.$$

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

IV.5.1 Caractéristique d'un disjoncteur basse tension

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

- ✓ La tension assignée (U_e) : ou tension d'utilisation ;
- ✓ Le courant assigné (I_n) : courant d'utilisation dans les conditions normales ;
- ✓ Le nombre de pôles : les schémas des liaisons à la terre et la fonction requise (protection, commande, sectionnement) détermine le nombre de pôles ;
- ✓ Le pouvoir de coupure (PDC) : ou courant maximal (I_{ccmax}) que peut couper l'appareil.

IV.6 Dimensionnement des appareils de protection

• Calibrages de disjoncteurs

Le choix de calibre de disjoncteurs s'effectue à partir de la condition suivante :

$$I_n \geq I_e$$

Avec : I_n est le courant nominal du disjoncteur et I_e est le courant d'emploi.

• Calibrage de disjoncteur de tête

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

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

$$S = \sqrt{3} * U_n * I_e \text{ d'où } I_e = \frac{S}{\sqrt{3} * U_n} \quad (\text{voir l'annexe 9 et 10}).$$

$$I_e = 909,326 \text{ A}$$

Tableau IV.6 : Choix du disjoncteur.

Disjoncteur	N°	I_e (A)	I_{cc} (A)	I_n (A)	PDC	Type de disjoncteur
Câble n°02	1	444,85	3724,72	474,509	35	NFX160F
Câble n°03	2	160,69	3715,73	171,38	35	NFX160F
Câble n°04	3	43,878	2182,26	34,804	50	GV3P40
Câble n°05	4	17,253	959,034	18,4	50	GV3P26
moteur n°01	5	152,23	3061,12	162,379	35	NSX160F
moteur n°02	6	152,23	3061,12	162,379	35	NSX160F
Compresseur n°01	7	65,967	2215,87	70,364	50	GV3P80
Compresseur n°02	8	74,424	2587,31	79,385	50	GV3P81
Pompe n°01	9	59,201	2150,61	63,147	50	GV3P73
Pompe n°02	10	33,829	1294,97	36,084	50	GV3P40
Pompe n°03	11	67,658	2073,29	72,168	50	GV3P80
Eclairage extérieur	12	7,8935	112,32	6,314	20	NSX100B
Eclairage intérieur	13	8,0062	131,51	6,404	20	NSX100B
Eclairage de stocks	14	6,3148	480,14	5,051	20	GV3P40
Prise n°01	15	7,2169	229,56	5,773	20	NSX100B
Prise n°02	16	7,2169	199,77	5,773	20	NSX100B
Prise n°03	17	7,3296	697,74	5,863	20	NSX100B
climatisation n°01	18	8,6264	1094,76	9,201	50	GV3P13
climatisation n°02	19	8,6264	1094,76	9,201	50	GV3P14

IV.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons dimensionné les équipements de l'installation et des protections et à travers ça en a déterminé les sections des câbles ensuite nous avons calculé les courant de court-circuit et en fin nous dimensionnant les appareils des protections.

Conclusion générale

Conclusion générales

Avant tout, ce mémoire nous a été bénéfique de fait que nous avons complétée nos connaissances sur les différentes généralités de réseaux électrique industriel et les protections électrique. Notre travail est consacré à l'étude de la protection d'un réseau électrique industriel.

La protection des réseaux électriques industriels est une condition incontournable pour assurer la continuité et la meilleure qualité de service.

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

Est pour dimensionner ces protection nous avons fait :

- ❖ Un schéma unifilaire c'est la première étape essentielle d'une étude de conception d'un réseau électrique.
- ❖ Un bilan de puissance pour étudier une installation.
- ❖ Les calculs des différentes puissances.
- ❖ Choix et dimensionnement du transformateur BT.
- ❖ Détermination des sections des câbles.
- ❖ Méthode générale de calcul des courants de court-circuit.
- ❖ Dimensionnement des appareils de protection.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- [1] : C. privé, « Les réseaux industriels », Tome 1, Edition lavois 2005.
- [2] : Benoît de Metz-Noblat, " Les calculs sur les réseaux électriques BT et HT", Cahier technique n° 213, Schneider Electric, 2004.
- [3] : "ATROUNE.S", «Réseaux électriques industrielles », cour de master 1 électromécanique, chapitre 2, université de Bejaia_2022/2023.
- [4] : " E.haddadi F.boussad " Etude des protections d'un départ HTA Tizgirt issu de la cabine mobile de Tamda (60 / 30 kV) ", Mémoire de Fin d'Etudes de master professionnel, année 2014.
- [5] : Tolba Amrane, "Coordination orientée objet de la protection des réseaux électriques ", Thèse de doctorat, Université de Batna, 2007.
- [6] : " M.Zellagui" Etude des protections des réseaux électriques (30 & 10 kV), Mémoire de Magistère, Université Mentouri Constantine, année 2010.
- [7] : M. Bougheza, « Etude et simulation d'un coupleur de signaux HF pour réseaux d'énergie électrique », mémoire de magistère, Université Mohamed Khider Biskra, 2013.
- [8] : T. Wildi, Gilbert Sybille, « Électrotechnique - 4ème édition » [Commande Industrielle des Moteurs], Série de Boeck, 2005.
- [9]: EDF, "plan de protection des réseaux HTA", Guide technique de la distribution d'électricité, 1994.
- [10]: Muhammad H. Rashid, "Protective Relaying Principles and Applications", Third Edition, Taylor & Francis Group, LLC. Advisory Editor University of West Florida Pensacola, Florida, 2006.
- [11] :J. Favraud, Fonctionnement et protection des réseaux de distribution. EDF centre de perfectionnement électrique de Nanterre, Année 1967.
- [12] : Claud Corroyer, « Protection des réseaux. Généralités », Techniques de l'Ingénieur, D 4800, 1991
- [13] : Bouchahdane Mohamed, "Etude des équipements de protection de la nouvelle ligne 400 kv en Algérie", Mémoire de magister, Université de Constantine, 2009.
- [14] : Document-ETB-SONELGAZ. « Les transformateurs de mesure ».
- [15] : B. de Metz-Noblat, F. Dumas, G. Thomasset, "Calcul des courants de courts circuits", Schneider Electric, Cahier technique No. 158, 2000.
- [16] : C.Prévé, «Protection des réseaux électriques », Edition HERMES,Paris1998.

- [17] : Epic sonelgaz, les mises à la terre, Mai 1993.
- [18] : M. Kostenko et L. Piotrovski, « Machines à courant continu, transformateur », 3eme édition, Mir, Moscou, 1997.
- [19] : Christophe seraudie, « Surtensions et parafoudres en BT, coordination de l'isolement en BT. » Cahier technique Merlin Gerin N° 179. Septembre 1995.
- [20] : Etude de Protection des Lignes hautes tensions.pdf. (2024). récupéré April 17, 2024, depuis dspace.univ-adrar.edu.dz.
- [21] : Site internet : http://univ_saida.dz/, « Les types de défauts », mémoire de master, Chapitre II, université Saida.
- [22] : M. Lami, « Protection et Surveillance des Réseaux de Transport d'Énergie Électrique », Volume 2, Electricité de France (EDF), février 2003.
- [23] : Zaaboubi C. Privé, « Protection des Réseaux Electriques », Edition HERMES, Paris 1998.
- [24]: C. Russell mason, « The Art and Science of Protective Relaying », 1956 - New York.
- [25] : C. Claude & D. Pierre, « Protection des Réseaux de Transport et de Répartition », Direction de la Production et du Transport d'Electricité (EDF), octobre 2005.
- [26] : Caroline Willems, «Schéma unifilaire» ; Lien (<https://www.btvcontrol.be/Assets/Documents/FR/Schema%20unifilaire.pdf>).
- [27] : Schneider Electric, « Guide de l'installation électrique », 2010.
- [28] : B.Azzoug, « Projet de fin d'études ;'Etude et redimensionnement des systèmes de protection des personnes et des matériels de L'unité CEVITAL' »,2003.
- [29] : J.L.Lilien, Université de Liège, Effets indirects des champs électromagnétiques, Institut montefiore Année académique 2005.
- [30] : Schneider Electric, « Guide de la distribution basse et moyen tension », édition 2002.
- [31] : M.Lafria « Etude technique et conception de l'installation électrique d'une nouvelle unité industrielle de production des armoires électriques», Mémoire de magister, Université sidi mouhamed ben abdellah, Fés, 2014.
- [32] : C.Bouchebouba et H.Benattia, «Etude et dimensionnement électrique du nouveau site de la câblerie algérienne», Mémoire de magister département d'électromécanique, Université de Mostaganem, 2019
- [33] : Schneider Electric, « Guide de conception des réseaux électriques industriels », édition 1997.

[34] : Mémoire de Master II Électrotechnique option : Réseau électrique, « Etude du système de protection du réseau de distribution de la ville de Bejaia cas pratique : Sonalgaze de Bejaia », 2013-2014. Présenter par M^{elle} Saighu Nabila, université de Bejaia.

[35] : A. Biabncotto et P. Boye, « La construction normalisée en électrotechnique », Tome 1 AFNOR A985.

[36] : H. Peroz, J. Claude Lemoine, P. Sapet, G. Santucci, « La planification des réseaux électriques », édition Eyrolles, 1984.

ANNEXES

Lettre de sélection

type d'éléments conducteurs	mode de pose	lettre de sélection
conducteurs et câbles multiconducteurs	■ sous conduit, profilé ou goulotte, en apparent ou encastré ■ sous vide de construction, faux plafond ■ sous caniveau, moulures, plinthes, chambranles	B
	■ en apparent contre mur ou plafond ■ sur chemin de câbles ou tablettes non perforées	C
câbles multiconducteurs	■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé ■ fixés en apparent, espacés de la paroi ■ câbles suspendus	E
câbles monoconducteurs	■ sur échelles, corbeaux, chemin de câbles perforé ■ fixés en apparent, espacés de la paroi ■ câbles suspendus	F

Tableau N°1 : le mode de pose.

Facteur de correction K1

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

Tableau N°2 : le mode de pose

Facteur de correction K2

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

Tableau N°3 : l'influence mutuelle.

Facteur de correction K3

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

Tableau N°4 : température ambiante et la nature de l'isolant.

		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 (mm²)	1,5	15,5	17,5	18,5	19,5	22	23	24	26	
	2,5	21	24	25	27	30	31	33	36	
	4	28	32	34	36	40	42	45	49	
	6	36	41	43	48	51	54	58	63	
	10	50	57	60	63	70	75	80	86	
	16	68	76	80	85	94	100	107	115	
	25	89	96	101	112	119	127	138	149	161
	35	110	119	126	138	147	158	169	185	200
	50	134	144	153	168	179	192	207	225	242
	70	171	184	196	213	229	246	268	289	310
	95	207	223	238	258	278	298	328	352	377
	120	239	259	276	299	322	346	382	410	437
	150		299	319	344	371	395	441	473	504
	185		341	364	392	424	450	506	542	575
	240		403	430	461	500	538	599	641	679
	300		464	497	530	576	621	693	741	783
	400					656	754	825		940
	500					749	868	946		1 083
	630					855	1 005	1 088		1 254

Tableau N°5 : le courant admissible.

Section en mm²		Circuit monophasé			Circuit triphasé équilibré		
		Force motrice		Eclairage	Force motrice		Eclairage
		Service normal	Démarrage		Service normal	Démarrage	
Cu	Al	cos φ = 0,8	cos φ = 0,35	cos φ = 1	cos φ = 0,8	cos φ = 0,35	cos φ = 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 N°6 : Chute de tension ΔU en volts par ampère et par km dans un circuit.

Transformateurs immergés dans un diélectrique liquide

S_n kVA	50	100	160	250	400	630	800	1000
U_{cc(1)} %	4	4	4	4	4	4	6	6
I_{n(2)} A	72	144	231	361	577	909	1155	1443
Rt mΩ	43,7	21,9	13,7	8,7	5,5	3,5	4,1	3,3
Xt mΩ	134,1	67	41,9	26,8	16,8	10,6	12,6	10
I_{cc(2)} kA	1,8	3,6	5,8	9,0	14,3	22,7	19,1	24,1
Disjoncteur	T1B160 T2N160 T4N250	T1B160 T2N160 T4N250	T3N250 T4N250	T5N400	T5N630	E1B10	E1B12	E2B16

Tableau N°7 : Choix du transformateur.

ELECTRO-INDUSTRIES EPE - SPA 15300 AZAZGA ALGERIE 		Fiche Technique du transformateur 630 kVA / 30 kV / 0,4 kV Type Etanche à Remplissage Intégral Isolateur Embrochable ou Céramique Spécifications STS 160 XDE 12/2000 SONELGAZ CARACTERISTIQUES		
		Caractéristiques Sonelgaz	Caractéristiques E.I	
Pays			ALGERIE	
Fabricant			ELECTRO-INDUSTRIES	
Usine de fabrication			AZAZGA	
Référence du fabricant			Tél : 026/34.16.86 – Fax 026/34.14.24 / 34.13.30	
Normes de références		CEI 76- Spécifications STS 160 XDE 12/2000 Sonelgaz	CEI 76- Spécifications STS 160 XDE 12/2000 Sonelgaz	
Lieu d'installation		Intérieur	Extérieur/intérieur	
Type de transformateur		Respirant ou remplissage total	Etanche a Remplissage Total	
Mode de refroidissement		ONAN	ONAN	
Nature du diélectrique		Huile minérale	Huile minérale	
Type d'enroulement MT		Fil cuivre	Fil cuivre	
Type d'enroulement BT		Fil méplat cuivre ou bandes	Fil méplat de cuivre	
Fréquence		50 Hz	50 Hz	
Prise de réglage		± 2x2,5 %	± 2x2,5 %	
Tension secondaire à vide		400 V	400 V	
Tension la plus élevée pour le matériel		36 KV	36 KV	
Tension d'isolement BT masse		10 KV	10 KV	
Tension d'isolement à fréquence industrielle		70 KV	70 KV	
Tension d'isolement à l'onde de choc MT		170 KV	170 KV	
Tension d'isolement à l'onde de choc BT		30 KV	30 KV	
Courant à vide		2,9 %	2,9 %	
Pertes à vide		1400 W	1400 W	
Tension de court –circuit à 75°C		6 %	6 %	
Pertes en court circuit à 75°C		8820 W	8820 W	
Couplage -indice horaire		Dyn 11	Dyn 11	
Température ambiante		40°C	40 °C	

Tableau N°8 : Caractéristique du transformateur

Disjoncteurs-moteurs magnétiques GV3P



GV3P651

Disjoncteurs - moteurs jusqu'à 45 kW / 400 V

Pulsance nominale standard des moteurs triphasés 50/60 Hz en catégorie AC-3									Plage de réglage des déclenchements thermiques (2)	Courant de déclenchement magnétique Id ± 20 %	Référence
400/415 V			600 V			800 V					
P	Iou	Ioc ⁽¹⁾	P	Iou	Ioc ⁽¹⁾	P	Iou	Ioc ⁽¹⁾			
kW	kA	%	kW	kA	%	kW	kA	%	A	A	
GV3P : commande par poignée rotative											
Raccordement par bornes EverLink® à vis BTR ⁽¹⁾											
6,6	100	100	7,6	12	50	11	6	50	9...13	182	GV3P13
7,6	100	100	8	12	50	16	6	50	12...18	252	GV3P18
11	100	100	16	12	50	18,6	6	50	17...25	350	GV3P26
16	100	100	18,6	12	50	22	6	50	23...32	448	GV3P32
18,6	50	100	22	12	50	37	6	50	30...40	560	GV3P40
22	50	100	30	12	50	46	6	50	37...50	700	GV3P50
30	50	100	46	12	50	66	6	50	48...65	910	GV3P66
37	50	60	46	12	50	66	6	50	62...73	1120	GV3P73
46	50	60	46	12	50	66	6	50	70...80	1120	GV3P80 ⁽¹⁾

Tableau N°9 : Choix du disjoncteur GV3P



Compact NSX100/160/250



Compact NSX250 R

Caractéristiques communes			
tension assignée d'isolement (V)	disjoncteur	Ui	800
	disjoncteur différentiel	Ui	500
tension assignée de tenue aux chocs (kV)		Uimp	8
tension assignée d'emploi	disjoncteur	Ue	CA 50/60 Hz 690
	disjoncteur différentiel	Ue	CA 50/60 Hz 440
aptitude au sectionnement		IEC/EN 60947-2	oui
catégorie d'emploi			A
degré de pollution		IEC 60664-1	3

Caractéristiques communes			
commande	manuelle	par maneton	■
		rotative standard ou prolongée	■
	électrique	avec télécommande	■
versions	fixe		■
	débranchable	sur châssis	■
		châssis	■

type				NSX100										NSX160 ^m													
type de disjoncteur				B	F	N	H	S	L	R	HB1	HB2	B	F	N	H	S	L									
caractéristiques électrique suivant CEI 60947-2																											
courant assigné (A)				100										160													
nombre de pôles				2 ^m , 3, 4										2 ^m , 3, 4													
pouvoir de coupure ultime (kA eff.)				Icu		CA 50/60 Hz		220/240 V										220/240 V									
								380/415 V										380/415 V									
								440 V										440 V									
								500 V										500 V									
								525 V										525 V									
								660/690 V										660/690 V									
pouvoir de coupure de service (kA eff.)				Ics		CA 50/60 Hz		220/240 V										220/240 V									
								380/415 V										380/415 V									
								440 V										440 V									
								500 V										500 V									
								525 V										525 V									
								660/690 V										660/690 V									
endurance (cycles F-D)				mécanique				50000										20000									
								20000										40000									
								50000										20000									
								30000										10000									
								20000										15000									
								10000										7500									
caractéristiques suivant UL 508																											
pouvoir de coupure (kA eff.)				CA 50/60 Hz		240 V		-										-									
								-										-									
								-										-									
Protection et mesure																											
protection contre courts-circuits				magnétique seul		■										■											

Tableau N°10 : Choix du disjoncteur NSX

lcc		Courant de court-circuit au niveau considéré (lcc aval en kA)																							
lcc amont en kA	100	93,5	91,1	87,9	83,7	78,4	71,9	64,4	56,1	47,5	39,0	31,2	24,2	18,5	13,8	10,2	7,4	5,4	3,8	2,8	2,0	1,4	1,0		
	90	82,7	82,7	80,1	76,5	72,1	66,6	60,1	52,8	45,1	37,4	30,1	23,6	18,1	13,6	10,1	7,3	5,3	3,8	2,7	2,0	1,4	1,0		
	80	74,2	74,2	72,0	69,2	65,5	61,0	55,5	49,2	42,5	35,6	28,9	22,9	17,6	13,3	9,9	7,3	5,3	3,8	2,7	2,0	1,4	1,0		
	70	65,5	65,5	63,8	61,6	58,7	55,0	50,5	45,3	39,5	33,4	27,5	22,0	17,1	13,0	9,7	7,2	5,2	3,8	2,7	1,9	1,4	1,0		
	60	56,7	56,7	55,4	53,7	51,5	48,6	45,1	40,9	36,1	31,0	25,8	20,9	16,4	12,6	9,5	7,1	5,2	3,8	2,7	1,9	1,4	1,0		
	50	47,7	47,7	46,8	45,6	43,9	41,8	39,2	36,0	32,2	28,1	23,8	19,5	15,6	12,1	9,2	6,9	5,1	3,7	2,7	1,9	1,4	1,0		
	40	38,5	38,5	37,9	37,1	36,0	34,6	32,8	30,5	27,7	24,6	21,2	17,8	14,5	11,4	8,8	6,7	5,0	3,6	2,6	1,9	1,4	1,0		
	35	33,8	33,8	33,4	32,8	31,9	30,8	29,3	27,5	25,2	22,6	19,7	16,7	13,7	11,0	8,5	6,5	4,9	3,6	2,6	1,9	1,4	1,0		
	30	29,1	29,1	28,8	28,3	27,7	26,9	25,7	24,3	22,5	20,4	18,0	15,5	12,9	10,4	8,2	6,3	4,8	3,5	2,6	1,9	1,4	1,0		
	25 →	24,4	24,4	24,2	23,8	23,4	22,8	22,0	20,9	19,6	18,0	16,1	14,0	11,9	9,8	7,8	6,1	4,6	3,4	2,5	1,9	1,3	1,0		
	20	19,6	19,6	19,5	19,2	19,0	18,6	18,0	17,3	16,4	15,2	13,9	12,3	10,6	8,9	7,2	5,7	4,4	3,3	2,5	1,8	1,3	1,0		
	15	14,8	14,8	14,7	14,6	14,4	14,2	13,9	13,4	12,9	12,2	11,3	10,2	9,0	7,7	6,4	5,2	4,1	3,2	2,4	1,8	1,3	0,9		
	10	9,9	9,9	9,9	9,8	9,7	9,6	9,5	9,3	9,0	8,6	8,2	7,6	6,9	6,2	5,3	4,4	3,6	2,9	2,2	1,7	1,2	0,9		
	7	7,0	7,0	6,9	6,9	6,9	6,8	6,7	6,6	6,5	6,3	6,1	5,7	5,3	4,9	4,3	3,7	3,1	2,5	2,0	1,6	1,2	0,9		
	5	5,0	5,0	5,0	5,0	4,9	4,9	4,9	4,8	4,7	4,6	4,5	4,3	4,1	3,8	3,5	3,1	2,7	2,2	1,8	1,4	1,1	0,8		
	4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9	3,8	3,8	3,7	3,6	3,4	3,2	3,0	2,7	2,3	2,0	1,7	1,3	1,0	0,8		
	3	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,2	2,0	1,7	1,5	1,2	1,0	0,8		
	2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3	1,2	1,0	0,8	0,7		
	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5		

lcc		Courant de court-circuit au niveau considéré (lcc aval en kA)																						
lcc amont en kA	100	93,5	91,1	87,9	83,7	78,4	71,9	64,4	56,1	47,5	39,0	31,2	24,2	18,5	13,8	10,2	7,4	5,4	3,8	2,8	2,0	1,4	1,0	
	90	82,7	82,7	80,1	76,5	72,1	66,6	60,1	52,8	45,1	37,4	30,1	23,6	18,1	13,6	10,1	7,3	5,3	3,8	2,7	2,0	1,4	1,0	
	80	74,2	74,2	72,0	69,2	65,5	61,0	55,5	49,2	42,5	35,6	28,9	22,9	17,6	13,3	9,9	7,3	5,3	3,8	2,7	2,0	1,4	1,0	
	70	65,5	65,5	63,8	61,6	58,7	55,0	50,5	45,3	39,5	33,4	27,5	22,0	17,1	13,0	9,7	7,2	5,2	3,8	2,7	1,9	1,4	1,0	
	60	56,7	56,7	55,4	53,7	51,5	48,6	45,1	40,9	36,1	31,0	25,8	20,9	16,4	12,6	9,5	7,1	5,2	3,8	2,7	1,9	1,4	1,0	
	50	47,7	47,7	46,8	45,6	43,9	41,8	39,2	36,0	32,2	28,1	23,8	19,5	15,6	12,1	9,2	6,9	5,1	3,7	2,7	1,9	1,4	1,0	
	40	38,5	38,5	37,9	37,1	36,0	34,8	32,8	30,5	27,7	24,6	21,2	17,8	14,5	11,4	8,8	6,7	5,0	3,6	2,6	1,9	1,4	1,0	
	35	33,8	33,8	33,4	32,8	31,9	30,8	29,3	27,5	25,2	22,6	19,7	16,7	13,7	11,0	8,5	6,5	4,9	3,6	2,6	1,9	1,4	1,0	
	30	29,1	29,1	28,8	28,3	27,7	26,9	25,7	24,3	22,5	20,4	18,0	15,5	12,9	10,4	8,2	6,3	4,8	3,5	2,6	1,9	1,4	1,0	
	25	24,4	24,4	24,2	23,8	23,4	22,8	22,0	20,9	19,6	18,0	16,1	14,0	11,9	9,8	7,8	6,1	4,6	3,4	2,5	1,9	1,3	1,0	
	20	19,6	19,6	19,5	19,2	19,0	18,6	18,0	17,3	16,4	15,2	13,9	12,3	10,6	8,9	7,2	5,7	4,4	3,3	2,5	1,8	1,3	1,0	
	15	14,8	14,8	14,7	14,6	14,4	14,2	13,9	13,4	12,9	12,2	11,3	10,2	9,0	7,7	6,4	5,2	4,1	3,2	2,4	1,8	1,3	0,9	
	10	9,9	9,9	9,9	9,8	9,7	9,6	9,5	9,3	9,0	8,6	8,2	7,6	6,9	6,2	5,3	4,4	3,6	2,9	2,2	1,7	1,2	0,9	
	7	7,0	7,0	6,9	6,9	6,9	6,8	6,7	6,6	6,5	6,3	6,1	5,7	5,3	4,9	4,3	3,7	3,1	2,5	2,0	1,6	1,2	0,9	
	5	5,0	5,0	5,0	5,0	4,9	4,9	4,9	4,8	4,7	4,6	4,5	4,3	4,1	3,8	3,5	3,1	2,7	2,2	1,8	1,4	1,1	0,8	
	4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	3,9	3,9	3,9	3,8	3,8	3,7	3,6	3,4	3,2	3,0	2,7	2,3	2,0	1,7	1,3	1,0	0,8	
	3	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,9	2,9	2,9	2,8	2,7	2,6	2,5	2,4	2,2	2,0	1,7	1,5	1,2	1,0	0,8	
	2	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	1,9	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5	1,3	1,2	1,0	0,8	0,7	
	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,7	0,7	0,6	0,5	

Tableau N°11 : Valeurs du courant de court-circuit Ik3 (kA) (aval) en fonction de la Longueur, la section et le Ik3 (amont).